



UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO
FACULTAD DE CIENCIAS VETERINARIAS



Trabajo de Tesis realizado como requisito para optar al título de
DOCTORA EN CIENCIAS VETERINARIAS

**DESARROLLO Y EVOLUCIÓN DE LA JERARQUÍA FOLICULAR EN DOS
GENOTIPOS DE GALLINAS REPRODUCTORAS CAMPERAS BAJO DOS
MODELOS DE ASIGNACIÓN DE NUTRIENTES EN LA RECRÍA**

Méd.Vet. Susana Paola Sanz

Director: Dr. Méd. Vet. Martín Luis María Sindik

Codirectora: Dra. Med. Vet. Zulma Edith Canet

AÑO 2024

Universidad Nacional de Rosario
Facultad de Ciencias Veterinarias
Carrera de Doctorado en Ciencias Veterinarias

Título de la Tesis: “Desarrollo y evolución de la jerarquía folicular en dos genotipos de gallinas reproductoras camperas bajo dos modelos de asignación de nutrientes en la recría”

Autora: Méd. Vet. Susana Paola Sanz

Lugar de trabajo: Facultad de Ciencias Veterinarias. Universidad Nacional del Nordeste

Director: Dr. Méd. Vet. Martín Luis María Sindik

Codirectora: Dra. Méd. Vet. Zulma Edith Canet

MIEMBROS DEL JURADO

Dr. Mauricio De Franceschi

Dra. María Fernanda Peralta

Dra. Sandra Fabiana Bernardi

Dedicatoria

A mi familia que siempre está ahí para sostenerme.

Ese bloque que siempre me cuida y protege.

Agradecimientos

A mis compañeros y mentores durante todos estos años, el Dr. Fernando Revidatti, el Dr. Ricardo Fernández y Dr. Martin Sindik que me acompañaron durante toda mi formación profesional, gracias por su paciencia, por su dedicación, por acompañarme en cada trabajo de campo, en las etapas del desarrollo de mis estudios y adoptarme como una más de la familia.

A mi Director Martin Sindik por su apoyo y acompañarme en el trabajo realizado durante este proceso y a mi Co-Directora la Dra. Zulma Canet por su apoyo.

A el Dr. Ricardo Fernández y el Dr. Ricardo Di Masso por su apoyo, acompañarme y guiarme en el proceso de análisis de datos y escritura.

Especialmente a el Dr. Fernando Revidatti, quien me acompañó y apoyo durante todo el desarrollo de la Tesis, como también en la escritura y análisis de datos, por enseñarme, guiarme en cada paso y tenerme tanta paciencia.

Al grupo del Centro de Multiplicación de la EEA INTA Corrientes, por el apoyo constante en el trabajo realizado y brindarme sus conocimientos en la práctica diaria Darío Ortiz, Martiniano López (Don López para mi) e Ignacio Meza.

A las instituciones que permitieron llevar a delante el desarrollo de esta Tesis: la Universidad Nacional del Nordeste-UNNE, La Facultad de Ciencias Veterinarias de la Universidad Nacional del Nordeste- UNNE, la Facultad de Ciencias Veterinarias de la Universidad Nacional de Rosario- UNR y el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria- INTA.

A mis compañeros que fueron pasando por la Cátedra a lo largo de estos años.

A mi familia por su amor incondicional que siempre estuvo y está ahí para apoyarme, me impulsaron durante todo este trayecto y me dieron ese empujón necesario muchas veces para continuar. A mis hermanos Italo, Guillermo y Rosaura gracias por ser ese bloque que siempre me cuida y protege y a mis sobrinos Agustina, Facundo e Ignacio que siempre están ahí para sacarme una sonrisa, especialmente a Agustina por acompañarme durante tantos años con sus dibujos mientras estudiábamos.

A mi mamá Liliana que siempre me demostró que todo se puede y que nunca hay que bajar los brazos, gracias por levantarme en cada caída y acompañarnos en los pasos de nuestras vidas, nada de esto hubiera sido posible sin su apoyo, por creer tanto en mí aun en esos momentos que yo no lo hacía.

A mis abuelos, mi papá y primo que me protegen desde arriba y muchas veces miré al cielo y dije se que fueron ustedes.

A ellos, los que están y los que no (Bianca, Bob, Nathan, Micha, Noche, Benito, Naitan, Athos, Toto, Malú y Peque) por acompañarme y recibirme con tanta felicidad cada vez que llegaba a casa y por bancarse todas esas noches de desvelo acompañándome mientras estudiaba, por ese amor incondicional y que nada más me bastaba verlos para no sentirme sola.

Referencias bibliográficas correspondientes a las publicaciones parciales del trabajo de tesis y a la difusión realizada en el marco de reuniones científicas

Publicaciones

- Sanz, S. P., Fernández, R. J., Revidatti, F. A. R., Canet, Z. E., & Sindik, M. L. M. (2023). Edad de postura y peso del huevo de dos genotipos de gallinas reproductoras camperas bajo dos programas de alimentación durante la recría: Laying age and egg weight of two genotypes of free range hens under two nutrient allocation programs during rearing. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 6(3), 2508-2516. <https://doi.org/10.34188/bjaerv6n3-043>
- Sanz, S. P., Fernández, R. J., Di Masso, R. J., Revidatti, F. A. R., Canet, Z. E., & Sindik, M. L. M. (2023). Análisis multivariado de la madurez sexual en gallinas reproductoras campero INTA bajo dos programas de asignación de nutrientes durante la recría: Multivariate analysis of sexual maturity in campero inta breeder hens under two nutrient allocation programs during rearing. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 6(2), 1832-1837. <https://doi.org/10.34188/bjaerv6n2-069>
- Sanz, S. P., Fernández, R. J., Revidatti, F. A. R., Canet, Z. E., & Sindik, M. (2022). Efecto del genotipo y programa de alimentación sobre características zoométricas y madurez sexual en gallinas reproductoras Campero INTA. *Compendio de Ciencias Veterinarias*, 12(2), 16-21. <https://revistascientificas.una.py/index.php/comp/article/view/3535>
- Sanz, P.; Sindik, M.; Fernández, R.; Revidatti, F. (2021). Análisis multivariado de indicadores zoométricos de madurez sexual de gallinas reproductoras Campero INTA. *Revista Veterinaria*, 32(1), 43-47. <http://dx.doi.org/10.30972/vet.3215632>
- Sanz, P.; Sindik, M.; Fernández, R.; Revidatti, F. (2020). Madurez sexual e indicadores asociados en dos genotipos de gallinas Campero INTA bajo dos programas de alimentación. *Revista Veterinaria*, 31(2), 142-145. <http://dx.doi.org/10.30972/vet.3124734>

Presentaciones en Reuniones científicas

- Sanz P., Revidatti F., Fernández R., Asiaín M, Sindik M., Canet, Z. (2022). Peso del huevo en diferentes etapas de producción en gallinas reproductoras campero INTA bajo dos programas de alimentación en cría y recría. XXII Jornadas de Divulgación Técnico-Científicas FCV-UNR. Facultad de Ciencias Veterinarias. Universidad Nacional de Rosario. ISBN 978-987-46406-5-9
- Sanz, S.P. (2022). Edad de postura y peso del huevo de dos genotipos de gallinas reproductoras Campero INTA bajo dos programas de alimentación en cría y recría. las XXVII Comunicaciones Científicas y Tecnológicas Organizadas por la Secretaria General de Ciencia y Técnica - UNNE.
- Sanz P., Revidatti F., Fernández R., Sindik M., Asiaín M., Canet, Z. (2021). Composición corporal y genital de dos genotipos de gallinas Campero INTA bajo dos programas de alimentación. XLI Sesión de Comunicaciones Científicas de la FCV-UNNE. ISSN 2451-6732.
- Sanz, S.P. (2021). Efecto del genotipo y programa de alimentación sobre la cantidad y calidad del huevo fértil engallinas Campero INTA. XXVI Comunicaciones Científicas y Tecnológicas. Organizadas por la Secretaria General de Ciencia y Técnica - UNNE.
- Sanz, Paola; Revidatti, Fernando Augusto; Fernández, Ricardo; Canet, Zulma Edith; Sindik, Martín (2020). Análisis multivariado de indicadores zoométricos de madurez sexual de gallinas reproductoras Campero INTA. VIII Jornada de Difusión de la Investigación y Extensión. Facultad de Ciencias Veterinarias. Universidad Nacional del Litoral. ISSN 2525-104X.
- Sanz, Paola; Revidatti, Fernando Augusto; Fernández, Ricardo; Sindik, Martín; Canet, Zulma Edith. (2020). Efecto del genotipo y programa de alimentación sobre las características cualitativas y cuantitativas del huevo fértil en gallinas Campero INTA. Primer encuentro virtual de divulgación y comunicación de ciencias veterinarias. Facultad de Ciencias Veterinarias. Universidad Nacional de Rosario.

Sanz, Paola; Fernández, Ricardo; Revidatti, Fernando Augusto; Sindik, Martín.; Canet, Zulma Edith, Martin Asiain. Efecto de la alimentación sobre indicadores zoométricos de la madurez sexual de gallinas reproductoras Campero INTA. II Congreso Latinoamericano de comportamiento y bienestar animal. ISAE 2020 Latino. Medellín, Colombia.

Sanz, Paola; Fernández, Ricardo; Revidatti, Fernando Augusto; Canet, Zulma Edith; Sindik, Martín. (2019). Análisis discriminante del peso corporal y los indicadores zoométricos de la madurez sexual en gallinas reproductoras Campero INTA bajo dos programas de asignación de nutrientes durante la recría. XX Jornadas de Divulgación Técnico-Científicas 2019. Facultad de Ciencias Veterinarias (UNR). VII Jornada Latinoamericana. V Jornadas de Ciencia y Tecnología. Facultad de Ciencias Agrarias. IV Reunión Transdisciplinaria en Ciencias. Agropecuarias 2019, Universidad Nacional de Rosario. Casilda y Zavalla. ISBN 978-987-46406-5-9

Sanz, Paola; Revidatti, Fernando Augusto; Fernández, Ricardo; María Laura Sosa; Aranzazú Grossi; Canet, Zulma Edith; Sindik, Martín. (2019). Efecto del genotipo y programa de alimentación sobre el peso corporal, los indicadores zoométricos y la edad a la madurez sexual en gallinas Campero INTA. XX Jornadas de Divulgación Técnico-Científicas 2019. Facultad de Ciencias Veterinarias (UNR). VII Jornada Latinoamericana. V Jornadas de Ciencia y Tecnología 2019. Facultad de Ciencias Agrarias. IV Reunión Transdisciplinaria en Ciencias. Agropecuarias 2019, Universidad Nacional de Rosario. Casilda y Zavalla. ISBN 978-987-46406-5-9

Sanz P., Revidatti F., Fernández R., Sindik M., Grossi A., Canet, Z. (2019). Análisis discriminante del peso corporal y los indicadores zoométricos de la madurez sexual en gallinas reproductoras Campero INTA bajo dos programas de asignación de nutrientes. XL Sesión de Comunicaciones Científicas de la FCV-UNNE. ISSN 2451-6732.

Sanz, S.P.; Sindik, M.; Fernández, R.; Revidatti, F. (2019). Peso vivo, condición corporal e indicadores zoométricos de la madurez sexual en dos genotipos de gallinas Campero INTA bajo dos programas de asignación de alimento. XXV Reunión de Comunicaciones Científicas y Tecnológicas de la UNNE bajo la modalidad de póster.

Índice de contenidos

Índice de tablas	I
Índice de figuras	V
Abreviaturas y símbolos	VIII
Resumen	X
Abstract	XIII
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	27
MATERIAL Y MÉTODOS	30
CAPITULO 1	39
Introducción	40
Material y métodos	42
Resultados	45
Discusión	50
CAPITULO 2	57
Introducción	58
Material y métodos	64
Resultados	67
Discusión	78
CAPITULO 3	90

Introducción	91
Material y métodos	94
Resultados	95
Discusión	102
CAPITULO 4	110
Introducción	111
Material y métodos	117
Resultados	120
Discusión	131
DISCUSIÓN GENERAL	143
CONCLUSIONES	149
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	154

Índice de tablas

Tabla N° 1- Tipo y composición de las raciones según periodo del ciclo

Tabla N° 2- Programa de alimentación Estándar y Estándar+10 para genotipos maternos del pollo Campero INTA

Tabla N° 3- Peso corporal en edades de importancia productiva de dos genotipos de gallinas reproductoras camperas bajo dos modalidades de asignación de nutrientes en las etapas de cría y recría

Tabla N° 4- Significado de los efectos del análisis de la variancia correspondiente a un diseño completamente aleatorizado con un experimento factorial 2 x 2 de dos genotipos de gallinas reproductoras camperas bajo dos modalidades de asignación de nutrientes en las etapas de cría y recría

Tabla N° 5- Estimadores de los parámetros de la función de Gompertz aplicada al ajuste de los datos peso corporal versus edad cronológica en dos genotipos de gallinas reproductoras camperas bajo dos modalidades de asignación de nutrientes en las etapas de cría y recría

Tabla N° 6- Significado de los efectos grupo genético, programa de alimentación y la interacción de dos genotipos de gallinas reproductoras camperas bajo dos modalidades de asignación de nutrientes en las etapas de cría y recría

Tabla N° 7- Peso corporal e indicadores zoométricos de madurez sexual en dos genotipos de gallinas reproductoras camperas INTA bajo dos regímenes de asignación de nutrientes

Tabla N° 8- Significado de los efectos del análisis de la variancia correspondiente a un diseño completamente aleatorizado con un experimento factorial 2 x 2 de dos genotipos de gallinas reproductoras camperas bajo dos modalidades de asignación de nutrientes en las etapas de cría y recría

Tabla N° 9- Peso corporal, indicadores zoométricos y edad a la madurez sexual de dos genotipos de gallinas reproductoras camperas bajo dos modalidades de asignación de nutrientes en las etapas de cría y recría

Tabla N° 10- Significado de los efectos del análisis de la varianza correspondiente a un diseño completamente aleatorizado con un experimento factorial 2 x 2 de dos genotipos de gallinas reproductoras camperas bajo dos modalidades de asignación de nutrientes en las etapas de cría y recría

Tabla N° 11- Primera y segunda componentes canónicas en la semana 22 derivadas del análisis discriminante aplicado a cuatro indicadores zoométricos de madurez sexual de dos genotipos de gallinas reproductoras camperas bajo dos modalidades de asignación de nutrientes en las etapas de cría y recría

Tabla N°12- Análisis discriminante aplicado al peso corporal y los indicadores zoométricos de madurez sexual en la semana 24 de dos genotipos de gallinas reproductoras camperas bajo dos modalidades de asignación de nutrientes en las etapas de cría y recría

Tabla N° 13- Primera y segunda componentes canónicas en la semana 24 derivadas del análisis discriminante aplicado a cuatro indicadores zoométricos de madurez sexual de dos genotipos de gallinas reproductoras camperas bajo dos modalidades de asignación de nutrientes en las etapas de cría y recría

Tabla N° 14- Frecuencias relativas de condición corporal en gallinas reproductoras camperas del genotipo E según programa de alimentación (expresadas como porcentajes)

Tabla N° 15- Frecuencias relativas de condición corporal en gallinas reproductoras camperas del genotipo ESxA según programa de alimentación (expresadas como porcentajes)

Tabla 16- Número y diámetro de los folículos ováricos en la semana 24 del ciclo en dos genotipos de gallinas reproductoras camperas bajo dos modalidades de asignación de nutrientes en las etapas de cría y recría

Tabla 17- Número y diámetro de los folículos ováricos en la semana 26 del ciclo en dos genotipos de gallinas reproductoras camperas bajo dos modalidades de asignación de nutrientes en las etapas de cría y recría

Tabla 18- Número y diámetro de los folículos ováricos en la semana 30 del ciclo en dos genotipos de gallinas reproductoras camperas bajo dos modalidades de asignación de nutrientes en las etapas de cría y recría

Tabla N°19- Producción de huevo por gallina alojada en distintas edades del ciclo de producción de dos genotipos de gallinas reproductoras camperas bajo dos modalidades de asignación de alimento

Tabla N° 20- Significado de los efectos del Análisis de la varianza de la producción de huevos correspondiente a un diseño completamente aleatorizado con un experimento factorial 2 x 2 de dos genotipos de gallinas reproductoras camperas bajo dos modalidades de asignación de nutrientes en las etapas de cría y recría

Tabla N° 21- Estimadores de los parámetros con significado biológico de la función sigmoidea de Gompertz aplicada al ajuste de la fase creciente de las curvas de postura en dos grupos de aves reproductoras camperas bajo dos programas de alimentación en las etapas de cría y recría

Tabla N° 22- Significado estadístico del grupo genético sobre los estimadores de la fase ascendente de las curvas de postura de reproductoras camperas bajo dos regímenes de asignación de alimento en las etapas de cría y recría

Tabla 23: Peso promedio en gramos de huevos recolectados por semana de producción al inicio de producción, producción al pico, meseta y final de producción del primer ciclo de postura de dos genotipos de reproductoras Campero INTA bajo dos regímenes de asignación de nutrientes

Tabla N° 24- Significado de los efectos del Análisis de la variancia de peso promedio en gramos de huevos recolectados correspondiente a un diseño completamente aleatorizado con un experimento factorial 2 x 2

Tabla N° 25- Parámetros de la función de Weatherup & Foster aplicada al ajuste de los datos peso promedio del huevo y edad de postura de dos genotipos de gallinas reproductoras pesadas bajo dos esquemas de asignación de nutrientes

Tabla N° 26- Nivel de significancia del efecto Grupo genético dentro de cada esquema de asignación de nutrientes en gallinas reproductoras camperas

Tabla N° 27- Nivel de significancia para el efecto del programa de asignación de alimento sobre el peso del huevo dentro de cada grupo genético en gallinas reproductoras camperas

Índice de figuras

Figura N° 1- Efecto del genotipo y el programa de alimentación sobre los estimadores de los parámetros de la función de Gompertz para el peso corporal asintótico y la tasa de maduración para peso corporal en reproductoras camperas

Figura N° 2- Valores promedio de los estimadores de ambos parámetros con significado biológico en los diferentes subgrupos de aves reproductoras camperas bajo dos modalidades de asignación de nutrientes en las etapas de cría y recría

Figura N° 3- Curvas de crecimiento teóricas de dos grupos genéticos de reproductoras camperas bajo dos regímenes de asignación de nutrientes durante las etapas de cría y recría

Figura N° 4- Grupos de barras primera y segunda componentes en la semana 22 canónicas derivadas del análisis discriminante aplicado a cuatro indicadores zoométricos de madurez sexual de dos genotipos de aves reproductoras camperas bajo dos modalidades de asignación de nutrientes en las etapas de cría y recría

Figura N° 5- Gráfico de barras de primera y segunda componentes canónicas derivadas del análisis discriminante aplicado a cuatro indicadores zoométricos de madurez sexual en la semana 24 de dos genotipos de reproductoras camperas bajo dos regímenes de asignación de nutrientes

Figura N° 6- Primera y segunda componentes canónicas derivadas del análisis discriminante aplicado a cuatro indicadores zoométricos de madurez sexual en la semana 24 de dos genotipos de gallinas reproductoras camperas bajo dos regímenes de asignación de nutrientes.

Figura N° 7- Número y diámetro de los folículos ováricos en la semana 24 del ciclo en dos genotipos de gallinas reproductoras camperas bajo dos modalidades de asignación de nutrientes en las etapas de cría y recría

Figura N° 8- Ecografía folicular en la semana 24 de gallinas reproductoras camperas. Se observan grupos de folículos grandes amarillos visibles con un círculo anecoico rodeado por una capa hipoeoica y anillos concéntricos hiperecoicos

Figura N° 9- Número y diámetro de los folículos ováricos en la semana 26 del ciclo en dos genotipos de gallinas reproductoras camperas bajo dos modalidades de asignación de nutrientes en las etapas de cría y recría

Figura N° 10- Ecografía folicular en la semana 26 de gallinas reproductoras camperas. Se observan grupos de folículos grandes amarillos con un mayor desarrollo con un círculo anecoico rodeado por una capa hipoeoica y anillos concéntricos hiperecoicos

Figura N°11- Ecografía folicular semana 26 de gallinas reproductoras camperas. Se observan folículos grandes amarillos de diferentes diámetros y un grupo de folículos junto a un huevo en formación

Figura N° 12: Número y diámetro de los folículos ováricos en la semana 30 del ciclo en dos genotipos de gallinas reproductoras camperas bajo dos modalidades de asignación de nutrientes en las etapas de cría y recría

Figura N° 13- Ecografía folicular semana 30 de gallinas reproductoras camperas. Se observan folículos grandes amarillos junto a un huevo en formación. En las demás imágenes se puede observar diferentes estadios de un huevo en formación hasta completan su desarrollo

Figura N° 14- Curvas de postura de dos genotipos de reproductoras camperas bajo dos niveles de asignación de alimento durante las etapas de cría y recría

Figura N° 15- Curvas de postura de dos genotipos de reproductoras camperas bajo dos programas de alimentación durante la recría. Porción izquierda: Genotipo ESxA. Porción derecha: Población Sintética E

Figura N° 16- Fase ascendente de las curvas de postura de dos genotipos de reproductoras camperas bajo dos niveles de asignación de alimento durante la recría (Ajuste logístico)

Figura N° 17- Fase descendente (persistencia) de las curvas de postura de dos genotipos de reproductoras camperas bajo dos niveles de asignación de alimento durante la recría (Ajuste lineal)

Figura N° 18- Efecto de la modalidad de asignación de alimento durante la recría sobre la fase ascendente de la curva de postura de dos genotipos de reproductoras camperas

Abreviaturas y símbolos

%: por ciento

µm: micra

A: asintota/ Peso corporal asintótico

ACa: ancho cadera

ACI: ancho cloaca

ANOVA: análisis de la variancia

CC: condición corporal

cm: centímetro

EODES: síndrome de oviposición errática y huevo defectuoso

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación

FSH: hormona foliculoestimulante

g: gramos

G: granulosa

GnRH: hormona liberadora de gonadotrofina

GnRH1: hormona liberadora de gonadotrofina 1

h: hora

HPG: huevo por gallina alojada

IC: índice de cresta

IGF1y2: factor de crecimiento similar a la insulina 1 y 2

INTA: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria

K: tasa de maduración

kcal: Kilocaloria

Km: kilometro

LAB: longitud abdominal

LH: hormona Luteinizante

m: metro

m²: metro cuadrado

Mhz: megahercio

mm: milímetro

mm²: milímetro cuadrado

MS: madurez sexual

PC: peso corporal

PCC: primera componente canónica

PCR: reacción en cadena de la polimerasa

PH: peso de huevos recolectados

PMSG: gonadotrofina sérica de yegua preñada

PnH: producción total de huevos

PO: porcentaje de ovulación diaria

PP: porcentaje de producción de huevos normales

QTL: locus de caracteres cuantitativos

SCC: segunda componente canónica

T: teca

Wt: peso corporal en el tiempo

RESUMEN

En las gallinas reproductoras pesadas las prácticas de manejo incluyen la restricción alimenticia durante la recría y reproducción con el objetivo de regular las ganancias de peso corporal, reducir la incidencia de obesidad y mejorar la producción de huevos fértiles. El conocimiento de la dinámica folicular en este tipo de aves pesadas, incorpora ventajas para el desarrollo de nuevas estrategias de manejo que permitan optimizar la producción de huevos fértiles. El objetivo de la presente tesis fue evaluar el efecto de la asignación diferencial de nutrientes en las etapas de cría y recría, sobre la jerarquía folicular al momento de la madurez sexual y su evolución a lo largo de la etapa de postura, el patrón dinámico de aumento de peso corporal, condición corporal, morfometría, caracteres sexuales externos, patrón dinámico de aumento de peso del huevo y las curvas de postura, en dos genotipos de gallinas reproductoras camperas. Todas las aves se produjeron en la Estación Experimental Agropecuaria “Walter Kugler” del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), ubicada en la localidad bonaerense de Pergamino, Argentina. Al nacimiento se vacunaron contra la enfermedad de Marek y se trasladaron a las instalaciones del Centro de Multiplicación de Aves de la Estación Experimental Agropecuaria Corrientes del INTA, ubicada en la Ruta Nacional N° 12, km 1008, El Sombrero (Corrientes), Argentina, a 27° 40' 5" latitud Sur, 58° 45'. En el ensayo se trabajó con 400 gallinas, 200 pertenecientes a la población sintética materna denominada E y 200 al híbrido producto del cruzamiento entre las poblaciones sintéticas maternas ES y A. A partir de la quinta semana y durante toda la recría, las aves de cada población genética fueron divididas al azar en cuatro grupos de 50 aves (Unidades Experimentales) alojados en boxes de 3,50 m por 4,60 m con una densidad de 3 aves/m² hasta el final de dicha fase. Entre las semanas 5 y 22, la mitad de cada grupo genético recibió el programa de alimentación habitual que se realiza en el establecimiento

(Grupo Estándar) y la otra mitad un incremento del 10% en este programa (Grupo Estándar+10). Se registraron las variables peso corporal, condición corporal, número y diámetro de folículos grandes amarillos mediante escaneo ultrasonográfico, índice de cresta, ancho de la cloaca, ancho de la cadera, longitud abdominal, edad a la madurez sexual, peso a la madurez sexual, número de huevos recolectados por semana entre la madurez sexual y la finalización del ciclo de postura, peso promedio de los huevos recolectados por semana entre la madurez sexual y la finalización del ciclo de postura. Se aplicó el análisis de la varianza (ANOVA) para un diseño factorial 2 x 2 en edades de interés biológico. Los datos longitudinales peso corporal-edad cronológica registrados entre el nacimiento y la finalización del ciclo de postura se ajustaron con el modelo sigmoideo de Gompertz. Los datos longitudinales del peso del huevo-edad cronológica se ajustaron con el modelo de Weatherup y Foster. Se calculó la postura a intervalos semanales y se ajustó según dos criterios: en forma bietápica (pre-pico y post-pico de postura) y para el período global con una generalización de la función logística de Nelder. Para la fase ascendente de la curva de postura el ajuste se realizó mediante el modelo sigmoideo de Gompertz y la fase descendente se ajustó a un modelo de regresión lineal. Los resultados indicaron que el genotipo afectó el peso corporal con diferencias marcadas entre ambas poblaciones hasta alcanzar el pico de producción, para después igualarse. La mayor asignación de alimento produjo un aumento en el peso corporal a lo largo de todo el ciclo de producción y diferentes efectos sobre el desarrollo folicular en el período previo a la madurez sexual y hasta el pico de producción, en ambos genotipos. La producción de huevo a las 31 semanas fue mayor en ambos genotipos para los grupos que recibieron el programa de alimentación Estándar+10, efecto que se diluyó durante la etapa de persistencia, hasta tornarse negativo en la segunda etapa del ciclo, en el genotipo E. Se concluye que no existe un programa único de restricción alimenticia para

todos los genotipos maternos de Campero INTA, lo que implica que dicho manejo debe adaptarse a cada población en particular dadas las diferencias en sus patrones dinámicos de aumento de peso corporal y de postura, respetando las limitaciones establecidas por los aportes mínimos requeridos de proteína y energía.

Palabras claves: avicultura, genética, reproducción, alimentación.

ABSTRACT

The management practices in broiler breeder hens include feed restriction during rearing and reproduction, with the aim of regulating body weight gains, reducing the incidence of obesity and improving the production of fertile eggs. The knowledge of follicular dynamics in broiler hens incorporates advantages for the development of new management strategies that allow optimizing fertile egg production. The objective of this thesis was to evaluate the effect of differential nutrient allocation in the breeding and rearing stages on the follicular hierarchy, the time of sexual maturity and its evolution throughout the laying period, the dynamic pattern of increase of body weight, body condition, morphometry, external sexual characteristics, dynamic pattern of egg weight gain and laying curves, in two genotypes of free-range breeder hens. All birds were produced at the “Walter Kugler” Agricultural Experimental Station of the Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), located at Pergamino, Argentina. At birth they were vaccinated against Marek's disease and moved to the facilities at the Bird Multiplication Center of the Corrientes Agricultural Experimental Station of INTA, located on National Route No. 12, km 1008, El Sombrero (Corrientes), Argentina, 27° 40' 5” South latitude, 58° 45'. In the trial, 400 hens were used, 200 belonging to the maternal synthetic population called E and 200 to the hybrid product of the crossing between the maternal synthetic populations ES and A. Starting from the fifth week and throughout the breeding period, the birds from each genetic population were randomly divided into four groups of 50 birds (Experimental Units) housed in boxes measuring 3.50 m by 4.60 m with a density of 3 hens /m² until the end of laying phase. Between weeks 5 and 22, half of each genetic group received the usual feeding program carried out in the farm (Standard Group) and the other half a 10% increase in this program (Standard Group+10). The variables body weight, body condition, number and diameter of large yellow follicles

were recorded by ultrasonographic scanning, crest index, cloacal width, hip width, abdominal length, age at sexual maturity, weight at sexual maturity, number of eggs collected per week between sexual maturity and the end of the laying cycle, average weight of eggs collected per week between sexual maturity and the final of the laying cycle. Analysis of variance (ANOVA) was applied for a 2 x 2 factorial design at ages of biological interest. The longitudinal body weight-chronological age data recorded between birth and the final of the posture cycle were adjusted with the Gompertz sigmoid model. The longitudinal egg weight-age data were adjusted with the Weatherup and Foster model, laying was calculated at weekly intervals as and adjusted according to two criteria: in a two-stage manner (pre-peak and post-peak laying) and for the global period with a generalization of the Nelder logistic function. For the ascending phase of the posture curve it was fitted using the Gompertz sigmoid model and the descending phase was fitted to a linear regression model. The results indicate that the genotype affected body weight until peak production was reached and then equalized. The increased feed allocation produced an increase in body weight throughout the entire production cycle. The greater food allocation during the breeding and rearing stage produced different effects on follicular development in the period prior to sexual maturity and until the peak of production in both genotypes. Egg production at 31 weeks was higher in both genotypes that received the alternative feeding program, an effect that was diluted during the persistence stage, until it became negative in the second stage of the cycle, in genotype E. We concluded that there is no program unique nutritional restriction for all maternal genotypes of Campero INTA, which implies that said management must be adapted to each particular population given the differences in their dynamic patterns of body weight gain and posture, respecting the limitations established by the minimum contributions required protein and energy.

Key words: poultry, genetics, reproduction, feeding.

INTRODUCCIÓN

1. Antecedentes

1.1. La producción avícola de traspatio en el contexto de los sistemas agrícolas mixtos

El contexto productivo y de mercado de la avicultura a escala global ha sufrido cambios acelerados a lo largo de las últimas décadas. Entre otros factores, la migración rural y creciente urbanización de los países en desarrollo han estimulado la rápida expansión de la industria avícola integrada verticalmente, con grandes unidades de producción y elevada dependencia del capital financiero. El aumento de la demanda mundial de proteína animal de bajo costo llevó a la necesidad de implementar métodos de producción que hicieran hincapié en la intensificación de los sistemas (Büttow Roll, 2005). Los progresos realizados en el campo de mejoramiento genético, nutrición, manejo, prevención y tratamientos de enfermedades fueron la base de la mejora alcanzada en los índices técnicos de la producción comercial de carne (Buxadé Carbo, 1988). El crecimiento y desarrollo de la avicultura industrial intensiva ha solapado paulatinamente a los sistemas de producción a pequeña escala planteando nuevos desafíos y oportunidades para asegurar la sustentabilidad de los mismos (Ahuja & Sen, 2007).

La creciente intensificación de los sistemas de producción avícola ha creado controversias sobre el bienestar de los animales en los sistemas intensivos, que han sido resueltas en el plano normativo mediante reglamentaciones de los organismos internacionales relativas a la protección del bienestar animal (Büttow Roll, 2005). Como consecuencia del aumento de la demanda de productos diferenciados y de las normativas sobre bienestar animal, se han implementado distintos sistemas de producción alternativos que tienen como base el acceso a parques abiertos que permiten a las aves caminar y acceder a pasturas de

distinto tipo, mejorando de esta forma su bienestar (Bonino & Canet, 1999). En estos sistemas de producción las aves habitan en un gallinero con mucho espacio interior y con acceso al exterior, aspecto importante en la producción alternativa que permite a las aves expresar su comportamiento natural y un medio ambiente saludable que reduce la tensión (Büttow Roll, 2005).

La avicultura de traspatio tradicional es practicada en forma paralela a estos sistemas de producción de carácter comercial en la mayoría de los países en desarrollo. El término avicultura rural o de traspatio hace referencia a un tipo de producción de aves domésticas con bajos insumos entre las que se incluyen pollos, patos y gallinas de Guinea pertenecientes a genotipos locales mejorados o no y poblaciones aviares adaptadas con distinta constitución genética. La crianza en el traspatio se lleva a cabo en forma semiextensiva con un número de aves relativamente bajo (normalmente no más de 100 por cada productor) que constituyen generalmente una proporción variable de la producción avícola en los distintos países, pero cuyas contribuciones en valores absolutos de producción de carne y huevo son fundamentales para garantizar la seguridad alimentaria de las poblaciones rurales (Akinola & Essien, 2011).

Para la población rural de escasos recursos económicos los animales de granja constituyen un elemento importante de subsistencia, en tanto desempeñan múltiples funciones como la producción de alimentos y fertilizantes, generación de ingresos, además de constituir un activo financiero. En particular, los animales pequeños como las aves requieren una mínima inversión por parte de estos productores, pueden criarse en las cercanías de la vivienda y ser alimentados con subproductos de la producción agrícola (Verduzco Ríos et al., 2016). La producción avícola de traspatio contribuye sustancialmente a los ingresos y nutrición familiar en las comunidades rurales, aunque su expansión ha estado

limitada por múltiples factores asociados al rendimiento productivo de las poblaciones locales de aves, como así también de los genotipos incorporados al sistema. Esto hace necesaria la intervención técnica y científica orientada a la optimización de la aptitud productiva, sobre todo en contextos desfavorables para la actividad como son las regiones tropicales. Los programas de selección y mejoramiento de los genotipos locales deben favorecer una mejor adaptación de las aves y adecuar los métodos de crianza, con la finalidad de alcanzar un tamaño de población de tal magnitud que haga posible el empleo de las mismas en sectores rurales y periurbanos. Esto implica que la capacidad reproductiva de las aves y por lo tanto su aptitud para la producción de huevos y pollitos de un día debe ser mejorada mediante adecuadas estrategias de manejo (Lwelamira, 2012).

En la mayoría de los países en desarrollo las familias son propietarias de las aves de corral, las cuales son gestionadas mayoritariamente por mujeres mediante el empleo de tecnología de bajo costo que posibilita mantener niveles constantes de producción, constituyendo componentes socioculturales de importancia para la población rural (Dadheech & Vyas, 2014). En forma concurrente con estos modelos autogestionados, los programas de fomento para la cría de animales son puestos en funcionamiento por muchos organismos estatales que reconocen que la producción pecuaria en pequeña escala representa una alternativa eficaz para alcanzar la seguridad alimentaria (FAO, 2013). En la República Argentina el programa Pro-Huerta emplea aves desarrolladas por el INTA para la producción de carne (pollo Campero INTA) y huevo (Negra y Rubia INTA) como base animal del componente granja que tiene como objetivo la producción para autoconsumo y venta de excedentes por parte de las familias de escasos recursos, constituyendo un programa de seguridad alimentaria que complementa y diversifica la dieta con la producción a pequeña

escala de alimentos frescos en granjas familiares, escolares y comunitarias (Dottavio & Di Masso, 2010). El programa cuenta con una estructura piramidal que gestiona los núcleos genéticos conformados por poblaciones sintéticas originadas a partir del cruzamiento entre razas asimiladas. Los reproductores padres se distribuyen en granjas de multiplicación ubicadas en distintos puntos del país, en donde se llevan a cabo los cruzamientos, de los cuales se obtienen huevos fértiles que luego dan origen a los pollitos de un día entregados en forma gratuita a los beneficiarios del programa (Librera et al., 2003).

1.2. Importancia de la etapa de la reproducción en los sistemas avícolas de traspatio

Independientemente del modelo de gestión de la base animal que prevalezca, la sustentabilidad de los sistemas productivos avícolas está basada en la reproducción eficiente, la cual requiere de gallinas aptas para producir un buen número de huevos incubables cuya progenie alcance una adecuada tasa de crecimiento y conversión de alimento en carne. Aunque la velocidad de crecimiento de los genotipos aviares es variable, ya que depende del proceso de mejoramiento al que hayan sido sometidos, los reproductores de tipo pesado han sido seleccionados genéticamente para producir carne, característica que está inversamente relacionada con los aspectos reproductivos (Chambers, 1990; Kerr et al., 2001). Los diferentes programas de manejo (alimentación, luz, densidad, métodos de crianza, etc.) están diseñados para modular la expresión del potencial de crecimiento y mejorar la eficiencia en la producción de huevos fértiles incubables (Mendoza Castro, 2006).

La aptitud reproductiva de una población es modificada por múltiples factores que provienen del ambiente e interactúan entre sí contribuyendo a incrementar la capacidad de los reproductores pesados. Si bien se han realizado avances significativos mediante el diseño

de programas de luz y alimentación, aún deben desarrollarse programas de manejo especiales adaptados a las condiciones y recursos de cada caso en particular, proceso este en evolución continua que sigue a los cambiantes requerimientos de las aves (Poole, 2003).

La aplicación de los programas de manejo hace necesario el conocimiento de la morfología ovárica y los métodos para su evaluación como herramientas para estimar el efecto de distintos tratamientos aplicados sobre las diferentes categorías de folículos ováricos durante la fase final de la recría, en particular en ensayos experimentales (Renema et al., 1999).

1.3. Crecimiento y desarrollo folicular de la gallina doméstica

En función de la dinámica de los cambios que ocurren, el crecimiento de los folículos ováricos de la gallina se divide en períodos denominados fase de crecimiento lento, fase de aceleración en la velocidad de crecimiento (etapa prepuberal) y fase de crecimiento rápido. La fase de crecimiento lento involucra aproximadamente el 1% del total de la población disponible de folículos ováricos, alcanzando estos un diámetro de 60 a 100 μm . Durante esta fase el disco germinal permanece en el centro del óvulo. Independientemente de los estímulos externos, en esta etapa los folículos ováricos liberan niveles basales de estrógenos que actúan sobre el hipotálamo inmaduro provocando una retroalimentación negativa sobre ese órgano. Esto se traduce en niveles muy bajos de hormonas gonadotróficas hipofisarias durante las primeras 8 a 12 semanas de vida de la polla. La fase de aceleración en la velocidad de crecimiento (etapa prepuberal) transcurre a partir de las 12 semanas de vida de la polla. El tamaño de los folículos se incrementa principalmente por deposición proteica en la yema pasando de 100 μm de tamaño hasta alcanzar 8 mm en promedio. La capacidad de respuesta

del hipotálamo a los estímulos externos se incrementa progresivamente, con lo cual las bajas concentraciones de esteroides van perdiendo lentamente su capacidad de inhibir la secreción de las hormonas gonadotróficas, dando por resultado la desactivación del sistema de retroalimentación negativa que mantenía las hormonas hipofisarias en concentraciones basales bajas. Progresivamente, la FSH incrementa su nivel plasmático, lo que se manifiesta histológicamente por la evolución de los pequeños folículos ováricos (reclutamiento folicular). En la polla prepúber, sobre un total de 2.000 folículos que se observan a simple vista, solo una pequeña cantidad crece y se diferencia a lo largo de la vida. En este periodo se produce un desplazamiento del disco germinativo hacia la superficie del óvulo dejando un rastro o huella denominada latebra. En el período previo a la madurez sexual se produce un incremento en la concentración de LH plasmática que se caracteriza por niveles basales relativamente altos que se mantienen hasta el inicio de la postura. La LH en este período actúa sobre las células de la teca de los folículos ováricos, induciendo la producción de estrógenos, que ejercen las funciones de desarrollo del hueso medular, síntesis de lipoproteínas hepáticas que son depositadas en el folículo como parte de la yema, incremento del tamaño del oviducto preparándolo para la formación de albúmina y membranas del cascarón y la actividad secretoria del oviducto. Los estrógenos y andrógenos son los responsables del desarrollo de los caracteres sexuales secundarios en la gallina (aumento del tamaño y turgencia de crestas y barbillones, ensanchamiento del abdomen y de los huevos de la pelvis, cambios en el plumaje que incluyen la muda prenupcial). Debido a que el tamaño de la cresta se correlaciona positivamente con los niveles de estrógenos y con la edad al primer huevo, las variables que cuantifican su desarrollo (largo, altura e índice de cresta) son consideradas útiles para medir el grado de maduración sexual (Joseph et al., 2003). El tamaño de la cresta se incrementa entre 3 a 5 semanas antes de la puesta del primer huevo.

La fase de crecimiento rápido ocurre de 6 a 11 días antes de la primera ovulación. En esta etapa se produce el desarrollo final de los folículos ováricos, depositándose gran parte de la proteína y de los lípidos, que se transportan desde el hígado. Se estima que, en este periodo del ciclo ovárico, más de 2 g de lipoproteínas son transportados diariamente hacia el ovario, con un aumento muy manifiesto del tamaño de los folículos reclutados, desde 8 mm iniciales hasta alcanzar un máximo de 37 mm. Durante esta fase, el disco germinativo, que se ubica en la superficie del óvulo, experimenta una rotación en el interior del folículo, orientándose en función de su peso. Como consecuencia el polo más liviano (que contiene el disco germinativo) se desplaza hacia la parte superior (Whittow, 2000).

1.3.1. Organización anatómica y funcional de la jerarquía folicular

A diferencia de los mamíferos, el ovario de las aves presenta una estructura folicular organizada de forma jerárquica, esto permite una ovulación en intervalos muy cortos de tiempo, lo que resulta en una oviposición cada día. Esto establece una secuencia de postura que sigue un patrón determinado, por la adecuada estructura anatómica y funcional alcanzada durante el crecimiento del ave. Al alcanzar la madurez sexual la polla presenta un ovario con folículos de diferente tamaño y color que permiten clasificarlos en categorías. Los folículos grandes amarillos de más de 8 mm de diámetro, pueden alcanzar hasta 40 mm y se encuentran en número de 7 a 9 en una gallina de raza pesada en postura, en aves livianas normalmente este número es inferior (4 o 5), los folículos pequeños amarillos con un tamaño de 5 y 8 mm (5 a 15), los folículos grandes blancos de 2 a 5 mm (5 a 15) y miles de folículos pequeños blancos, de menos de 1 mm. Los folículos amarillos poseen una deposición predominantemente lipídica; los folículos blancos presentan únicamente deposición proteica

(Lovell et al., 2003). Este conjunto de estructuras confiere al ovario de la gallina adulta en producción un aspecto arracimado (Etches, 1996).

Los folículos grandes amarillos se encuentran organizados en una jerarquía folicular en la cual el más grande es el preovulatorio denominado F1; el resto de estos folículos se denominan de acuerdo a su tamaño de F2 a F8. Estos folículos grandes amarillos conforman la jerarquía folicular en la cual el más grande (F1) es ovulado primero, seguido luego por los folículos F2, F3 y así sucesivamente, a medida que completan su maduración y alcanzan la primera posición en la jerarquía (Etches, 1996). Normalmente existe muy poca atresia en este nivel, ya que una vez que el folículo entra en la jerarquía, generalmente es ovulado. Por cada folículo amarillo que hace dehiscencia se produce la atresia de 20 folículos blancos, los cuales representan una pequeña fracción del número total de folículos en el ovario. Por esta razón se necesita de un gran número de folículos al nacimiento, ya que muchos de ellos se pierden durante el proceso de maduración y explica por qué solo una pequeña parte de ellos alcanzan la madurez (Renema et al., 1999).

Durante el período de postura, la secreción de LH se caracteriza por concentraciones basales relativamente altas con dos picos bien definidos que tienen una frecuencia constante. Por lo tanto, se observan dos patrones de LH en el plasma durante el ciclo ovulatorio: una secreción tónica (o basal) que sigue un ritmo diurno más o menos constante y dos picos de liberación de la hormona. La capacidad esteroidogénica del ovario depende del estadio de desarrollo folicular, participando en la producción de esteroides tanto las células de la teca (T) como de la granulosa (G), con un patrón temporal definido. Ambos tipos celulares poseen receptores para FSH en los folículos que van desde los 3 mm de tamaño hasta el F1, en tanto que los receptores para LH se expresan a partir de que el folículo alcanza los 9 a 12 mm,

incrementándose significativamente en las posiciones F3 – F1 de la jerarquía (Lovell *et al.*, 2003).

El ciclo de producción de LH plasmática se inicia al atardecer (crepúsculo vespertino), con el llamado “pico crepuscular” (incremento de poca intensidad que luego declina) que se observa cada 24 horas y se piensa que actúa como una señal de ajuste del reloj circadiano que pone en marcha el proceso. Este pequeño pico de LH va seguido de un aumento de progesterona plasmática, desencadenando un feedback positivo que estimula la onda preovulatoria de LH (período abierto). Esto implica que, en las gallinas, el atardecer es la señal que permite al hipotálamo establecer el reloj circadiano. El otro pico de mayor magnitud tiene una duración de 6 a 8 horas y se denomina pico preovulatorio de LH, considerado una condición necesaria para que ocurra la ovulación, es comúnmente llamado período abierto de liberación de LH. Este pico se caracteriza por presentar un fuerte incremento hasta alcanzar la máxima concentración plasmática seguida de una declinación lenta hasta volver al nivel basal nuevamente. El pico preovulatorio de LH comienza aproximadamente 1 a 2 horas después del encendido de la luz y dura de 6 a 8 horas coincidente con el periodo de la puesta (normalmente entre las 6,00 y las 14,00 horas), con una rama ascendente de corta duración (de 2 a 3 horas) y una rama descendente más larga (de 4 a 6 horas). Este proceso se inicia a nivel de las células de la granulosa de los folículos preovulatorios (F1), la hormona LH induce la síntesis de progesterona la cual, por retroalimentación positiva, induce al hipotálamo a segregar cantidades crecientes de GnRH, que a su vez estimula en el lapso de pocas horas la liberación de cantidades muy significativas de LH (pico preovulatorio). Si en ese período o muy poco tiempo después, hay un folículo preovulatorio (F1) en el ovario, se producirá la retroalimentación positiva que culminará con

la ovulación como punto final del proceso. Si el folículo alcanza la maduración fuera de este período (por lo general en horas de la tarde), el ovario entra en una pausa hasta el próximo período, de manera que el ave interrumpe la serie de postura (Etches, 1996). El patrón de secreción tiene este formato característico sobre todo al inicio del período de producción de huevos. A medida que el período reproductivo progresa, el intervalo entre picos de LH se hace más largo y las concentraciones basales disminuyen. Estos fenómenos neuroendocrinos permiten explicar el comportamiento normal de la puesta en la gallina, que ocurre en secuencias seguidas por una pausa, ambas de duración variable.

En la gallina doméstica adulta, la inhibina, la activina y la folistatina son un grupo de hormonas que participan en la modulación del eje hipotálamo-hipófisis-gonadal, regulando el ingreso de los folículos a la jerarquía preovulatoria. La actividad secretora de las células de la teca (T) y células de la granulosa (G) depende del balance intrafolicular entre inhibina, activina y folistatina. Las células G en los folículos pre-jerárquicos son incompetentes desde el punto de vista esteroidogénico porque carecen de las enzimas citocromo P450 y de la 3 β hidroxisteroide deshidrogenasa, por lo tanto, casi todos los esteroides secretados por los folículos de menos de 8 mm derivan de las células T. Aunque las células G de los folículos pequeños pueden ser inactivas en la producción de esteroides, se ha demostrado que son capaces de producir cantidades significativas de inhibina B y folistatina, lo que permite asumir que están involucradas en la adquisición de competencia esteroidogénica y sensibilidad a la FSH, dos prerequisites esenciales para el reclutamiento a la jerarquía preovulatoria. La inhibina B sigue un patrón de progreso similar en las células G y T, aunque el contenido es cuatro veces mayor en las células G. Su concentración es baja en los folículos de hasta 4 mm, incrementándose más de 50 veces hasta alcanzar un pico en folículos de 7 a

9 mm, cayendo de manera constante en la medida que el folículo ingresa en jerarquía. En fuerte contraste, la inhibina A permanece muy baja en los folículos pre-jerárquicos, pero luego se incrementa en forma progresiva a medida que el folículo avanza dentro de la jerarquía hasta llegar a un pico en el folículo F1. En los folículos F1 la hormona es producida principalmente por las células G, mientras que en los demás folículos de la jerarquía es producida en las células T. La activina A es secretada por las células T, incrementándose marcadamente cuando los folículos ingresan en la jerarquía preovulatoria, para disminuir cuando el folículo llega a F1. Por otra parte, la folistatina, sustancia que inhibe la secreción de hormona FSH, es producida por las células G de los folículos pre-jerárquicos alcanzando su máximo en este período, mientras que cuando el folículo entra en la jerarquía preovulatoria pasa a ser producida por las células T. Es posible que el importante, aunque transitorio aumento de inhibina B en los folículos de 6 a 9 mm no signifique una transición hacia la jerarquía, sino más bien un freno a la entrada de los restantes folículos a la jerarquía, ya que solo un folículo es reclutado durante un ciclo ovulatorio normal. El aparente alto tono de activina de los folículos pequeños (1 a 2 mm) puede explicar cómo estos folículos adquieren sensibilidad o capacidad de respuesta a la FSH y subsecuentemente a la LH. La notable divergencia en la secreción de las hormonas durante el ciclo de desarrollo folicular implica un rol funcional importante de estos péptidos en el reclutamiento y progresión ordenada de los folículos en el ovario aviar. Por este motivo la gallina doméstica provee un modelo único para el estudio de los mecanismos involucrados en el desarrollo folicular (Lovell et al, 2003).

La función reproductiva en las gallinas está influenciada, además, por varias hormonas metabólicas incluyendo la somatotropina, los factores de crecimiento semejantes a la insulina (IGF1 y 2) y la insulina. Sin embargo, la interacción entre el eje reproductivo y

el metabólico no ha sido claramente determinada, en tanto se propone a la leptina como una de las señales metabólicas responsables de esta interacción (Cassy et al., 2004). Esta sustancia pertenece al grupo de las adipokinas producidas específicamente por el tejido adiposo, exhibiendo un amplio rango de acciones, entre las que se cuentan la regulación del consumo de alimento, la maduración ovárica, remodelación ósea y metabolismo lipídico en general. La producción de estas sustancias guarda proporción con la cantidad de tejido adiposo y por lo tanto es una señal del acumulo energético existente en el organismo, jugando un rol preponderante en la determinación de la fertilidad en las aves (Richards et al., 2010).

1.3.2. Factores que afectan el reclutamiento folicular

El esquema general de la fisiología endocrina de la reproducción en la gallina está sujeto a variaciones derivadas de la selección genética y de los efectos ambientales. La selección divergente para crecimiento y reproducción, llevó a la obtención de líneas pesadas para producción de carne que presentan una clara correlación negativa entre aptitud reproductiva y peso corporal, lo que hace necesario desarrollar estrategias de manejo efectivas que permitan compatibilizar ambos objetivos en las reproductoras (Barbato, 1999). De la misma forma se han encontrado diferencias en la aptitud reproductiva entre genotipos para carne seleccionados para crecimiento o para características relacionadas con la aptitud reproductiva (Decuypere et al., 1999).

1.3.2.1. El mejoramiento genético y su relación con el reclutamiento folicular

La tasa de maduración folicular es considerada la base fisiológica de la producción de huevos. Las gallinas con tasas de maduración rápida tendrán siempre un folículo maduro durante el período abierto de LH. Estas aves pondrán un huevo por día sin la necesidad de una pausa

para reiniciar el proceso. Las gallinas livianas ponedoras de huevos comerciales, tienen secuencias de puesta largas con una tasa de maduración folicular rápida (menor a 24 horas). Por el contrario, en las reproductoras pesadas, la tasa de maduración es lenta (24 a 26 horas), produciendo una ovulación un poco más tardía en días sucesivos (Sesti, 2003).

La selección para eficiencia en la producción de carne da por resultado respuestas correlacionadas en otros caracteres. La correlación genética expresa la magnitud en la cual dos caracteres están asociados genéticamente, en tanto que el ambiente es una causa de asociación cuando los dos caracteres están influidos por las mismas condiciones ambientales. Ambos componentes de las correlaciones pueden diferir en la magnitud y también en el signo, de manera tal que la correlación fenotípica observable no permite conocer *a priori* la magnitud y signo de la correlación genética. La respuesta correlacionada en un carácter cuando la selección es realizada para otro, se puede predecir a través de una fórmula que demuestra que la correlación genética da cuenta del signo y de la magnitud de la respuesta correlacionada, y consecuentemente es un parámetro interesante cuando se evalúan los efectos colaterales de la selección. La teoría actual sobre el mejoramiento animal distingue dos causas de correlación genética entre caracteres: ligamiento y pleiotropía. Ligamiento es la situación en la cual diferentes loci que influyen sobre distintos caracteres están situados muy juntos en el mismo cromosoma y eso evitaría que los genes se segreguen en forma independiente en el momento de la meiosis, al menos en el corto plazo. La pleiotropía es la situación en la que un gen simple afecta dos o más caracteres distintos. Los caracteres productivos están compuestos por muchos procesos sincronizados subyacentes de cooperación metabólica, cada uno de los cuales está más o menos determinado genéticamente. Las reacciones bioquímicas y los mecanismos de control a través de los

cuales un gen y por lo tanto la selección genética actúan, es probable que influyan en más de un carácter. La real correlación genética entre dos caracteres es el efecto neto del ligamiento y la pleiotropía (Rauw et al., 1998).

Los objetivos primarios en producción de carne aviar son rápido crecimiento, superior eficiencia alimenticia y alto rendimiento en el procesamiento. Los animales sometidos a mejora en avicultura demuestran una respuesta continua a la selección por tasa de crecimiento con heredabilidades de aproximadamente 40-60 %. Sin embargo, la aplicación de métodos de genética cuantitativa y biométrica aplicados al mejoramiento avícola derivan en un incremento en la eficiencia de producción. Alrededor del 85-90 % de la ganancia de peso resulta de la selección genética para ese carácter (Havenstein et al., 1994). No obstante, la selección para rápida tasa de crecimiento da por resultado respuestas negativas correlacionadas para varios caracteres reproductivos (Barbato, 1999). Las reproductoras de líneas maternas del pollo parrillero seleccionadas para alto peso corporal producen un mayor número de huevos que las seleccionadas para bajo peso corporal, pero con una mayor incidencia de huevos defectuosos (17,1 % en las de alto peso y 2,4 % en las de bajo peso). Este incremento en el número de huevos defectuosos producidos se debe, en parte, a la pérdida de sincronía entre la ovulación y la posterior formación del huevo (Van Middelkoop & Siegel, 1976). Las líneas de alto peso corporal muestran un incremento de la incidencia de EODES (Síndrome de oviposición errática y huevo defectuoso), cuantificada por la relación entre el porcentaje de producción de huevos normales (PP) y el porcentaje de ovulación diaria (PO). La relación PP/PO es alta para la línea de bajo peso corporal (0,98) y baja para la de alto peso (0,84). El porcentaje de eclosión de huevos fértiles disminuye significativamente

alrededor de un 1,11 % por generación en reproductoras broilers se leccionadas durante 15 generaciones para alto peso corporal a las 12 semanas (Anthony et al., 1989).

La selección genética para obtener líneas de pollos magros y otras de máxima tasa de crecimiento dio por resultado un mayor porcentaje de postura en las primeras debido a que las pausas son más cortas. Se ha señalado que existe una notable diferencia en la proporción de folículos pequeños menores a 6,5 mm en las aves pertenecientes a las líneas magras, lo que indica que un mayor número de folículos en reposo ingresan en una fase de crecimiento lento. Hocking & Whitehead (1990) observan una mayor cantidad de folículos blancos y menor tasa de atresia folicular en las líneas magras y demuestran la relación entre estas variables con la longitud de la secuencia de postura y por lo tanto con la mayor persistencia, debido a que ambos aspectos tienen relación directa con el número de gallinas que se mantienen en postura. Los mismos autores señalan la relación existente entre la capacidad esteroidogénica de los folículos grandes y diferencias en la atresia folicular entre las dos líneas estudiadas.

Las diferencias en el potencial reproductivo entre hembras de líneas parentales de pollos parrilleros y gallinas ponedoras, se encuentran relacionadas en gran medida con tasas desiguales de reclutamiento de folículos a la jerarquía folicular. Se ha estudiado la sensibilidad del tejido tecal de folículos ováricos de gallinas ponedoras y de reproductoras para carne luego de la estimulación con gonadotrofina sérica de yegua preñada (PMSG), observándose diferencias en la producción de huevos y en la calidad de la cáscara, asociadas con un incremento de la sensibilidad a la PMSG en estadios críticos del reclutamiento a la jerarquía preovulatoria (Hocking & McCormack, 1995).

Se ha hipotetizado que la expresión de varios genes está asociada con efectos temporales muy significativos en la tasa de reclutamiento de folículos a la jerarquía. Esto tiene como consecuencia que las reproductoras híbridas para carne desarrollen múltiples ovulaciones, calidad de cáscara pobre y disminución en la producción de huevos. Para confirmar este supuesto se desarrollaron técnicas de PCR combinadas con QTL para folículos ováricos, identificando diez genes candidatos relacionados con el reclutamiento folicular. Los genes SLIT3, VDAC1 y PDGFRL han expuesto una clara acción en el reclutamiento de folículos hacia la jerarquía, lo que hace necesario ampliar las investigaciones con el objetivo de incluirlos en los programas de mejoramiento y selección, y de esta manera limitar las ovulaciones múltiples (McDerment et al., 2011). El impacto de la selección sobre los mecanismos de control del desarrollo folicular hace necesario incluir los estudios sobre las respuestas reproductivas correlacionadas al proceso de selección y cruzamiento en razas pesadas (Rauw et al., 1998).

1.3.2.2. Señales ambientales y reclutamiento folicular

Las señales ambientales proveen información sobre la temporada de reproducción. Estas disparan cambios neuroanatómicos, neuroendocrinos y fisiológicos preparando a los animales para la reproducción. Las señales son de diferente origen y poseen modos de acción e intensidad característicos cuando se las analiza por separado, aunque adquieren mayor complejidad cuando son analizadas en conjunto y en situaciones prácticas (Etches, 1996). En este grupo se incluyen la luz, alimentación, factores de confort (temperatura, humedad, etc.) y normas de manejo. La alimentación ejerce influencias sobre el desarrollo y normal funcionamiento del eje hipotálamo-hipófisis-gonadal. El efecto de la alimentación

inadecuada sobre la producción de hormonas se ve reflejado en alteraciones del desarrollo folicular, tanto durante las etapas previas a la madurez sexual como en el ave adulta, provocando disrupciones en el patrón normal de producción o secreción del factor de liberación hipotalámico (Akins & Burns, 2001).

La selección genética para crecimiento y desarrollo en líneas de pollos utilizadas para la producción de carne da por resultado un incremento en la tasa de crecimiento con consecuencias adversas en la eficiencia reproductiva, como menor cantidad de huevos producidos y menor fertilidad. Paradójicamente, la disminución en la capacidad de producción de huevos de las gallinas reproductoras pesadas resulta de un incremento del desarrollo folicular con aumento de la incidencia de ovulaciones múltiples. Las gallinas reproductoras pesadas alimentadas *ad libitum* tienen jerarquías compuestas por 12 a 14 folículos y ovulaciones de 2 a más folículos en un solo día, lo que lleva a un aumento de la incidencia de ovulaciones abdominales. La forma efectiva de controlar la hiperactivación del eje hipotálamo-hipófisis-gonadal es a través de la restricción alimenticia (Díaz & Anthony, 2013).

La baja eficiencia reproductiva de las gallinas reproductoras para carne lleva a que las prácticas de manejo actuales incluyan restricciones alimenticias a menudo imprecisas y muy severas para limitar el crecimiento corporal en un esfuerzo para mejorar la producción de huevos. Sin embargo, la eficiencia reproductiva permanece subóptima debido al excesivo reclutamiento folicular que a menudo lleva a ovulaciones internas o dobles. Cuando a las reproductoras pesadas se les permite acceso irrestricto al alimento ganan mayor peso que las gallinas restringidas. Este exceso de peso corporal se debe al incremento en la deposición de tejido adiposo visceral (acúmulo grasa abdominal, grasa mesentérica y grasa alrededor de los

órganos viscerales), acompañado de hipertrofia de los adipocitos con exceso de triglicéridos. Coincidentemente en el ovario de estas gallinas la jerarquía folicular normal se altera por selección y crecimiento de más de un folículo, lo que resulta en jerarquías múltiples, ovulaciones múltiples y ovulaciones internas. Esta es una de las principales razones de la baja eficiencia de las reproductoras para carne alimentadas *ad libitum* (Ramachandran, 2014).

La secreción de gonadotrofina se altera en las reproductoras para carne en respuesta al programa de alimentación. Las reproductoras para carne en etapa de recría alimentadas *ad libitum* exhiben la más alta sensibilidad a las hormonas ováricas y a la GnRH1 en términos de liberación de FSH previo a la madurez sexual, comparada con las pollas restringidas. Esto sugiere que el régimen de alimentación modifica la sensibilidad hipofisaria a la GnRH1 y a las hormonas gonadales (Bruggeman et al., 1998). Bruggeman et al. (1999), observan que pollas con alimentación restringida entre las 7 y 15 semanas registran en el momento de la puesta del primer huevo, mayores concentraciones plasmáticas de las hormonas FSH y LH, mayor peso de ovario y oviducto y porcentajes de huevos incubables superiores en relación a otros grupos de aves alimentadas *ad libitum*. Dichos autores estudian la existencia de un período determinado durante la cría y recría en el cual el logro de los objetivos de peso corporal pudiera tener una mayor influencia sobre la subsiguiente producción de huevos. Con ese objetivo se comunican ensayos subdividiendo el período de crianza en tres etapas, una cría de 2 a 6 semanas, una recría de 7 a 15 y una pre-reproducción de 16 hasta la madurez sexual, en las que se estudia el efecto de la alimentación *ad libitum* versus la restringida en forma alternada. Los autores reportan curvas de crecimiento considerablemente divergentes, sobre todo cuando la alimentación *ad libitum* fue practicada entre las 7 y 15 semanas, con pesos al final de este período que duplican al de las restringidas (Bruggeman et al., 1999). En

otro ensayo, Bruggeman et al. (2005), estudian la restricción alimenticia en distintos genotipos de aves reproductoras pesadas. Para ello comparan el comportamiento de una línea estándar de reproductoras pesadas y otra seleccionada para mejor viabilidad y capacidad reproductiva a expensas de crecimiento (aves enanas experimentales); alimentan las aves *ad libitum*, restringidas de acuerdo al estándar y con una restricción parcial utilizando una dieta diluida. Las reproductoras enanas exhiben una mejor tolerancia a la alimentación *ad libitum* respecto al genotipo estándar, y esto se traduce en una mayor tasa de postura (66,4 % y 47,2 % de postura para aves enanas y genotipo estándar respectivamente). Esto permite confirmar que existe un efecto de arrastre de la restricción alimenticia en un período crítico de la recría sobre el posterior resultado reproductivo, menos evidente en las estirpes de crecimiento lento, que manifiestan una mayor capacidad de tolerancia a la alimentación *ad libitum* con resultados reproductivos aceptables.

2. El planteo y la descripción del problema

El análisis de la función reproductiva en las aves requiere un estudio minucioso de todas las etapas de su vida, muy especialmente el período previo a la madurez sexual, ya que la mayor parte de los procesos fisiológicos que ocurren antes de que el ave esté sexualmente madura, marcan el tipo y calidad de su comportamiento reproductivo. Hacia el final de la recría, la cresta aumenta de volumen, se torna turgente y el ave puede perder algunas plumas primarias (muda prenupcial), los huesos púbicos se ensanchan para dar paso al huevo. Normalmente después de 6 a 11 días de iniciadas estas señales de pubertad perceptibles, se pone el primer huevo. El proceso de maduración sexual en la gallina está asociado a un incremento en los niveles plasmáticos de 17β -estradiol, variable utilizada en el laboratorio para monitorear el grado de maduración de las aves, método que, aunque confiable, es invasivo y poco práctico.

Los estrógenos producen cambios fácilmente perceptibles en los caracteres sexuales secundarios, lo que permite que sean utilizados con mayor facilidad para evaluar la madurez sexual. Debido a que el tamaño de la cresta se correlaciona positivamente con los niveles de estrógenos y con la edad al primer huevo, su medición se considerada útil para evaluar el grado de maduración sexual. El tamaño de la cresta comienza a incrementarse de 3 a 5 semanas antes de la puesta del primer huevo; algunos autores recomiendan medir su altura a nivel de la cuarta espiga (Joseph et al., 2003).

Otro método de utilidad es la evaluación directa de la morfología ovárica durante la fase final de la recría, la que puede ser utilizada para estimar la dinámica del desarrollo genital de un ave, en particular en ensayos experimentales, aunque su factibilidad se ve restringida cuando las poblaciones aviares tienen un tamaño efectivo relativamente bajo. Estas mediciones son útiles para evaluar el efecto de distintos tratamientos sobre las diferentes categorías de folículos ováricos. La determinación de la morfología ovárica mediante este método es limitada, ya que cuando se utiliza la disección como técnica de estudio, la producción total de huevos solo puede ser inferida (Renema et al., 1999).

El conocimiento de la variación que existe en el desarrollo ovárico es ventajoso para implementar nuevas estrategias de manejo que permitan optimizar la producción de huevos. Las técnicas de ultrasonografía son ampliamente utilizadas en bovinos, equinos y cerdos para evaluar su estado reproductivo, su adaptación a la gallina permitirá observar diferentes estadios de desarrollo ovárico en aves vivas, sometidas a distintos tratamientos alimentarios aplicados durante el período de maduración del aparato reproductivo. La constatación del número de folículos grandes amarillos y el estado de la jerarquía folicular pueden proveer información valiosa para evaluar cómo el potencial de producción de huevos es afectado por

el genotipo, las estrategias de manejo y la alimentación. Una ventaja adicional de esta tecnología es la posibilidad de realizar mediciones repetidas en la misma gallina y relacionar el estatus ovárico con la producción de huevos, empleando un método relativamente sencillo, muy seguro y de bajo costo para obtener datos de una muestra representativa del lote. La utilización de este método permite, además, determinar el valor de un individuo como reproductor al momento de la madurez sexual e identificar y descartar aquellas gallinas que se encuentran en regresión ovárica o presenten múltiples jerarquías a lo largo del ciclo. Este método de evaluación permite ser utilizado como una herramienta de selección de individuos en poblaciones amenazadas por el bajo tamaño efectivo, como son las estirpes maternas del pollo campero INTA, lo que amerita su incorporación en los protocolos de investigación de estos genotipos aviares (Melnychuk et al., 2002).

3. Justificación del estudio del problema planteado

En la presente tesis se evaluó el efecto que produce un incremento del 10 % de la cantidad de alimento sobre el programa de restricción habitual empleado para reproductoras Campero INTA durante las etapas de cría y recría, sobre el crecimiento, el desarrollo folicular y el rendimiento reproductivo en la población sintética E y el híbrido ES x A. En el diseño de los programas de alimentación, el momento de la aplicación y la magnitud de la restricción alimenticia necesitan ser flexibles de acuerdo a la velocidad de crecimiento de cada genotipo en particular. En general, las curvas de crecimiento cóncavas son más deseables que las convexas, si solo se tiene en cuenta los requerimientos de energía y proteína para mantenimiento. Sin embargo, es importante considerar el efecto que ejerce el programa de alimentación sobre la madurez sexual que debe ocurrir en condiciones óptimas a una edad determinada y la respuesta productiva posterior de las aves a lo largo de la etapa de la

reproducción (Leeson & Summers, 2009). Si bien, en general los investigadores parten de cantidades convencionales de alimento establecidas por las compañías genéticas, las cantidades de alimento extra reportadas en la bibliografía se encuentra entre el 1 y el 20 %, con lo cual, el pico de producción, la persistencia de postura y el número de pollitos por gallina alojada constituyen las respuestas zootécnicas puestas en consideración al evaluar el desempeño de estos porcentajes extras de alimento suministrado durante la recría (Heijmans et al., 2021). El 10 % de asignación de alimento sobre el estándar aconsejado por estudios previos (Pletsch et al., 2009), es un valor medio empleado en forma arbitraria, sujeto a comprobación experimental.

Estas poblaciones provienen del cruzamiento de aves de las razas Cornish colorada y Rhode Island colorada, que dieron lugar a la sintética E (50 % Cornish colorada y 50 % Rhode Island colorada). Esta población se mantiene cerrada, con bajo tamaño efectivo y se multiplica con apareamiento aleatorio y selección fenotípica (Dottavio, 2017). En las poblaciones de tamaño limitado existe una desigual contribución de los reproductores a la próxima generación y, desde un punto de vista cuantitativo, es muy posible que los individuos seleccionados como reproductores presenten algún grado de parentesco, lo que da por resultado un aumento de la consanguinidad (Leroy, 2014). La depresión endogámica es un fenómeno asociado a la consanguinidad que se expresa a través de la reducción del valor fenotípico medio mostrado por caracteres relacionados con la capacidad reproductiva o la eficiencia fisiológica (Falconer & Mackay, 1996), aunque se ha demostrado que la depresión endogámica puede afectar la mayor parte de los rasgos seleccionados, dada la existencia de fracciones de varianza no aditiva en estos caracteres. El híbrido simple (ES x A) se obtuvo mediante el cruzamiento entre las sintéticas maternas ES (87,5 % Cornish colorada y 12,5 %

Rhode Island colorada) como padre y A (75 % Cornish colorado y 25 % Rhode Island colorado) como madre, resultando en una población que posee 81,25 % de Cornish colorada y 18,75 % de Rhode Island colorada. Este cruzamiento simple entre dos sintéticas tuvo como objetivo revertir, mediante potenciales respuestas heteróticas, la depresión por endogamia esperable en las poblaciones cerradas (Romera et al., 2015). El cruzamiento se usa ampliamente en los programas de mejoramiento de aves de corral, porque aumenta en la progenie el número de loci heterocigotas dando como resultado heterosis para caracteres como el crecimiento y la producción de huevos (Amuzu-Aweh et al., 2015). Los programas de mejora genética utilizan diferentes métodos de cruzamiento tendientes a sacar provecho de las ventajas de la heterosis (vigor híbrido), es decir, la diferencia entre el valor fenotípico de la cruce y el promedio de los valores fenotípicos de los progenitores. La eficacia del cruzamiento para el mejoramiento genético de características cuantitativas como la producción de huevos ha sido reportada en la literatura (Soliman et al., 2020). La heterosis para caracteres relevantes en las gallinas reproductoras se ha estudiado ampliamente durante el último siglo, incluyendo en los estudios su efecto sobre el patrón de crecimiento y desarrollo corporal, como así también la producción y calidad del huevo. No obstante, se observa que la heterosis para algunos caracteres de crecimiento presenta poca correlación con la heterosis para caracteres relacionados con la producción y calidad de huevo, por lo que cada etapa tiene sus características propias que surgen de la combinación entre la raza, la etapa de vida y el carácter específico en estudio. Esto hace necesario realizar más estudios sobre la heterosis que abarquen toda la vida útil y sobre múltiples caracteres en las aves (Isa et al., 2020). La diferente composición genética teórica que poseen las poblaciones estudiadas en la presente tesis, hace posible hipotetizar que existen diferencias en el crecimiento y la

aptitud reproductiva, por lo que su inclusión en el estudio permite obtener conocimientos científicos que aportan a una mejor caracterización de estos genotipos.

En las gallinas reproductoras pesadas las prácticas de manejo incluyen la restricción alimenticia durante la recría y reproducción, con el objetivo de regular las ganancias de peso corporal, reducir la incidencia de obesidad y mejorar la producción de huevos fértiles. Esta práctica, si bien es una solución de manejo al problema de la ineficiencia reproductiva de las aves pesadas, constituye un desafío para el bienestar (Morrissey et al., 2014). De particular importancia es la asignación de alimento establecida en el programa durante la recría, cuya distribución a menudo es efectuada en días alternados lo que permite aumentar su cantidad en el día de alimentación, seguido de un día de ayuno, posibilitando un mejor acceso al alimento de todas las aves (Girard et al., 2017). El peso corporal y la composición corporal óptimos para cada genotipo se logran alcanzando un total de nutrientes acumulados mínimos para una edad determinada, hecho que impacta positivamente en la salud y en el desempeño del ave. Un programa de alimentación correcto debe tener consistencia de semana a semana en relación al peso corporal de la polla y debe contribuir a su posicionamiento apropiado a las 15 semanas de edad. Esto significa proveer la cantidad adecuada de alimento semanal y obtener pesos corporales suficientemente bajos para lograr aumentos de consumo y peso previsibles al inicio del período de postura, sin temor a que ocurran ganancias excesivas de peso (Robinson & Renema, 2003a). Para lograr un rendimiento reproductivo óptimo las estirpes de reproductoras de pollos para carne de crecimiento lento, requieren menores niveles de restricción alimenticia que los reproductores de pollo de engorde convencionales (Arrazola & Torrey, 2021). Esto implica que las cantidades semanales de alimento suministrado y el total de nutrientes acumulados mínimos deben favorecer la obtención de

lotes con mejores índices de uniformidad y adecuada conformación corporal al inicio de la etapa de la reproducción. Los programas de restricción alimenticia utilizados para prevenir el sobrepeso en los reproductores para carne en ocasiones son muy severos, lo que lleva a que los animales sufran un estado de hambre crónico, uno de los principales problemas de bienestar animal, de difícil solución con el empleo de una sola estrategia de abordaje (Lindholm et al., 2017). En reproductores híbridos comerciales para carne es necesario un consumo mínimo de 22.000 kcal de energía metabolizable y 1.200 g de proteína bruta por hembra reproductora pesada para lograr una buena productividad (Brake, 2000). Sin embargo, el total de nutrientes acumulados en reproductores pesados de crecimiento lento, aún no ha sido establecido en forma precisa. En la presente tesis se hipotetizó que un aumento del 10 % en la asignación de alimento durante la recría, lleva a un crecimiento más adecuado a las particularidades del genotipo E y del híbrido ES x A de reproductoras camperas pertenecientes al genofondo del INTA y mejoras en el rendimiento reproductivo de ambas poblaciones.

OBJETIVOS

Objetivo general

Evaluar el efecto de la asignación diferencial de nutrientes en las etapas de cría y recría sobre la jerarquía folicular al momento de la madurez sexual y su evolución a lo largo de la etapa de postura, el patrón dinámico de aumento de peso corporal, la condición corporal, la morfometría, los caracteres sexuales externos, el patrón dinámico de aumento de peso del huevo y las curvas de postura, en dos genotipos de aves reproductoras camperas.

Objetivos particulares

- ✓ Evaluar, con un criterio estático, el efecto de la asignación diferencial de nutrientes en las etapas de cría y recría sobre el peso corporal, el índice de cresta, el ancho de la cloaca, el ancho de cadera y la longitud abdominal a la madurez sexual en dos genotipos de aves reproductoras camperas.
- ✓ Evaluar, con un criterio dinámico, el efecto de la asignación diferencial de nutrientes en las etapas de cría y recría sobre el patrón de aumento de peso corporal, el patrón de aumento de peso del huevo y las curvas de postura de dos genotipos de aves reproductoras camperas.
- ✓ Evaluar el efecto de la asignación de nutrientes sobre la evolución de la jerarquía folicular en dos genotipos de reproductoras camperas bajo dos programas de asignación de nutrientes en cría y recría.
- ✓ Estimar los efectos de la interacción simple entre los factores principales sobre la evolución de la jerarquía folicular en dos genotipos de reproductoras camperas bajo dos programas de asignación de nutrientes en cría y recría.
- ✓ Caracterizar por ultrasonografía la jerarquía folicular a la madurez sexual, su evolución durante el ciclo reproductivo y las posibles diferencias asociadas al grupo

genético y al modelo de alimentación, en dos genotipos de reproductoras camperas bajo dos programas de asignación de nutrientes en cría y recría.

- ✓ Estimar los efectos de la interacción simple entre los factores principales sobre los indicadores de la madurez sexual en dos genotipos de reproductoras camperas bajo dos programas de asignación de nutrientes en cría y recría.
- ✓ Estimar los efectos de la interacción simple entre los factores principales sobre la condición corporal, el índice de cresta, el ancho de la cloaca, el ancho de cadera y la longitud abdominal a la madurez sexual y sobre los estimadores de los parámetros con valor biológico de los modelos utilizados para el ajuste de los datos peso corporal-edad, peso del huevo-edad y porcentaje de postura-edad en dos genotipos de reproductoras camperas bajo dos programas de asignación de nutrientes en cría y recría.
- ✓ Estimar el grado de asociación múltiple entre las variables respuesta en dos genotipos de reproductoras camperas bajo dos programas de asignación de nutrientes en cría y recría.
- ✓ Evaluar el efecto de la asignación diferencial de nutrientes en las etapas de cría y recría sobre la condición corporal de dos genotipos de aves reproductoras camperas.

MATERIAL Y MÉTODOS

Aves

Se trabajó con 400 reproductoras camperas pertenecientes a dos genotipos (200 hembras de cada uno): (a) población sintética E (50% Cornish Colorada; 50% Rhode Island Colorada) y (b) híbrido simple derivado del cruzamiento entre gallos de la población sintética ES y gallinas de la población sintética A (81,25% Cornish Colorada; 18,75% Rhode Island Colorada).

Manejo general

Todas las aves se produjeron en la Estación Experimental Agropecuaria “Walter Kugler” del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), ubicada en la localidad bonaerense de Pergamino. Al nacimiento se vacunaron contra la enfermedad de Marek y se trasladaron al Centro de Multiplicación de Aves de la Estación Experimental Agropecuaria Corrientes del INTA, ubicada en la Ruta Nacional N° 12, km 1008, El Sombrero (Corrientes), Argentina, a 27° 40' 5” latitud Sur, 58° 45' 48” longitud Oeste y 64 metros sobre el nivel del mar, donde se llevaron a cabo las distintas etapas del ciclo de los reproductores. En el ensayo la cría y recría se realizó entre el 1 de noviembre de 2018 y el 4 de marzo de 2019, mientras que la reproducción transcurrió desde esta última fecha hasta el 1 de diciembre de 2019.

A su llegada al establecimiento las aves se alojaron en dos boxes en los que se llevó a cabo la fase de cría. Estos compartimentos poseen una superficie de 12m² (4 m de fondo x 3 m de frente). Se utilizó una densidad de alojamiento de 12,5 aves por m². Con la finalidad de mejorar la uniformidad, al inicio del ciclo las pollitas de cada cruzamiento se dividieron por peso, en dos subgrupos: aquellas con valores superiores al promedio general, conformaron el grupo de aves pesadas, en tanto las que se encontraron por debajo

constituyeron el grupo de aves livianas. Cada subgrupo contó con 100 aves y fueron separados por un tabique de 65 cm de altura.

A partir de la quinta semana y durante toda la recría, las aves pertenecientes a cada población fueron divididas en cuatro grupos de 50 aves (Unidades Experimentales) alojados en boxes de 3,50 m x 4,60 m con una densidad de 3 aves/m² hasta el final de dicha fase.

Manejo durante la etapa de la cría y recría

Manejo de los implementos:

Para que el ave lo ubique con facilidad, el primer alimento se distribuyó sobre un papel que cubrió la cama, de tal manera que el área de alimentación ocupó el 25 % de la superficie de crianza. Se organizó la distribución del equipo de tal manera que las pollitas se puedan ubicar directamente sobre el papel para que el alimento esté disponible de inmediato.

Luego de unas horas se instalaron los comederos tipo ojal asignando 3 cm/ave los primeros días y a los 14 días los comederos tolva a razón de 5 cm/ave hasta el final de la cría. Durante la recría y hasta el traslado al galpón de reproducción el espacio de comedero fue de 12 cm/ave.

Durante la primera semana de vida se utilizó un bebedero de plato con recipiente invertido por cada 100 pollitas. De manera progresiva, se reemplaron estos bebederos por equipos automáticos tipo campana (un bebedero cada 100 aves).

Dietas empleadas en las distintas etapas:

Se aplicaron distintas dietas en los diferentes períodos, que abarcan la cría y la recría, como así también, la etapa de la reproducción. Las distintas dietas se ofrecieron en forma secuencial, suministrando alimento iniciador desde el nacimiento hasta las 7 semanas y alimento de recría desde la semana 8 a la 22. En las semanas 23 y 24 se dió un alimento de pre-reproducción. Finalmente se suministró la dieta de reproducción desde las 25 semanas hasta el final del ciclo (Tabla 1).

Tabla 1: Tipo y composición de las raciones según periodo del ciclo

Composición	Tipo de alimento			
	Iniciador	Recría	Pre-reproducción	Reproducción
Energía Metabolizable (kcal/kg)	2.950	2.750	2.800	2.850
Ca (%)	0,95	0,9	2	3,5
P (%)	0,45	0,4	0,5	0,5
Proteína (%)	20	17,5	18	17
Grasa (%)	3,2	3	3	3,5
Fibra (%)	3,5	3,3	3,3	3
Ácido linoleico (%)	1,3	1,3	1,7	1,7
Lisina (%)	1	0,85	0,9	0,8
Metionina (%)	0,5	0,45	0,4	0,4
Metionina + Cistina (%)	0,8	0,75	0,7	0,7
Treonina (%)	0,8	0,7	0,7	0,65

Programa de iluminación

En función de la fecha de nacimiento del lote, se utilizó el programa de luz aumento-reducción en el período comprendido entre el inicio del ciclo y las 9 semanas, para luego continuar con el fotoperiodo natural decreciente hasta las 20 semanas (fotosensibilización); posteriormente se aumentaron las horas luz hasta alcanzar las 16 h (fotoestimulación).

Manejo sanitario

En el programa sanitario se incluyeron vacunas contra enfermedad de Marek, enfermedad de Newcastle, Bronquitis Infecciosa aviar y enfermedad de Gumboro, Laringotraqueitis infecciosa aviar, Encefalomiелitis infecciosa aviar, Cólera aviar, Coriza infecciosa, Síndrome de Caída de Postura.

Otras medidas

Al momento de la llegada de los pollos, algunos bebés fueron remitidos para estudios microbiológicos. Se realizaron análisis químico proximales de las raciones utilizadas y análisis de agua.

Manejo durante la etapa de la reproducción

A las 22 semanas de edad se procedió a alojar las reproductoras en cuatro boxes de iguales características por cada una de los grupos experimentales. Cada box ofició como una repetición simple de la variable independiente (programa de asignación de nutrientes durante la recría), para aquellas variables de evaluación grupal.

Modalidad de asignación de nutrientes

Las dos modalidades de asignación de nutrientes aplicadas entre las 5 y 22 semanas de edad, consistieron en: (a) grupo Estándar - el alimento se suministró de acuerdo a un protocolo elaborado sobre la base de trabajos previos efectuados en reproductoras Campero INTA en clima subtropical (Terraes et al., 2010) y (b) grupo Estándar+10 - recibió un programa de alimentación alternativo consistente en un incremento del 10% de la asignación diaria de alimento con respecto al grupo control (Tabla 2).

Tabla 2: Programa de alimentación Estándar y Estándar+10 para genotipos maternos del pollo Campero INTA

	Programa control	Programa control + 10%
Semana 1	13	13
Semana 2	19	19
Semana 3	32	32
Semana 4	37	37
Semana 5	40	44
Semana 6	42	46
Semana 7	44	48
Semana 8	47	52
Semana 9	49	54
Semana 10	51	56
Semana 11	53	58
Semana 12	56	62
Semana 13	59	65
Semana 14	65	72
Semana 15	69	76
Semana 16	74	81
Semana 17	79	87
Semana 18	85	94
Semana 19	92	101
Semana 20	102	112
Semana 21	110	121
Semana 22	117	129

En el grupo Estándar la oferta fue de 9.345 g de alimento/ave entre la semana 0 y 22, con un total de 25.967 kcal de EM y 1.512 g de proteína bruta acumulada al final de la semana 22. El grupo Estándar+10 recibió un programa de alimentación alternativo consistente en un incremento del 10 % de la asignación diaria de alimento entre la semana 0 a la 22 (Tabla 2), alcanzando una oferta de 10.213 g de alimento/ave, con 28.373 kcal de EM y 1.650 g de proteína bruta acumulada a la semana 22.

Enunciado del sistema de variables

Se registraron las siguientes variables respuesta:

(a) en forma individual en 20 hembras de cada box elegidas al azar al inicio del ensayo e ideantficadas mediante anillado.

- Peso corporal (PC, en g): con balanza electrónica digital con peso máximo de 9 kg y diferencia de 0,1 g, a intervalos semanales entre el nacimiento y la finalización del primer ciclo de postura, en horas de la mañana y con los animales en ayuno.

- Condición corporal (CC) (Gregory y Robins, 1998): Se determinó a las 22 semanas de edad mediante la aplicación de una escala discreta con cuatro categorías y valores de 0 a 3.

- Número y diámetro de folículos grandes amarillos mediante escaneo ultrasonográfico con transductor endocavitario en modo B en las semanas 24, 26 y 30.

- Índice de cresta (IC, en mm^2) (Joseph et al., 2003): producto de la altura de cresta (C, desde su base hasta la punta de la cuarta espiga) por su longitud (L, desde el extremo anterior hasta el posterior), ambos registrados con calibre en registros semanales desde la semana 17 a la semana 25.

- Ancho de cloaca (ACl, en mm): la distancia transversal existente entre ambos extremos laterales de la cloaca con el ave en decúbito dorsal desde la semana 17 a la semana 25.

- Ancho de la cadera (ACa, en mm): la distancia transversal existente entre ambos isquiones con el ave en decúbito dorsal desde la semana 17 a la semana 25.

- Longitud abdominal (LAb, en mm): la distancia longitudinal existente entre la apófisis esternal caudal y una línea imaginaria que une ambos extremos de los huesos coxales con el ave en decúbito dorsal desde la semana 17 a la semana 25.

(b) en cada box

- Edad a la madurez sexual (MS, en días): por observación directa tomando como criterio la puesta del primer huevo en cada box.
- Peso a la madurez sexual (g): peso promedio de las aves del box al momento de la puesta del primer huevo.
- Número de huevos recolectados (PH) por semana entre la madurez sexual y la finalización del primer ciclo de postura.
- Peso promedio de los huevos (PnH) recolectados por semana entre la madurez sexual y la finalización del primer ciclo de postura.

Análisis estadístico

Los efectos de los factores principales (genotipo y modalidad de asignación de nutrientes) y de la correspondiente interacción simple entre ambos factores sobre los caracteres registrados para cada ave en forma individual y en la unidad experimental (box) se evaluaron con un análisis de la variancia correspondiente a un experimento factorial 2x2 (dos genotipos y dos planos nutricionales) considerando límite un nivel de significancia de 5 % (Poole, 1974; Steel & Torrie, 1988).

Los datos longitudinales peso corporal-edad cronológica registrados entre el nacimiento y la finalización del primer ciclo de postura se ajustaron con el modelo sigmoideo de Gompertz (Fitzhugh, 1976). Los datos longitudinales del peso del huevo-edad cronológica se ajustaron con el modelo de Weatherup & Foster (1980).

El porcentaje de postura se calculó a intervalos semanales como: $\{[(\text{número total de huevos puestos en la semana} / (\text{número de aves en el lote} \times 7))] \times 100\}$ y se ajustó según dos

criterios: en forma bietápica (pre-pico y post-pico de postura) y para el período global con una generalización de la función logística (Nelder, 1961, 1962). La fase ascendente de la curva de postura se ajustó mediante el modelo de Gompertz. La segunda fase, por el contrario, mostró un comportamiento lineal decreciente que no se apartó significativamente de la linealidad (test de rachas o ciclos – $P > 0,05$), por lo cual se aplicó para esta etapa un análisis de regresión lineal.

CAPÍTULO 1

CRECIMIENTO

Introducción

En las aves domésticas seleccionadas para la producción de carne, la tasa de incremento del peso corporal es considerada fundamental, debido a que la obtención del producto destinado a la venta depende en forma directa del crecimiento de tejidos en períodos de tiempo relativamente breves (Librera et al., 2003). Es por ello que el crecimiento, no solo ha sido uno de los primeros criterios de selección empleados en producción de aves para carne, sino también uno de los más utilizados junto a la conversión alimenticia (Zerehdaran, 2005). La evolución del aumento de peso vivo a lo largo de la vida de un animal es un fenómeno complejo que depende en gran medida de su patrimonio genético, aunque está fuertemente influenciado por factores no genéticos entre los que se destacan la alimentación, el estado de salud, el manejo y el entorno, que tienen mayor impacto en las etapas iniciales del crecimiento, aunque su efecto se mantiene en el tiempo y genera un efecto variable con la edad y el desarrollo del animal (Patricio Carmona, 2015).

La selección genética para producción de carne dio como resultado un incremento en el peso corporal en varios puntos de la curva de crecimiento de los reproductores (Barbato, 1999). Este hecho también afectó el patrón de crecimiento de distintos tejidos corporales, entre ellos, el del aparato reproductor modificando su funcionamiento, como así también, la madurez sexual y la eficiencia reproductiva (Siegel & Dunnington, 1997). En reproductores para carne la disminución de la eficiencia reproductiva en el stock parental ha sido asociada con el incremento de la performance productiva de la progenie (Carney et al., 2022).

El mejoramiento genético para crecimiento y desarrollo en líneas de pollos utilizadas para la producción de carne resulta en un incremento en la tasa de crecimiento con consecuencias adversas en la eficiencia reproductiva, incluyendo menor cantidad de huevos

producidos y menor fertilidad (Díaz & Anthony, 2013). Esto lleva a la necesidad de aplicar adecuadas estrategias de manejo para mejorar la aptitud reproductiva en las aves de razas pesadas (Lwelamira, 2012). La correlación negativa entre el peso corporal de los reproductores pesados y los aspectos reproductivos, es consecuencia de múltiples efectos que se producen en forma individual o simultáneamente. Entre estos sucesos es posible mencionar a las disrupciones en los mecanismos neuroendocrinos normales que regulan la función reproductiva en las aves, las derivaciones de nutrientes para el mantenimiento de grandes masas musculares como la pechuga, las alteraciones posturales que dificultan la cópula, los procesos de acumulación grasa y las disfunciones oviductales (Robinson et al., 2003).

Uno de los objetivos más relevantes en el manejo de las reproductoras pesadas es controlar el peso corporal, lo que permite alcanzar la máxima eficiencia en términos de aptitud reproductiva (Zuidhof et al., 2015). El desarrollo de líneas especializadas de machos y hembras, como también la introducción de su alimentación controlada, son herramientas efectivas para compensar la correlación negativa entre la tasa de crecimiento juvenil y los caracteres reproductivos. Si bien existen diferentes estrategias orientadas a modular la ganancia de peso, las modificaciones cualitativas de las dietas, como el desbalance de algunos ácidos grasos o aminoácidos que reducen el consumo de alimento, aunque permiten el control de la ganancia de peso, pueden ocasionar disminuciones en la uniformidad de los lotes, lo que hace que su empleo no se haya generalizado en la práctica (Leeson & Summers, 2009). En términos prácticos, no existen alternativas viables a la restricción cuantitativa a lo largo de toda la vida del lote de reproductores pesados (Richards, 2003). Si se les permite comer sin límites las aves alcanzarán un peso incompatible con la producción de huevos incubables,

dada la correlación negativa entre peso corporal y los aspectos reproductivos (Barbato, 1999; Chambers, 1990; Kerr et al., 2001). En reproductores pesados de crecimiento lento, los programas de alimentación utilizan la misma composición de alimento que en reproductores híbridos de rápido crecimiento, aunque los niveles de restricción necesitan ser estudiados para cada genotipo en particular (Heck et al., 2004).

Más allá de los factores genéticos y no genéticos que influyen sobre la evolución del crecimiento a lo largo de la vida de los animales, el proceso se ha estudiado teniendo en cuenta la relación edad-peso. Los estudios han hecho uso de los modelos de crecimiento evaluados según su bondad de ajuste, la interpretación biológica de los parámetros, la dificultad de aplicación informática y la evaluación de los parámetros ambientales sobre la curva de crecimiento (Aggrey, 2002). Un modelo apropiado de crecimiento debe suministrar información sobre parámetros que puedan ser interpretados biológicamente; además, si se hace un buen uso del modelo se pueden obtener características que son de importancia en relación con el crecimiento animal (Agudelo Gómez et al., 2007).

El criterio más importante utilizado para evaluar los programas de alimentación es, en principio, su efecto sobre el peso corporal y, asociados a esto, aquellos relacionados con la reproducción, tales como la producción y tamaño de huevo en la gallina adulta, motivo por el cual en este capítulo se trata el crecimiento expresado por la evolución del peso corporal a lo largo del ciclo de las reproductoras camperas.

Material y métodos

Se registró el peso corporal (PC, en g) de las hembras en cada grupo experimental, identificadas mediante el empleo de anillos numerados colocados en el tarso, los cuales

fueron reemplazados periódicamente acompañando el crecimiento de las aves y por lo tanto el aumento del perímetro de dicha base ósea. Los pesajes se realizaron una vez por semana, entre la semana 5 y la finalización del período de postura (5 y 58 semanas), en horas de la mañana y con los animales en ayuno.

Análisis estadístico

Análisis de la Varianza

Se aplicó análisis de la varianza (ANOVA) para un experimento factorial 2 x 2, evaluando las diferencias entre tratamientos de la variable dependiente PC, considerando límite un nivel de significancia del 5 % (Poole, 1974; Steel & Torrie, 1988). Este análisis se aplicó en edades de importancia biológica y productiva, que incluyen el inicio y final del programa de alimentación, la edad a la madurez sexual, pico de producción, meseta de producción y el final del ciclo.

Estudio longitudinal

El ajuste de los datos longitudinales de PC en función de la edad, por regresión no lineal, se realizó mediante el modelo sigmodeo de Gompertz (Fitzhugh, 1976), evaluando el efecto del grupo genético sobre el modelo general y sobre los estimadores de cada uno de los dos parámetros con significado biológico (A: asíntota y k: tasa de maduración).

Comportamiento dinámico del peso corporal en función de la edad cronológica

Los datos longitudinales peso corporal promedio en función de la edad cronológica se ajustaron con el modelo sigmoideo de Gompertz (Fitzhugh, 1976).

$$W(t) = A \exp(-b \exp(-k t))$$

donde:

$W(t)$ = peso corporal (g) en el tiempo t

A = peso corporal asintótico (peso corporal promedio cuando t tiende a infinito)

b = parámetro de posición, constante de integración sin significado biológico, que ajusta para aquellos casos en que t es distinto de cero

k = tasa de maduración (velocidad de aproximación al valor A)

t = tiempo en semanas

En todos los casos los ajustes se llevaron a cabo por regresión no lineal utilizando una técnica iterativa basada en el algoritmo de Marquardt (1963).

La bondad de los respectivos ajustes se evaluó utilizando los siguientes cuatro criterios: (a) convergencia de las iteraciones en una solución, (b) valor del coeficiente de determinación no lineal ajustado (R^2), (c) aleatoriedad en la distribución de los residuales estudiada con un test de ciclos o rachas (Sheskin, 2011) y (d) normalidad de la distribución de los residuales (prueba de Shapiro-Wilk) (Steel & Torrie, 1988).

A los efectos del análisis, los estimadores de los parámetros de la función de Gompertz con significado biológico (peso corporal asintótico y tasa de maduración para peso corporal) correspondientes a cada ave se consideraron como nuevas variables aleatorias.

El efecto del grupo genético, de la modalidad de asignación de alimento y de la respectiva interacción simple entre ambos factores principales se evaluó con un análisis de la variancia correspondiente a un experimento factorial 2 x 2.

Resultados

Peso corporal

Análisis transversal del peso corporal en edades de importancia productiva

Se demostró una interacción estadísticamente significativa entre el genotipo y el programa de alimentación para el peso corporal a las 22 semanas. Dicha interacción se explica por la magnitud de la diferencia en el peso corporal de ambos genotipos en función del programa de alimentación aplicado. Es así que, en las aves del genotipo ES x A la diferencia a favor del programa Estándar+10 fue de 25 gramos, en tanto que, en las aves pertenecientes al genotipo E la diferencia fue de 215 gramos, ambas estadísticamente significativas (Tabla N° 3). El peso corporal a las 5 semanas mostró una diferencia significativa entre ambos genotipos a favor de las aves de la población ES x A. Esta diferencia entre genotipos se mantuvo en las distintas edades hasta alcanzar el pico de producción, a partir del cual los pesos corporales de ambas poblaciones se igualaron. Se demostraron diferencias significativas entre los programas de alimentación aplicados durante las etapas de cría y recría, diferencias que se mantuvieron hasta finalizar el ciclo de producción a favor de las aves a las que se les suministró el programa de alimentación Estándar+10. Se debe resaltar el efecto de la alimentación sobre el peso corporal a las 22 semanas de vida de las reproductoras, es decir, al finalizar la aplicación de ambos programas de alimentación con diferencias que fueron significativas a favor del grupo Estándar+10 en ambas poblaciones (Tabla N° 4).

Tabla N° 3: Peso corporal en edades de importancia productiva de dos genotipos de gallinas reproductoras camperas bajo dos modalidades de asignación de nutrientes en las etapas de cría y recría

Edad	Híbrido ES x A		Sintéticas E	
	Estándar	Estándar+10	Estándar	Estándar+10
5 semanas	502,8 ± 7,1	506 ± 6,94	467,42 ± 5,77	488,23 ± 7,51
22 semanas	2.288 ± 22,5	2.313 ± 23,3	2.133 ± 17,4	2.348 ± 27,8
24 semanas	2.281 ± 23,1	2.430 ± 26,7	2.285 ± 20,1	2.481 ± 30,4
50% postura	2.801 ± 25,5	2.836 ± 32,6	2.625 ± 27,0	2.663 ± 33,1
Pico producción	2.817 ± 28,7	2.869 ± 33,8	2.735 ± 29,6	2.808 ± 35,8
Meseta	2.903 ± 29,8	2.986 ± 49,6	2.875 ± 35,4	2.979 ± 42,7
Final producción	3.013 ± 29,4	3.115 ± 41,3	3.005 ± 41,4	3.154 ± 54,5

Todos los valores corresponden a la media aritmética ± error estándar

Tabla N° 4: Significado de los efectos del Análisis de la variancia correspondiente a un diseño completamente aleatorizado con un experimento factorial 2 x 2 de dos genotipos de gallinas reproductoras camperas bajo dos modalidades de asignación de nutrientes en las etapas de cría y recría

Edad	Grupo Genético	Programa de alimentación	Interacción grupo genético y programa de alimentación
5 semanas	F=14,94 p<0,0001	F=3,04 p<0,0827	F=1,64 p=0,2011
22 semanas	F=6,78 p=0,0098	F=27,1 p< 0,0001	F=17,0 p<0,0001
24 semanas	F=1,17 p=0,2806	F=46,02 p< 0,0001	F=0,85 p=0,3563
50% postura	F=34,27 p<0,0001	F=1,47 p=0,2267	F=0,002 p=0,9664
Pico producción	F=4,95 p<0,0271	F=3,75 p<0,0542	F=0,11 p=0,7427
Meseta	F=0,19 p=0,6618	F=5,57 p<0,0192	F=0,07 p=0,7929
Final producción	F=0,13 p=0,7236	F=8,86 p<0,0034	F=0,30 p=0,5829

Análisis longitudinal del crecimiento dimensional. Comportamiento del peso corporal en función de la edad cronológica

En todos los casos, los ajustes llevados a cabo por regresión no lineal fueron satisfactorios en términos de los criterios de bondad establecidos.

En la Tabla N° 5 se presentan los valores de los estimadores de los parámetros con significado biológico de la función de Gompertz aplicada al ajuste de los datos de peso corporal versus edad cronológica, según el grupo genético y el programa de alimentación.

No se observó un efecto significativo de la interacción grupo genético por tratamiento sobre el valor promedio del peso corporal asintótico y tasa de maduración. No se observaron diferencias significativas entre genotipos para peso corporal asintótico y tasa de maduración. Ambos parámetros presentaron diferencias significativas en función de los programas de alimentación, con un mayor peso asintótico para las aves del tratamiento Estándar+10, hecho que también se constató para la tasa de maduración, es decir, una mayor velocidad para alcanzar el tamaño asintótico (como se observa en la Tabla N° 6 y la Figura N°1).

Tabla N° 5: Estimadores de los parámetros de la función de Gompertz aplicada al ajuste de los datos peso corporal versus edad cronológica en dos genotipos de gallinas reproductoras camperas bajo dos modalidades de asignación de nutrientes en las etapas de cría y recría

	Híbrido ES x A		Sintética E	
	Estándar	Estándar+10	Estándar	Estándar+10
Peso asintótico (A - g)	3.069 ± 38,7	3.171 ± 47,8	2.981 ± 36,1	3.136 ± 53,6
Tasa de maduración (k - g⁻¹)	0,1074 ± 0,001767	0,1112 ± 0,001800	0,1080 ± 0,001644	0,1134 ± 0,002835

Todos los valores corresponden a la media aritmética ± error estándar

Tamaño muestral: n = 42 aves por subgrupo genotipo x tratamiento

A - g: peso asintótico. K - g⁻¹: tasa de maduración

Tabla N° 6: Significado de los efectos grupo genético, programa de alimentación y la interacción de dos genotipos de gallinas reproductoras camperas bajo dos modalidades de asignación de nutrientes en las etapas de cría y recría

	Peso asintótico	Tasa de maduración
Efecto grupo genético	F = 1,89; p = 0,1706	F = 0,46; p < 0,4993
Efecto programa alimentación	F = 8,27; p = 0,0046	F = 4,95; p < 0,0275
Efecto Interacción	F = 0,35; p = 0,5540	F = 0,15; p = 0,6993

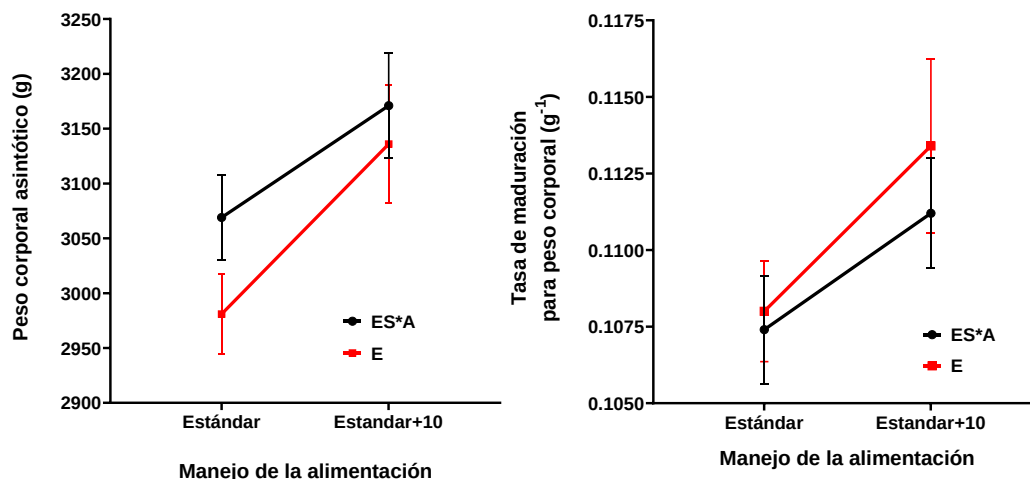


Figura N° 1: Efecto del genotipo y el programa de alimentación sobre los estimadores de los parámetros de la función de Gompertz para el peso corporal asintótico y la tasa de maduración para peso corporal en reproductoras camperas.

Las relaciones entre los valores promedio de los estimadores de ambos parámetros con significado biológico en los diferentes subgrupos se esquematizan en la Figura N° 2.

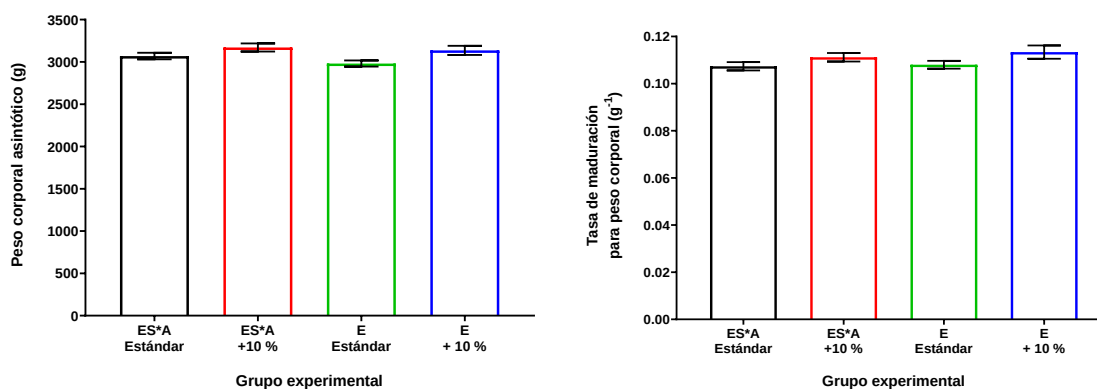


Figura N° 2: Valores promedio de los estimadores de ambos parámetros con significado biológico en los diferentes subgrupos de aves reproductoras camperas bajo dos modalidades de asignación de nutrientes en las etapas de cría y recría.

La Figura N° 3 muestra las trayectorias de los valores teóricos del peso corporal obtenidos a partir de la función de Gompertz, en relación con la edad cronológica en los cuatro grupos experimentales. Como se puede observar en las aves de ambos genotipos bajo

el programa de alimentación Estándar+10, el incremento de la asignación de nutrientes en las etapas de cría y recria produjo un aumento del peso corporal con respecto al grupo Estándar, lo que resulta en un mayor peso asintótico y tasa de maduración.

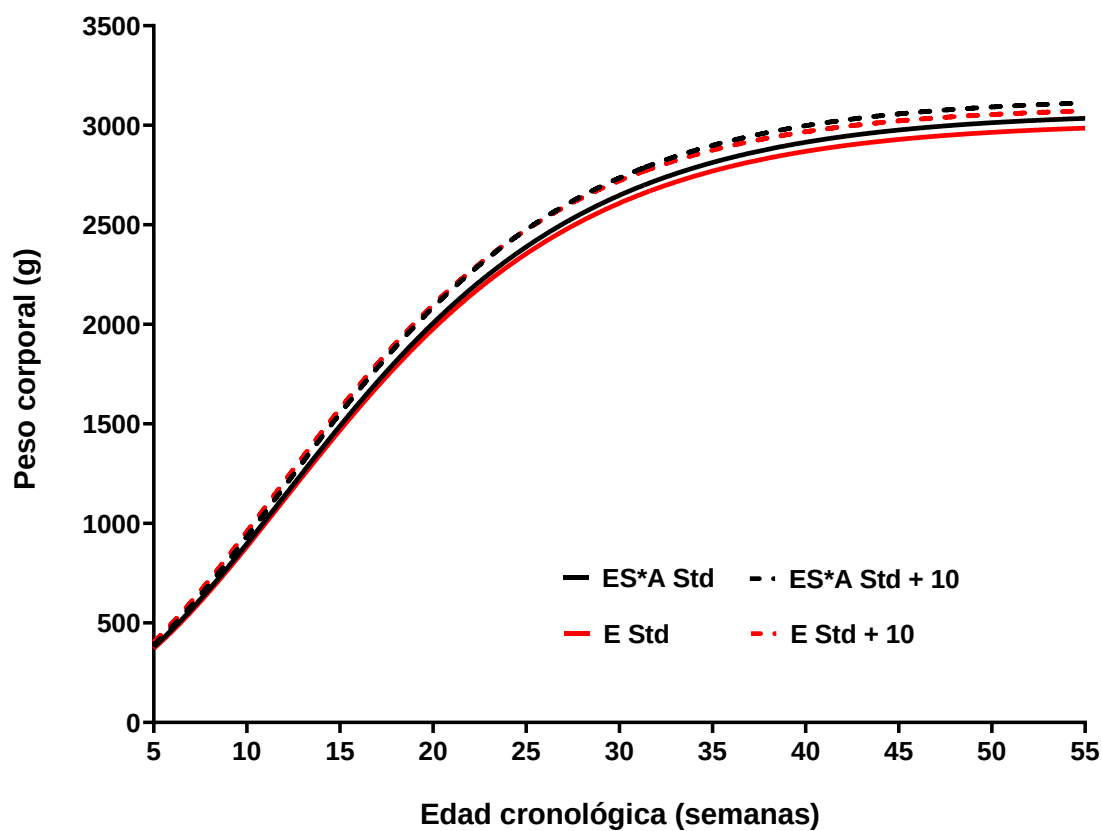


Figura N° 3: Curvas de crecimiento teóricas de dos grupos genéticos de reproductoras camperas bajo dos regímenes de asignación de nutrientes durante las etapas de cría y recria

Discusión

El peso corporal durante las etapas de cría y recría es la variable más relevante en la determinación del resultado reproductivo en los reproductores pesados y se encuentra fuertemente influido por el patrimonio genético de la población y el total de energía y proteína bruta consumidas en esas etapas, esto hace necesario precisar la asignación de estos principios nutritivos con la finalidad de dar cuenta de los requerimientos propios de cada genotipo (Heck et al., 2004). En el presente estudio, el peso corporal registró diferencias según genotipo hasta alcanzar el pico de producción, en tanto que, desde el inicio de la meseta de postura, las reproductoras de ambos genotipos presentaron pesos corporales iguales. Esto permite confirmar que las diferencias en las composiciones genéticas teóricas entre estas poblaciones, se reflejan en una evolución de peso corporal con distinta trayectoria hasta alcanzar la edad adulta, lo que implica velocidades de crecimiento propias de cada población, aunque con pesos corporales adultos similares. Por otra parte, los programas de alimentación produjeron diferencias en ambos genotipos en el peso corporal a lo largo de todo el ciclo de producción a favor de las aves con mayor asignación de alimento, con excepción del periodo de ascenso de la curva de producción, es decir al 50 % de postura. Es así que, al final del tratamiento (22 semanas), el programa de alimentación produjo un aumento de 25 g de peso corporal a favor de las aves del grupo Estándar+10 en el genotipo ES x A, incremento que representa el 1,09 % en relación con el grupo Estándar, mientras que en el genotipo E el incremento en el peso corporal a esa edad fue de 215 g para las aves del grupo Estándar+10, lo que constituye un aumento del 10,07 %. Los resultados corroboran la existencia de diferentes requerimientos en energía y proteína entre ambas poblaciones durante la etapa de la recría. Esto se confirmó por lo observado en la fase de ascenso de la curva de postura, es

decir el periodo crítico que va desde la madurez sexual hasta alcanzar el pico de producción, en la que se conjugan los requerimientos para mantenimiento, crecimiento y aumento de la masa de huevos, con un equilibrio energético que se torna negativo, en particular en el híbrido ES x A, hecho que se tradujo en un solapamiento de los pesos corporales en ambos genotipos entre las aves con diferente asignación de alimento para esta etapa. Los resultados relativos a genotipo coinciden con Eleroğlu et al., (2014), quienes señalan que el peso asintótico y la tasa de maduración son variables que derivan del patrimonio genético de las poblaciones, aunque ambas se encuentran bajo el control de las condiciones ambientales en las que se desarrollan las aves (Barbato, 1991). Škrbić et al., (2007) comparan la dinámica de crecimiento de distintos genotipos de reproductores pesados sobre la base de su curva de crecimiento y concluyen que el patrimonio genético es el origen de las diferencias en el peso corporal durante las primeras etapas de la vida. La caracterización del crecimiento de diferentes genotipos aviares provee información útil sobre la evolución del peso corporal en las distintas etapas y describe el curso del incremento de la masa corporal hasta alcanzar la edad adulta (N'Dri et al., 2007). Nuestros resultados coinciden parcialmente con Rigonatto (2014) quien registra pesos similares en distintos genotipos de aves camperas y deduce que estas aves con potenciales genéticos de crecimiento semejantes, sometidas a programas de restricción alimenticia preestablecidos no exhiben diferencias significativas en el peso corporal a edades relevantes desde el punto de vista fisiológico y reproductivo. No obstante, la expresión de las diferencias genéticas en el peso corporal puede a menudo ser manipulada por factores no genéticos como el programa de iluminación, el plano nutricional y los patrones de restricción alimenticia (Reddish & Lilburn 2004), los cuales forman parte de los denominados efectos ambientales. Se debe señalar que los datos de la literatura son frecuentemente generados bajo una muy amplia variedad de condiciones que dependen del

entorno y del sistema de producción. Debido a esto las diferencias en el peso corporal y en la aptitud reproductiva entre diferentes estirpes de reproductoras se deben en realidad a la interacción genotipo-ambiente.

Las diferencias en el peso corporal han sido estudiadas por otros investigadores en reproductores de crecimiento lento en edades fijas de relevancia desde el punto de vista biológico. Pampín Balado et al., (2011), comparan dos genotipos de gallinas semirústicas del genofondo cubano destinados a sistemas extensivos para la producción familiar, denominados Giro y Rojo, en la etapa de inicio y crecimiento, con el peso corporal y el consumo de alimento como variable dependiente en las edades de importancia biológica y productiva. Nuestros resultados coinciden parcialmente con estos autores debido a que, luego del pico de producción no se demostraron diferencias significativas para peso corporal en los distintos periodos evaluados. Nuestros resultados coinciden con los de Heck et al., (2004), quienes evalúan el efecto de la alimentación *ad libitum* sobre el peso corporal en tres genotipos de reproductoras de líneas maternas; una línea de reproductoras broilers estándar, una línea de reproductoras Label y una línea de reproductoras enanas experimentales. Los dos tratamientos nutricionales consisten en un programa de restricción acorde con las recomendaciones del reproductor broiler estándar y otro suministrado *ad libitum*. El programa de restricción da por resultado distintos pesos corporales a las 21 semanas, dado que el genotipo enano presenta un peso intermedio entre el broiler estándar y el pollo Label.

Las dificultades para la cuantificación científica del grado de restricción alimenticia durante la recría plantean la necesidad de incluir la genética como una herramienta complementaria que contribuya a disminuir los efectos de la severidad de la restricción en reproductoras pesadas (Hartcher & Lum, 2020). La introducción de líneas genéticas maternas

de crecimiento lento, que requieren un menor nivel de restricción alimenticia durante la recría, se transforma en una buena alternativa para dar cuenta de esta problemática de bienestar (Nicol et al., 2017). Las gallinas reproductoras de crecimiento lento, entre las que se incluyen las reproductoras camperas empleadas en la presente tesis, poseen curvas de crecimiento propias y requerimientos nutricionales diferentes que hacen necesario realizar ajustes en los programas de asignación de nutrientes acumulados durante la recría. En estudios previos, el empleo de programas severamente restrictivos durante la cría y recría en genotipos maternos de pollo Campero INTA, dan por resultado una mayor dispersión de pesos corporales al final de la etapa de la recría (Pletsch et al., 2009), lo que pone en evidencia el efecto del programa de alimentación sobre el bienestar de este tipo de aves. Existen pocas soluciones prácticas para el conflicto entre los aspectos productivos y el bienestar animal en reproductores para carne. De Jong & Guemene (2011) señalan las dificultades para cumplir con los requisitos de producción y bienestar en las reproductoras de pollos para carne, como también la incapacidad de conciliar el buen desempeño y la salud de las reproductoras, en tanto su progenie logra un crecimiento satisfactorio y mejor eficiencia alimenticia. La selección de aves reproductoras que requieran menor nivel de restricción alimenticia es un aspecto prioritario, incluso si esto implica un compromiso en la tasa de crecimiento (Nicol et al., 2017). Sin embargo, Dawkins & Layton (2012) sugieren que es más probable que mejore el bienestar animal mediante programas de selección que incluyan objetivos múltiples, es decir aspectos productivos junto al bienestar animal. Diversos estudios recomiendan la utilización de estirpes de crecimiento más lento, menos susceptibles a los problemas de bienestar, incluidas la debilidad de las patas y las enfermedades metabólicas (Castellini et al., 2016; Wilhelmsson et al., 2019; Yang & Jiang, 2005). Las razas de crecimiento más lento presentan menor mortalidad y en general un mejor bienestar (Bessei, 2006).

Más allá de la problemática intrínseca derivada de los factores genéticos y no genéticos que influyen en el comportamiento productivo y más precisamente en la ganancia de peso en distintas etapas de la vida de las aves, su abordaje permite la evaluación en estudios transversales que recogen datos en momentos precisos de la vida de los individuos que conforman una población, como así también mediante estudios longitudinales que colectan datos sobre los mismos individuos en distintos momentos a lo largo del tiempo. Es así que, el crecimiento puede ser caracterizado mediante el empleo de modelos lineales y no lineales que contemplan los aspectos biológicos del proceso, realizando evaluaciones de carácter cuantitativos y análisis que ayudan a predecir el crecimiento al presentar en forma simple los aspectos relevantes del proceso (Agudelo Gómez et al., 2007). Entre los distintos modelos no lineales de posible aplicación para el análisis del crecimiento de las aves, se destacan los de Gompertz, Brody, von Bertalanffy, logístico y de Richards (Aggrey, 2002). Aunque existen discrepancias entre los autores que abordan esta temática, el modelo de Gompertz parece ser el más apropiado para su uso en investigaciones que describen el crecimiento en aves de corral (Miguel et al., 2009; Roush & Branton, 2005). Los estimadores de los parámetros obtenidos mediante el empleo de estos modelos y ciertas asociaciones entre los mismos, permiten caracterizar en forma adecuada la aptitud de una población para una producción determinada (Di Masso et al., 1998). En el presente estudio, el análisis dinámico del peso corporal demostró un efecto marcado del programa de alimentación sobre el peso corporal asintótico y la tasa de maduración en ambas poblaciones genéticas. Bruggeman et al., (1999), estudian los efectos de la alimentación *ad libitum* versus la restringida en forma alternada, dividiendo el período de crianza en tres etapas: una cría de 2 a 6 semanas, una recria de 7 a 15 y una pre-reproducción de la semana 16 hasta la madurez sexual, dando por resultado curvas de crecimiento considerablemente divergentes, sobre todo cuando la

alimentación *ad libitum* es suministrada entre las 7 y 15 semanas de vida. En otro ensayo, Bruggeman et al., (2005), estudian el efecto de la restricción alimenticia en reproductoras pesadas de distintos genotipos aviares. Para ello comparan el comportamiento de una línea estándar de reproductoras pesadas con otra seleccionada para mejor viabilidad y capacidad reproductiva a expensas de crecimiento (aves enanas experimentales), que son alimentadas con tres programas, denominados *ad libitum*, restringidas de acuerdo al estándar y con una restricción parcial utilizando una dieta diluida. Las reproductoras enanas exhiben una mejor tolerancia a la alimentación *ad libitum* respecto al genotipo estándar, lo que permite confirmar la existencia de un efecto de arrastre (“*carryover effect*”) de la restricción alimenticia en un período crítico de la recría sobre el posterior resultado reproductivo, sobre todo en las aves con mayor tasa de crecimiento que son el origen de mayores requerimientos nutricionales. Esta respuesta es menos evidente en las estirpes de crecimiento lento que manifiestan una mayor tolerancia a la alimentación *ad libitum* con resultados reproductivos aceptables, lo que permite deducir un fuerte componente genético en los requerimientos alimenticios de las aves sobre todo en etapas de recría. Arrazola & Torrey (2021), reportan el efecto del genotipo sobre la curva de crecimiento de 0 a 20 semanas empleando pollas de una línea materna de aves para carne y pollas de dos líneas paternas, lo que da por resultado diferencias en función de su patrimonio genético. Esto sugiere la necesidad de adaptar el programa de restricción alimenticia durante la recría con la finalidad de dar cuenta de los requerimientos diferenciales derivados de los programas de mejora genética. Se ha demostrado previamente que las gallinas más pesadas tienen mayor requerimiento de mantenimiento energético que las livianas y, por lo tanto, si estas reciben la misma cantidad de alimento, podrían consumir un exceso relativo de nutrientes lo cual induciría a la obesidad. Existe una bien documentada relación negativa entre peso corporal y aptitud reproductiva en

aves de corral, que limita severamente el rendimiento reproductivo de las estirpes pesadas, lo que se agrava en la medida que la selección ponga énfasis en el rápido crecimiento y buen apetito (Melnychuk et al., 2004).

Si bien el control del peso corporal de la reproductora pesada durante todo el ciclo productivo es una práctica aceptada, hay discordancias sobre el objetivo de peso ideal a alcanzar en cada etapa de la producción. En general los investigadores han sugerido que la gallina debe ganar peso en forma sostenida para alcanzar un óptimo rendimiento reproductivo. Se ha señalado que la evolución del peso corporal en el período de transición entre el fotoestímulo y la madurez sexual es crítica en la vida de la reproductora pesada. Harms et al., (1999) en un experimento para estudiar los efectos de diferentes incrementos en el peso corporal sobre la aptitud reproductiva, utilizan pollas Arbor Acres bajo tres tratamientos nutricionales tendientes a inducir tres curvas de crecimiento diferentes, una estándar (sugerida por la cabaña), una por encima del peso corporal y otra por debajo. Las pollas con curvas de peso superiores al estándar produjeron 27,5 huevos/aves (5,4 huevos más que los otros grupos entre la semana 25 y 30 de edad), lo que confirma que la mayor asignación de nutrientes se traduce en una mejora de la aptitud reproductiva, aunque el nivel de sobreasignación debe ser correctamente planificado y sometido a corroboración experimental para cada genotipo en particular. Esto adquiere particular importancia en poblaciones aviares heretogeneas y con escasos lotes estudiados en distintos entornos productivos, como son los genotipos de reproductoras camperas.

CAPÍTULO 2

PROCESOS ASOCIADOS CON LA MADUREZ SEXUAL

Introducción

El ciclo de producción en reproductores para carne se divide convencionalmente en las fases de cría, recría, pre-reproducción y reproducción (Buxadé Carbo, 1988; North, 1993, Robinson & Renema, 2003). Las dos primeras etapas marcan el futuro de los reproductores ya que de ellas depende el logro del objetivo establecido. Durante el pico de postura, el patrón reproductivo ya ha sido moldeado y es poco lo que se puede hacer de aquí en más para influir en el rendimiento del lote (Robinson & Renema, 2003a). Un aspecto de relevancia dentro del ciclo de estas aves es la definición del momento en el que ocurre la madurez sexual del lote y el estado físico en el que lo alcanzan. Si se deja librado al azar, por lo general, las condiciones en que se producirá no serán las adecuadas para maximizar los rendimientos reproductivos (Reddish, 2004).

La madurez sexual es el resultado combinado de una serie de factores que incluyen la edad cronológica, curva de crecimiento, peso y composición corporal del ave. No solo deben ocurrir determinadas combinaciones entre estos factores, sino además se deben alcanzar umbrales mínimos de cada uno de ellos. De los factores mencionados, el peso y la composición corporal tienen una relación de causa y efecto respecto a la madurez sexual y por lo tanto esta puede ser modificada mediante distintas condiciones y estrategias de manejo (Reddish, 2004).

Las señales ambientales en los sistemas de producción avícola intensivos son controladas a través de los diferentes programas de manejo como alimentación, luz, densidad, métodos de crianza y otros, que están diseñados para modular la expresión del potencial de crecimiento y mejorar la eficiencia en la producción de huevos fértiles incubables (Mendoza

Castro, 2006). La aptitud reproductiva de una población es modificada por múltiples factores que provienen del ambiente e interactúan entre sí contribuyendo a incrementar la capacidad de los reproductores pesados.

Se han descrito diferencias en la aptitud reproductiva entre genotipos para carne seleccionados para crecimiento o para características relacionadas con la aptitud reproductiva (Decuyper et al., 1999). La baja eficiencia reproductiva de las gallinas reproductoras para carne lleva a que las prácticas de manejo actuales incluyan restricciones alimenticias a menudo imprecisas y muy severas para limitar el crecimiento corporal en un esfuerzo por modular el ingreso a la madurez sexual alcanzando determinados umbrales de peso, composición corporal y edad con lo que se obtienen mejoras en la producción de huevos (Ramachandran, 2014). Las señales ambientales proveen información sobre la temporada de reproducción, debido a que disparan cambios neuroanatómicos, neuroendocrinos y fisiológicos, preparando a los animales para la reproducción (Akins & Burns, 2001).

La selección genética dio por resultado la obtención de líneas pesadas para producción de carne que presentan una marcada correlación negativa entre aptitud reproductiva y peso corporal, lo que hace necesario desarrollar estrategias de manejo efectivas que permitan compatibilizar ambos objetivos en las reproductoras (Johnson, 2000). Se ha reportado la existencia de un período determinado durante la cría y recría en el cual el logro de los objetivos de peso corporal tiene una mayor influencia sobre la subsiguiente producción de huevos (Bruggeman et al., 2005). En el manejo de las reproductoras pesadas la primera oviposición es considerada como el inicio de la madurez sexual (Etches, 1996).

Durante la maduración sexual los cambios neuroendocrinos y metabólicos producen

transformaciones en el aparato reproductor y estimulan el desarrollo de caracteres sexuales secundarios (Johnson 2000). Los procesos fisiológicos involucrados en la reproducción en la gallina están sujetos a variaciones derivadas de la selección genética y de los efectos ambientales. La selección llevó a la obtención de líneas pesadas para producción de carne que presentan una marcada correlación negativa entre aptitud reproductiva y peso corporal, lo que hace necesario desarrollar estrategias de manejo efectivas que permitan compatibilizar ambos objetivos en las reproductoras. El efecto de la alimentación inadecuada sobre la producción de hormonas se ve reflejado en alteraciones del desarrollo del sistema reproductivo, tanto durante las etapas previas a la madurez sexual como en el ave adulta, provocando disrupciones en el patrón normal de producción o secreción del factor de liberación hipotalámico y las condiciones en que se desarrolla la madurez sexual (Decuypere et al., 1999). Debido a que el tamaño de la cresta se correlaciona positivamente con los niveles de estrógenos y con la edad al primer huevo, dicha variable es considerada útil para medir la tasa de maduración sexual.

La selección genética para crecimiento y desarrollo en líneas de pollos utilizadas para la producción de carne dio por resultado un incremento en la tasa de crecimiento con consecuencias adversas en la eficiencia reproductiva, incluyendo menor cantidad de huevos producidos y menor fertilidad (Díaz & Anthony, 2013), esto lleva a la necesidad de aplicar adecuadas estrategias de manejo para mejorar la aptitud reproductiva en las aves de razas pesadas (Lwelamira, 2012). Los programas de manejo aplicados durante la cría y la recria pueden modificar en forma marcada las condiciones en las que se produce la madurez sexual, lo que hace necesario evaluar este proceso en sus aspectos anatómicos, fisiológicos y reproductivos (Joseph et al., 2003). Se ha estudiado la existencia de un período determinado

durante la cría y recría en el cual el logro de los objetivos de peso corporal pudiera tener una mayor influencia sobre la subsiguiente producción de huevos (Bruggeman et al., 1999 y 2005). Además del peso corporal y la uniformidad, el desarrollo de los reproductores debe ser evaluado mediante diferentes parámetros zoométricos, que proporcionan información indirecta sobre la composición corporal y que se correlacionan con aptitud reproductiva. En las hembras, un desarrollo excesivo de los músculos de la pechuga hace que las aves destinen nutrientes hacia esos tejidos en detrimento del desarrollo del aparato genital, afectando los principales aspectos fisiológicos relacionados con el normal desenvolvimiento de la actividad reproductiva. Aunque el peso corporal de la polla al inicio de la postura y la uniformidad son considerados importantes indicadores de la evolución del crecimiento, estas variables deben ser consideradas junto a la composición corporal, al patrón de crecimiento previo y a la edad cronológica de las aves.

Si bien se han realizado avances significativos mediante el diseño de programas de alimentación, aún deben desarrollarse programas de manejo especiales adaptados a las condiciones y recursos de cada caso en particular, en proceso de evolución continua siguiendo a los cambiantes requerimientos de las aves (Poole, 1974). El efecto de la alimentación inadecuada sobre la producción de hormonas se ve reflejado en alteraciones del desarrollo folicular, tanto durante las etapas previas a la madurez sexual como en el ave adulta, provocando disrupciones en el patrón normal de producción o secreción del factor de liberación hipotalámico (Akins & Burns, 2001). Además, los programas de manejo aplicados durante la cría y la recría pueden modificar en forma marcada las condiciones en las que se produce la madurez sexual, lo que hace necesario evaluar este proceso en sus aspectos anatómicos, fisiológicos y reproductivos.

Para evaluar el grado de desarrollo genital alcanzado por las reproductoras al momento de la madurez sexual y la evolución del mismo a lo largo de la etapa de postura, existe un amplio grupo de técnicas que pueden ser utilizadas. La primera oviposición es considerada como el inicio de la madurez sexual, sin embargo, en los programas de investigación sobre fisiología reproductiva se requiere establecer en forma más precisa el momento en que este fenómeno se produce. Hacia el final de la recría, la cresta aumenta de volumen, se torna más turgente y el ave puede perder algunas plumas primarias (muda prenupcial) y los huesos púbicos se ensanchan para dar paso al huevo (Joseph et al., 2003). El inicio de la madurez sexual también se puede determinar mediante el examen de la cloaca en sus aspectos cualitativos y cuantitativos, hembras sexualmente maduras tienen 2,5 cm de ancho de cloaca (Wright et al., 2012).

El análisis de la morfología ovárica durante la fase final de la recría puede ser utilizado para estimar la dinámica del desarrollo genital de un ave, en particular en ensayos experimentales. El estudio se inicia con el registro del peso ovárico y la medición y recuento de los folículos grandes amarillos que se agrupan de acuerdo a su tamaño (folículos cuyo peso difiera en menos de 1 gramo o su diámetro en 1 mm, serán considerados similares). Luego se registra el número total de categorías obtenidas y el número de folículos en cada categoría. El número de jerarquías completas se obtiene dividiendo el número de grandes folículos amarillos por el número de categorías existente. El peso del ovario y del oviducto se obtiene luego de su remoción; cuando al ovario se le extraen los folículos amarillos grandes se obtiene el estroma inicial. Tras la remoción de los folículos amarillos pequeños y blancos (grandes y medianos) se obtiene el estroma desnudo del ovario. Estas mediciones, aunque son útiles para evaluar el efecto de distintos tratamientos sobre las diferentes

categorías de folículos ováricos (Renema et al., 1999), implican el sacrificio de una proporción de aves dentro del lote, hecho que colisiona con las normas de bioética y bienestar animal. Por este motivo, para investigar el ovario de la gallina sin necesidad de proceder a su sacrificio, nuevos desarrollos tecnológicos se encuentran disponibles para la obtención de datos sobre la morfofisiología ovárica de la gallina. Debido a las mejoras en la tecnología de ultrasonido, hoy es posible observar la condición del ovario *in vivo*, lo que permite el muestreo repetido de la misma ave durante todo un ciclo de producción de huevos. Esta técnica permite determinar el número y el diámetro de los folículos, como también la presencia de un huevo en el oviducto. Las técnicas basadas en ultrasonido se han utilizado con otros animales tales como cerdos, caballos y bovinos para evaluar el estado reproductivo. Mediante el uso de estas técnicas, se pueden identificar gallinas con múltiples jerarquías foliculares, y una propensión a la pobre producción de huevos (Melnychuk et al., 2002).

Material y métodos

Las aves fueron identificadas por grupo experimental mediante el empleo de anillos numerados colocados en el tarso, los cuales se reemplazaron periódicamente acompañando el crecimiento.

Indicadores asociados con la madurez sexual (MS)

Índice de cresta (IC, en mm^2) (Joseph et al., 2003) producto de la altura de la cresta desde su base hasta la punta de la cuarta espiga por su longitud, desde el extremo anterior hasta el posterior, ambos registrados con calibre a intervalos semanales desde la semana 17 a la 25.

Ancho de cloaca (mm) (ACI) distancia transversal existente entre ambos extremos laterales de la cloaca con el ave en decúbito dorsal desde la semana 17 a la 25.

Ancho de la cadera (mm) (ACa) distancia transversal existente entre ambos isquiones con el ave en decúbito dorsal desde la semana 17 a la 25.

Longitud abdominal (mm) (LAb) distancia longitudinal existente entre la apófisis esternal caudal y una línea imaginaria que une ambos extremos de los huesos coxales con el ave en decúbito dorsal desde la semana 17 a la 25.

Condición corporal (CC) a las 22 semanas de edad mediante la aplicación de una escala discreta, basada en la palpación de la protuberancia de la quilla juntamente con la constatación del desarrollo de los músculos de la pechuga a lo largo del borde ventral de la quilla y la concavidad o convexidad del contorno del músculo de la pechuga en el ave viva, sostenida por ambas patas con la cabeza hacia abajo. Las aves fueron clasificadas en una escala subjetiva de Gregory y Robins de 0 a 3.

Edad a la madurez sexual (días): por observación directa tomando como criterio la puesta del primer huevo en cada box.

Peso a la madurez sexual (g): peso promedio de las aves del box al momento de la puesta del primer huevo.

Análisis Estadístico

Análisis de la Varianza

Se aplicó análisis de la varianza (ANOVA) para un experimento factorial 2 x 2, evaluando las diferencias entre tratamientos de las variables dependientes, considerando límite un nivel de significancia del 5 % (Poole, 1974; Steel & Torrie, 1988). Este análisis se aplicó a las variables índice de cresta, ancho de cadera, ancho de cloaca, longitud abdominal y edad a la madurez sexual.

Análisis multivariado

A los fines de detectar agrupamientos significativos y evaluar el poder discriminante de diferentes conjuntos de variables, se utilizaron las técnicas multivariadas de análisis de componentes principales y análisis discriminante canónico (Carrasco & Hernán, 1993). Este último, se empleó para representar la asociación lineal de las variables obteniendo ecuaciones que permiten explicar una porción de la variancia total de los datos, independiente de las restantes componentes canónicas. En estos análisis se incluyeron las variables índices de cresta, ancho de cadera, ancho de cloaca, longitud abdominal y edad a la madurez sexual.

Chi-Cuadrado de Pearson

El efecto del genotipo sobre la proporción de aves en las diferentes categorías de condición corporal se evaluó con una prueba Chi-Cuadrado de homogeneidad y su efecto sobre el peso

corporal con un análisis de la variancia a un criterio de clasificación seguido de la prueba de comparaciones múltiples de Duncan.

Resultados

Indicadores asociados a la madurez sexual

En las Tablas N° 7 y N° 8 se incluyen los resultados obtenidos para los distintos grupos experimentales y su significancia estadística al final de la recría (22 semanas). El análisis del peso corporal demostró diferencias significativas entre ambos genotipos y programas de alimentación al final de la recría, aunque se registró una interacción significativa entre los distintos niveles de ambos factores. Dicha interacción se explica porque en el genotipo ES x A se observó una diferencia de 25 gramos a favor del programa Estándar+10, en tanto que en la población sintética E dicha diferencia fue de 215 gramos siempre a favor del programa de mayor asignación. Entre las variables indicadoras de la madurez sexual (IC, ACa, LAb) existieron diferencias significativas relacionadas con la base genética y el programa de alimentación. Estas variables arrojaron valores superiores para el genotipo E y para las aves que recibieron mayor asignación de alimento. No obstante, se debe señalar que el ACL registró una interacción significativa entre los niveles de ambos factores. Dicha interacción se explica debido a que en el genotipo ES x A la diferencia fue de 1,2 cm a favor de las aves pertenecientes al grupo Estándar+10, mientras que en el genotipo E se observó una diferencia de 3,1 cm a favor del Grupo Estándar+10.

Tabla N° 7: Peso corporal e indicadores zoométricos de madurez sexual en dos genotipos de gallinas reproductoras camperas INTA bajo dos regímenes de asignación de nutrientes

Grupo genético	Híbridas ES x A		Sintética E	
Nivel de alimentación	Estándar	Estándar 10%	Estándar	Estándar 10%
PC (g)	2.288 ± 22,5	2.313 ± 23,3	2.133 ± 17,4	2.348 ± 27,8
IC (mm2)	556 ± 21,8	664 ± 31,9	831 ± 43,3	1051 ± 50,8
ACI (cm)	23,3 ± 0,35	24,5 ± 0,50	21,5 ± 0,35	24,6 ± 0,57
ACa (cm)	2,89 ± 0,05	3,41 ± 0,07	3,4 ± 0,06	3,68 ± 0,09
LAB (cm)	4,35 ± 0,09	4,83 ± 0,07	4,81 ± 0,07	5,09 ± 0,08
Tamaño muestra: n = 60 aves por grupo				
Todos los valores corresponden a la media aritmética ± error estándar				

Tabla N° 8: Significado de los efectos del Análisis de la variancia correspondiente a un diseño completamente aleatorizado con un experimento factorial 2 x 2 de dos genotipos de gallinas reproductoras camperas bajo dos modalidades de asignación de nutrientes en las etapas de cría y recría

	Efectos		
	Grupo Genético	Nivel de alimentación	Interacción G. Genético y N. alimentación
PC (g)	p = 0,0098	p < 0,0001	p < 0,0001
IC (mm2)	p < 0,0001	p < 0,0001	p = 0,148
ACI (cm)	p = 0,062	p < 0,0001	p = 0,037
ACa (cm)	p < 0,0001	p < 0,0001	p = 0,098
LAB (cm)	p < 0,0001	p < 0,0001	p = 0,225

En las Tablas N° 9 y N° 10 se incluyen los resultados obtenidos para los distintos grupos experimentales y su significancia estadística a la edad de la madurez sexual. La ausencia de interacciones entre los factores para la mayoría de las variables (Tabla N° 10) habilitó a realizar un análisis por separado de los resultados obtenidos. El peso corporal no registró diferencias significativas entre ambos genotipos estudiados, en tanto que los caracteres sexuales secundarios (IC y ACI) y los índices zoométricos relacionados con la

esfera reproductiva (ACa y LAb) reflejaron un mayor grado de desarrollo para el genotipo E. Por su parte, el programa de alimentación tuvo un marcado efecto sobre el peso corporal en ambas poblaciones, junto con un mayor desarrollo de los caracteres sexuales. Además, el programa de alimentación Estándar+10% dio lugar a un adelantamiento de 9 días en la entrada a la madurez sexual, mientras que, este programa de alimentación, adelantó la primera oviposición en 7 días para el genotipo E. Sin embargo, el análisis de LAb demostró diferencias significativas entre ambos genotipos y programas de alimentación, observándose una interacción significativa entre los factores. Dicha interacción se explica porque con la alimentación estándar no se demostraron diferencias entre genotipos, mientras que con la alimentación Estándar+10% las aves pertenecientes al genotipo E presentan mayor LAb que las aves del genotipo ES x A. Si bien en ambos genotipos hay un aumento en el valor promedio de la variable con el aumento en la asignación de nutrientes, la respuesta fue proporcionalmente mayor en el caso del genotipo E.

Tabla N° 9: Peso corporal, indicadores zoométricos y edad a la madurez sexual de dos genotipos de gallinas reproductoras camperas bajo dos modalidades de asignación de nutrientes en las etapas de cría y recría

Grupo genético	Híbridas ES x A		Sintética E	
	Estándar	Estándar 10%	Estándar	Estándar 10%
Nivel de alimentación				
PC (g)	2.280 ± 22,1	2.430 ± 26,7	2.284 ± 20,1	2.481 ± 30,4
IC (mm²)	628 ± 28,5	717 ± 31,6	1.110 ± 62,9	1.269 ± 60,1
ACI (cm)	24,34 ± 0,4	26,34 ± 0,4	26,39 ± 0,5	29,12 ± 0,4
ACa (cm)	4,49 ± 0,1	4,97 ± 0,1	4,57 ± 0,1	5,38 ± 0,1
LAB (cm)	5,73 ± 0,1	5,93 ± 0,1	5,77 ± 0,1	6,52 ± 0,1
MS (días)	165 ± 2,8	156 ± 2,8	164 ± 0,0	157 ± 2,8
Todos los valores corresponden a la media aritmética ± error estándar				

Tabla N° 10: Significado de los efectos del Análisis de la varianza correspondiente a un diseño completamente aleatorizado con un experimento factorial 2 x 2 de dos genotipos de gallinas reproductoras camperas bajo dos modalidades de asignación de nutrientes en las etapas de cría y recría

	Grupo Genético	Nivel de alimentación	Interacción G. Genético y N. alimentación
PC (g)	p = 0,274	p < 0,0001	p < 0,360
IC (mm²)	p < 0,0001	p = 0,0228	p = 0,487
ACI (cm)	p < 0,0001	p = <0,0001	p = 0,420
ACa (cm)	p = 0,011	p < 0,0001	p = 0,079
LAB (cm)	p = 0,002	p <0,0001	p = 0,005
MS (días)	P >0,9999	p = 0,0099	p = 0,594

Análisis multivariado conjunto de las variables asociadas con la madurez sexual

Análisis de componentes canónicas en la semana 22

Se generaron cuatro componentes canónicas, donde las dos primeras explican el 94,87% de la variancia cuyas ecuaciones asociadas son:

Primera Componente Canónica (PCC) = 0,0027 IC - 0,1908 ACI + 0,9655 ACa + 0,3714 LAB

Segunda Componente Canónica (SCC) = -0,00077 IC + 0,2331 ACI + 0,2394 ACa + 0,5150 LAB

La primera componente canónica (PCC) explicó el 81,86 % de la variancia y se correlacionó en forma positiva y significativa con IC ($r=0,787$; $p<0,0001$), ACa ($r=0,626$; $p<0,0001$), LAB ($r=0,527$; $p=0,0001$) y no mostró asociación significativa con ACI ($r=-0,072$; $p=0,268$). Esto implica que, a mayor valor de PCC las aves presentaron esencialmente mayor índice de cresta, ancho de cadera y longitud abdominal.

La segunda componente canónica (SCC) explicó el 13,01 % de la variancia y se correlacionó en forma positiva y significativa con las cuatro variables, pero en mayor medida con ACl ($r=0,921$; $p=0,0001$) y menor medida con IC ($r=0,233$; $p=0,0003$), ACa ($r=0,572$; $p<0,0001$) y LAb ($r=0,515$; $p<0,0001$). Es decir, que a mayor valor de SCC las aves presentaron básicamente mayor ancho de cloaca y menor índice de cresta, longitud abdominal y ancho de cadera.

La observación de los gráficos de barras correspondientes a la PCC muestra que, bajo el régimen Estándar de asignación de nutrientes, las aves E (E Estándar: $3,185 \pm 0,1377$) presentaron mayor valor de la primera componente, al igual que cuando se las comparó en un ambiente con un aporte agregado del 10% (E Estándar+10%: $3,617 \pm 0,1487$), respecto a las aves del genotipo ES x A (ES x A Estándar: $1,470 \pm 0,1026$ y ES x A +10: $2,169 \pm 0,1166$).

En la Tabla N° 12 y Figura N° 4 se exponen los resultados obtenidos en la semana 22 para los distintos grupos experimentales y su significancia estadística en dos genotipos de gallinas reproductoras camperas bajo dos modalidades de asignación de nutrientes en las etapas de cría y recría.

Tabla N° 11: Primera y segunda componentes canónicas en la semana 22 derivadas del análisis discriminante aplicado a cuatro indicadores zoométricos de madurez sexual de dos genotipos de gallinas reproductoras camperas bajo dos modalidades de asignación de nutrientes en las etapas de cría y recría

	Sintetica E		Híbrida ES x A	
	Estándar	Estándar+10	Estándar	Estándar+10
PCC	$3,185 \pm 0,1377$	$3,617 \pm 0,1487$	$1,470 \pm 0,1026$	$2,169 \pm 0,1166$
SCC	$7,661 \pm 0,1032$	$8,417 \pm 0,1522$	$7,938 \pm 0,0986$	$8,513 \pm 0,1282$

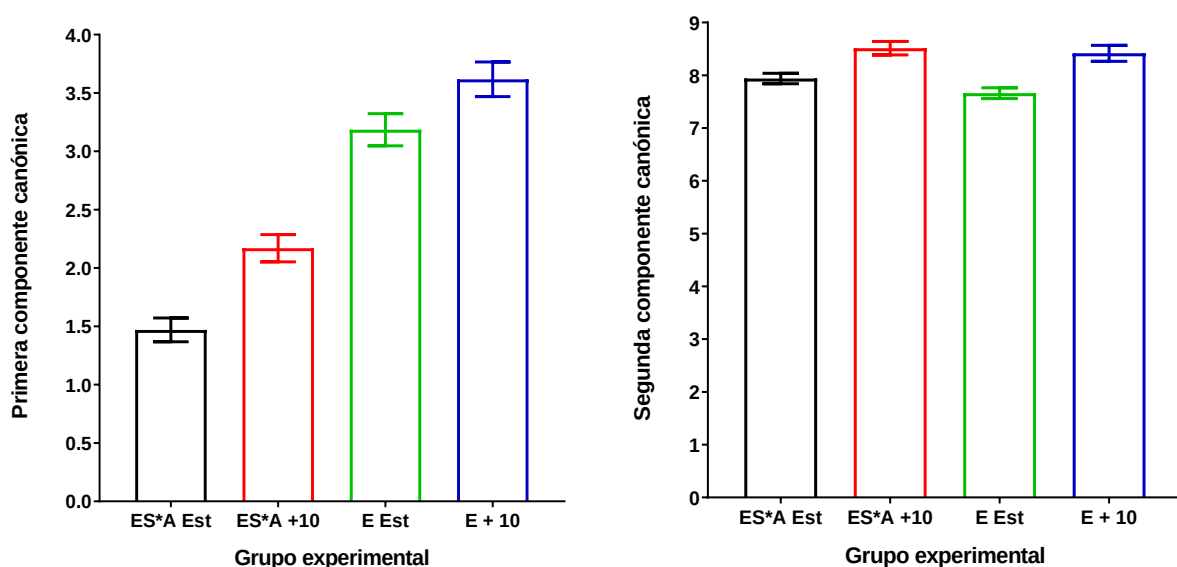


Figura N° 4: Grupos de barras primera y segunda componentes canónicas en la semana 22 derivadas del análisis discriminante aplicado a cuatro indicadores zoométricos de madurez sexual de dos genotipos de aves reproductoras camperas bajo dos modalidades de asignación de nutrientes en las etapas de cría y recría

Análisis discriminante canónico en la semana 24

Los resultados del análisis discriminante canónico se presentan en la Tabla N° 12. Estos pusieron en evidencia que, independientemente del genotipo y del programa de alimentación, la mayoría de las aves fueron asignadas a su grupo de pertenencia, con un error de asignación total del 43,06 %. Las aves del genotipo E con alimentación Estándar fueron asignadas en un 73,77 % (45/61) a dicha población sintética independientemente del programa de alimentación que recibieron y de ellas, el 22,22 % (10/45), aun recibiendo el aporte habitual de nutrientes se ubicaron en el grupo con un 10 % extra. El 26,23 % de las aves de este grupo (16/61) fue asignado al otro genotipo (ES x A) y de ellas el 75,00 % (12/16) al grupo con alimentación Estándar (ES x A). El 25,41 % (31/122) de las aves E evaluadas categorizaron

como ES x A. Este error de asignación se debe a que el valor de los indicadores zoométricos presentaron valores característicos del perfil del híbrido ES x A, es decir menor desarrollo de los indicadores zoométricos asociados con la madurez sexual. Por su parte, en el caso del genotipo ES x A Estándar, el 85,71 % (48/56) de las gallinas fueron asignadas al mismo genotipo y de ellas el 25 % (12/48), aun recibiendo el aporte habitual de nutrientes, se ubicó en el grupo con un 10 % extra. El 14,28 % (8/56) de las aves de este grupo fue asignado al genotipo E y de ellas el 75 % (6/8) fue asignado al grupo con alimentación Estándar (E), mientras que, en ES x A Estándar+10 el 91,38 % (53/58) fue asignado al mismo grupo genético y de estas, el 37,74 % (20/53) que recibió un aporte adicional de alimento se ubicó en el grupo de alimentación Estándar (ES x A Estándar) y el 8,62 % (5/58) de las aves fueron asignadas al grupo E Estándar+10%, aves que tuvieron un mayor desarrollo de los indicadores zoométricos y ninguna al grupo E con alimentación Estándar.

Tabla N° 12: Análisis discriminante aplicado al peso corporal y los indicadores zoométricos de madurez sexual en la semana 24 de dos genotipos de gallinas reproductoras camperas bajo dos modalidades de asignación de nutrientes en las etapas de cría y recría

	E Estándar+10	E Estándar	ES x A Estándar+10	ES x A Estándar	Total
E Estándar+10%	30	16	10	5	61
E Estándar	10	35	4	12	61
ESxA Estándar+10	5	0	33	20	58
ESxA Estándar	2	6	12	36	56
Total	47	57	59	73	236
Tamaño muestral: n 236					

Análisis de componentes canónicas en la semana 24

Se generaron cuatro componentes canónicas (las dos primeras explican el 97,39% de la variancia) cuyas ecuaciones asociadas son:

1° Componente Canónica (PCC) = $0,0024 \text{ IC} + 0,0472 \text{ ACl} - 0,3635 \text{ ACa} + 0,3269 \text{ LAb}$

2° Componente Canónica (SCC) = $-0,0013 \text{ IC} + 0,0342 \text{ ACl} + 1,2918 \text{ ACa} + 0,1388 \text{ LAb}$

La PCC explicó el 70,41 % de la variancia y correlacionó en forma positiva y significativa con el IC ($r=0,982$; $p<0,0001$), el ACl ($r=0,615$; $p<0,0001$), ACa ($r=0,423$; $p<0,0001$) y LAb ($r=0,459$; $p<0,0001$), haciéndolo principalmente con el índice de cresta. Esto implica que, a mayor valor de PCC, las aves presentaron esencialmente mayor índice de cresta, ancho de cloaca, ancho de cadera y longitud abdominal. La SCC explicó el 26,98% de la variancia y correlacionó, en forma positiva y significativa con el ACl ($r= 0,525$; $p<0,0001$), ACa ($r= 0,887$; $p<0,0001$) y LAb ($r= 0,671$; $p<0,0001$), correlacionando principalmente con el ancho de cadera y no mostró asociación con el IC ($r= -0,017$; $p=0,799$).

Tabla N° 13: Primera y segunda componentes canónicas en la semana 22 derivadas del análisis discriminante aplicado a cuatro indicadores zoométricos de madurez sexual de dos genotipos de gallinas reproductoras camperas bajo dos modalidades de asignación de nutrientes en las etapas de cría y recria

	Sintetica E		Híbrida ES x A	
	Estándar	Estándar+10	Estándar	Estándar+10
PCC	$4,181 \pm 0,1671$	$4,652 \pm 0,1551$	$2,925 \pm 0,0803$	$3,130 \pm 0,0814$
SCC	$6,181 \pm 0,1411$	$7,227 \pm 0,1169$	$6,628 \pm 0,1269$	$7,223 \pm 0,1342$

La observación de los gráficos de barras correspondientes a la PCC a las 24 semanas mostró que, bajo el régimen estándar de asignación de nutrientes, las aves E (E Estándar:

$4,181 \pm 0,1671$) presentan mayor valor de la primera componente al igual que cuando se las comparó en un ambiente con un aporte agregado del 10 % (Estándar+10 %: $4,652 \pm 0,1551$), que las aves del genotipo ES x A (ES x A Estándar: $2,925 \pm 0,0803$ y ES x A Estándar+10 %: $3,130 \pm 0,0814$).

En la Figura N ° 6 se puede observar como la primera componente canónica (PCC) discrimina grupos genéticos. Las aves híbridas se ubican a la izquierda del gráfico y las de la sintética E a la derecha. La segunda componente canónica (SCC) discrimina por nivel de asignación de nutrientes. Las aves con alimentación Estándar se ubican por debajo de aquellas con un aporte de nutrientes 10 % mayor.

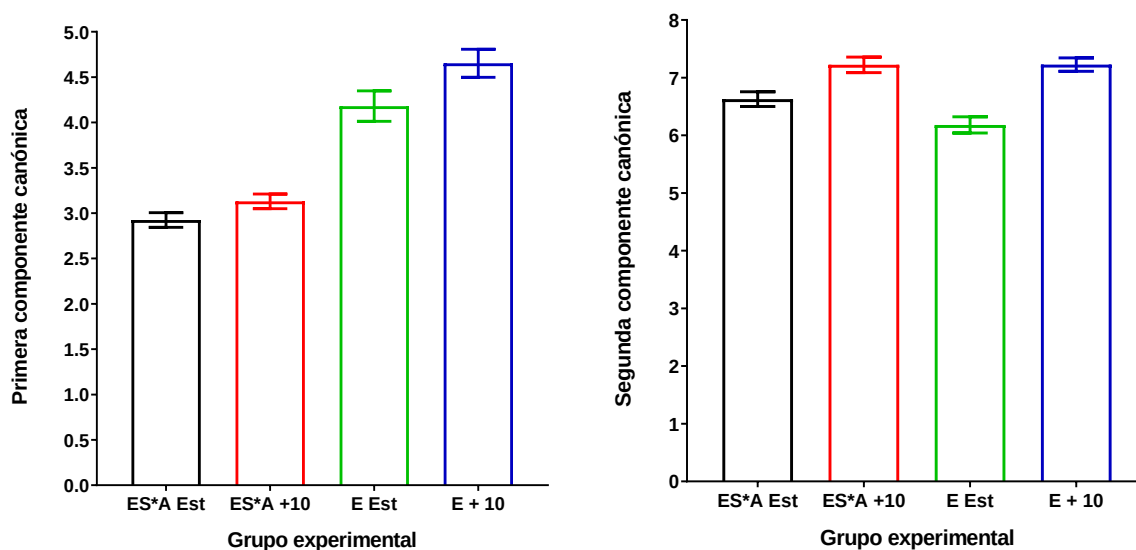


Figura N° 5: Gráfico de barras de primera y segunda componentes canónicas derivadas del análisis discriminante aplicado a cuatro indicadores zoométricos de madurez sexual en la semana 24 de dos genotipos de reproductoras camperas bajo dos regímenes de asignación de nutrientes

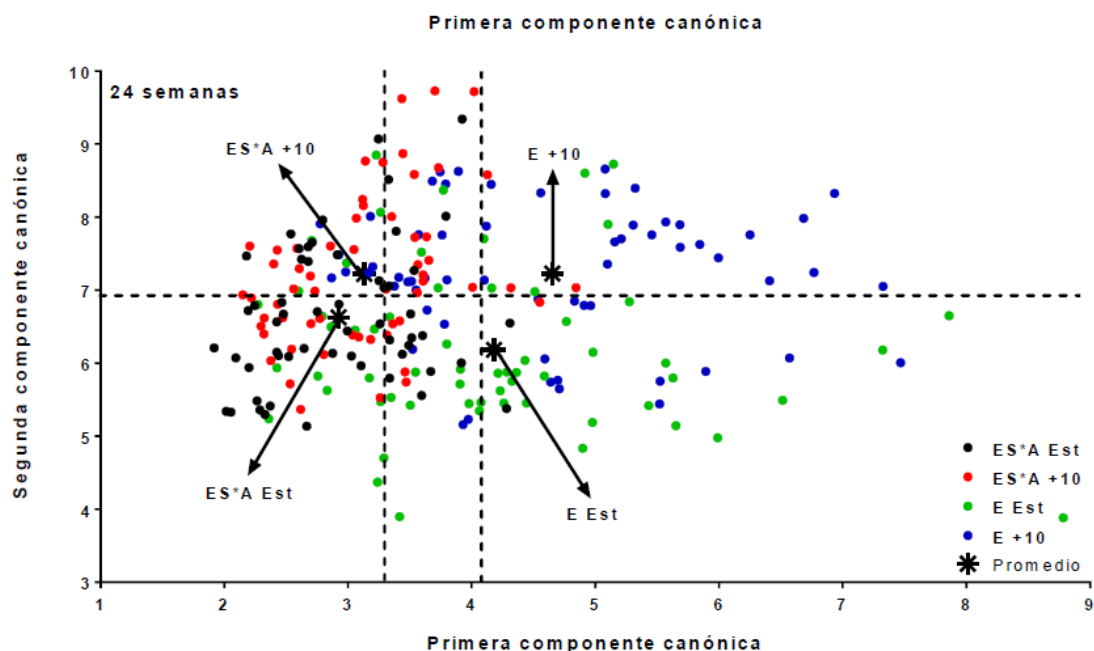


Figura N° 6: Primera y segunda componentes canónicas derivadas del análisis discriminante aplicado a cuatro indicadores zoométricos de madurez sexual en la semana 24 de dos genotipos de gallinas reproductoras camperas bajo dos regímenes de asignación de nutrientes

Prueba Chi-Cuadrado Pearson

En las tablas 14 y 15 se vuelcan los resultados obtenidos para condición corporal (CC) en ambos genotipos. Como se puede observar la mayor asignación de alimento en la etapa de la recría aumentó la proporción de aves que alcanzaron la CC 2, con resultados que fueron estadísticamente significativos.

Tabla N° 14: Frecuencias relativas de condición corporal en gallinas reproductoras camperas del genotipo E según programa de alimentación (expresadas como porcentajes)

Genética	Alimentación	Condición Corporal 1 (%)	Condición Corporal 2 (%)	Condición Corporal 3 (%)	Total (%)
E	Estándar+10	6,56	81,97	11,48	100
E	Estándar	34,43	62,3	3,28	100
E	Total	20,49	72,13	7,38	100

Chi-Cuadrado Pearson ($p = 0,0003$)

Tabla N° 15: Frecuencias relativas de condición corporal en gallinas reproductoras camperas del genotipo ES x A según programa de alimentación (expresadas como porcentajes)

Genétic a	Alimentación	Condición Corporal 1 (%)	Condición Corporal 2 (%)	Condición Corporal 3(%)	Total (%)
ES x A	Estándar+10	6,9	82,76	10,34	100
ES x A	Estándar	33,93	55,36	10,71	100
ES x A	Total	20,18	69,3	10,53	100

Chi-Cuadrado Pearson ($p = 0,0012$)

Discusión

La madurez sexual del lote y el estado físico de las aves, son aspectos de relevancia dentro de su ciclo de vida, por lo que la definición del momento en que ocurre y las condiciones en las que este proceso se desencadena deben ser ajustadas con precisión. En la presente tesis no se observaron diferencias entre los genotipos para la madurez sexual, mientras que, el programa de alimentación con mayor asignación de alimento produjo un marcado adelantamiento en la primera oviposición, considerada convencionalmente el momento de la madurez sexual para las poblaciones de reproductoras, tanto en el manejo a campo como en los estudios científicos que abordan la madurez sexual y sus fenómenos asociados. Estos resultados permiten confirmar el efecto marcado que tienen el total de proteína bruta acumulada y de energía metabolizable durante la recría sobre el inicio de la madurez sexual. Por otra parte, si bien en genotipos con tasas de crecimiento similares, el patrimonio genético de las poblaciones no produce cambios relevantes en la edad a la madurez sexual, el empleo del cruzamiento entre genotipos con diferente patrimonio genético, haría factible un adelantamiento de los eventos relacionados con la madurez sexual.

En la presente tesis se observó un resultado no esperado, ya que las aves pertenecientes al híbrido ES x A maduraron a la misma edad que la población sintética E, hecho que pudo deberse a la composición genética teórica de esta última, la cual está integrada en un 50 % por la raza Rhode Island colorada, que por pertenecer a un biotipo de aves semipesadas presentan una edad a la madurez sexual más temprana que las aves que las aves de biotipo pesado, esto implica que la edad a la madurez sexual no expresó un efecto derivado de la heterosis observable cuando se cruzan aves con orígenes genéticos diferentes.

La mayoría de los autores coinciden en que la edad de la madurez sexual es un carácter de mediana a alta heredabilidad (Kamanli, 2019; Zaman et al., 2018) muy relacionado con el patrimonio genético de las poblaciones (Salehinasab et al., 2013), que se encuentra fuertemente afectada por diversos factores que incluyen la edad cronológica, la curva de crecimiento, el peso y la composición corporal del ave, los cuales deben alcanzar umbrales mínimos. El programa de alimentación, por su parte, produjo un marcado efecto sobre el desarrollo de los caracteres sexuales y el adelantamiento de la entrada a la madurez sexual en ambas poblaciones, lo que confirma que la asignación de nutrientes durante periodos críticos de la recría en las reproductoras pesadas afecta en forma marcada los eventos anatómicos y fisiológicos que intervienen en la entrada a la madurez sexual (Eitan et al., 1998). El aumento en el nivel de asignación de alimento hacia el final de la recría estimula una maduración sexual más uniforme en el lote, esto a consecuencia de que se verifica una declinación de los requerimientos para crecimiento junto a un incremento de las demandas para el desarrollo del aparato reproductor e inicio de la producción de huevos (Renema et al., 2007).

El cruzamiento se aplica de forma recurrente en los programas de mejoramiento de aves corral, debido a que aumenta en la progenie, tanto el número de loci heterocigotos, como el número de alelos dominantes, dando por resultado la heterosis para caracteres de importancia productiva (Fulla, 2022). En la presente tesis se hipotetizó que el empleo del cruzamiento como estrategia de mejora y de reversión de la depresión endogámica observable en estas poblaciones cerradas, produce un marcado efecto sobre la edad de la madurez sexual en el híbrido, hecho que constituye una mejora desde el punto de vista de la eficiencia de las poblaciones, debido a que se consigue una disminución en la duración del

periodo de recría derivado del acortamiento de esta etapa. Los resultados obtenidos en relación al efecto del patrimonio genético sobre los aspectos reproductivos, más específicamente sobre la madurez sexual, se encuentran en disidencia con los obtenidos por Canet et al. (2012), quienes estudian la edad a la madurez sexual y caracteres asociados en dos poblaciones maternas de pollo campero INTA (genotipos A y ES) y en las híbridas derivadas de sus cruzamientos recíprocos. Estos autores reportan que un híbrido presenta mayor precocidad y mantiene esta diferencia a lo largo de todo el ciclo de postura, mientras que las poblaciones maternas originales no registran diferencias para este parámetro. De igual manera Fernández (2022) registra un adelantamiento de nueve días para el híbrido ES x A en relación con la línea sintética ES, que, si bien solo se aproxima a la significancia estadística, constituye una diferencia importante al momento de planificar el manejo de las reproductoras, dado lo vertiginoso del proceso de maduración folicular en las etapas previas al inicio de la postura. Zaman et al., (2018), comparan la performance de cuatro poblaciones de hembras de las razas Rhode Island colorada, Fayoumi y sus cruza con machos de una raza nativa de cuello desnudo, y observan un adelantamiento de la edad a la madurez sexual en las poblaciones cruza que, adicionalmente, resultan ser más livianas que las razas puras.

La producción avícola históricamente ha usado el cruzamiento como una estrategia para ampliar la base genética a través del desarrollo de poblaciones cruza superiores, cuyo propósito principal es la mejora del crecimiento y de la producción de huevo, generalmente asociada a un efecto heterótico sobre estos caracteres (Hassan et al., 2020). Estos autores comparan la edad de la madurez sexual entre aves de las razas Mandarah, Matrouh, Inshas, Silver Montazah (crecimiento lento) y sus cruzamientos recíprocos y observan un adelantamiento de ocho días en la edad a la madurez sexual a favor de las aves cruza,

concordando con los hallazgos de El-Attrouny (2011), El-Tahawy (2020) e Iraqi (2008), efecto que no fue observado en la presente tesis.

Durante la maduración sexual los cambios neuroendocrinos y metabólicos producen transformaciones en el aparato reproductor y estimulan el desarrollo de los caracteres sexuales secundarios (Carvalho Celeghini et al., 2001). El análisis de la función reproductiva en las aves requiere un estudio minucioso de todas las etapas de su vida, muy especialmente el período previo a la madurez sexual, ya que la mayor parte de los procesos fisiológicos que ocurren antes de que el ave esté sexualmente madura, marcan el tipo y calidad de su comportamiento reproductivo (Robinson & Renema, 2003b). Una reproductora con altas tasas de postura es aquella que tiene un ciclo ovárico correctamente ajustado (Robinson & Renema, 2003a). Aunque el peso corporal de la polla al inicio de la postura y su uniformidad son indicadores importantes en reproductoras pesadas, estas variables deben ser consideradas junto a la composición corporal, curva de crecimiento y edad cronológica de las aves (Reddish, 2004; Joseph et al., 2003). Otros autores informan correlaciones negativas entre la edad de la madurez sexual con el peso corporal (Reddish, 2004), resultados con los que coincide la presente tesis, hecho que se corroboró debido a que, más allá del grupo genético que se considere, las aves más pesadas producto de la mayor asignación de alimento, alcanzaron la madurez sexual a menor edad. Los patrones de crecimiento y los niveles de proteína dietaria en las etapas de cría y recria tienen efectos favorables sobre la composición corporal a la madurez sexual y el posterior rendimiento productivo de las gallinas de razas para carne (van Emous et al., 2013). Estos autores investigan los efectos combinados del patrón de crecimiento y el nivel de proteína cruda (alto, medio y bajo) entre las 0 y 22 semanas sobre la composición corporal, la madurez sexual y el rendimiento reproductivo

posterior en reproductoras Ross 308, y concluyen que el menor nivel de proteína disminuye el desarrollo de la pechuga, pero no produce efectos significativos sobre la maduración sexual y posterior producción de huevos. Heijmans et al. (2021) estudian el impacto de la curva de crecimiento y de la relación energía/proteína sobre la edad de madurez sexual y performance reproductiva en reproductoras Ross 308, utilizando dos curvas de crecimiento (alta y baja) y cuatro relaciones energía/proteína de acuerdo a lo recomendado por la cabaña asumiendo valores del 96, 100, 104 y 108 % y concluyen, en base a los resultados, que el aumento en la relación energía/proteína en ambas curvas de crecimiento, lleva a un incremento lineal de la edad de la madurez sexual, resultados con los que se discrepa en la presente tesis.

La longitud y la altura de la cresta son caracteres sexuales secundarios en la gallina doméstica que se seleccionan por su correlación con la madurez sexual y la producción de huevos. La utilización de marcadores basados en el ADN, constituye una herramienta de importancia para acelerar la mejora genética de caracteres relacionados con el tamaño de la cresta mediante la selección temprana (Shen et al., 2016). Los ornamentos sexuales son indicadores útiles de fertilidad en las hembras, por lo que una variación genética aditiva debe ser la causa fundamental del aumento de tamaño (Pizzari et al., 2004). La cresta es un carácter sexual secundario que aumenta de tamaño en relación con el nivel de estrógenos circulantes, cuyos tenores plasmáticos se elevan en períodos previos a la madurez sexual, reflejando el desarrollo del aparato reproductor, más específicamente el crecimiento de los folículos ováricos y su organización jerárquica, proceso que se ve afectado por el total de energía y proteína consumido por las reproductoras durante la recría, lo que pudo observarse en los resultados referidos a desarrollo folicular del presente estudio. La determinación del 17β -estradiol, una herramienta de laboratorio potencialmente útil para monitorear el grado de

maduración de las aves, constituye un método que, aunque confiable, es invasivo y poco práctico (Joseph et al., 2003).

Las poblaciones ES x A y E utilizadas en el presente estudio poseen cresta simple, la más común en la gallina doméstica, heredada del gallo Rojo de la Jungla (*Gallus gallus bankiva*). Este tipo de cresta consta de una lámina simple dentada que se extiende desde la base del pico hasta la parte posterior de la cabeza. Los caracteres cualitativos tipo, color y forma de la cresta son de herencia simple, determinados por el origen genético de las aves, constituyen herramientas útiles tanto para la descripción de las razas como para la caracterización de poblaciones en un ambiente determinado. Más allá de las diferencias de origen genético, desde el punto de vista del proceso de desarrollo de los individuos, la elaboración de ornamentos sexuales materializa la relación subyacente entre la expresión del ornamento y el estado general del organismo, es decir, la integración entre el ornamento sexual y el proceso de desarrollo reproductivo (Pizzari et al., 2004). Por lo tanto, los caracteres sexuales son considerados como indicadores de la condición fisiológica y de la salud de un individuo, por lo que su expresión es el reflejo de procesos biológicos que están así integrados y participando en varias funciones orgánicas. Del mismo modo, asumiendo que el desarrollo de los ornamentos sexuales es el reflejo de procesos orgánicos, este debe estar incorporado en la ontogenia del organismo (Badyaev, 2004). En el presente estudio, no se demostraron interacciones significativas para el índice de cresta entre el genotipo y los programas de alimentación, lo que permitió el análisis de cada factor por separado. El índice de cresta presentó diferencias estadísticas en relación con el genotipo en todas las edades estudiadas. En gallinas de crecimiento lento Romera et al., (2019) evalúan el patrón dinámico de crecimiento corporal de gallinas camperas de un cruzamiento experimental de tres vías,

discriminadas por el desarrollo de sus crestas. Estos autores observan que, de acuerdo con el criterio de clasificación empleado, las categorías difieren significativamente en el valor promedio del índice de cresta, en tanto no se observan diferencias significativas en el valor de la asíntota para peso corporal ni en la tasa de maduración, por lo que concluyen que las diferencias de tamaño para este ornamento no estarían relacionadas con el patrón dinámico de crecimiento de este tipo de aves, situación con la que se discrepa parcialmente en la presente tesis. La variación morfológica es el primer criterio importante a ser utilizado cuando la finalidad de un estudio es identificar características distintivas entre diferentes poblaciones aviares, que no han sido sometidas a programas de caracterización y mejoramiento (Buranawit et al., 2016). Shen et al. (2016), estudian una población F2 proveniente del cruzamiento recíproco entre una población de gallinas Leghorn blanca y gallinas indígenas chinas Dongxiang Blue-Shelled. Estos estudios proveen evidencias que el largo, altura y peso de la cresta presentan una heredabilidad alta (0,61-0,69) y que estos caracteres se encuentran correlacionados, determinando que tres genes tienen una función relacionada con las características de la cresta. Estos genes son importantes para el inicio del desarrollo folicular, el crecimiento gonadal y el desarrollo dérmico, respectivamente. La identificación de la base genética, permite comprender la arquitectura genética subyacente del desarrollo de la cresta y tiene un significado práctico en los programas de mejoramiento para la selección por este carácter como indicador de la madurez sexual. Numerosos estudios incluyen aspectos morfológicos y funcionales para caracterizar las poblaciones aviares y comparar biotipos heterogéneos de importancia como reservorio del patrimonio genético y también como prerequisite para su mejora y preservación. Assefa & Melesse (2018), en un estudio para caracterizar aspectos fenotípicos de poblaciones de pollos originarios de Etiopía incluyen datos sobre peso corporal y otras mediciones morfométricas lineales, demuestran

que el tipo y tamaño de la cresta permiten dividir distintas subpoblaciones y se constituyen en caracteres de importancia para la diferenciación genética entre las mismas. Los hallazgos de la presente tesis discrepan con los estudios de Buranawit et al., (2016), quienes caracterizan aspectos fenotípicos en tres genotipos de la raza Thai (Thailandia) que incluyen el tipo, el color y el tamaño de cresta, además de caracteres morfométricos relacionados con el peso corporal, largo del cuerpo, perímetro torácico y longitud de la quilla entre otros, y observan que todas las poblaciones estudiadas poseen solo el tipo de cresta simple y de igual tamaño, a pesar de las diferencias halladas en otros aspectos cuantitativos, lo que indica un origen genético común para estas poblaciones. Las diferencias observadas en el desarrollo de la cresta entre las poblaciones analizadas en la presente tesis, pueden ser atribuidas, al menos en parte, a la diferente composición genética teórica de ambas poblaciones, en tanto que, los aspectos morfométricos como longitud, altura e índice de cresta también se revelan como predictores útiles del inicio de la madurez sexual en estas poblaciones aviares y se encuentran influídos por el programa de alimentación aplicado durante las etapas de cría y recría.

Si bien, en la gallina reproductora de estirpes para carne, el peso corporal y la uniformidad son por lo general los criterios de mayor importancia para evaluar los programas de manejo aplicados durante las etapas de cría y recría, también la apariencia y condición física deben ser consideradas cuando se pretende estimar el efecto producido por las modificaciones en los programas de alimentación empleados durante la cría y recría (Leeson & Summers, 2009). El desarrollo de la polla reproductora pesada puede ser evaluado mediante diferentes técnicas fundadas en estudios de zoometría que proporcionan información indirecta sobre la composición corporal y que se correlacionan con aptitud reproductiva (Quintana López, 2001). La longitud abdominal, el ancho de cadera y el ancho

de cloaca son indicadores confiables para monitorear el desarrollo reproductivo de las aves, sobre todo hacia el final del período de recría y durante la postura (Assan, 2015). En el presente estudio las variables asociadas con el ingreso a la madurez sexual (ACa, LAb) registraron diferencias originadas en la base genética y el programa de alimentación, con valores superiores para el genotipo E y para las aves que recibieron mayor asignación de alimento. La variable ancho de cadera (ACa) arrojó diferencias entre los distintos grupos genéticos, resultados que coinciden con estudios de otros investigadores quienes asignan un alto componente genético a las variables relacionadas con la estructura ósea de la pelvis, con fuertes repercusiones en la fertilidad (Brito et al., 2021). Para la variable ACI se registró una interacción entre la genética y el programa de alimentación, dada porque, en las aves alimentadas con el programa Estándar, el ancho de cloaca arrojó diferencias a favor del genotipo ES x A, mientras que con alimentación Estándar+10 ambos grupos genéticos se comportaron en forma similar, lo que permite confirmar un componente genético para este carácter. Estos resultados coinciden con los reportados por otros autores que informan que las aves sexualmente maduras alcanzan aproximadamente 25 mm de ancho de cloaca, sugieren su medición como método práctico para la evaluación de la madurez sexual (Wright et al., 2012).

El análisis multifactorial de caracteres morfológicos se ha utilizado para caracterizar diferentes genotipos aviares, ya que dan una idea de la conformación corporal y se utilizan para describir una población en forma más integral que los métodos convencionales de clasificación y pesaje. Estas técnicas estadísticas multivariadas son valiosas para sortear las deficiencias de los análisis de correlación univariados y bivariados mediante la integración simultánea de muchas variables a la vez y también son capaces de explicar interrelaciones

complejas existentes entre variables (Oguntunji et al., 2021). En la presente tesis, el análisis discriminante canónico permitió un alto grado de asignación de las aves a su grupo genético y programa de alimentación de pertenencia, lo que permitió la separación de las aves según tratamiento y corroboró los resultados obtenidos en el análisis comparativo univariado. Por otra parte, el análisis de las componentes principales permitió discriminar entre grupos genéticos y programas de asignación de nutrientes lo que reflejó la asociación entre el peso corporal y el desarrollo de caracteres sexuales secundarios. Las aves con mayor asignación de alimento presentaron un mayor desarrollo de los indicadores zoométricos de madurez sexual en ambos genotipos. El mayor valor de los caracteres que exhibió la primera componente canónica indicó un ave más cercana a la madurez sexual, lo cual permitió asumir que al comparar dos genotipos en el mismo ambiente, el de mayor valor promedio de la primera componente canónica estuvo más cerca de la madurez sexual, asociada con un mayor índice de cresta, ancho de cloaca, ancho de cadera y longitud abdominal. A su vez, cuando se mantuvo a los genotipos bajo dos ambientes diferentes, el de mayor valor promedio de PCC estuvo más cerca de la madurez sexual, por lo cual esta componente se indicó un mayor desarrollo de la madurez sexual. Estos hallazgos coinciden con autores como Renema et al., (2007), quienes señalan que un aumento en la asignación de alimento hacia el final de la recría estimula una maduración sexual más uniforme en el lote, debido a que existe una declinación de los requerimientos para crecimiento junto a un incremento de las demandas para el desarrollo del aparato reproductor e inicio de la producción de huevos. Por otra parte, a mayor valor de SCC las aves presentan básicamente menor índice de cresta y mayor ancho de cadera, longitud abdominal y ancho de cloaca, resultado que demuestra la existencia de dos fuentes de variación para el índice de cresta: una predominante, asociada positivamente al ancho de cloaca y la longitud abdominal y prácticamente independiente del ancho de

cadera, y una segunda, menos trascendente, asociada negativamente con los tres indicadores restantes. Tales resultados coinciden con otros estudios que asignan un marcado componente genético a las variables relacionadas a la estructura ósea de la pelvis, con fuertes repercusiones sobre la fertilidad (McGary et al., 2003).

Los métodos de puntuación de la condición corporal en aves han sido desarrollados con la finalidad de evaluar la provisión de alimento en una etapa determinada, como así también, examinar el estado de salud de las aves individuales o de la población en general y constituyen una herramienta útil para el seguimiento de rutina de las prácticas de manejo y del bienestar animal (Gregori & Robins, 1998). El conocimiento de la composición corporal y de los cambios que ocurren durante el ciclo de vida de las reproductoras pesadas es importante para ajustar el programa de alimentación, lo que garantiza el suministro de los nutrientes necesarios para la etapa de crecimiento, maduración sexual y producción de huevos (Salas et al., 2019). La gestión práctica de los lotes tiene como objetivo principal alcanzar el peso corporal promedio recomendado en la guía de manejo y, simultáneamente lograr un coeficiente de variación deseado. Sin embargo, desde hace tiempo se reconoce que dos aves de igual peso corporal pueden no tener el mismo potencial reproductivo, debido a que también es importante considerar la composición corporal, lo que hace necesario examinar el desarrollo relativo del tejido muscular, óseo y adiposo. La inclusión de una evaluación rutinaria de la condición corporal mediante el empleo de un rango de puntuación del desarrollo de la pechuga es un indicador útil para el seguimiento de los lotes en etapas previas a la madurez sexual. La conformación corporal adecuada conseguida a partir de la semana 16 se considera fundamental para un óptimo desempeño reproductivo (Loughlin, 2009). En la presente tesis se planteó la hipótesis que el genotipo y el programa de

alimentación determinan la composición corporal e influyen sobre el inicio de la madurez sexual. El programa de alimentación que asignó mayor cantidad de energía y proteína en la etapa de recría dio por resultado una mayor proporción en aves en condición corporal 2 lo que reflejó un mayor desarrollo de la pechuga como respuesta al mayor plano nutricional. Estos resultados son coincidentes con los obtenidos por Melnychuk et al. (2004) quienes estudian la respuesta de estirpes mejoradas bajo distintos criterios de selección a diferentes condiciones de alimentación y programas de iluminación. Incluyen en el estudio una estirpe de rápido crecimiento, dos estirpes de moderada aptitud reproductiva y una con énfasis en la conformación y máximo rendimiento. Si bien las estirpes representadas en ese estudio tienen distintos perfiles de crecimiento, el programa de alimentación demuestra poseer un mayor efecto sobre la conformación corporal. Yaissle & Lilburn (1998) estudian los efectos de las diferencias en el consumo de proteína sobre el crecimiento y rendimiento de cortes en pollas Hubbard Standard y Hubbard Alto Rendimiento a diferentes edades. En ambas estirpes, la alimentación con 19 % de proteína cruda en la dieta por más de 7 días, es decir una mayor asignación de proteína en el periodo inicial de crecimiento, se traduce en un importante aumento tanto en el peso absoluto como relativo de la pechuga a los 14 y 28 días. England et al. (2014) demuestran el efecto que produce la asignación de proteína durante la recría sobre la curva de crecimiento y composición corporal en pollas de rápido crecimiento criadas a piso. Nuestros resultados difieren con los reportados por los autores que señalan que el programa de alimentación afecta marcadamente el peso y la conformación corporal, aunque no afecta la edad a la primera oviposición.

CAPÍTULO 3

EVALUACIÓN DEL DESARROLLO FOLICULAR POR ULTRASONOGRAFÍA

Introducción

Para evaluar el grado de desarrollo genital alcanzado por las reproductoras al momento de la madurez sexual y la evolución del mismo a lo largo de la etapa de postura, existe un amplio grupo de técnicas que pueden ser utilizadas. Un método potencialmente útil como herramienta para el seguimiento del crecimiento folicular es la evaluación directa de la morfología ovárica en aves sacrificadas durante la fase final de desarrollo previo a la madurez sexual, la que puede ser utilizada para estimar la dinámica del desarrollo genital de un ave, en particular en ensayos experimentales, aunque su factibilidad se ve restringida cuando las poblaciones aviares tienen un tamaño efectivo relativamente bajo. El estudio se inicia con el registro del peso ovárico y la medición y recuento de los folículos grandes amarillos que se agrupan de acuerdo a su tamaño (folículos cuyo diámetro difiera en menos de 1 mm serán considerados similares). Luego se registra el número total de categorías obtenidas y el número de folículos en cada categoría. El número de jerarquías completas se obtiene dividiendo el número de grandes folículos amarillos por el número de categorías existente. El peso del ovario y del oviducto se obtiene luego de su remoción; cuando al ovario se le extraen los folículos amarillos grandes se obtienen el estroma inicial. Tras la remoción de los folículos amarillos pequeños y blancos (grandes y medianos) se obtiene el estroma desnudo del ovario. Estas mediciones son útiles para evaluar el efecto de distintos tratamientos sobre las categorías de folículos ováricos (Renema et al., 1999). La determinación de la morfología ovárica mediante este método es limitada, ya que cuando se utiliza la disección como técnica de estudio, la producción total de huevos solo puede ser inferida. Debido a las mejoras en la tecnología de ultrasonido, es posible observar la condición del ovario *in vivo*, permitiendo de esta manera el muestreo repetido de la misma gallina durante todo un ciclo de producción de

huevos (Melnychuk et al., 2002). Para determinar la factibilidad del empleo de la ecografía en la detección de tumores ováricos en gallinas ponedoras y su posterior comparación con la anatomía ovárica y las características histológicas, Barua et al. (2007) emplean la escala de grises bidimensional transvaginal y ecografía Doppler color. Estos autores detectan la presencia de tumores ováricos macroscópicos en todas las gallinas mediante ecografía y concluyen que es posible utilizar la ecografía transvaginal para determinar el estado ovárico en gallinas.

El conocimiento de la variación que existe en el desarrollo ovárico incorpora ventajas para la implementación de nuevas estrategias de manejo que permitan optimizar la producción de huevos. Las técnicas de ultrasonografía son ampliamente utilizadas en bovinos, equinos y cerdos para evaluar su estado reproductivo, su adaptación a la gallina permitirá observar diferentes estadios de desarrollo ovárico en aves vivas, sometidas a distintos tratamientos alimentarios aplicados durante el período de maduración del sistema reproductivo. La constatación del número de folículos grandes amarillos y el estado de la jerarquía folicular pueden proveer información valiosa para evaluar cómo el potencial de producción de huevos es afectado por el genotipo, las estrategias de manejo y la alimentación. Una ventaja adicional de esta tecnología es la posibilidad de realizar mediciones repetidas en la misma gallina y relacionar el estatus ovárico con la producción de huevos, empleando un método relativamente sencillo, muy seguro y de bajo costo para obtener datos de una muestra representativa del lote (Sreesujatha et al., 2016). La utilización de este método permite, además, determinar el valor de un individuo como reproductor al momento de la madurez sexual e identificar y descartar aquellas gallinas que se encuentran en regresión ovárica o presenten múltiples jerarquías a lo largo del ciclo (Melnychuk et al., 2002). Este método de

evaluación permite ser utilizado como una herramienta de selección de individuos en poblaciones amenazadas por el bajo tamaño efectivo, como son las estirpes maternas del pollo campero INTA, lo que amerita su incorporación en los protocolos de investigación de estos genotipos aviares.

El potencial diagnóstico de la ecografía no invasiva rara vez se ha utilizado en aves de corral. La mayor restricción al uso del ultrasonido transcutáneo como método diagnóstico en aves es su anatomía, especialmente los sacos aéreos que suponen un obstáculo para la propagación de las ondas ultrasónicas (Hochleithner, 2006; Wagner & Kirberger, 2001). Como resultado, hasta hace poco era imposible determinar el estado inactivo de las gónadas y los riñones en las aves mediante el examen ecográfico transcutáneo (Hofbauer & Krautwald-Junghanns 1999). Por este motivo se ha buscado eliminar la influencia de los sacos colocando directamente la sonda de ultrasonido en los órganos reproductores masculinos o femeninos (Thielebein & Kozlowski, 2010). La ecografía de los órganos reproductivos de las aves se puede realizar mediante tres técnicas, que son la ecografía transcutánea, transvaginal y transintestinal. La ecografía transcutánea se puede realizar mientras el ave está viva sujetándola y manipulándola mecánicamente (Bronneberg & Taverne, 2003). Sin embargo, tiene dificultades para observar gónadas y folículos inactivos con ciertos tamaños, debido a que los sacos de aéreos dificultan la imagen producida por la ecografía (Thielebein & Kozlowski, 2010). La ecografía transvaginal es apropiada para determinar el estado del tracto reproductivo aviar porque permite una visión muy cercana de los órganos pélvicos, pero funciona mejor en aves grandes (Aryanti, 2017). La ecografía transintestinal puede reducir la propagación de las ondas por los sacos aéreos, pero esta técnica requiere anestesia (Bronneberg & Taverne, 2003).

Material y métodos

Desarrollo folicular

Todos los exámenes fueron llevados adelante usando un sistema de escaneo ultrasonográfico transcloacal en tiempo real en modo B. Se trabajó con el Ecógrafo portátil Mindray DP-30 Vet. y un transductor Mindray endocavitario microconvexo (Código 65ec10ea) de 10 mm de diámetro y triple frecuencia de matriz microconvexa de 5-8,5 MHz.

Se determinó el número y diámetro de los folículos grandes amarillos en las semanas 24, 26 y 30 en forma individual en 20 gallinas de cada box, mediante el empleo de la técnica desarrollada por Melnychuk et al. (2002) y adaptada por Barua et al. (2007). Cada gallina se inmovilizó mediante la sujeción por un asistente y posterior posición en decúbito supino con la pechuga hacia arriba. La cloaca de todas las aves fue higienizada cuidadosamente y, a continuación, se aplicó un gel sobre el traductor para mejorar la conductancia de las ondas sonoras. Luego el transductor se insertó en un ángulo de 30 grados aproximadamente con respecto a la pared dorsal, hasta alcanzar de 3 a 5 cm desde el orificio exterior de la cloaca. Para estandarizar el posicionamiento del transductor, el marcador de dirección del transductor siempre se insertó en dirección a la línea media dorsal de la gallina. Todo el proceso fue registrado mediante capturas fotográficas para su posterior evaluación. Se tomaron varias capturas de las cuales se seleccionaron aquellas que permitían una mejor observación del desarrollo folicular.

Análisis estadístico

Los efectos del genotipo y del programa de alimentación se evaluaron, por separado, con la prueba U de Mann Whitney de comparación de medianas.

Resultados

Desarrollo folicular

Efecto de la genética y el programa de alimentación sobre el número y tamaño folicular

La Tabla N° 16 muestra el número y diámetro de folículos para cada genotipo y programa de alimentación en la semana 24 del ciclo de producción (Figura N° 7). El programa de alimentación no produjo un efecto significativo sobre el número de folículos en el genotipo ES x A ($p= 0,33$) ni en el genotipo E ($p= 0,59$). El diámetro folicular tampoco presentó diferencias en función del programa de alimentación en ninguno de los genotipos (ES x A: $p= 0,34$; E: $p= 0,46$). Por su parte, el programa de alimentación Estándar no arrojó diferencias estadísticamente significativas para el número de folículos entre ambos genotipos ($p= 0,23$), en tanto que, el programa de alimentación Estándar+10 estableció una diferencia significativa para esta variable entre ambos grupos genéticos ($p= 0,03$) a favor del genotipo ES x A. Para el diámetro folicular, el programa de alimentación Estándar no presentó diferencias significativas según genotipo ($p= 0,27$), mientras que, el programa de alimentación Estándar+10 demostró diferencias significativas ($p= 0,0004$) a favor del genotipo E.

Tabla 16. Número y diámetro de los folículos ováricos en la semana 24 del ciclo en dos genotipos de gallinas reproductoras camperas bajo dos modalidades de asignación de nutrientes en las etapas de cría y recría

Genotipo y programa de alimentación	Número de folículos	Diámetro de los folículos (cm)
ES x A Estándar	5 (3,00-6,50)	2,33 (1,75-2,77)
ES x A Estándar+10	5 (3,00-5,00)	2,25 (1,91-2,42)
E Estándar	4 (3,00-4,50)	2,41 (2,29-2,94)
E Estándar+10	3 (3,00-4,25)	2,60 (2,40-2,98)

Los valores corresponden a la mediana y rango intercuartílico

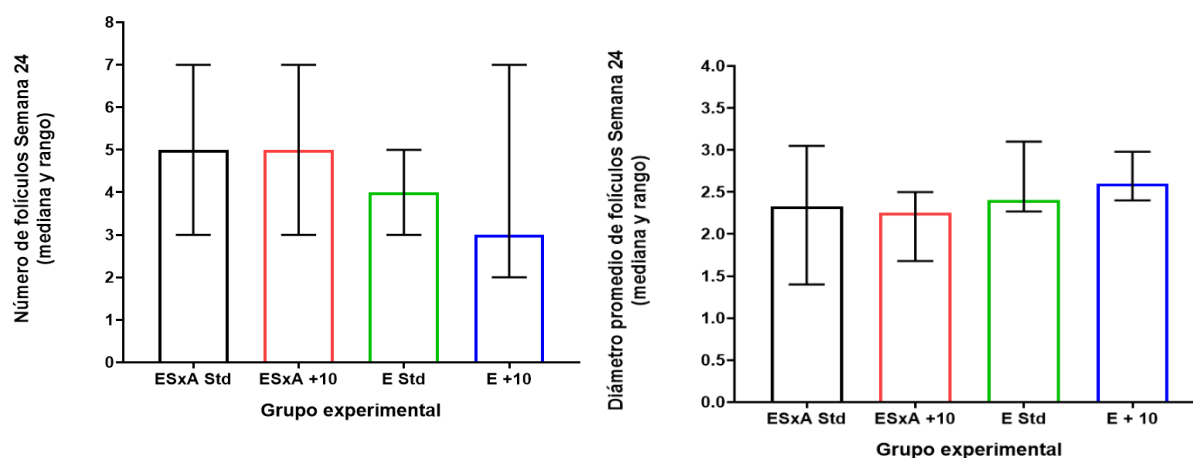


Figura N° 7: Número y diámetro de los folículos ováricos en la semana 24 del ciclo en dos genotipos de gallinas reproductoras camperas bajo dos modalidades de asignación de nutrientes en las etapas de cría y recría

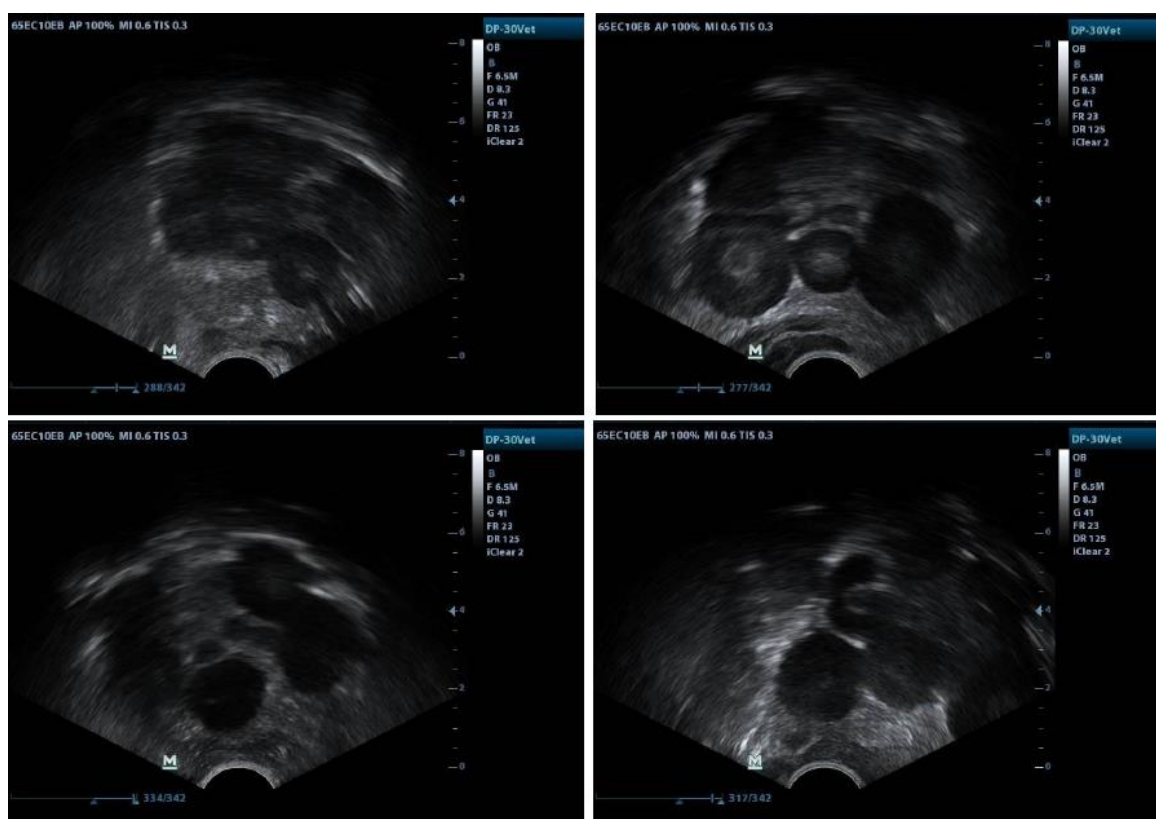


Figura N° 8: Ecografía folicular en la semana 24 de gallinas reproductoras camperas. Se observan grupos de folículos grandes amarillos visibles con un círculo anecoico rodeado por una capa hipoeoica y anillos concéntricos hiperecoicos

La Tabla N° 17 muestra el número y diámetro de folículos para cada genotipo y programa de alimentación en la semana 26 del ciclo de producción (Figura N° 9). El programa de alimentación no produjo un efecto significativo sobre el número de folículos en el genotipo ES x A ($p=0,35$) ni en el genotipo E ($p=0,95$) (Figura N° 10). El diámetro folicular tampoco presentó diferencias en función del programa de alimentación en ninguno de los genotipos (ES x A: $p=0,06$; E: $p=0,35$). Por su parte, el programa de alimentación Estándar no arrojó diferencias estadísticamente significativas para el número de folículos entre ambos genotipos ($p=0,23$), en tanto que, el programa de alimentación Estándar+10 estableció una diferencia significativa para esta variable entre ambos grupos genéticos ($p=0,04$) a favor del

genotipo ES x A. Para el diámetro folicular, el programa de alimentación Estándar no presentó diferencias significativas según genotipo ($p= 0,42$). El programa de alimentación Estándar+10 tampoco produjo diferencias significativas entre ambos genotipos ($p= 0,33$).

Tabla 17: Número y diámetro de los folículos ováricos en la semana 26 del ciclo en dos genotipos de gallinas reproductoras camperas bajo dos modalidades de asignación de nutrientes en las etapas de cría y recría

Genotipo y programa de alimentación	Número de folículos	Diámetro de los folículos
ES x A Estándar	4 (4,00-5,50)	2,42 (2,17-2,75)
ES x A Estándar+10	5 (4,00-6,00)	2,62 (2,46-3,23)
E Estándar	4 (3,00-5,00)	2,82 (2,60-3,01)
E Estándar+10	4 (3,00-5,00)	2,70 (2,32-3,21)

Los valores corresponden a la mediana y rango intercuartílico

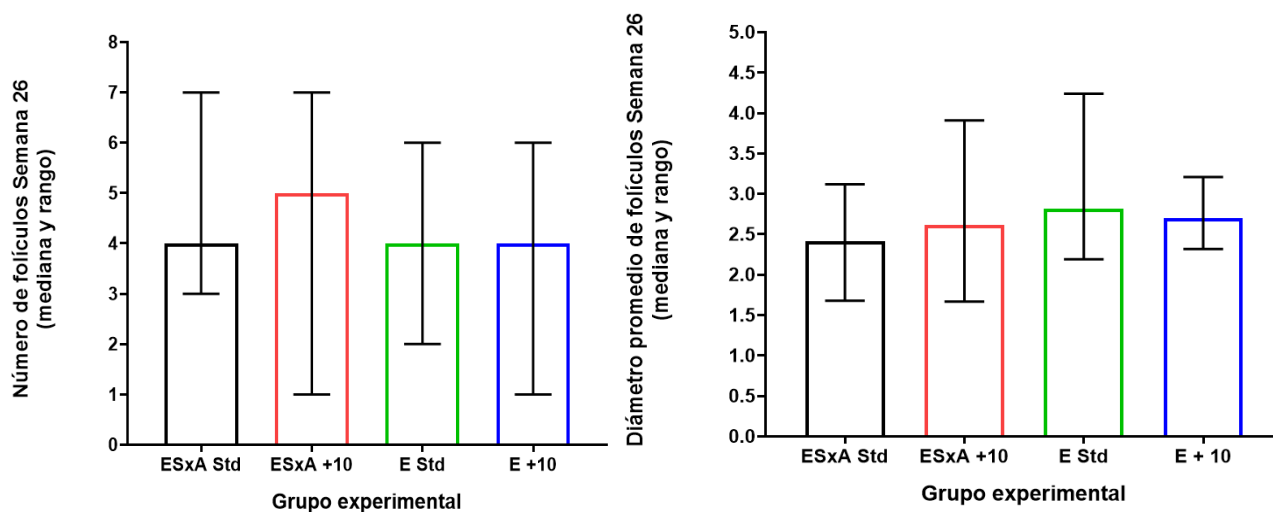


Figura N° 9: Número y diámetro de los folículos ováricos en la semana 26 del ciclo en dos genotipos de gallinas reproductoras camperas bajo dos modalidades de asignación de nutrientes en las etapas de cría y recría

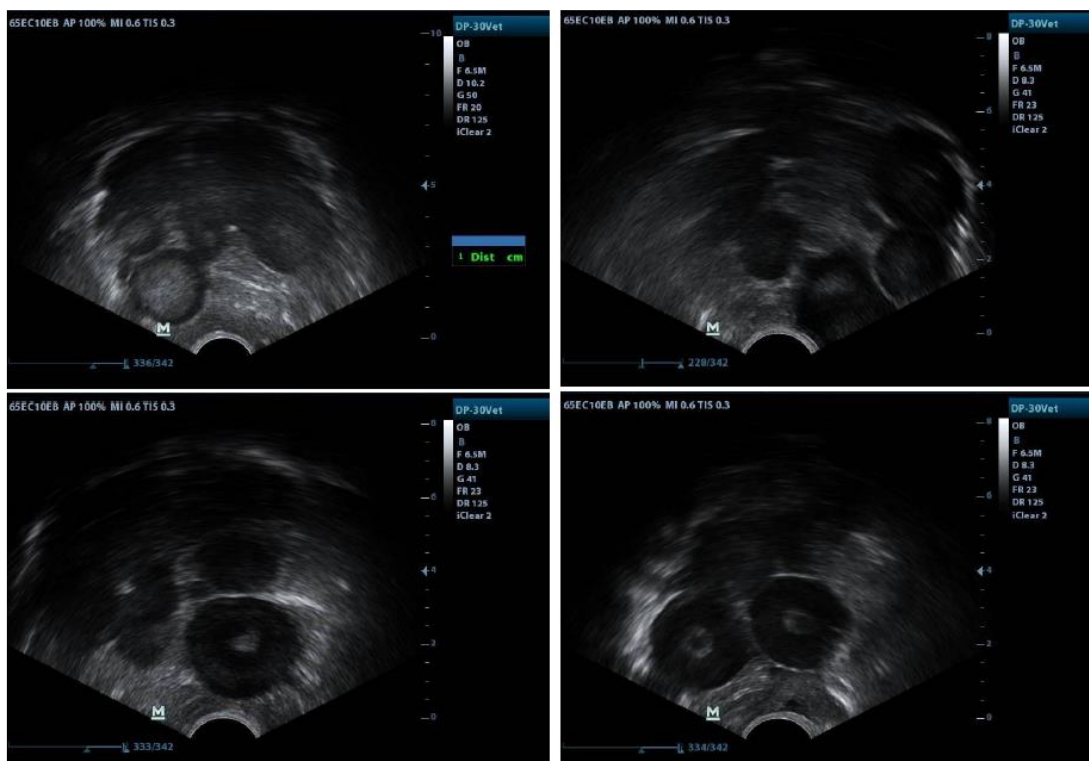


Figura N° 10: Ecografía folicular en la semana 26 de gallinas reproductoras camperas. Se observan grupos de folículos grandes amarillos con un mayor desarrollo con un círculo anecoico rodeado por una capa hipoeoica y anillos concéntricos hiperecoicos

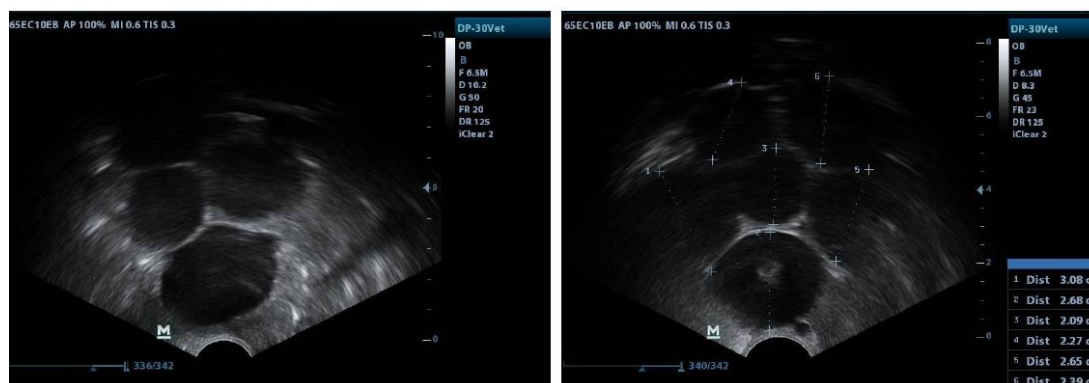


Figura N°11: Ecografía folicular semana 26 de gallinas reproductoras camperas. Se observan folículos grandes amarillos de diferentes diámetros y un grupo de folículos junto a un huevo en formación

La Tabla N° 18 muestra el número y diámetro de folículos para cada genotipo y programa de alimentación en la semana 30 del ciclo de producción (Figura N° 12).

El programa de alimentación no produjo un efecto significativo sobre el número de folículos en el genotipo ES x A ($p=0,12$) ni en el genotipo E ($p=0,35$). El diámetro folicular tampoco presentó diferencias en función del programa de alimentación en ninguno de los genotipos (ES x A: $p=0,05$; E: $p=0,34$). No se observaron diferencias significativas entre genotipos ni con el programa Estándar ($p=0,32$) ni con el programa Estándar+10 ($p=0,12$). Para el diámetro folicular, el programa de alimentación Estándar no presentó diferencias significativas según genotipo ($p=0,46$), mientras que con el programa Estándar+10 la diferencia fue marginalmente significativa ($p=0,06$).

Tabla 18: Número y diámetro de los folículos ováricos en la semana 26 del ciclo en dos genotipos de gallinas reproductoras camperas bajo dos modalidades de asignación de nutrientes en las etapas de cría y recría

Genotipo y programa de alimentación	Número de folículos	Diámetro de los folículos
ES x A Estándar	4 (4,00-6,00)	2,84 (2,53-3,15)
ES x A Estándar+10	5 (4,00-6,00)	2,42 (2,11-2,94)
E Estándar	4 (4,00-5,00)	2,79 (2,51-3,14)
E Estándar+10	5 (4,00-5,00)	2,66 (2,47-2,88)

Los valores corresponden a la mediana y rango intercuartílico

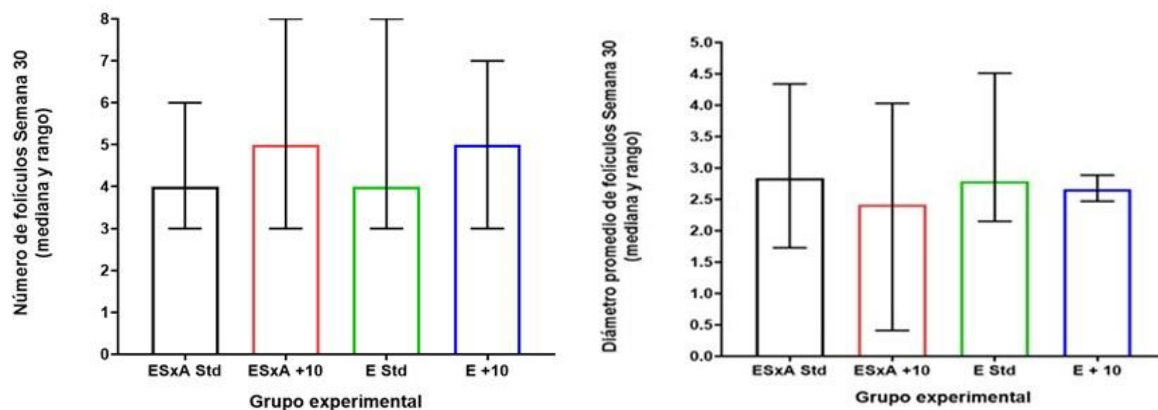


Figura N° 12: Número y diámetro de los folículos ováricos en la semana 30 del ciclo en dos genotipos de gallinas reproductoras camperas bajo dos modalidades de asignación de nutrientes en las etapas de cría y recría

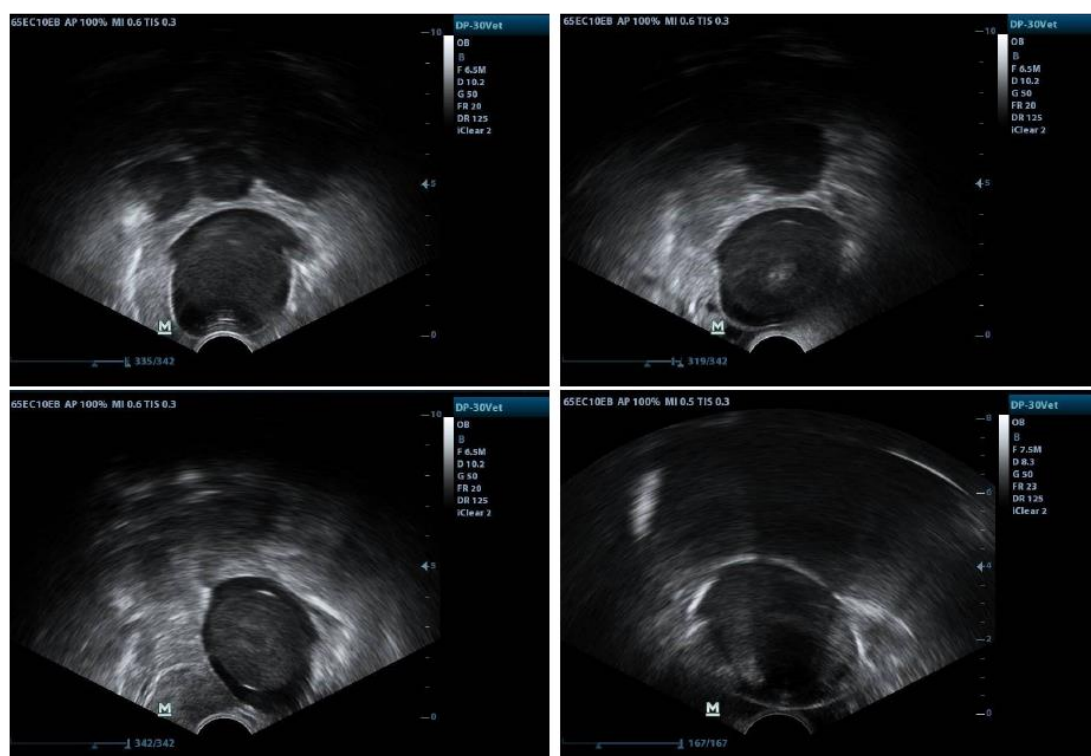


Figura N° 13: Ecografía folicular semana 30 de gallinas reproductoras camperas. Se observan folículos grandes amarillos junto a un huevo en formación. En las demás imágenes se puede observar diferentes estadios de un huevo en formación hasta completan su desarrollo

Discusión

La dinámica folicular en la gallina doméstica es diferente a la de otras especies monovulares debido a que el ovario contiene una jerarquía de folículos en crecimiento que progresan gradualmente hacia la madurez. Además, en esta especie hay poca atresia asociada con los folículos que conforman la jerarquía a medida que avanzan hacia la ovulación, aunque cada folículo puede estar situado cronológicamente varios ciclos ovulatorios antes de ser ovulado (Ghanem & Johnson, 2019). Es probable que esto se relacione con el proceso energéticamente exigente de acumulación de yema y el tiempo necesario para crecer hasta el tamaño preovulatorio (Johnson, 2015), lo que implica que el balance energético en gran medida modula el crecimiento y reclutamiento en la fase de crecimiento rápido de los folículos. En la presente tesis la mayor asignación de alimento durante la etapa de cría y recría produjo efectos disímiles, en ambos genotipos, sobre el desarrollo folicular en el período previo a la madurez sexual y hasta el pico de producción. Es así que, en la semana 24 el programa de alimentación Estándar+10 indujo en el genotipo ES x A un mayor grado de reclutamiento folicular que resultó en un aumento del número de folículos, en tanto que el genotipo E presentó igual cantidad de folículos, aunque con un diámetro superior. Esta evolución del desarrollo folicular se mantuvo parcialmente en la semana 26, en la cual el número de folículos en el genotipo ES x A bajo el programa Estandar+10 siguió siendo mayor que en el grupo E Estandar+10, en tanto que el diámetro folicular dejó de presentar diferencias, es decir se verificó una dinámica folicular diferente entre ambos genotipos ante la mayor asignación de alimento. En la semana 30 el tamaño folicular presentó diferencias marginalmente significativas a favor de las aves del genotipo E que recibieron mayor asignación de nutrientes, lo que da una idea de que el efecto del programa de alimentación

observado al final de la recría se disipa, al menos en parte, hacia esa edad. No obstante, más allá de las diferencias encontradas, el programa de asignación de alimento con mayor asignación de energía y proteína no fue de suficiente magnitud, como para ocasionar modificaciones graves en el desarrollo folicular. El progreso del desarrollo folicular observado alrededor de la madurez sexual y al inicio de la postura sugiere una sensibilidad diferente de los folículos ováricos a la mayor asignación de alimento en ambos genotipos. En el híbrido ES x A el ovario respondió con un mayor reclutamiento folicular, lo que resultó en una jerarquía folicular compuesta por mayor número de folículos grandes amarillos. Este hecho puede deberse a que esta población es el producto de un cruzamiento y, como tal, constituir una respuesta heterótica particularmente observable en un carácter vinculado con la eficacia biológica como es el número de folículos y, por ende, el número potencial de huevos, hecho que no se observa en la población sintética E, la cual posee un bajo tamaño efectivo, el que se vincula con un aumento de la consanguinidad con la potencial depresión por endogamia de este tipo de caracteres. En la sintética E el programa de alimentación con mayor nivel de asignación de energía y proteína dio por resultado folículos jerárquicos de mayor tamaño. Estos hallazgos se vinculan con el mayor desarrollo de los caracteres sexuales secundarios observados a esas edades y el adelantamiento de la madurez sexual, aunque se debe señalar que el número y tamaño de los folículos estuvieron dentro de lo normal para la especie (Francoeur et al., 2021), lo cual refleja que el programa de alimentación Estándar+10 no produjo un cuadro de anomalía a nivel ovárico.

En las aves de corral la morfología ovárica de las reproductoras tiene un efecto importante sobre la producción de huevos y la secuencia de puesta (Hocking, 1995). La presencia de más de siete a ocho folículos grandes amarillos con más de 10 mm de diámetro

en el ovario de una gallina reproductora forma una jerarquía folicular múltiple (Yu et al., 1992), la cual origina problemas reproductivos como atresia folicular, ovulación interna, oviposición interna, huevos con múltiples yemas, múltiples huevos en un día y secuencia errática de oviposición. Por este motivo, la observación directa de la estructura ovárica y de las distintas categorías de folículos existentes en el periodo prepuberal y de la madurez sexual, constituye una valiosa herramienta para evaluar los efectos de distintos programas de manejo aplicados a las reproductoras durante las etapas de cría y recria. Jeyakumar et al., (2010) emplean una sonda transcutánea como método para visualizar los folículos ováricos. La posición del transductor induce variaciones en la observación de los folículos, los cuales pueden ser distinguidos como un grupo o visualizados como un solo folículo. El grupo de folículos grandes amarillos se observan como círculos oscuros con anillos concéntricos hiperecoicos de claros a brillantes y bordes blancos estrechos que indican la pared del folículo. La identificación de todos los folículos grandes amarillos mediante este método transcutáneo requiere la designación de un folículo grande marcador, cuya determinación se basa en el folículo fácilmente visualizado tras colocar el transductor. Por su parte, Fajri & Ulum (2019) utilizan la ecografía transcutánea para estudiar la anatomía reproductiva en gallinas de Indonesia como método no invasivo que proporciona imágenes cuya claridad es cercana a la producida mediante los métodos que se aplican *post-mortem*, pero sin la necesidad de sacrificar gallinas, hecho que hace útil a esta herramienta cuando las poblaciones aviares en estudio son reducidas. Emplean 15 gallinas clasificadas en tres grupos de acuerdo al peso corporal (1.200, 1.300 y 1.500 gramos) y también dividen en dos grupos basados en la edad (mayores y menores a un año). Señalan que los folículos son fácilmente visibles y aparecen como un círculo anecoico rodeado por una capa hipoecoica, cuyo número y tamaño se hallan fuertemente influidos por el peso corporal de la gallina. Hofbauer et al.,

(1999) señalan la utilidad de la ultrasonografía para el examen clínico del tracto urogenital en animales de compañía, subrayan la ventaja que supone el uso de un método no invasivo para detectar cambios patológicos no diagnosticables en aves con otros métodos de exploración. El examen ultrasonográfico también ha demostrado ser útil para el seguimiento de la evolución de la atresia folicular en gallinas ponedoras y reproductoras pesadas, inducidas a la atresia folicular y posterior pausa de la postura mediante el reemplazo durante 7 días del alimento de postura por cebada entera. Para el procedimiento se anestesian las aves, se quitan las plumas para permitir la aplicación del gel de ultrasonido y se coloca una sonda de ultrasonido en la pared abdominal izquierda entre la última costilla y el hueso púbico en el lado izquierdo (Nili & Kelly, 2000). En ambos genotipos los autores observan la atresia folicular a los 8 días en el grupo restringido, también señalan que no hay diferencias según genotipos en el proceso de atrofia de los folículos grandes amarillos ni en la configuración del estroma lacunar. Debido a características similares del aparato reproductor con los humanos, las codornices (*Coturnix coturnix*) son utilizadas en experimentos de laboratorio para obtener imágenes ultrasonográficas normales del aparato reproductor femenino. Hosseini et al., (2017) realizan una prueba con un dispositivo ultrasónico Mindray Z6 Vet. equipado con un transductor microconvexo de 6-9 Mhz por vía transcutánea. Las imágenes obtenidas en ese estudio guardan relación con los registros fotográficos de folículos ováricos obtenidos de aves sacrificadas, lo que demuestra que este método es apropiado para estudiar la anatomofisiología reproductiva y permite identificar aves en distintos estadios del ciclo reproductivo. Eusemann et al., (2018) examinan por ultrasonografía transcutánea los folículos ováricos en gallinas ponedoras con el transductor colocado en el área entre la columna vertebral y la última costilla y señalan que cuando los folículos están presentes, son visibles como una zona circular anecoica y un pequeño círculo hiperecoico en el medio. A

diferencia de estos autores, la técnica transcloacal aplicada en la presente tesis permitió visualizar la jerarquía folicular completa, la cual incluyó folículos con diferentes categorías de tamaños. Asimismo, de acuerdo a la observación, los autores dividen los folículos de la jerarquía en tres categorías, a saber: $14,57 \pm 0,92$ (11-20), $24,7 \pm 0,74$ (21-28) y $31,76 \pm 0,39$ (30-33), lo que demuestra que los folículos superiores a 30 mm de diámetro podrían considerarse como un folículo preovulatorio maduro. Por su parte Melnychuk et al., (2002) informan que, en reproductoras pesadas, el número medio de folículos grandes amarillos observados mediante ecografía transcloacal es de $6,7 \pm 0,27$, mientras que por disección registran $6,9 \pm 0,26$, resultados con los cuales coincide la presente tesis. La ecografía transcloacal en tiempo real es útil para el seguimiento secuencial de los cambios dinámicos en la población folicular de las gallinas, debido a que es una técnica no invasiva, relativamente sencilla, eficaz y rápida, ya que la imagen ultrasónica facilita la interpretación inmediata en la mayoría de las circunstancias. De hecho, este método podría representar un abordaje rápido y fiable para estudiar varias funciones reproductivas en la gallina ponedora, específicamente, la predicción del número de folículos pre-jerárquicos y el estado de la jerarquía folicular, y proporcionar así información valiosa para evaluar el potencial de producción de huevos afectado por las estrategias de manejo, lo que representa una herramienta válida para maximizar la producción. Marongiu et al., (2009) estudian los mecanismos involucrados en la falla reproductiva asociada a estrés térmico y su efecto *in vivo* sobre la función ovárica y señalan que las imágenes ultrasonográficas revelan una reducción en el número de folículos de las aves sometidas a estrés, lo que representa una ventaja para el desarrollo de nuevas estrategias tendientes a maximizar la producción.

El ovario de las gallinas reproductoras de estirpes pesadas seleccionadas para la producción, alimentadas *ad libitum* contiene por lo general de 10 a 14 folículos grandes amarillos, cantidad excesiva si se la compara con el número normal de 5 a 7 al principio de la postura. La cantidad adicional de folículos produce alteraciones del funcionamiento del aparato reproductor de la gallina que incluyen ovulación abdominal, huevos defectuosos y oviposición errática, conjunto de alteraciones morfofisiológicas que ha sido descrito por Jaap & Muir (1968) y que van Middelkoop & Siegel (1976) denominan “Síndrome de oviposición errática y huevo defectuoso”. Se ha demostrado que el incremento del número de folículos está asociado a la selección por peso corporal y a la sobrealimentación en la etapa de recría, hecho que impuso la necesidad de establecer programas de restricción alimenticia adaptados a los requerimientos de cada genotipo en particular con la finalidad de modular el desarrollo folicular en las etapas previas a la madurez sexual. Hocking & Robertson (2000) confirman la asociación entre la selección por peso corporal y el programa de restricción alimenticia en un estudio en el que incluyen una línea seleccionada por peso corporal y una población sin selección. El menor número de folículos jerárquicos junto a un menor tamaño de los folículos grandes amarillos se observa en las aves con mayor restricción alimenticia, hecho que pudo constatar en el análisis ecográfico de los folículos ováricos de la presente tesis.

El mecanismo mediante el cual la alimentación actúa para reducir el desarrollo folicular excesivo se examina en un estudio que evalúa sus efectos sobre la dinámica folicular en gallinas reproductoras previo a la madurez sexual (Diaz & Anthony, 2013). Los autores informan un aumento en la proporción de folículos de 100-300, 300-500 y >500 μm de diámetro y una disminución en los folículos <100 μm en gallinas con alimentación libre en

comparación con gallinas con alimentación restringida. Estos autores asocian el mayor desarrollo folicular en gallinas con una mayor expresión de transcripciones esteroideogénicas dentro de la corteza ovárica de gallinas alimentadas *ad libitum* y concluyen que la alimentación restringida puede mejorar la eficiencia de la reproducción al suprimir el desarrollo folicular temprano, que se asocia con cambios en el estado de fosforilación de las proteínas de las células de la granulosa. Los mecanismos subyacentes a estas diferencias implican modificaciones en los sistemas de retroalimentación del eje hipotálamo-hipófisis-gónada cuya naturaleza no ha sido descrita en forma precisa. No obstante, se ha hipotetizado que la homeostasis metabólica en gallinas reproductoras pesadas sobrealimentadas puede ser alterada y dar origen a una condición de lipotoxicidad que origina alteraciones en las señales hormonales, las cuales inducen disfunción ovárica y disminución en la producción de huevos. Chen et al., (2006) comprueban diferencias en la concentración de leptina en aves sobrealimentadas y restringidas, y sugieren que las anomalías ováricas en las gallinas con sobrealimentación se deben a diferencias en la función reproductiva mediada a través de desregulaciones en la producción de leptina la cual, además, presenta diferencias en distintos genotipos con diferentes aptitudes reproductivas. También han sido estudiados los efectos metabólicos directos de las prácticas restrictivas de alimentación relacionados con la melanocortina hipotalámica (Richards et al., 2010), cuya interacción con el eje hipotálamo-hipófisis-gonadal fue un punto de partida fundamental para conocer los mecanismos de desregulación del sistema reproductivo en reproductoras pesadas (van der Klein et al., 2020). Se ha sugerido que el neuropéptido Y actúa en la eminencia media para estimular la liberación de GnRH-I (Contijoch et al., 1993). El estímulo del neuropéptido Y sobre las neuronas del hipotálamo conduce a un aumento en la ingesta de alimento y el almacenamiento de energía, en tanto que el ayuno o la restricción alimenticia aumentan los

niveles de neuropéptido Y (Richards et al., 2010). Sin embargo, las diferencias en los patrones de este neuropéptido no siempre han sido consistentes entre líneas genéticas o cuando existen diferencias en el grado de restricción alimentaria (Boswell et al., 1999; Byerly et al., 2009; Yuan et al., 2009). El estroma ovárico posee un conjunto de pequeños folículos indiferenciados que, bajo la influencia de diferentes dietas en la cría de reproductoras pesadas, demuestran divergencias en la producción de estradiol por los folículos blancos, cuyo resultado se plasma en un aumento del reclutamiento folicular en respuesta al aumento del consumo de alimento (Liu et al., 2004).

CAPÍTULO 4

APTITUD REPRODUCTIVA:

Producción y peso del huevo fértil

Introducción

La gallina doméstica pone huevos en series siguiendo un patrón de producción que es dependiente de la tasa de maduración folicular y es controlado por el ritmo circadiano y eventos fisiológicos ligados a la reproducción (Etches, 1996). Aunque aún no se ha determinado la forma precisa en que se integran los diferentes factores que establecen la tasa de postura, se sabe que el potencial genético, la nutrición, la sanidad, el peso corporal, la posición social y las condiciones ambientales regulan el ritmo de puesta (Spies, 2000).

Se acepta que el mejoramiento es un proceso complejo de adaptación del patrimonio genético de las poblaciones, que tiende a disminuir la varianza genética para el carácter que está siendo seleccionado y es de gran utilidad cuando se trabaja dentro de un genotipo determinado, el cual será empleado en futuros cruzamientos en busca de mejorar uno o más caracteres productivos (Abou El-Ghar et al., 2010). La comparación de la producción de huevos entre gallinas reproductoras livianas y pesadas, refleja la importancia que tiene la genética para la determinación de la aptitud reproductiva. Los programas de selección aplicados en las estirpes para carne en la búsqueda de una mayor tasa de crecimiento y producción de masas musculares, han sido acompañados por resultado divergentes que dependen del énfasis puesto en los aspectos reproductivos o en los de crecimiento, debido a la existencia de una correlación negativa entre el peso corporal y la producción de huevos (Melnychuk et al., 2004).

Estos procesos de mejora genética cuando son implementados en poblaciones con un tamaño efectivo muy reducido pueden producir efectos adversos como consecuencia de la endogamia, los cuales pueden ser observados en las poblaciones maternas cerradas

utilizadas para obtención del pollo Campero INTA, como el genotipo E utilizado en el presente estudio. Esta reducción en la aptitud reproductiva derivada de la pérdida de variabilidad genética en las poblaciones cerradas, tiene como consecuencia una considerable reducción en la eficiencia reproductiva, lo que se traduce en una disminución en la cantidad de huevos y en su calidad, hecho que plantea la necesidad de implementar cruzamientos adecuados para hacer uso del efecto de la heterosis, con lo cual, se mejora la cantidad y calidad del producto obtenido. Este es el caso del híbrido ES x A producto del cruzamiento entre machos de la línea sintética ES y hembras de la línea sintética A, ambas poblaciones pertenecientes al genofondo del INTA (Dottavio, 2017).

Más allá de la influencia decisiva que posee la genética sobre la producción de huevos y otros aspectos relevantes de la reproducción, la expresión de las distintas características genéticas relacionadas con la aptitud reproductiva de una población se ve modificada por múltiples factores no genéticos que interactúan entre sí, constituyendo los llamados efectos ambientales (Reddish, 2004). Las mejoras obtenidas en las técnicas de manejo, particularmente en los programas de luz y alimentación, contribuyen a incrementar la aptitud de los reproductores pesados (Poole, 2003). A pesar de ello, aún deben desarrollarse programas de manejo especiales adaptados a los genotipos y recursos disponibles para cada caso en particular, lo que implica un proceso en continua evolución siguiendo a los requerimientos variables de las aves (Pan et al., 2014). La interacción entre los programas de alimentación y los aspectos reproductivos es compleja y cambiante, lo que supone la existencia de diferentes alternativas que permitan la adaptación de la asignación de alimento a la introducción de nuevos genotipos aviares (Renema et al., 2007).

La fuerte correlación genética negativa entre el peso corporal y la tasa de producción de huevos, lleva al desarrollo de técnicas de manejo que tienen la finalidad de mejorar los indicadores reproductivos en las estirpes pesadas. Entre esas técnicas se debe señalar la restricción alimenticia como una práctica común en aves reproductoras de estirpes pesadas, para modular la tasa de crecimiento y mejorar su producción de huevos. La restricción alimenticia en la reproductora pesada durante las etapas de cría y recría controla el reclutamiento de los folículos ováricos, permitiendo un desarrollo armónico de las distintas categorías, en especial de los folículos grandes amarillos que conforman la jerarquía folicular, lo que resulta en mayor cantidad de huevos por gallina alojada al final del ciclo (Robinson & Wilson, 1996).

Más allá de los diferentes factores genéticos y no genéticos que influyen en la tasa de postura individual y colectiva, en las gallinas la producción de huevos se registra en forma de curva en función del porcentaje relativo a la cantidad de aves que conforman la población. Esta curva tiene cuatro componentes, a saber: un inicio de la postura definido por la edad de madurez sexual; una fase ascendente de la tasa de postura, hasta alcanzar un punto máximo; un pico de producción que puede durar varias semanas; y una fase descendente, en que la tasa de postura disminuye con la edad y cuya pendiente se utiliza como indicador de la persistencia de la postura (Wolc et al., 2020). Además de los estudios de corte longitudinal, el registro individual de huevos por gallina es comúnmente utilizado en los programas de selección genética, lo que implica el empleo del número de huevos acumulados a edades específicas (Luo et al., 2007). La edad al primer huevo, un carácter de mediana a alta heredabilidad en gallinas (Kamanli, 2019), se utiliza por convención como indicador del inicio de la madurez sexual (Wang et al., 2022), junto a otras mediciones como el tiempo de

oviposición y la longitud de la serie de postura. El uso de registros de producción de huevos en los programas de mejora debe tener una duración adecuada (Farzin et al., 2013), debido a que el empleo habitual de registros restringidos solo a las fases iniciales del período de producción, pueden conducir a una disminución de la persistencia de la postura (Anang et al., 2000).

La producción de huevos es un carácter de tipo longitudinal, que depende de semanas y meses para su obtención (Farzin et al., 2010). Su evolución varía ampliamente en función de la edad en que se inicia la postura y en que se alcanza el pico de producción, el porcentaje de postura alcanzado en el pico y a distintas edades, el número acumulado de huevos por ave y la persistencia de la postura. Por este motivo, los programas de evaluación de los genotipos maternos empleados para la obtención de huevos fértiles, incluyen el análisis dinámico, que da cuenta de la producción como proceso, pero también, en forma simultánea, datos integrados que resumen los valores haciéndolos comparables y de interpretación relativamente simple (Ali et al., 2003). Esto implica que la variable producción de huevos se desagrega en distintos componentes (total de huevos/ave en el ciclo, número de huevos a edades determinadas, persistencia en la postura, pico de producción) que nos informan sobre este aspecto desde distintos enfoques que ayudan a completar la evaluación productiva y, de tal forma, a caracterizar de manera más ajustada la población en estudio (Luo et al., 2007).

Además de la producción total de huevos, su peso aumenta monótonamente con la edad de postura y se aproxima a una asíntota (Onbaşlı et al., 2011; Weatherup & Foster, 1980). En particular, el peso del huevo parece ser una función de la edad de la gallina más que del período de puesta (Gilbert et al., 1978; Tůmová et al., 2007). Es un carácter de gran importancia en reproductoras pesadas debido a su influencia directa sobre el proceso de

incubación, el peso del pollito al nacimiento y su desempeño productivo. Una amplia gama de factores afecta el peso del huevo incubable a lo largo del ciclo, entre los que pueden señalarse el genotipo, el manejo, la sanidad, los factores ambientales y la edad de las reproductoras (Schmidt et al., 2009).

La calidad del huevo fértil es un aspecto crítico para la viabilidad de la cadena de producción avícola porque afecta en forma directa la incubabilidad y la evolución productiva de la progenie (Roberts, 2004). La calidad de la cáscara del huevo durante la vida reproductiva de la gallina se encuentra bajo la influencia de distintos factores que afectan su estructura. Entre los aspectos más relevantes se pueden destacar la constitución genética, la alimentación, el clima, el alojamiento y la edad de las aves, factores que, debido a su variabilidad, deben ser tenidos en cuenta al momento de evaluar los huevos que serán destinados a la incubación (Peebles & McDaniel, 2013). Como resultado global del proceso de selección genética, diferentes estirpes de gallinas presentan variaciones muy significativas en la calidad de la cáscara, como así también en el tamaño y la producción de huevos (Curtis et al., 1995), existiendo claras diferencias entre las modernas aves comerciales y las razas tradicionales de gallinas ponedoras (Hocking et al., 2003). La selección para una característica del huevo puede afectar otras de igual importancia desde el punto de vista productivo, por lo cual es importante monitorear todos los aspectos en conjunto, evitando de esta forma los desbalances en la calidad final del producto obtenido. El manejo cualitativo y cuantitativo de las dietas y algunos suplementos pueden ser efectivos para mejorar la calidad de la cáscara de los huevos en las gallinas que se encuentran transitando las últimas etapas del ciclo productivo (Roberts, 2004). Las condiciones de almacenamiento también influyen sobre la incubabilidad de los huevos, la calidad del pollito y su crecimiento. La calidad de la

cáscara del huevo disminuye en la medida que las gallinas envejecen debido a causas de distinto origen. Esta merma en la calidad de la cáscara se debe, en parte, a que su peso permanece constante en el transcurso de la vida productiva del ave, en tanto que el tamaño del huevo se incrementa, lo que implica que el peso del huevo no es acompañado por un incremento proporcional en el peso de la cáscara. Por este motivo, la relación entre el peso de la cáscara y el peso del huevo, a menudo referida como porcentaje de cáscara, disminuye a lo largo del ciclo (Roberts & Ball, 2004).

La calidad de la cáscara de los huevos fértiles puede ser medida por un gran número de métodos y técnicas, algunas de las cuales hacen necesaria la destrucción de los huevos, lo que resta utilidad práctica al método. Los métodos directos incluyen mediciones de la resistencia a la rotura del huevo, tales como fuerza de fractura por impacto, fuerza puntual y la compresión cuasi-estática, en tanto que las medidas indirectas incluyen la gravedad específica, la deformación no destructiva, el espesor de la cáscara y su peso. La densidad del huevo entero puede ser medida mediante inmersión en soluciones salinas de diferentes densidades, con la finalidad de observar en qué concentración de la solución los huevos flotan (Roberts, 2004).

Material y métodos

Se registró en cada box:

Producción total de huevos (HPG) entre la madurez sexual y la finalización del primer ciclo de postura.

Peso de los huevos recolectados (PH) por semana entre la madurez sexual y la finalización del primer ciclo de postura.

En el transcurso del ciclo de postura se registraron la Producción total de Huevos (HPG) y el Peso de huevos recolectados (PH). Al finalizar el ciclo de postura se calculó el peso promedio de huevos recolectados por semana de producción entre la madurez sexual y la finalización del primer ciclo de postura.

Análisis estadístico

Análisis de la Varianza

Se aplicó análisis de la varianza (ANOVA) para un experimento factorial 2 x 2, evaluando las diferencias entre tratamientos de las variables dependientes, considerando límite un nivel de significancia del 5 % (Poole, 1974; Steel & Torrie, 1988).

Análisis dinámico

El porcentaje de postura se calculó a intervalos semanales entre las 23 y las 58 semanas de edad, utilizando la siguiente expresión: $\{[(\text{número total de huevos puestos en la semana} / (\text{número de aves en el lote} \times 7))] \times 100\}$. Los valores del porcentaje de postura se graficaron en función de la edad cronológica de las aves observándose el patrón dinámico

esperado para este tipo de variable, con una fase ascendente, un pico y una fase descendente (Nelder, 1961, 1962).

En un primer análisis de la curva de postura, la trayectoria total se subdividió en dos etapas definidas por la edad de presentación del pico de postura: una etapa creciente (entre el inicio de la postura y el pico) y una etapa decreciente o de persistencia (entre el pico y la finalización del ciclo productivo).

La primera de dichas etapas mostró un comportamiento compatible con un modelo no lineal de naturaleza logística (se rechazó la hipótesis de linealidad evaluada con un test de rachas o ciclos – $P < 0,05$).

Los datos se ajustaron, por regresión no lineal, en función de la edad cronológica de las aves, con un modelo logístico:

$$Y_t = A (1 + B e^{(-k^*)})^{-1}$$

donde:

- Y_t = tasa de postura en el tiempo t ;
- A = asíntota superior (porcentaje de postura en el pico - valor de Y_t cuando $t \rightarrow \infty$)
- B = constante de integración, parámetro de posición sin valor biológico
- k = tasa de maduración (velocidad de aproximación a A)
- t = edad de postura (semanas)

En todos casos los ajustes se llevaron a cabo por regresión no lineal utilizando una técnica iterativa basada en el algoritmo de Marquardt (1963).

La bondad de los respectivos ajustes se evaluó utilizando los siguientes cuatro criterios: (a) convergencia de las iteraciones en una solución, (b) valor del coeficiente de determinación no lineal ajustado (R^2), (c) aleatoriedad en la distribución de los residuales estudiada con un test de ciclos o rachas (Sheskin, 2011) y (d) normalidad de la distribución de los residuales (prueba de Shapiro-Wilk).

La segunda fase, por el contrario, mostró un comportamiento lineal decreciente que no se apartó significativamente de la linealidad (test de rachas o ciclos – $P > 0,05$).

Los datos longitudinales peso promedio del huevo (g) versus edad de postura (semanas) se ajustaron con el modelo exponencial asintótico de Weatherup & Foster (1980) desarrollado sobre la base de un modelo sugerido por Sheldon & Podger (1974):

$$W(t) = A - B * r^t$$

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
- t = edad (semanas)

La bondad de los ajustes se evaluó a partir de la convergencia de las iteraciones en una solución, del valor del coeficiente de determinación no lineal ajustado y de la normalidad (prueba de Shapiro-Wilk) y la aleatoriedad de los residuales (test de rachas o ciclos).

Resultados

Producción de huevos por ave

No se constataron interacciones significativas en el análisis estático para el número total de huevos por ave en edades de importancia biológica entre los distintos niveles de los factores estudiados ($p > 0,05$). Se observaron diferencias significativas para el número de huevos por gallina alojada a las 25 semanas según el genotipo, con mayores valores para las aves de la línea sintética E. El programa de alimentación también alcanzó una diferencia estadísticamente significativa a esa edad a favor de las aves del grupo Estándar+10 (Tabla N°19).

En la semana 31 se mantuvieron las diferencias dadas por el genotipo, a favor de la población sintética E, en tanto que el programa de alimentación no produjo diferencias con significado estadístico. En las restantes edades (semana 50 y 58) no se demostraron diferencias significativas con base en la genética ni el programa de alimentación. No obstante, se debe destacar una diferencia marginalmente significativa ($p = 0,06$) en la producción de huevos al final del ciclo a favor de línea sintética E, con 11 huevos más para esta población, independientemente de los programas de alimentación aplicados.

Tabla N°19: Producción de huevo por gallina alojada en distintas edades del ciclo de producción de dos genotipos de gallinas reproductoras camperas bajo dos modalidades de asignación de alimento

Grupo genético	Híbridas ES x A		Sintética E	
	Estándar	Estándar +10%	Estándar	Estándar +10%
HPG 25 Semanas	0,31 ± 0,21	0,73 ± 0,02	0,65 ± 0,11	1,78 ± 0,10
HPG 31 Semanas	16,60 ± 1,10	19,50 ± 1,40	24,40 ± 1,70	27,35 ± 0,25
HPG 50 Semanas	104,88 ± 3,48	107,44 ± 6,27	119,03 ± 2,44	113,63 ± 2,74
HPG 58 Semanas	135,23 ± 4,41	137,88 ± 4,88	153,72 ± 1,93	142,29 ± 5,84

Tabla N° 20: Significado de los efectos del Análisis de la varianza de la producción de huevos correspondiente a un diseño completamente aleatorizado con un experimento factorial 2 x 2 de dos genotipos de gallinas reproductoras camperas bajo dos modalidades de asignación de nutrientes en las etapas de cría y recría

	Grupo genético	Nivel alimentación	Interacción G. genético y alimentación
HPG 25 Semanas	p < 0,0056	p < 0,0039	p = 0,0501
HPG 31 Semanas	p < 0,0032	p = 0,0773	p = 0,9848
HPG 50 Semanas	p = 0,0649	p = 0,7416	p = 0,3789
HPG 58 Semanas	p = 0,0638	p = 0,3849	p = 0,1928

Análisis dinámico de la producción de huevos

Los valores del porcentaje de postura se graficaron en función de la edad cronológica de las aves, observándose el patrón dinámico esperado para este tipo de variable, con una fase ascendente, un pico y una fase descendente (Figura N° 14).

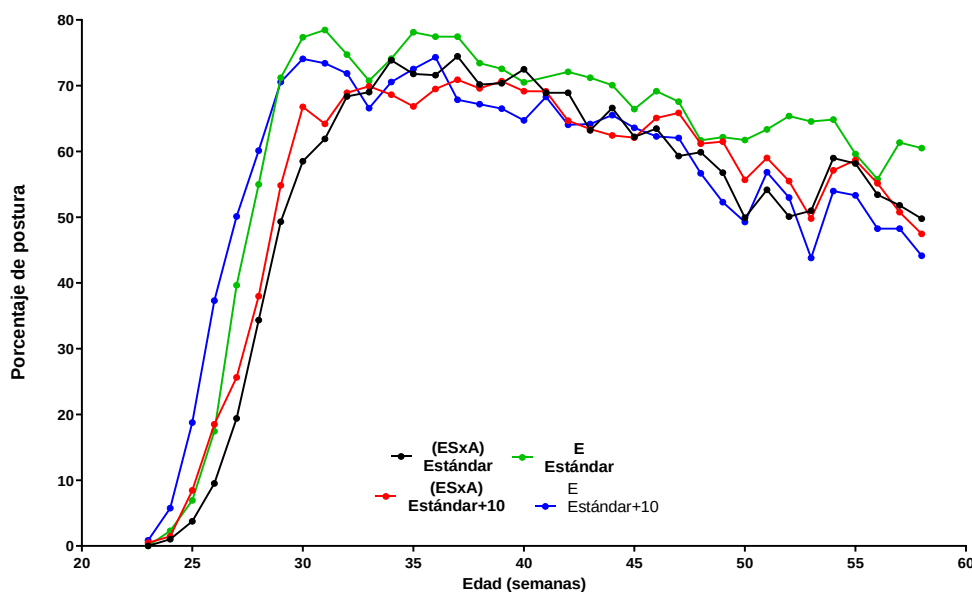


Figura N° 14: Curvas de postura de dos genotipos de reproductoras camperas bajo dos niveles de asignación de alimento durante las etapas de cría y recría

La Figura N° 15 muestra las mismas curvas agrupadas a fin de poder comparar el efecto del cambio en la asignación de alimento en cada uno de los dos grupos genéticos.

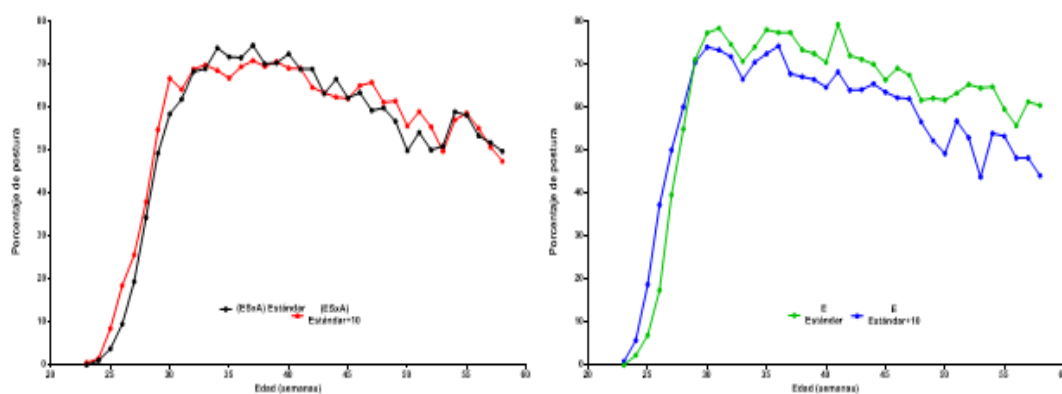


Figura N° 15: Curvas de postura de dos genotipos de reproductoras camperas bajo dos programas de alimentación durante la recría. Porción izquierda: Genotipo ES x A. Porción derecha: Población Sintética E

A los efectos del análisis dinámico de la producción de huevos, la trayectoria total se subdividió en dos etapas definidas por la edad de presentación del pico de postura: una etapa creciente (entre el inicio de la postura y el pico) y una etapa decreciente o de persistencia (entre el pico y la finalización del ciclo productivo).

La primera de dichas etapas mostró un comportamiento compatible con un modelo no lineal de naturaleza sigmoidea (Figura N° 16). La bondad de los ajustes fue satisfactoria en término de los criterios establecidos.

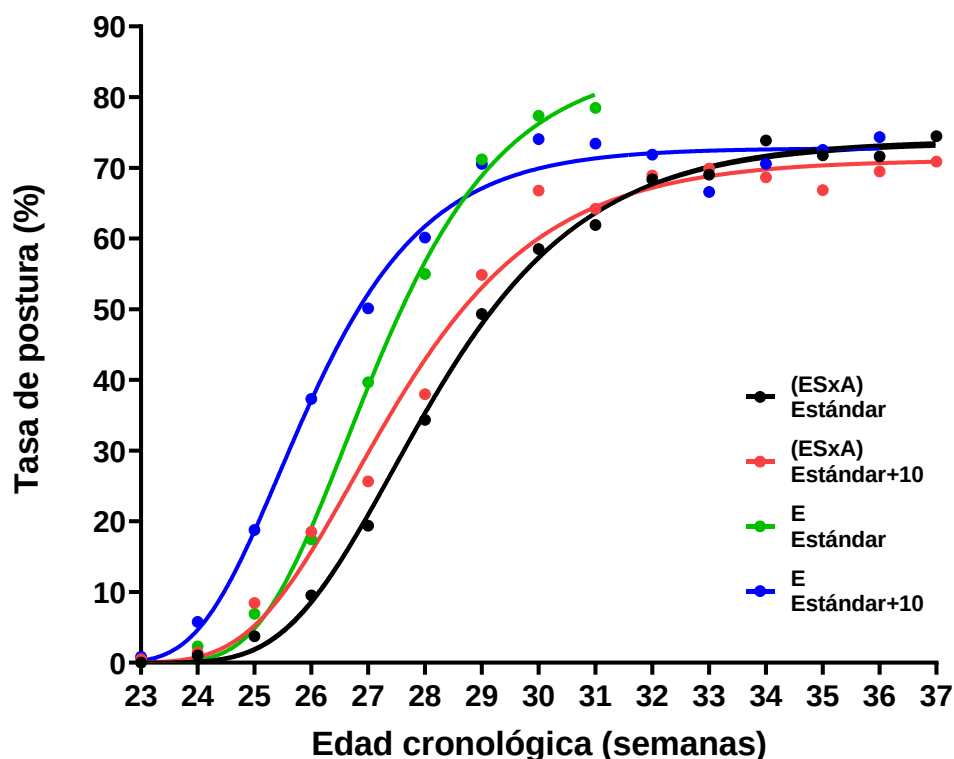


Figura N° 16: Fase ascendente de las curvas de postura de dos genotipos de reproductoras camperas bajo dos niveles de asignación de alimento durante la recría (Ajuste logístico)

La segunda fase, por el contrario, mostró un comportamiento decreciente que no se apartó significativamente de la linealidad (test de rachas o ciclos $p > 0,05$) (Figura N° 17).

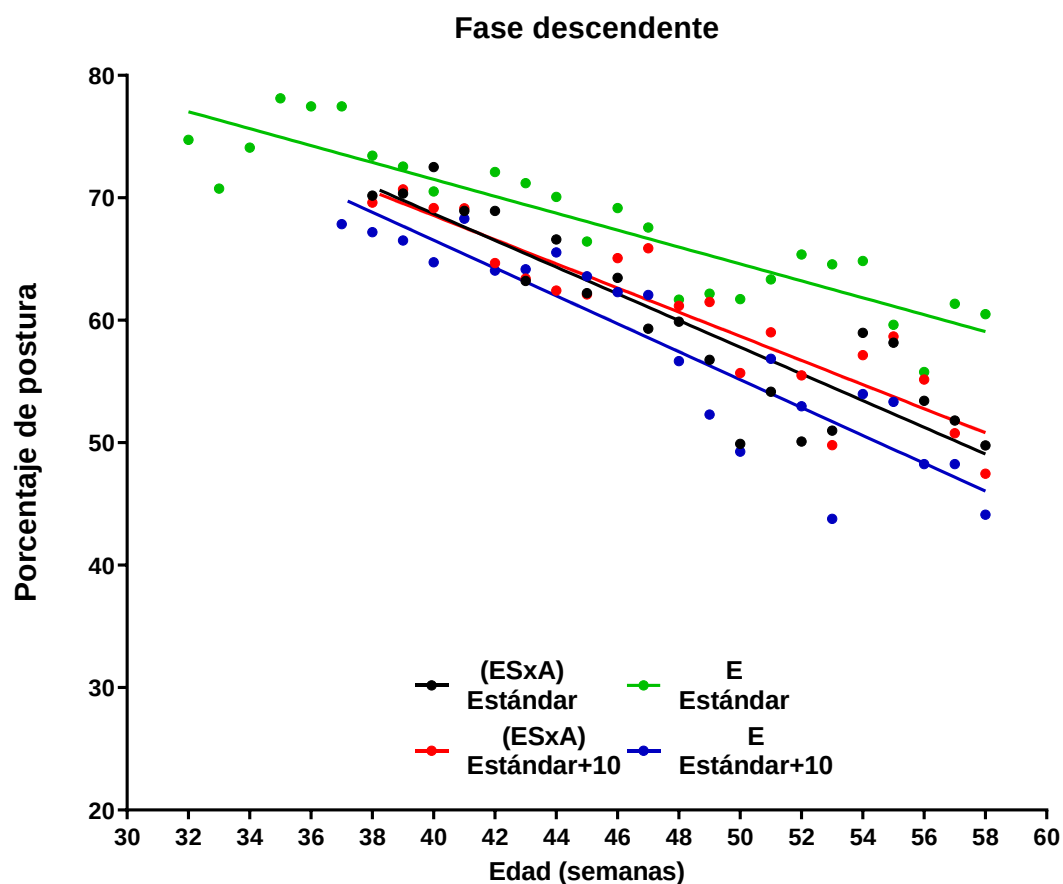


Figura N° 17: Fase descendente (persistencia) de las curvas de postura de dos genotipos de reproductoras camperas bajo dos niveles de asignación de alimento durante la recría (Ajuste lineal)

Con respecto a esta fase decreciente, de naturaleza lineal, se observó que:

- (a) todos los ajustes fueron satisfactorios a juzgar por los valores de los coeficientes de determinación.
- (b) todas las pendientes fueron negativas y significativamente diferentes de cero.

Análisis dinámico de la fase de ascenso de la curva de postura

En la Tabla N° 21 se observan los valores de la asíntota y tasa de maduración para el porcentaje de producción de huevos en cada grupo genético y programa de alimentación.

Tabla N° 21: Estimadores de los parámetros con significado biológico de la función logística aplicada al ajuste de la fase creciente de las curvas de postura en dos grupos de aves reproductoras camperas bajo dos programas de alimentación en las etapas de cría y recría

	Híbridas ES x A		Sintética E	
	Estándar	Estándar+10	Estándar	Estándar+10
A: Asíntota	73,94 ± 0,81	71,12 ± 1,61	85,16 ± 2,83	72,77 ± 1,15
k: Tasa de maduración	0,5308 ± 0,0254	0,5461 ± 0,0592	0,6507 ± 0,0592	0,7039 ± 0,0652
Todos los valores corresponden al estimador ± error estándar				
Tamaño muestral: n = 30 aves por subgrupo genotipo y tratamiento				

La comparación de las trayectorias totales de los cuatro grupos experimentales en la porción creciente de la curva de postura mostró una diferencia estadísticamente significativa de los respectivos patrones ($F = 42,26$ $p < 0,0001$), atribuible a la combinación particular de los valores de las asíntotas (A) y de las tasas de maduración (k) en cada grupo, los cuales, al ser estos comparados en forma individual se comportaron en forma diferente debido a que la asíntota alcanzó un significado estadístico, no así el valor de K (A: $F = 7,46$; $p = 0,0004$; k: $F = 2,56$; $p = 0,0675$).

Efecto del programa de alimentación en cada grupo genético

Se observó un efecto significativo del nivel de asignación de alimento sobre la trayectoria total en ambos genotipos, más evidente en el caso de las reproductoras E, con un mejor desempeño de las aves del grupo Estándar. En el caso de las aves híbridas dicha diferencia no estuvo asociada con diferencias significativas en ninguno de los dos parámetros que definen la forma de la función, mientras que, en el caso de la sintética E, el valor de la asíntota asumió diferencias significativas, lo que no se registró para el valor de K (Tabla N° 22, Figura N° 18).

Tabla N° 22: Significado estadístico del grupo genético sobre los estimadores de la fase ascendente de las curvas de postura de reproductoras camperas bajo dos regímenes de asignación de alimento en las etapas de cría y recría

	Híbridas ES x A		Sintética E	
Trayectoria total	F= 6,59	p= 0,021	F= 25,28	p= 0,0001
A: Asíntota	F= 2,33	p= 0,14	F= 17,29	p= 0,0007
k: Tasa de maduración	F= 0,06	p= 0,81	F= 0,30	p= 0,58

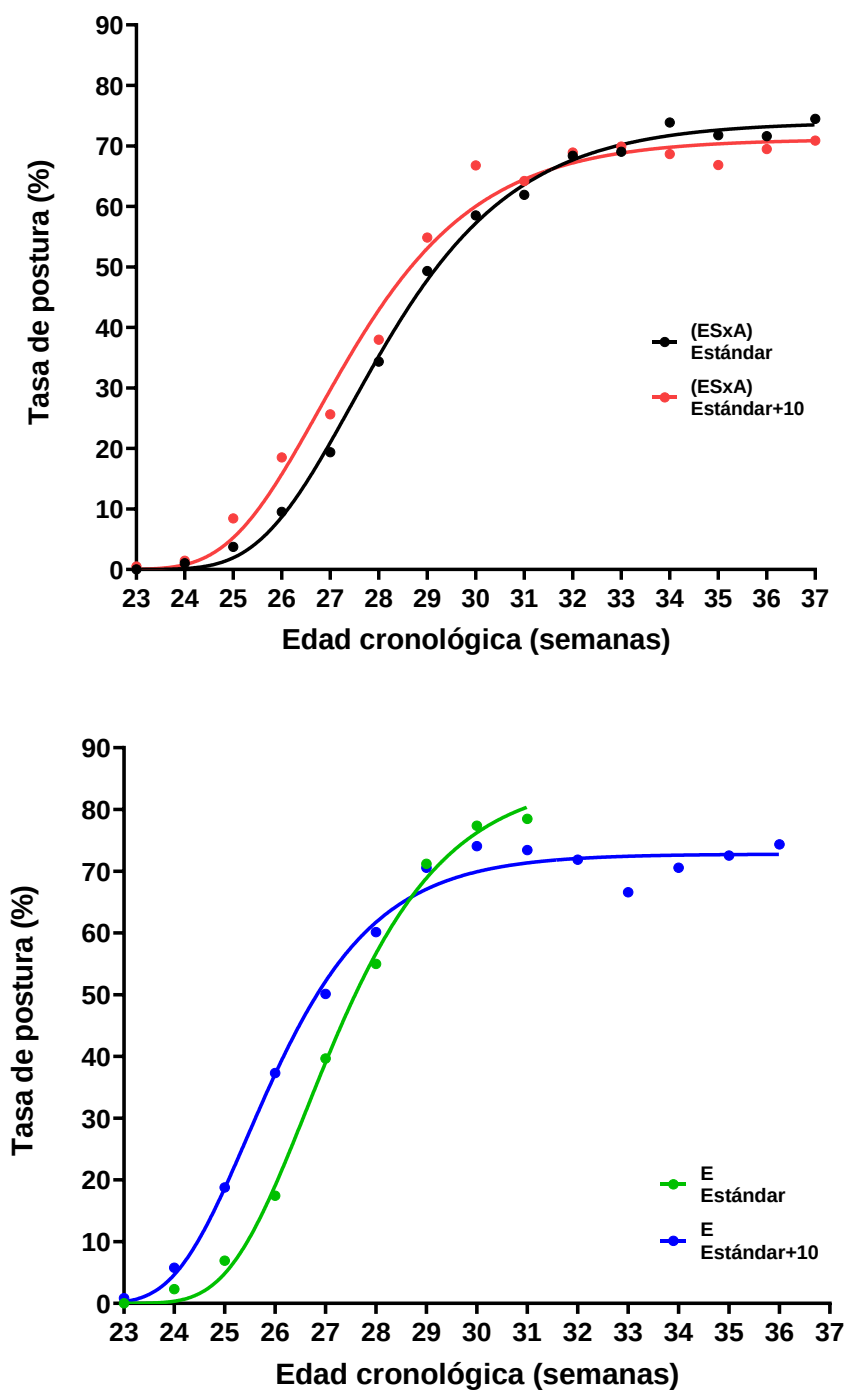


Figura N° 18: Efecto de la modalidad de asignación de alimento durante la recria sobre la fase ascendente de la curva de postura de dos genotipos de reproductoras camperas

Peso del huevo fértil

La ausencia de interacciones entre los factores para las variables en estudio (Tabla N° 24) habilitó a realizar el análisis por separado de los resultados obtenidos. Se comprobaron diferencias significativas para el peso del huevo en el pico de producción, en la meseta y al final del ciclo en función de la genética con mayores valores para las aves pertenecientes al genotipo ES x A. El análisis de peso del huevo en la meseta puso de manifiesto diferencias significativas entre los programas de alimentación con un mayor peso del huevo para las gallinas de ambas poblaciones bajo el tratamiento Estándar+10 (Tabla N° 23).

Tabla 23: Peso promedio en gramos de huevos recolectados por semana de producción al inicio de producción, producción al pico, meseta y final de producción del primer ciclo de postura de dos genotipos de reproductoras Campero INTA bajo dos regímenes de asignación de nutrientes

Grupo genético	Híbridas ES x A		Sintéticas E	
	Estándar	Estándar+10	Estándar	Estándar+10
Nivel de alimentación				
Inicio de postura	49,27 ± 0,71	49,18 ± 1,39	46,65 ± 0,94	50,35 ± 0,16
Pico de producción	56,34 ± 0,51	56,13 ± 0,26	52,27 ± 0,26	53,78 ± 1,01
Meseta	61,87 ± 0,32	62,89 ± 0,09	56,47 ± 0,27	59,06 ± 0,81
Final de ciclo	63,62 ± 0,73	64,14 ± 0,24	59,01 ± 0,93	57,87 ± 0,34

Tabla N° 24: Significado de los efectos del Análisis de la variancia de peso promedio en gramos de huevos recolectados correspondiente a un diseño completamente aleatorizado con un experimento factorial 2 x 2

	Grupo Genético	Nivel de alimentación	Intera G. Genético y N. Alimentación
Inicio de postura	p=0,471	p=0,1201	p=0,1074
Pico de producción	p<0,0056	p=0,1201	p=0,2190
Meseta	p<0,0005	p<0,0168	p=0,1610
Final de ciclo	p<0,001	p=0,6495	p=0,2550

Análisis dinámico del peso de los huevos en función de la edad

En la Tabla N° 25 se consigna los estimadores de los parámetros de la función de Weatherup & Foster aplicada al ajuste de los datos peso promedio del huevo y edad de postura de dos genotipos de gallinas reproductoras pesadas bajo dos esquemas de asignación de nutrientes.

Tabla N° 25: Parámetros de la función de Weatherup & Foster aplicada al ajuste de los datos peso promedio del huevo y edad de postura de dos genotipos de gallinas reproductoras pesadas bajo dos esquemas de asignación de nutrientes

	Sintética E		Híbrida ES x A	
	Estándar	Estándar+10 %	Estándar	Estándar+10 %
1A	59,3 ± 0,59	60,9 ± 0,71	63,5 ± 0,21	64,7 ± 0,31
1B	11,5 ± 0,55	10,9 ± 0,58	15,9 ± 0,41	15,8 ± 0,41
1r	0,914 ± 0,0130	0,924 ± 0,0130	0,870 ± 0,0700	0,896 ± 0,0700
R2 ajustado	0,9393	0,9363	0,9847	0,9819

Todos los valores corresponden al estimador y su error estándar

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

En la Tabla N° 26 se observa el significado estadístico de los resultados obtenidos en función de los genotipos dentro del esquema de asignación de nutrientes incluidos en el estudio. Se observó una diferencia significativa a favor de las aves pertenecientes al genotipo ES x A. La diferencia entre ambas poblaciones pone de relevancia el efecto del patrimonio genético sobre la producción de huevos en los genotipos de crecimiento lento.

Tabla N° 26: Nivel de significancia del efecto Grupo genético dentro de cada esquema de asignación de nutrientes en gallinas reproductoras camperas

	Distribución F	Valor p
Estandar	288,8	< 0,0001
Estandar+10	180,5	< 0,0001

En la Tabla N° 27 se observa el significado estadístico de los resultados obtenidos para el esquema de asignación de nutrientes dentro del grupo genético. El programa de alimentación reflejó diferencias significativas a favor del tratamiento consistente en una mayor asignación de alimento (Estándar+10) para la variable Peso del huevo.

Tabla N° 27: Nivel de significancia para el efecto del programa de asignación de alimento sobre el peso del huevo dentro de cada grupo genético en gallinas reproductoras camperas

	Distribución F	Valor p
Sintética E	17,9	< 0,0001
Cruzamiento ES x A	3,88	= 0,0139

Discusión

El principal objetivo en gallinas reproductoras pesadas es proveer la máxima cantidad de huevos fértiles destinados a la producción de pollitos de un día de óptima calidad, un importante eslabón en la cadena de producción de carne (Zuidhof et al., 2007). El proceso de mejora al que son sometidos los núcleos genéticos de aves para carne posee una influencia decisiva en la producción de huevos, como también en su fertilidad e incubabilidad a lo largo del ciclo de producción (van Emous, 2010). La producción de huevo fértiles y su calidad se encuentran influidas por una amplia gama de factores que incluyen el genotipo al que pertenecen las reproductoras, aunque también participan en forma determinante la estación del año, la edad, el estado de salud y las demás normas generales de manejo aplicadas en las distintas etapas del ciclo (Yassin et al., 2008).

Los caracteres tradicionalmente considerados como criterios de selección son importantes para la descripción de los méritos genéticos valiosos desde el punto de vista productivo y, además, constituyen factores determinantes al momento de optar por un genofondo determinado para ser empleado en un entorno definido. En los sistemas de producción comercial dichos caracteres específicos son determinados por el mercado al que están destinadas esas poblaciones y, por lo tanto, los aspectos relacionados con la rentabilidad adquieren mayor trascendencia (Scarpa, 1999). Sin embargo, en los sistemas de producción alternativos, los parámetros de selección genética relacionados con la producción de huevos deben ser incorporados en índices de selección que consideran otras variables relacionadas con el entorno. Es así que, la factibilidad de incorporar un mayor equilibrio entre la producción de huevo y la producción de carne, es decir aves con una doble aptitud, comúnmente denominadas doble propósito constituye una alternativa válida para su

incorporación en los sistemas pecuarios mixtos (Finzi, 2000). Estos sistemas de producción requieren animales que puedan ser criados en espacios abiertos para el desarrollo de la actividad física, con una variabilidad en las condiciones climáticas y en la oferta de forraje, hecho que condiciona el programa de mejora a aplicar (Rizzi & Marangon, 2012). Asumiendo que la producción de huevos se encuentra relacionada en forma negativa con el potencial de crecimiento, los programas de selección empleados en las estirpes para carne dan diferentes resultados, dependiendo del énfasis puesto en los aspectos reproductivos o en los de crecimiento (Melnychuk et al., 2004). La relación genética negativa entre peso corporal y tasa de producción de huevos ha llevado a la necesidad de desarrollar prácticas de manejo específicas para cada genotipo con la finalidad de mejorar los indicadores reproductivos (Robinson & Wilson, 1996). El pollo Campero INTA es una población heterogénea que presenta grandes diferencias morfológicas cualitativas y cuantitativas, cuyo comportamiento productivo depende de varios genotipos que contribuyen a la rusticidad de este tipo de aves, al número de huevos, etc. Esta diversidad genética puede ser aprovechada para mejorar su eficiencia productiva, lo que hace necesario poner énfasis en su caracterización y mejora genética. En los genotipos maternos utilizados para la producción de huevos fértiles, debido al limitado número de aves dentro de la población, la eficiencia reproductiva se ve considerablemente reducida tanto en cantidad como en calidad de huevos, lo que hace necesario establecer cruzamientos adecuados para favorecer el efecto de la heterosis y mejorar por este medio la cantidad y calidad del producto obtenido (Popova-Ralcheva et al., 2009). La producción de huevos por gallina alojada presentó diferencias estadísticamente significativas según genotipo en las semanas 25 y 31, con una mayor producción de huevos para la sintética E, tendencia que se mantiene, aunque con diferencias marginalmente significativas en las semanas 31 y 58, con 11 huevos a favor del genotipo E al

final del ciclo de producción. Estas diferencias en la performance reproductiva derivan de la distinta composición genética teórica que poseen ambas poblaciones, con una mayor participación de la raza Rhode Island en la sintética E, la cual se caracteriza por su patrimonio genético mejorado a través de décadas para el carácter producción de huevo, por lo que aporta importantes mejoras en la eficiencia reproductiva de las poblaciones sintéticas en cuya formación participa (Khawaja et al., 2013). Esto permite asumir aptitudes reproductivas claramente definidas para ambas poblaciones, en coincidencia con varios autores, como Amao (2017), quien compara la producción de huevos de una población nativa portadora del gen de cuello desnudo de Nigeria y su cruzamiento con la raza Rhode Island colorada con mayores valores de producción de huevos para la población obtenida a través del cruzamiento con esta raza y asignan un rol fundamental a la constitución genética de esta raza en la mejora de la aptitud reproductiva medida como producción de huevo por ave y peso promedio a lo largo del ciclo. En estudios experimentales Dottavio et al., (1998) estudian los caracteres productivos a la madurez sexual en gallinas livianas (Leghorn), semipesadas (Rhode Island colorada) y en sus cruzamientos recíprocos y observan heterosis negativa para la edad y positiva para el peso corporal a la puesta del primer huevo en tanto las aves híbridas fueron más precoces y más pesadas al inicio de la puesta. Esta respuesta se debe a un comportamiento dominante del alto peso y la precocidad, sin diferencias en estos aspectos entre las dos combinaciones híbridas ni entre sí ni con respecto a la estirpe semipesada. Los distintos grupos no se diferencian en el tiempo requerido para poner los 10 primeros huevos, valor calculado como un indicador de regularidad en la postura inicial.

Otros autores comparan la producción de huevos de gallinas pesadas de crecimiento lento (criollas mejicanas), utilizando variedades de cuello desnudo y de emplume normal, en

condiciones ambientales del altiplano mexicano (Juárez Caratachea et al., 2010). Las gallinas cuello desnudo tienen un promedio de 12 huevos más por ave alojada en comparación con las de emplume normal (156 y 144 huevos por ave respectivamente). En el mismo sentido, Pampín Balado et al., (2011), caracterizan el comportamiento productivo de dos subpoblaciones de gallinas semirústicas cubanas bien identificadas, denominadas genotipo SRR (portador del gen dorado) y SRG (portador del gen plateado), que permiten un cruzamiento autosexante por color del plumón. Utilizan en el ensayo aves con 23 semanas de edad, en galpones a piso sobre cama de cáscara de arroz y con un manejo estándar para este tipo de aves. Los hallazgos de la presente tesis, coinciden con estos autores, quienes, encuentran diferencias significativas para la variable producción de huevos por ave, ya que las del genotipo SSR producen 210,7 huevos, mientras que las del SRG alcanzan 188,3 huevos, lo que indica una base genética para este carácter en dichas poblaciones. Correa et al., (2007), trabajando con aves pertenecientes a tres genotipos mejicanos de gallinas criollas, una de cuello desnudo homocigota, otra de cuello desnudo heterocigota y una de emplume normal, investigan el efecto del genotipo sobre la producción de huevos, con un ciclo de 39 semanas. Los autores no encuentran diferencias estadísticamente significativas para la variable número de huevos por gallina alojada, observándose valores de $50,3 \pm 3,2$ para las de cuello desnudo homocigota, $53,2 \pm 2,2$ para las de cuello desnudo heterocigota y $51,4 \pm 4,1$ para las de emplume normal.

El progreso genético se puede incrementar mediante la selección seguida de cruzamiento entre estirpes que aporten diferentes características relacionadas con su patrimonio genético. El cruzamiento por lo general conduce a mejoras en la tasa de crecimiento, la eficiencia de la conversión alimenticia y caracteres reproductivos sin

sacrificar otros caracteres de importancia. Estas mejoras se deben a la heterosis que se expresa por el vigor híbrido (Khawaja et al., 2013) hecho esperable en poblaciones F1 como el híbrido ESxA utilizado en esta tesis, si bien dicho efecto heterótico no fue lo suficientemente fuerte como para superar el efecto dado por el biotipo E compuesto en un 50 % por la raza Rhode Island colorada. Goraga et al., (2011), reportan los resultados de un cruzamiento experimental entre dos líneas genéticamente muy divergentes, una raza doble propósito (New Hampshire) parcialmente endogámica y una línea pura (Leghorn blanca) seleccionada para bajo peso. En disidencia con nuestros resultados muestran una marcada diferencia en la producción de huevos en favor de la línea New Hampshire sobre la Leghorn blanca, mientras que los híbridos recíprocos registran una más alta performance que las líneas de origen, lo que demuestra un marcado efecto heterótico independientemente del cruzamiento que se realice. Khawaja et al., (2013), en un estudio comparativo sobre la performance y aspectos reproductivos de las razas Fayoumi, Rhode Island colorada y sus correspondientes cruzamientos recíprocos, observan una menor edad a la madurez sexual en ambos cruzamientos recíprocos, con una mayor producción de huevos. Los estudios del cruzamiento de gallinas ponedoras de elite cubriendo los períodos de cría y recría son poco frecuentes. Isa et al., (2020), investigan los caracteres de crecimiento y reproducción de dos poblaciones originales de Rhode Island colorada y Leghorn blanca y sus cruzamientos recíprocos para generar cuatro grupos experimentales, y observan un nivel bajo a medio de heterosis para el peso corporal, en tanto que ambos híbridos comienzan la postura más temprano y producen mayor cantidad de huevos.

En los resultados de la presente tesis se observó que una mayor asignación de alimento se tradujo en mayor producción de huevos a las 25 semanas de edad, es decir en la

etapa de inicio de la postura, diferencias que a las 31 semanas fue de 3 huevos más por gallina alojada en ambos genotipos cuando recibieron el programa Estándar+10, la cual, si bien no alcanzó significancia estadística, constituyó una tendencia importante a nivel productivo. Esta situación no se sostuvo en el tiempo, debido a que, en las demás semanas no se registraron diferencias significativas en función del programa de alimentación. En el genotipo ES x A el número de huevo por gallina alojada en las demás semanas no alcanzó diferencias numéricas de importancia desde el punto de vista biológico y productivo. Por el contrario, al final del ciclo de producción la mayor asignación de alimento evidenció un efecto adverso en el genotipo E sin significado estadístico, aunque se debe señalar que, en las gallinas de este genotipo pertenecientes al grupo Estándar se registró una producción de 11 huevos más que en el grupo Estándar+10. Este hecho permite asumir que la mayor asignación de alimento en el genotipo E durante la cría y recría mejoró la producción de huevos al inicio de la producción, aunque el incremento posteriormente se diluyó e invirtió, lo que sugiere un efecto adverso del equilibrio energético positivo en esta población, que llevó a alteraciones en el normal funcionamiento de los mecanismos neuriendócrinos relacionados con el eje hipotálamo-hipofisis-gonadal y el normal reclutamiento folicular, proceso ya descrito por otros autores para reproductores pesados (Heifetz, 2018; Robinson & Wilson, 1996). La restricción de alimento es una práctica necesaria para obtener un rendimiento reproductivo aceptable en reproductoras pesadas. Esto implica asignar cantidades ajustadas de alimento durante las etapas de recría y reproducción, lo que reduce de manera significativa el peso del ovario y el número de folículos grandes al momento de la madurez sexual, la incidencia de oviposiciones erráticas, huevos defectuosos y ovulaciones múltiples (Hocking, 1993; Yu et al., 1992) y resulta en una mayor eficiencia reproductiva.

La fuerte relación negativa existente entre peso corporal y producción de huevos en los stocks parentales de reproductoras pesadas hacen necesaria la restricción alimenticia en todas las etapas del ciclo productivo y se ha señalado que la sobre alimentación en periodos tan cortos como 14 días, pueden alterar el normal funcionamiento del aparato reproductor con consecuencias sobre la producción de huevos por gallina alojada. Robinson & Wilson (1996) reportan una reducción de 40 huevos por gallina como consecuencia del incremento de la asignación de alimento y, consecuentemente, del peso corporal durante el periodo de postura. Los autores realizan un estudio factorial 2 x 2 consistente en dos programas alimentación *ad libitum* y restringida, en recría y postura, y concluyen que, independientemente del momento del ciclo en que se implemente la sobrealimentación, el aumento del peso corporal disminuye la tasa de producción de huevos, lo que supone la existencia de una alteración de los mecanismos de control normal del ciclo ovárico que puede ocurrir en cortos periodos de tiempo. La presente tesis coincide con los resultados de estos autores y permiten asumir que la mayor asignación de alimento en fase de cría y recría produce efectos favorables en la madurez sexual y la primera etapa del ciclo de postura. Posteriormente, la producción de huevos se vio alterada, presumiblemente por la aplicación de un único programa de alimentación en la etapa de postura, que solo fue corregido en función de la tasa de producción de huevos y no de manera integral mediante la evaluación de otras variables.

El uso de modelos matemáticos para describir las curvas de producción en forma apropiada es de gran interés en avicultura cuando se trabaja en programas de selección o en estudios comparativos entre poblaciones de aves (Bindya et al., 2010). Los resultados resumidos de producción de huevos por ave, registrados en los ensayos de la presente tesis,

fueron complementados por el análisis dinámico de los datos que permitió establecer con mayor precisión las diferencias en las curvas de postura según los genotipos y programas de alimentación. En el análisis dinámico de la producción de huevos se identificaron dos etapas de comportamiento diferente, una creciente hasta el pico de postura compatible con un modelo no lineal de naturaleza logística y una de persistencia que mostró un comportamiento decreciente que no se apartó significativamente de la linealidad. Se observó un efecto del genotipo sobre la trayectoria total en ambos niveles de asignación de alimento, con un mejor desempeño de las aves del genotipo E. Por otra parte, el programa de asignación de alimento mostró un efecto significativo sobre la trayectoria total en ambos genotipos, más evidente en el genotipo E con mejor desempeño en las aves del programa Estándar, en tanto que en las aves híbridas las diferentes trayectorias no estuvieron asociadas con diferencias significativas en ninguno de los parámetros que definen la forma de la función, cuyas diferencias a favor de las aves tratadas se acercaron más a la significancia estadística. En la etapa de descenso el grupo Estándar del genotipo E mantuvo mayores porcentajes de postura que las aves del grupo Estándar+10 desde el inicio hasta el final. En el grupo ES x A, sin diferencias significativas en las rectas, lo que puso en evidencia un patrón común para ambas. Canet et al., (2018), realizan un estudio para caracterizar integralmente las cinco poblaciones sintéticas maternas de pollo Campero INTA, mediante la evaluación de la producción de huevos entre otros parámetros reproductivos. El análisis de la curva de postura arroja diferencias significativas en la tasa de maduración y valor asintótico, lo que se traduce en trayectorias con diferente valor productivo, situación con la que coinciden los resultados de esta tesis. Estos autores definen particularidades propias en las poblaciones sintéticas, estableciendo su potencialidad para ser empleadas como líneas maternas del Campero INTA. Por otra parte, proponen la potencial utilidad de los cruzamientos simples entre estas

poblaciones sintéticas en la búsqueda de efectos heteróticos que permitan revertir la depresión endogámica de las poblaciones y revalorizarlas como recurso genético propio. Fialho et al., (2001) aplican un modelo polinomial con la finalidad de analizar las diferencias entre las curvas de producción de huevos en líneas comerciales y experimentales de ponedoras. La producción de huevos es medida entre las 14 y 67 semanas de vida, expresada en número de huevos por ave y encuentran diferencias significativas en los parámetros del modelo para las distintas estirpes, situación con la coinciden los resultados de la presente Tesis. Los autores concluyen que estas líneas tienen curvas de producción distintas y que este modelo matemático tiene una utilidad práctica para identificar las variaciones en la producción de huevos debidas a factores genéticos y no genéticos. Wolc et al., (2011), estiman los parámetros genéticos de la producción de huevos en tres líneas de aves que representan diferentes biotipos para la producción de huevos, intentando validar simultáneamente un modelo de regresión no lineal. Los datos de producción obtenidos en seis generaciones de tres líneas puras de una empresa comercial: una línea productora de huevos chicos de color blanco, una productora de huevos grandes de color blanco y una de huevos marrones. Los datos registrados abarcan desde el primer huevo hasta la semana 47 de postura. El análisis da por resultado diferencias significativas en las curvas de producción de huevos entre genotipos, determinando adicionalmente diferencias en la persistencia de la postura. Los autores señalan que el modelo implementado en el estudio describe la trayectoria de la producción de huevos, diferenciando los efectos de la variación genética aditiva de los efectos ambientales permanentes.

Existen pocas soluciones prácticas como alternativas a la restricción alimenticia en reproductoras de pollos para carne. La introducción de nuevas líneas genéticas de reproductoras pesadas que toleren la alimentación *ad libitum* es una alternativa viable.

Onagbesan et al., (2006), con la finalidad de comparar y relacionar las curvas de postura con los niveles plasmáticos de las hormonas luteinizante, folículo estimulante, progesterona y estrógeno, estudian dos genotipos aviares (una línea S estándar y una línea E experimental enana) mantenidas bajo regímenes de alimentación *ad libitum* (A) y restringido (R) en un diseño experimental factorial 2 x 2. Los cambios hormonales relacionados con la edad se determinan entre las semanas 4 y 50, en tanto que los cambios hormonales durante el ciclo ovulatorio se determinan durante la postura. Los análisis de las tasas de postura muestran que fueron similares para SR, EA y ER, pero menor para SA, lo que sugiere que las diferencias en el rendimiento de postura entre genotipos alimentados a diferentes niveles nutricionales, pueden deberse en parte a diferencias en los procesos asociados con la maduración folicular modulada por gonadotrofinas y factores de crecimiento. En coincidencia con estos autores, los resultados de esta tesis, permiten confirmar que la edad de la madurez sexual está determinada principalmente por el programa de alimentación, independientemente del genotipo. Además, las diferencias en el rendimiento de la postura pueden deberse a una combinación de factores, que incluyen cambios en los niveles de gonadotrofinas u hormonas ováricas, además de factores de crecimiento, peso y conformación corporal de los diferentes genotipos bajo distintos programas de alimentación.

El peso del huevo es un carácter de gran importancia en gallinas reproductoras debido a su influencia directa sobre el proceso de incubación, el peso del pollito al nacimiento y su desempeño productivo. Una amplia gama de factores afecta el peso del huevo incubable a lo

largo del ciclo, entre los que pueden señalarse el genotipo, el manejo, la sanidad, los factores ambientales y la edad de las reproductoras (Schmidt et al., 2009). En la presente tesis se observaron diferencias para el peso de los huevos a favor de las reproductoras del genotipo ES x A en todas las edades. El programa de alimentación se tradujo en mayor peso del huevo en la etapa de la meseta de la curva de postura a favor del grupo Estándar+10. El cambio en la asignación de nutrientes afectó en forma significativa el patrón dinámico del peso del huevo en ambos genotipos. Esto pone de relevancia el efecto del patrimonio genético sobre el peso de los huevos aptos para incubación en las aves productoras de carne de crecimiento lento y que el incremento en la cantidad de alimento ofrecido durante las etapas de cría y recría, adquiere importancia en el aumento del peso del huevo. El aporte de proteína y energía en las dietas en diferentes períodos productivos adquiere importancia en la determinación de la composición corporal y subsecuentemente en las características externas e internas del huevo obtenido bajo distintas condiciones. Gunawardana et al., (2008) condujeron un experimento para determinar la influencia de la energía dietaria y los niveles de proteína sobre la performance productiva y calidad del huevo en gallinas ponedoras, observado que el incremento del nivel nutricional mejoró la calidad de la albúmina y de la yema, pero no así la cantidad total de sólidos del huevo. Salah Uddin et al., (1991) estudiaron el efecto de los niveles de energía y proteína dietaria sobre la producción y calidad del huevo en gallinas ponedoras. En coincidencia parcial con nuestros hallazgos demostraron que el incremento en el nivel proteico y energético de la dieta aumentó el peso del huevo y la densidad. Junqueira et al., (2006) realizaron un estudio factorial con tres niveles de energía y tres de proteína en gallinas ponedoras. En coincidencia parcial con nuestros hallazgos demostraron que el incremento en el nivel proteico y energético de la dieta aumentó el peso del huevo. Estos resultados son coincidentes con los obtenidos por Canet et al., (2018), quienes definen

distintos patrones dinámicos de aumento del peso con la edad, los que son particulares para cada una de las poblaciones sintéticas maternas de pollo Campero. Los autores señalan que las diferentes trayectorias para el peso del huevo son el resultado de la combinación de diferentes valores de tamaño asintótico y diferentes velocidades para alcanzarlo. Fain Binda et al., (2012), realizan un estudio con el objetivo de comparar el patrón dinámico de aumento del peso del huevo en función de la edad de postura en genotipos maternos Campero INTA y sus híbridos recíprocos, para lo cual registran el peso de todos los huevos producidos por 50 aves de cada grupo genético mantenidas a piso, entre el inicio de la postura y la semana 15. Los autores reportan diferencias para el valor asintótico y la tasa de maduración entre los diferentes genotipos y concluyen que este tipo de análisis es una herramienta de gran utilidad para la toma de decisiones relacionadas con los cruzamientos. Por otra parte, Villa (2001) no registra diferencias estadísticamente significativas en el peso de los huevos producidos por cuatro estirpes de reproductoras camperas (K3R, K3L, K5 y EE) pertenecientes al genofondo cubano. Rajkumar et al., (2009), evalúan la calidad del huevo en reproductoras de tres genotipos autóctonos de la India, bajo un programa de selección de pollos por peso a las seis semanas, incluyendo aves cuello pelado homocigotas, cuello pelado heterocigotas y de emplume normal, a las 28, 32, 36 y 40 semanas de edad, sin resultados estadísticamente significativos para las distintas poblaciones, lo que sugiere la ausencia de un efecto de la genética sobre el carácter estudiado. Tůmová et al., (2007), experimentan con tres genotipos dominantes de gallinas pertenecientes a la estirpe Blue, Plymouth Rock y su cruce F1 en un ciclo de producción de 20 a 64 semanas, alojadas en cama sobre piso. Observan diferencias significativas estadísticamente con valores de 64,9 g para Plymouth Rock, 60,5 g en la estirpe Blue y para la F1 un valor intermedio de 62,1 g. y concluyen que el genotipo es la base de las diferencias observadas para las poblaciones en estudio.

DISCUSIÓN GENERAL

En la presente tesis se evaluó el efecto que produce un incremento del 10 % de la cantidad de alimento al programa de restricción habitual empleado para reproductoras camperas durante las etapas de cría y recría, sobre el crecimiento y el rendimiento reproductivo en la población sintética E y el híbrido ES x A. La población sintética E proviene del cruzamiento entre las razas Cornish colorada y Rhode Island colorada, que dieron lugar a un genotipo cuya composición genética teórica es 50 % Cornish colorada y 50 % Rhode Island colorada. Esta población doble propósito se mantiene cerrada, con bajo tamaño efectivo y se multiplica con apareamiento aleatorio y selección fenotípica (Dottavio, 2017). En estas poblaciones de tamaño limitado existe una desigual contribución de reproductores a la próxima generación y desde un punto de vista cuantitativo, es muy posible que los individuos seleccionados como reproductores presenten algún grado de parentesco, lo que da por resultado la depresión endogámica (Leroy, 2014). La depresión endogámica consiste en la reducción del valor fenotípico medio mostrado por caracteres relacionados con la capacidad reproductiva o la eficiencia fisiológica (Falconer & Mackay, 1996), aunque se ha demostrado que puede afectar la mayor parte de los rasgos seleccionados, dada la existencia de fracciones de variancia no aditiva en estos caracteres.

Por otra parte, en este tipo de aves pesadas, los objetivos de producción de carne, se correlacionan negativamente con los aspectos reproductivos, motivo por el cual, su eficiencia reproductiva constituye una problemática a abordar en los programas de mejora genética (Barbato, 1999). En las aves galliformes, la heredabilidad para caracteres de crecimiento es alta (del orden del 40 al 60 %), mientras que los caracteres reproductivos tienen una menor heredabilidad (entre el 5 y 20 %), dando por resultado que la selección basada en la producción de huevos, es un proceso muy lento para mejorar la producción global de huevos

en su progenie (Leeson & Summers, 2009). El grado de asociación entre ambos grupos de caracteres también presenta variaciones, que se relacionan con los procesos de mejora y programas de cruzamiento empleados en las distintas poblaciones aviares, de acuerdo al mayor énfasis puesto en la selección para los caracteres de producción de carne o de reproducción (Melnychuk et al., 2004).

Por su parte el híbrido simple (ES x A) se obtuvo mediante el cruzamiento entre las sintéticas maternas ES (87,5 % Cornish Colorado y 12,5 % Rhode Island Colorado) como padre y A (75 % Cornish Colorado y 25 % Rhode Island Colorado) como madre, resultando en una población que posee 81,25 % de Cornish Colorado y 18,75 % de Rhode Island Colorado. Este cruzamiento simple entre dos sintéticas tuvo como objetivo revertir, mediante potenciales respuestas heteróticas, la depresión por endogamia esperable en las poblaciones sintéticas cerradas (Romera et al., 2015). El cruzamiento se usa ampliamente en los programas de mejoramiento de aves de corral porque aumenta en la progenie bien el número de loci heterocigotos, bien el número de alelos dominantes, dando como resultado heterosis para rasgos como el crecimiento y la producción de huevos (Amuzu-Aweh et al., 2015). Los programas de mejora genética utilizan ampliamente diferentes métodos de cruzamiento tendientes a sacar provecho de las ventajas de la heterosis, es decir, la diferencia entre el valor fenotípico de la cruce y el promedio de los valores fenotípicos de los progenitores. La eficacia del cruzamiento para el mejoramiento genético de características cuantitativas como la producción de huevos ha sido reportada en la literatura (Soliman et al., 2020). La heterosis para caracteres relevantes en las gallinas reproductoras se ha estudiado considerablemente durante el último siglo, incluyendo en los estudios su efecto sobre el patrón de crecimiento y desarrollo corporal, como así también la producción y calidad del huevo. No obstante, se

observa que la heterosis para algunos caracteres de crecimiento presenta poca correlación con la heterosis para caracteres relacionados con la producción y calidad de huevo, por lo que cada etapa tiene sus características propias que surgen de la combinación entre la raza, la etapa de la vida y el carácter específico en estudio. Esto hace necesario realizar más estudios sobre la heterosis que abarquen toda la vida útil y sobre múltiples caracteres en las aves (Isa et al., 2020). La diferente composición genética teórica que poseen las poblaciones estudiadas en la presente tesis, hizo posible asumir que existirían diferencias en el crecimiento y la aptitud reproductiva.

Por otra parte, en las reproductoras pesadas las prácticas de manejo incluyen la restricción alimenticia durante la recría y reproducción, con el objetivo de regular las ganancias de peso corporal, reducir la incidencia de obesidad y mejorar la producción de huevos fértiles. No obstante, esta práctica, aunque se plantea como una solución de manejo al problema de la ineficiencia reproductiva de las aves pesadas, constituye un desafío para el bienestar (Morrissey et al., 2014). De particular importancia es la asignación de alimento establecida en el programa durante la recría, cuya distribución a menudo es efectuada en días alternados lo que permite aumentar su cantidad en el día de alimentación, seguido de un día de ayuno, posibilitando un mejor acceso al alimento de todas las aves (Girard et al., 2017). El peso y la composición corporal óptimos para cada genotipo se logran alcanzando un total de nutrientes acumulado mínimo para una edad determinada, hecho que impacta positivamente en la salud y en el desempeño del ave. Un programa de alimentación correcto debe ser consistente de semana a semana, lo que significa proveer la cantidad adecuada de alimento semanal y obtener pesos corporales suficientemente bajos para lograr aumentos de consumo y peso corporal previsibles al inicio del período de postura, sin temor a que ocurran

ganancias excesivas (Robinson & Renema, 2003a). Para lograr un rendimiento reproductivo óptimo las estirpes de reproductoras de pollos para carne de crecimiento lento, requieren menores niveles de restricción alimenticia que los reproductores de pollo de engorde convencionales (Arrazola & Torrey, 2021). Esto implica que las cantidades semanales de alimento suministrado y el total de nutrientes acumulados mínimos deben favorecer la obtención de lotes con mejores índices de uniformidad y adecuada conformación corporal al inicio de la etapa de la reproducción. Los programas de restricción alimenticia utilizados para prevenir el sobrepeso en los reproductores para carne en ocasiones son muy severos, lo que lleva a que los animales sufran un estado de hambre crónico, uno de los principales problemas de bienestar animal, de difícil solución con el empleo de una sola estrategia de abordaje (Lindholm et al., 2017). En reproductores híbridos de rápido crecimiento es necesario un consumo mínimo de 22.000 kcal de energía metabolizable y 1.200 g de proteína bruta por hembra reproductora pesada para lograr una buena productividad (Brake, 2000). Sin embargo, el total de nutrientes acumulados en reproductores pesados de crecimiento lento, aún no ha sido establecido en forma precisa, ya que en un estudio previo en gallinas camperas que se utilizan en los cruzamientos destinados a la obtención del pollo Campero INTA, Pletsch et al., (2009) aplican un programa de restricción alimenticia (17.458 kcal de EM y 1.144 g de PB) que produce una severa pérdida de uniformidad de peso corporal al final de la recría, junto a mejoras en la producción de huevos.

En la presente tesis las diferentes asignaciones de alimento durante las etapas de cría y recría, impactaron sobre el peso corporal y los indicadores zoométricos en los genotipos maternos del pollo Campero INTA y sus cruzamientos. Además, existieron diferencias

marcadas en la integración entre peso corporal y desarrollo reproductivo en los diferentes genotipos de gallinas camperas.

CONCLUSIONES

El peso corporal fue diferente en ambos genotipos hasta alcanzar el pico de producción, en tanto que, desde el inicio de la meseta de postura, las dos poblaciones presentaron pesos corporales iguales. Esto permite concluir que las diferencias en las composiciones genéticas teóricas que presentan estas poblaciones, se reflejan en curvas de crecimiento con distintas trayectorias hasta alcanzar la edad adulta, en la cual los pesos corporales se igualan, lo que implica velocidades de crecimiento propias de cada población, aunque con pesos corporales adultos similares.

Los programas de alimentación produjeron diferencias en ambos genotipos en el peso corporal a lo largo de todo el ciclo de producción a favor de las aves con mayor asignación de alimento, con excepción del periodo de ascenso rápido de la curva de producción. Los aumentos de peso diferentes en cada uno de los genotipos de reproductoras en función del programa de alimentación confirman la existencia de diferentes requerimientos en energía y proteína entre ambas poblaciones durante la etapa de la recría. Esto se confirmó por lo observado en la fase de ascenso de la curva de postura, periodo crítico que va desde la madurez sexual hasta alcanzar el pico de producción, en la que se conjugan los requerimientos para mantenimiento, crecimiento y aumento de la masa de huevos. En el periodo de ascenso de la curva de postura, se produjo una superposición de los pesos corporales en ambos genotipos entre las aves con diferente asignación de alimento para esta etapa.

El análisis transversal del peso corporal reflejó que el programa de alimentación con mayor asignación de nutrientes acumulados mínimos se tradujo en un mayor peso al final de la recría en ambas poblaciones, poniendo de manifiesto la respuesta de los genotipos de crecimiento lento a las modificaciones cuantitativas de la alimentación, particularmente en

las etapas de crecimiento y desarrollo, las cuales son fundamentales para el futuro reproductivo en gallinas reproductoras pesadas.

La edad de la madurez sexual se adelantó en ambas poblaciones bajo el programa de alimentación con mayor asignación de energía y proteína. El desarrollo temprano de la cresta y de los demás caracteres asociados a la madurez sexual, junto a una menor edad de la madurez sexual observada en las hembras recriadas con mayor asignación de alimento, pone en evidencia que estas aves logran acumular precozmente el total de energía y proteína necesarios para el desarrollo del aparato reproductor y la consecuente producción de estrógenos, lo que permite concluir que este programa acelera la entrada en la madurez sexual de las hembras.

La mayor asignación de alimento durante la etapa de cría y recria produce diferentes efectos sobre el desarrollo folicular en el período previo a la madurez sexual y hasta el pico de producción en los genotipos E y ES x A. El progreso del desarrollo folicular observado alrededor de la madurez sexual y al inicio de la postura demuestra una sensibilidad diferente de los folículos ováricos a la mayor asignación de alimento en ambos genotipos. En el híbrido ES x A el ovario responde con un mayor reclutamiento folicular y, consecuentemente, una jerarquía folicular compuesta por mayor número de folículos grandes amarillos. Esto constituye una respuesta heterótica particularmente observable en un carácter vinculado con la eficacia biológica como es el número de folículos y, por ende, el número potencial de huevos. En el genotipo E, por su parte, la mayor asignación de alimento se tradujo en un menor número de folículos jerárquicos junto a un mayor tamaño de los folículos grandes amarillos.

La producción de huevos mostró una clara influencia genética, observándose que tanto durante la fase de ascenso, como al final del ciclo, la producción de huevos fue mayor en el genotipo E. La magnitud de las diferencias que se sitúan en 8 huevos a la edad del pico de postura y en 11 al final ciclo reproductivo, ponen de manifiesto la relevancia de la base animal al momento de establecer los niveles esperables de producción y su impacto en el nivel de eficiencia en gallinas reproductoras pesadas.

La producción de huevos en el inicio de la etapa de postura y hasta las 31 semanas de vida fue mayor en las aves de ambos genotipos que recibieron el programa de alimentación con mayor asignación de energía y proteína durante la recría. Este efecto se diluyó durante la etapa de persistencia en el genotipo E, el que se vio afectado adversamente en su producción de huevos por la mayor asignación de alimento. Ello se tradujo en un menor número de huevos por gallina en todo el ciclo de producción. Este efecto no se puso de manifiesto en la población ES x A que produjo igual cantidad de huevos con ambos programas de alimentación

Se puede concluir que el efecto genotipo tiene un fuerte impacto en el peso del huevo en estas poblaciones, dado que se observaron diferencias para el peso de los huevos a favor de las reproductoras del genotipo ES x A en todas las edades. Sin embargo, el programa de alimentación se tradujo en mayor peso del huevo en la etapa de la meseta a favor del grupo Estándar+10.

No existe un programa único de restricción alimenticia para todos los genotipos maternos que participan en los cruzamientos destinados a la obtención del pollo Campero INTA, lo que implica que dicho manejo debe adaptarse a cada genotipo en particular dadas

las diferencias en sus patrones dinámicos de aumento de peso corporal y de postura, respetando las limitaciones establecidas por los aportes mínimos requeridos de proteína y energía.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Abou El-Ghar, R.S., Ghanem, H.H., & Aly, O.M. (2010). Genetic improvement of egg production from crossing two developed strains with a commercial laying hen. *Egyptian Poultry Science Journal*, 30(2), 457-472.
2. Aggrey, S. E. (2002). Comparison of three nonlinear and spline regression models for describing chicken growth curves. *Poultry science*, 81(12), 1782-1788. <https://doi.org/10.1093/ps/81.12.1782>
3. Agudelo Gómez, D.A., Cerón, M.F., & Restrepo Betancur, L.F. (2007). Modelación de las funciones de crecimiento aplicadas a la producción animal. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 20(2), 157-173. <https://doi.org/10.17533/udea.rccp.324133>
4. Ahuja, V. & Sen, A. (2007). Scope and space for small-scale poultry production in developing countries. In: FAO. 2008. Poultry in the 21st Century: avian influenza and beyond. Proceedings of the International Poultry Conference, held 5–7 November 2007, Bangkok, Thailand. Edited by O. Thieme and D. Pilling. *FAO Animal Production and Health Proceedings* 9, Rome. 20 p.
5. Akinola, L.A.F. & Essien, A. (2011). Relevance of rural poultry production in developing countries with special reference to Africa. *World's Poultry Science Journal*, 67(4), 697-705 <https://doi.org/10.1017/S0043933911000778>
6. Akins, C.H. & Burns, M. (2001). Visual control of sexual behavior. Avian visual cognition. Boston (MA): Department of Psychology, Tufts University. www.pigeon.psy.tufts.edu/avc/toc.htm

7. Ali M., Farooq M., Durrani F. R., Chand N., Sarbiland K., & Riaz A. (2003). Egg production performance and prediction of standard limits for traits of economic importance in broiler breeders. *Internatinal Journal Poultry Science*, 2(4), 275-279. <https://pigeon.psy.tufts.edu/avc/akins/>
8. Amao, S. R. (2017). Egg Production and Growth Performance of Naked Neck and Rhode Island Red Chickens Crosses under Southern Guinea Savanna Condition of Nigeria. *International Journal of Agriculture and Earth Science*, 3(2), 1-10.
9. Amuzu-Aweh, E.N., Bovenhuis, H., De Koning, D.J., & Bijma, P. (2015). Predicting heterosis for egg production traits in crossbred offspring of individual White Leghorn sires using genome-wide SNP data. *Genetics Selection Evolution*, 47(1), 1-8.
10. Anang, A., Mielenz, N., & Schüler, L. (2000). Genetic and phenotypic parameters for monthly egg production in White Leghorn hens. *Journal of Animal Breeding and Genetics*, 117(6), 407-415. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0388.2000.00258.x>
11. Anthony, N.B., Dunnington, E.A. & Siegel, P.B. (1989). Egg production and egg composition of parental lines and F₁ and F₂ crosses of White Rock chickens selected for 56-day body weight. *Poultry Science*, 68(1), 27-36. <https://doi.org/10.3382/ps.0680027>
12. Arrazola, A., & Torrey, S. (2021). Welfare and performance of slower growing Broiler Breeders during rearing. *Poultry Science*, 100(11), 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101434>

13. Aryanti, C. (2017). Contamination level of transvaginal ultrasound probes in standard setting: A meta-analysis. *National Journal of Physiology, Pharmacy and Pharmacology*, 7(1), 1.

<http://dx.doi.org/10.5455/njppp.2017.7.0307808092016>
14. Assan, N. (2015). Prospects for utilization of the relationship between zoometrical measurements and performance traits for poultry and livestock genetic improvement in developing countries. *Scientific Journal of Animal Science*, 4(11), 124-132. <http://dx.doi.org/10.14196/sjas.v4i11.2020>
15. Assefa, H., & Melesse, A. (2018). Morphological and morphometric characterization of indigenous chicken populations in Sheka zone, South Western Ethiopia. *Journal of Poultry, Fisheries and Wildlife Sciences*, 6(2), 1-9.

<http://dx.doi.org/10.4172/2375-446X.1000200>
16. Badyaev, A.V. (2004). Developmental perspective on the evolution of sexual ornaments. *Evolutionary Ecology Research*, 6(7), 975-991.
17. Barbato, G.F., (1991). Genetic architecture of growth–curve parameters in chickens. *Theoretical and Applied Genetics*, 83, 24-32.

<http://dx.doi.org/10.1007/BF00229222>
18. Barbato, G.F. (1999). Genetic relationships between selection for growth and reproductive effectiveness. *Poultry Science*, 78(3), 444-452.

<https://doi.org/10.1093/ps/78.3.444>
19. Barua, A., Abramowicz, J. S., Bahr, J. M., Bitterman, P., Dirks, A., Holub, K. A. & Luborsky, J. L. (2007). Detection of ovarian tumors in chicken by

- sonography: a step toward early diagnosis in humans? *Journal of Ultrasound in Medicine*, 26(7), 909-919. <https://doi.org/10.7863/jum.2007.26.7.909>
20. Bessei, W. (2006). Welfare of Broilers: A Review. *World's Poultry Science Journal*, 62(3), 455-466. <https://doi.org/10.1017/S0043933906001085>
21. Bindya, L.A.; Murthy, H.N.N.; Jayashankar, M.R., & Govindaiah, M.G. (2010). Mathematical models for egg production in an Indian colored broiler dam line. *International Journal of Poultry Science*, 9(9), 916-919. <http://dx.doi.org/10.3923/ijps.2010.916.919>
22. Bonino, M.F., & Canet, Z.E. (1999). Producción de pollos y huevos camperos. Boletín Técnico editado por la Dirección de Comunicaciones INTA. 39 p.
23. Boswell, T., Dunn, I. C., & Corr, S. A. (1999). Hypothalamic neuropeptide Y mRNA is increased after feed restriction in growing broilers. *Poultry science*, 78(8), 1203-1207. <https://doi.org/10.1093/ps/78.8.1203>
24. Brake, J.T. (2000). Ciencia y Arte del Manejo de Reproductoras Pesadas. 5to Seminario de Actualización Avícola de la Asociación de Médicos Veterinarios Especialistas en Avicultura (AMEVEA). Colon, Provincia de Entre Ríos, Argentina. Libro de Memorias, Conferencia técnica N° 9: 183-220.
25. Brito, N. V., Lopes, J. C., Ribeiro, V., Dantas, R., & Leite, J. V. (2021). Biometric characterization of the Portuguese autochthonous hens breeds. *Animals*, 11(2), 498. <https://doi.org/10.3390/ani11020498>
26. Bronneberg, R. G., & Taverne, M. A. (2003). Ultrasonography of the female reproductive organs in farmed ostriches (*Struthio camelus* spp.). *Theriogenology*, 60(4), 617-633. [https://doi.org/10.1016/S0093-691X\(03\)00083-9](https://doi.org/10.1016/S0093-691X(03)00083-9)

27. Bruggeman, V., Onagbesan, O., Ragot, O., Metayer, S., Cassy, S., Favreau, F., Jégou, Y., Trevidy, J., Tona, K., Williams, J., Decuypere, E., & Picard, M. (2005). Feed allowance—genotype interactions in broiler breeder hens. *Poultry Science*, 84(2), 298–306. <https://doi.org/10.1093/ps/84.2.298>
28. Bruggeman, V., Onagbesan, O., Vanmontfort, D., Berghman, L., Verhoeven, G., & Decuypere, E. (1998). The effect of long-term food restriction on pituitary sensitivity to cLHRH-I in broiler breeder females. *Reproduction*, 114(2) 267-276. <https://doi.org/10.1530/jrf.0.1140267>
29. Bruggeman, V., Onagbesan, O., D'Hondt, E., Buys, N., Safi, M., Vanmontfort, D., Berghman, L., Vandesande, F., & Decuypere, E. 1999. Effects of timing and duration of feed restriction during rearing on reproductive characteristics in broiler breeder females. *Poultry Science*, 78(10), 1424-1434. <https://doi.org/10.1093/ps/78.10.1424>
30. Buranawit, K., Chailungka, C., Wongsunsri, C., & Laenoi, W. (2016). Phenotypic characterization of Thai native black-bone chickens indigenous to northern Thailand. *Thai Journal of Veterinary Medicine*, 46(4), 547-554. <https://doi.org/10.56808/2985-1130.2773>
31. Büttow Roll, V. F. (2005). Bienestar animal y productividad en gallinas ponedoras comerciales alojadas en jaulas enriquecidas. Tesis Doctoral. Universidad de Zaragoza. Facultad de Veterinaria. 277p.
32. Buxade Carbo, C. (1988). El pollo de carne. Ed. Mundiprensa. España. Segunda Edición. 365 p.

33. Byerly, M. S., Simon, J., Lebihan-Duval, E., Duclos, M. J., Cogburn, L. A., & Porter, T. E. (2009). Effects of BDNF, T3, and corticosterone on expression of the hypothalamic obesity gene network in vivo and in vitro. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 296(4), R1180-R1189. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.90813.2008>
34. Canet, Z.E., Librera, J., Fain Binda, V., Dottavio, A.M., & Di Masso, R.J. (2012). Restricción alimenticia y peso corporal de reproductoras de diferentes poblaciones sintéticas utilizadas como genotipos maternos en la producción de pollos camperos. XIII Jornadas de Divulgación Técnico-Científicas 2012. Facultad de Ciencias Veterinarias – Universidad Nacional de Rosario. Disponible en: <http://www.fveter.unr.edu.ar/jornadas2012/29.%20CANET,Z.%20Restricci%F3n>
35. Canet, Z.E., Romera, B.M., Librera, J.E., Dottavio, A.M., & Di Masso, R.J. (2018). Caracterización productiva de cinco poblaciones sintéticas de gallinas reproductoras camperas. *Veterinaria Cuyana*, 13, 5-7.
36. Carney, V. L., Anthony, N. B., Robinson, F. E., Reimer, B. L., Korver, D. R., Zuidhof, M. J., & Afrouziyeh, M. (2022). Evolution of maternal feed restriction practices over 60 years of selection for broiler productivity. *Poultry Science*, 101(10), 101957. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2022.101957>
37. Carrasco, J.L., & Hernán, M.A. (1993). Estadística multivariante en las ciencias de la vida. Ed. Ciencia 3, S.L. Madrid.

38. Carvalho Celeghini, E.C., Albuquerque, R., Paes Arruda, R., & Gonçalves Lima, C. (2001). Avaliação das características seminais de galos selecionados para a reprodução pelo desenvolvimento da crista. *Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science*, 38(4), 177-183.
<https://doi.org/10.1590/S1413-95962001000400006>
39. Cassy, S., Metayer, S., Crochet, S., Rideau, N., Collin A., & Tesseraud, S. (2004). Leptin receptor in the chicken ovary: potential involvement in ovarian dysfunction of *ad libitum*-fed broiler breeder hens. *Reproductive Biology and Endocrinology*, 2(72) 1-8. <http://dx.doi.org/10.1186/1477-7827-2-72>
40. Castellini, C., Mugnai, C., Moscati, L., Mattioli, S., Guarino Amato, M., Cartoni Mancinelli, A., & Dal Bosco, A. (2016). Adaptation to organic rearing system of eight different chicken genotypes: behaviour, welfare and performance. *Italian Journal of Animal Science*, 15(1), 37-46.
<https://doi.org/10.1080/1828051X.2015.1131893>
41. Chambers, J.R. (1990). Genetics of growth and meat production in chickens. In: Crawford, R.D. (Ed.) *Poultry Breeding and Genetics*, 599-644.
42. Chen, S. E., McMurtry, J. P., & Walzem, R. L. (2006). Overfeeding-induced ovarian dysfunction in broiler breeder hens is associated with lipotoxicity. *Poultry science*, 85(1), 70-81. <https://doi.org/10.1093/ps/85.1.70>
43. Contijoch, A. M., Malamed, S., McDonald, J. K., & Advis, J. P. (1993). Neuropeptide Y regulation of LHRH release in the median eminence: immunocytochemical and physiological evidence in hens. *Neuroendocrinology*, 57(1), 135-145. <https://doi.org/10.1159/000126353>

44. Correa, J. S., Salas, M. J., Franco, L. S., & Ricalde, R. S. (2007). Indicadores de producción de huevo de gallinas criollas en el trópico de México. *Archivos de Zootecnia*, 56(215), 309-317.
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49521504>
45. Curtis, P.A., Gardner, F.A., & Mellor, D.B. (1995). A comparison of selected quality and compositional characteristics of brown and white shell eggs. I. Shell quality. *Poultry Science*, 64(2), 297-301. <http://dx.doi.org/10.3382/ps.0640297>
46. Dadheech, T., & Vyas, R. (2014). Contribution of Poultry in Poverty Eradication and Promotion of Gender Equality in case of South Asia. *Global Journal of Multidisciplinary Volume*, 3(7), 1-10
47. Dawkins, M. S., & R. Layton. (2012). Breeding for Better Welfare: Genetic Goals for Broiler Chickens and Their Parents. *Animal Welfare*, 21(2), 147-155.
<https://doi.org/10.7120/09627286.21.2.147>
48. Decuyper, E., Bruggeman, V., Onagbesan, O., & Safi, M. (1999). Endocrine Physiology of Reproduction in the Female Chicken: Old Wine in New Bottles. Proceedings of the International Congress on Bird Reproduction. Tours. Fr.145-153. <http://dx.doi.org/10.3184/147020602783698638>
49. De Jong, I.C., & Guemene, D. (2011). Major Welfare Issues in Broiler Breeders. *World's Poultry Science Journal*, 67(1), 73-82.
<https://doi.org/10.1017/S0043933911000067>
50. Di Masso, R. J., Dottavio, A.M., Canet, Z.E., & Font, M.T. (1998). Body weight and egg weight dynamics in layers. *Poultry Science*, 77(6), 791-796.
<https://doi.org/10.1093/ps/77.6.791>

51. Diaz, F.J., & Anthony, K. (2013). Feed restriction inhibits early follicular development in young broiler-breeder hens. *Animal Reproduction*, 10(2), 79-87
<https://www.animal-reproduction.org/article/5b5a604ef7783717068b46ae>
52. Dottavio, A.M., Di Masso, R.J., & Font, M.T. (1998). Incorporación de genes Fayoumi en híbridos de tres vías de gallinas ponedoras y su efecto sobre el peso del huevo. En Actas del III Congreso Rosarino y XVIII Reunión Anual de la Sociedad de Biología de Rosario. Rosario, Santa Fe.
53. Dottavio, A.M., & Di Masso, R.J. (2010). Mejoramiento avícola para sistemas productivos semi-intensivos que preservan el bienestar animal. *Journal of Basic & Applied Genetics*, 21(2), 1-10.
54. Dottavio, A.M. (2017). Genotipos híbridos alternativos para la producción de aves de carne aptas para sistemas productivos semi-extensivos y multipropósito que preserven el bienestar animal. Tesis presentada para acceder al grado de Doctor en Ciencias Veterinarias. Facultad de Ciencias Veterinarias. Universidad Nacional de Rosario. Rosario. Argentina. 323 p.
55. Eitan, Y., Soller, M., & Rozenboim, I. (1998). Comb size and estrogen levels toward the onset of lay in broiler and layer strain females under *ad libitum* and restricted feeding. *Poultry Science*, 77(11), 1593-1600.
<https://doi.org/10.1093/ps/77.11.1593>
56. El-Attrouny, M.M. (2011). Estimation and evaluation of genetic and non-genetic parameters for some productive traits in chickens. M. Sc. Thesis, Faculty of Agriculture at Moshtohor, Benha University, Egypt.

57. Eleroğlu, H., Yıldırım, A., Şekeroğlu, A., Çoksöyler, F. N., & Duman, M. (2014). Comparison of growth curves by growth models in slow-growing chicken genotypes raised the organic system. *International Journal of Agriculture and Biology*, 16(3), 529-535.
58. El-Tahawy, W.S. (2020). Analysis of heterotic components in a cross bred between two Egyptian local chicken strains. *Egyptian Poultry Science*, 40(2), 525-535. https://epsj.journals.ekb.eg/article_96405.html
59. England, J. A., Moyle, J. R., Yoho, D. E., Bramwell, R. K., Ekmay, R. D., Kriseldi, R., & Coon, C. N. (2014). Effect of rearing program, body conformation and protein level of breeder feed on broiler breeder hen reproductive performance. *International Journal of Poultry Science*, 13(12), 670-679. <http://dx.doi.org/10.3923/ijps.2014.670.679>
60. Etches, R.J. (1996). Reproducción aviar. Ed. Acribia S.A. Zaragoza, España. 339 p.
61. Eusemann, B. K., Sharifi, A. R., Patt, A., Reinhard, A. K., Schrader, L., Thöne-Reineke, C., & Petow, S. (2018). Influence of a sustained release deslorelin acetate implant on reproductive physiology and associated traits in laying hens. *Frontiers in physiology*, 9, 1846. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.01846>
62. Fain Binda, V., Librera, J.E., Canet, Z.E., Dottavio, A.M., & Di Masso, R.J. (2012). Análisis dinámico del peso del huevo en los híbridos recíprocos entre dos poblaciones sintéticas maternas de pollo campero. Trabajo presentado en las XIII Jornadas de Divulgación Técnico-Científicas 2012 Facultad de Ciencias Veterinarias – Universidad Nacional de Rosario, Argentina.

63. Fajri, D. N., & Ulum, M. F. (2019). Ultrasonographic imaging of reproductive organ in indonesian native chicken hen (*Gallus domesticus*). *Poultry Science Journal*, 7(2), 109-118. <https://doi.org/10.22069/psj.2019.16393.1420>
64. Falconer, D.S., & Mackay, T.F.C. (1996). Introduction to quantitative genetics, 4th ed. Prentice-Hall. Harlow. 464 p.
65. FAO. (2013). The scope and effect of family poultry research and development. *FAO Animal Production and Health*. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/019/aq635e/aq635e.pdf>
66. Farzin N., Vaez Torshizi R., Kashan N.E.J., & Gerami, A. (2010). Estimates of genetic and phenotypic correlations between monthly and cumulative egg productions in a commercial broiler female line. *Global Veterinaria*, 5(3), 164-167.
67. Farzin, N., Vaez Torshizi, R., Gerami, A., & Seraj, A. (2013). Estimates of genetic parameters for monthly egg production in a commercial female broiler line using random regression models. *Livestock Science*, 153(1-3), 33-38. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2013.01.015>
68. Fernandez, R. (2022). Efectos del incremento de la asignación de alimento durante la recría sobre el crecimiento y la eficiencia reproductiva en genotipos maternos del pollo Campero INTA. Facultad de Ciencias Veterinarias UNNE. 137 p.
69. Fialho, F.B., Ledur, M.C., & Avila, V.S. (2001). Modelo matemático para comparar curvas de produção de ovos. *Revista Brasileira de Ciencia Avicola*, 3(3), 211-217. <https://doi.org/10.1590/S1516-635X2001000300002>

70. Finzi, A. (2000). Integrated backyard system. A contribution to the special programme for food security. Boletín técnico de la FAO. University of Tuscia, Viterbo, Italia. Disponible en: www.fao.org.
71. Fitzhugh Jr, H. A. (1976). Analysis of growth curves and strategies for altering their shape. *Journal of animal Science*, 42(4), 1036-1051. <http://dx.doi.org/10.2527/jas1976.4241036x>
72. Francoeur, L., Stephens, C. S., & Johnson, P. A. (2021). *Ad libitum* feeding in broiler breeder hens alters the transcriptome of granulosa cells of pre-hierarchical follicles. *Animals*, 11(9), 2706. Francoeur, L., Stephens, C. S., & Johnson, P. A. (2021). *Ad libitum* feeding in broiler breeder hens alters the transcriptome of granulosa cells of pre-hierarchical follicles. *Animals*, 11(9), 2706. <https://doi.org/10.3390/ani11092706>
73. Fulla, S. T. (2022). Review on potential and impact of chicken crossbreeding in developing countries. *World Scientific News*, 166, 28-42.
74. Ghanem, K., & Johnson, A. L. (2019). Relationship between cyclic follicle recruitment and ovulation in the hen ovary. *Poultry science*, 98(7), 3014-3021. <https://doi.org/10.3382/ps/pez100>
75. Gilbert, A. B., Peddie, J., Teague, P. W., & Mitchell, G. G. (1978). The effect of delaying the onset of laying in pullets with a low-calcium diet on subsequent egg production. *British Poultry Science*, 19(1), 21-34. <https://doi.org/10.1080/00071667808416438>

76. Girard, T.E.; Zuidhof, M.J., & Bench, C. J. (2017). Feeding, foraging, and feather pecking behaviours in precision-fed and skip-a-day-fed broiler breeder pullets. *Applied Animal Behaviour Science*, 188, 42-49.
<https://doi.org/10.1016/j.applanim.2016.12.011>
77. Goraga, Z.S., Nassar, M.K., & Brockmann, G.A. (2011). Quantitative trait loci segregating in crosses between New Hampshire and White Leghorn chicken lines: I. egg production traits. *Animal Genetics*, 43(2), 183-189.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2052.2011.02233.x>
78. Gregory, N., & Robins, J. (1998). A body condition scoring system for layer hens. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 41(4), 555-559.
<https://doi.org/10.1080/00288233.1998.9513338>
79. Gunawardana P., Roland D. A., & Bryant, M. M. (2008). Effect of energy and protein on performance, egg components, egg solids, egg quality, and profits in molted Hy-Line W-36 Hens. *Journal of Applied Poultry Research*, 17(4), 432-439. <https://doi.org/10.3382/japr.2007-00085>
80. Harms, R. H., Wilson, H. R., & Russell, G. B. (1999). Broiler breeder diet for early sexual maturity and post-peak weight control. *Journal of Applied Poultry Research*, 8(1), 82-88. <https://doi.org/10.1093/japr/8.1.82>
81. Hartcher, K. M., & Lum, H. K. (2020). Genetic selection of broilers and welfare consequences: a review. *World's poultry science journal*, 76(1), 154-167.
<https://doi.org/10.1080/00439339.2019.1680025>

82. Hassan, H.A.; Iraqi, M.M.; Khalil, M.H.; El-Gendi, G. M., & El-Wardani, A.M. (2020). Genetic evaluation for sexual maturity and egg production traits in crossbreeding experiment involving four local strains of chickens. *Annals of Agricultural Science, Moshtohor*, 58(3), 585-598.
<https://doi.org/10.21608/assjm.2020.127285>
83. Havenstein, G.B., Ferket, P.R., Scheideler, S.E., & Larson, B.T. (1994). Growth, livability, and feed conversion of 1957 vs. 1991 broilers when fed “typical” 1957 and 1991 broiler diets. *Poultry Science*, 73(12), 1785–1794.
<https://doi.org/10.3382/ps.0731785>
84. Heck, A., Onagbesan, O., Tona, K., Metayer, S., Putterflam, J., Jegu, Y., Trevidy, J.J., Decuypere, E., Williams, J., Picard M., & Bruggeman, V. (2004). Effects of *ad libitum* feeding on performance of different strains of broiler breeders. *British Poultry Science*, 45(5), 695-703.
<https://doi.org/10.1080/00071660400006537>
85. Heifetz, E. M., Rozenboim, I., Soller, M., & Eitan, Y. (2018). Hormonal levels of estradiol, testosterone, and progesterone at entry into lay of year 1980 vs. 2000 broiler breeder females under fast and slow release from feed restriction. *Poultry science*, 97(10), 3728-3735. <https://doi.org/10.3382/ps/pey213>
86. Heijmans, J., Duijster, M., Gerrits, W. J. J., Kemp, B., Kwakkel, R. P., & van den Brand, H. (2021). Impact of growth curve and dietary energy-to-protein ratio on productive performance of broiler breeders. *Poultry Science*, 100(7), 101131. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101131>
87. Hochleithner, C. (2006). Ultrasound in pet birds. *Israel Journal Veterinary Medical*, 61(1), 26-27.

88. Hocking P. M., & McCormack, H. A. (1995). Differential sensitivity of ovarian follicles to gonadotrophin stimulation in broiler and layer lines of domestic fowl. *Journal of Reproduction and Fertility*, 105(1), 49-55. <https://doi.org/10.1530/jrf.0.1050049>
89. Hocking, P. M., & Robertson, G. W. (2000). Ovarian follicular dynamics in selected and control (relaxed selection) male-and female-lines of broiler breeders fed *ad libitum* or on restricted allocations of food. *British Poultry Science*, 41(2), 229-234. <https://doi.org/10.1080/713654904>
90. Hocking, P.M. & Whitehead, C.C. (1990). Relationship between body fatness, ovarian structure and reproduction in mature females from lines of genetically lean or fat broilers given different food allowances. *British Poultry Science*, 31(2), 319-324. <https://doi.org/10.1080/00071669008417262>
91. Hocking, P.M. (1993). Feed Restriction. En: Biology of breeding poultry, Chapter 17. Edited by P.M. Hocking. *Poultry science symposium series*, 29, 307-330.
92. Hocking, P.M., Bain, M, Channing, C.E., Fleming, R., & Wilson, S. (2003). Genetic variation for egg production, egg quality and bone strength in selected and traditional breeds of laying fowl. *British Poultry Science*, 44(3), 365-373 <https://doi.org/10.1080/0007166031000085535>
93. Hofbauer, H., & Krautwald-Junghanns, M. E. (1999). Transcutaneous ultrasonography of the avian urogenital tract. *Veterinary Radiology & Ultrasound*, 40(1), 58-64. <https://doi.org/10.1111/j.1740-8261.1999.tb01839.x>

94. Hosseini, F., Mehraei Hamzekolaei, M. H., Zamani Moghaddam, A. K., Arabha, H., & Tohidifar, S. S. (2017). Normal ultrasonographic images of reproductive organs of female Japanese quails (*Coturnix coturnix japonica*): a laboratory animal model. *Laboratory animals*, 51(1), 75-84.
<https://doi.org/10.1177/0023677215625607>
95. Iraqi, M.M. (2008). Estimation of crossbreeding effects for egg production traits in a crossbreeding experiment involving two local strains of chickens. *Egyptian Poultry Science*, 28(3), 867-882.
96. Isa, A.M., Sun, Y., Shi, L., Jiang, L., Li, Y., Fan, J., Wang, P., Ni, A., Huang, Z., Ma, H., LI, D., & Chen J. (2020). Hybrids generated by crossing elite laying chickens exhibited heterosis for clutch and egg quality traits. *Poultry Science*, 99(12), 6332-6340. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.08.056>
97. Jaap, R. G., & Muir, F. V. (1968). Erratic oviposition and egg defects in broiler-type pullets. *Poultry Science*, 47(2), 417-423.
<https://doi.org/10.3382/ps.0470417>
98. Jeyakumar, S., Sujatha, T., & Kundu, A. (2010). Ultrasonographic characteristics of ovarian follicles in Nicobari hen. *Indian Veterinary Journal*, 87(3), 295-296.
99. Johnson, A. L. (2015). Ovarian follicle selection and granulosa cell differentiation. *Poultry science*, 94(4), 781-785.
<https://doi.org/10.3382/ps/peu008>
100. Johnson, A.L. (2000) Reproduction in the female. Chapter 22, pp. 569. In: Sturkie's Avian Physiology, Fifth edition. Academic Press.

101. Joseph, N.S.; Robinson, F.E.; Renema, R.A., & Thorsteinson, K.A. (2003). Comb growth during sexual maturation in female broiler breeders. *Journal of Applied Poultry Research*, 12(1), 7-13. <https://doi.org/10.1093/japr/12.1.7>
102. Juárez-Caratachea, A., Gutiérrez-Vázquez, E., Segura-Correa, J., & Santos-Ricalde, R. (2010). Calidad del huevo de gallinas criollas criadas en traspatio en Michoacán, México. *Tropical and subtropical agroecosystems*, 12(1), 109-115. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93913074011>
103. Junqueira, O. M., De Laurentiz, A. C., da Silva Filardi, R., Rodrigues, E. A., & Casartelli, E. M. (2006). Effects of energy and protein levels on egg quality and performance of laying hens at early second production cycle. *Journal of Applied Poultry Research*, 15(1), 110-115. <https://doi.org/10.1093/japr/15.1.110>
104. Kamanli, S. (2019). Estimation of genetic parameters for some performance traits in a selected Barred Rock line. *Ankara Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 66(4), 391-396. <https://doi.org/10.33988/auvfd.575742>
105. Kerr, C.L., Hammerstedt, R.H., & Barbato, G.F. (2001). Effects of selection for exponential growth rate at different ages on reproduction in chickens. *Avian and Poultry Biology Reviews*, 12(3), 127-136. <http://dx.doi.org/10.3184/147020601783698503>
106. Khawaja, T., Khan, S. H., Mukhtar, N., Ullah, N., & Parveen, A. (2013). Production performance, egg quality and biochemical parameters of Fayoumi, Rhode Island Red and their reciprocal crossbred chickens. *Journal of applied animal research*, 41(2), 208-217. <https://doi.org/10.1080/09712119.2012.739969>

107. Leeson, S. & Summers, J.D. (2009). Broiler breeder production. Published by University Books. Guelph, Ontario. Canada. Canada. 335 p.
108. Leroy, G. (2014). Inbreeding depression in livestock species: review and meta-analysis. *Animal Genetics*, 45(5), 618-628.
<https://doi.org/10.1111/age.12178>
109. Librera, J. E., Di Masso, R. J., Canet, Z. E., Font, M. T., & Dottavio, A. M. (2003). Crecimiento, consumo de alimento y eficiencia alimenticia en pollos campero INTA con diferente genotipo materno. *Revista FAVE*, 2(1), 57-64.
110. Lindholm, C., Johansson, A., Middelkoop, A., Lees, J., Yngwe, N., Berndtson, E., Cooper, G., & Altimiras, J. (2017). The quest for welfare-friendly feeding of broiler breeders: Effects of Daily vs. 5:2 Feed Restriction Schedules. *Poultry Science*, 97(2), 368-377. <https://doi.org/10.3382/ps/pex326>
111. Liu, H. K., Lilburn, M. S., Koyyeri, B., Anderson, J. W., & Bacon, W. L. (2004). Preovulatory surge patterns of luteinizing hormone, progesterone, and estradiol-17 in broiler breeder hens fed *ad libitum* or restricted fed. *Poultry Science*, 83(5), 823–829. <https://doi.org/10.1093/ps/83.5.823>
112. Loughlin, K.F. (2009). In Biology of breeding poultry p 10. Poultry Science Symposium Series Executive Editor (Volumes 1–18): B.M. FreemanCab international.
113. Lovell, T.M., Gladwell, R.T., Groome, N.P., & Knight, P. G. (2003). Ovarian follicle development in the laying hen is accompanied by divergent changes in inhibin A, inhibin B, activin A and follistatin production in granulosa and theca layers. *Journal of Endocrinology*, 177(1): 45-56
<https://doi.org/10.1677/joe.0.1770045>

114. Luo, P.T., Yang, R.Q., & Yang, N. (2007). Estimation of genetic parameters for cumulative egg numbers in a broiler dam line by using a random regression model. *Poultry Science*, 86(1), 30-36. <https://doi.org/10.1093/ps/86.1.30>
115. Lwelamira, J. (2012). Genotype-Environmental (G x E) Interaction for body weights for Kuchi chicken ecotype of Tanzania reared on-station and on-farm. *International Journal of Poultry Science*, 11(2), 96-102
116. Marongiu, M. L., & Dimauro, C. (2009). Short and long high ambient temperature exposure differently affect plasma luteinizing hormone and ultrasound-assessed ovarian dynamics of laying hens. *World Poultry Science Association (WPSA), 2nd Mediterranean Summit of WPSA, Antalya, Turkey, 4-7 October 2009*, 123-126.
117. Marquardt DW. (1963). An algorithm for least square estimation of nonlinear parameters. *Journal of the society for Industrial and Applied Mathematics*, 11(2), 431-441. <https://doi.org/10.1137/0111030>
118. Mcderment, N., Wilson, P., Waddington, D., Dunn, I., & Hocking, P. M. (2011). Identification of novel candidates for follicle selection in the broiler breeder ovary. 7th European Symposium on Poultry Genetics.
http://www.venetoagricoltura.org/upload/File/erbacee_bollettino/BIONET_Proceedings_EPGS2013.pdf
119. McGary, S., Estevez, I., & Bakst, M. (2003). Potential relationships between physical traits and male broiler breeder fertility. *Poultry Science*, 82(2), 328-337. <https://doi.org/10.1093/ps/82.2.328>

120. Melnychuk, V.L., Cooper, M.W., Kirby, J.D., Rorie, R. W., & Anthony, N. B. (2002). Use of Ultrasonography to characterize ovarian status in chicken. *Poultry Science*, 81(6), 892–895. <https://doi.org/10.1093/ps/81.6.892>
121. Melnychuk, V. L., Kirby, J. D., Kirby, Y. K., Emmerson, D. A., & Anthony, N. B. (2004). Effect of strain, feed allocation program, and age at photostimulation on reproductive development and carcass characteristics of broiler breeder hens. *Poultry Science*, 83(11), 1861-1867. <https://doi.org/10.1093/ps/83.11.1861>
122. Mendoza Castro, A.M. (2006). Nutrient utilization and reproductive performance in broiler breeder hens. A thesis submitted to the Graduate Faculty of the University of Georgia in partial fulfillment of the requirements for the degree Master of Science. D.V.M., The University of La Salle, Colombia. 95p.
123. Miguel, J.A., Asenjo, B., Ciria, J., & Calvo, J.L. (2009). Descripción del crecimiento de tres tipos genéticos de gallinas españolas y una línea comercial sasso. Efecto del tipo de alojamiento. ITEA: Información Técnica Económica Agraria 105 (1):7-16.
124. Morrissey, K.L., Widowski, T., Leeson, S., Sandilands, V., Arnone, A., & Torrey, S. (2014). The effect of dietary alterations during rearing on growth, productivity, and behavior in broiler breeder females. *Poultry Science*, 93(2), 285-295. <https://doi.org/10.3382/ps.2013-03265>
125. N'Dri, A.L., Sellier, N., Tixier-Boichard, M., Beaumont, C., & Mignon-Grasteau, C. (2007). Genotype by environment interactions in relation to growth traits in slow growing chickens. *Genetics selection evolution*, 39, 513-528. <https://doi.org/10.1186%2F1297-9686-39-5-513>

126. Nelder, J.A. (1961). The fitting of a generalization of the logistic curve. *Biometrics*, 17(1), 89-110. <https://doi.org/10.2307/2527498>
127. Nelder, J. A. (1962). An alternative form of a generalized logistic equation. *Biometrics*, 18(4), 614-616. <https://doi.org/10.2307/2527907>
128. Nicol, C.J., Bouwsema, J.; Caplen, G.; Davies, A.C.; Hockenhull, J.; lambton, S.L.; Lines, J.A.; Mullan, S., & Weeks, C.A. (2017). *Farmed Bird Welfare Science Review*. Published by the Department of Economic Development, Jobs, Transport and Resources 1 Spring Street. Melbourne. Victoria. 321 p.
129. Nili, H., & Kelly, W. R. (2000). An ultrasonographic study of dynamic process of bursting atresia in laying hens. *Iranian Journal of Veterinary Research*, 1(1), 53-59.
130. North, M.O. (1993). *Manual de Producción avícola*. Ed. El Manual Moderno S.A. México D.F. Tercera Ed. 829 p.
131. Oguntunji, A. O., Widya, P. B. P., & Ajala, F. V. (2021). Principal component analysis of morphostructural indices of noiler chickens. *Scientific Papers Animal Science and Biotechnologies*, 54(2), 73-73.
132. Onagbesan, O.M., Metayer, S., tona, K., Williams, J., Decuypere, E., & Bruggeman, V. (2006). Effects of genotype and feed allowance on plasma luteinizing hormones, follicle-stimulating hormones, progesterone, estradiol levels, follicle differentiation, and egg production rates of broiler breeder hens. *Poultry Science*, 85(7), 1245-1258. <https://doi.org/10.1093/ps/85.7.1245>

133. Onbaşılar, E. E., Erdem, E., Poyraz, Ö., & Yalçın, S. (2011). Effects of hen production cycle and egg weight on egg quality and composition, hatchability, duckling quality, and first-week body weight in Pekin ducks. *Poultry Science*, 90(11), 2642-2647. <https://doi.org/10.3382/ps.2011-01359>
134. Pampín Balado, M., Madrazo Fonseca, G., Montes, I., & Edghill, E. (2011). Evaluación de los caracteres productivos del reemplazo de reproductores semirrusticos. *Revista Cubana de Ciencia Avícola*, 35(1), 37-42.
135. Pan, Y., Liu, Z., Chang, C., Huang, Y., Lai, C., Walzemd, R.L., & Chen, S. (2014). Feed restriction ameliorates metabolic dysregulation and improves reproductive performance of meat-type country chickens. *Animal Reproduction Science*, 151(3-4), 229-236. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2014.10.003>
136. Patricio Carmona, M. D. C. (2015). Estudio del crecimiento y desarrollo de la gallina negra huachana. Tesis para obtener el título profesional de: ingeniero zootecnista. Universida nacional José Faustino Sánchez Carrión. Huacho-Perú 2015
137. Peebles E. D., & Mcdaniel C. D. (2013). A practical manual for understanding the shell structure of broiler hatching eggs and measurements of their quality. Bulletin 1139 was published by the Office of Agricultural Communications, a unit of the Division of Agriculture, Forestry, and Veterinary Medicine at Mississippi State University.
138. Pizzari, T.; Jensen, P., & Cornwallis, C.H. (2004). A novel test of the phenotype-linked fertility hypothesis reveals independent components of fertility. *Proceedings of the Royal Society of London. Serie B: Biological Sciences*, 271(1534), 51-58. <https://doi.org/10.1098/rspb.2003.2577>

139. Pletsch, C.R., Terraes, J.C., Revidatti, F.A., Fernandez, R.J., & Asiain, M. (2009). Consecuencias de la restricción alimenticia sobre la producción de huevos en hembras tipo Campero INTA. *Revista Veterinaria*, 20(2), 86-91.
<https://doi.org/10.30972/vet.2021855>
140. Poole, D. (2003). Una visión práctica de la nutrición de reproductoras pesadas adultas y manejo de los alimentos en EE.UU. *Rev. Selecciones Avícolas*. XLV (12): 817-822.
141. Poole, R. (1974). Sampling and the estimation of population parameters. An introduction to quantitative ecology. McGraw Hill. pp. 292-324.
142. Popova-Ralcheva, S., Sredkova, V., Valchev, G., & Bozakova, N. (2009). The effects of the age and genotype on morphological egg quality of parent stock hens. *Archiva Zootechnica*, 12(2), 24-30.
143. Quintana López, J.A. (2001). Efecto de la proteína cruda, energía metabolizable y consumo de alimento sobre la productividad, incubabilidad, contenido de lípidos en suero, huevo y hormonas sexuales de gallinas reproductoras pesadas. Tesis doctoral. Universidad de Colima, México. 147 p.
144. Rajkumar, U., Sharma, R.P., Rajaravindra, K.S., Niranjana, M., Reddy, B.L.N., Bhattacharya, T.K., & Chatterjee, R.N. (2009). Effect of genotype and age on egg quality traits in Naked Neck chicken under tropical climate from India. *International Journal of Poultry Sciences*, 8(12), 1151-1155.
<http://dx.doi.org/10.3923/ijps.2009.1151.1155>
145. Ramachandran, R. (2014). Current and future reproductive technologies for avian species. *Current and Future Reproductive Technologies and World Food Production*, 23-31. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-8887-3_2

146. Rauw, W., Kanis, E., Noordhuizen-Stassen, E., & Grommers, F.J. (1998). Undesirable side effects of selection for high production efficiency in farm animals: a review. *Livestock Production Science*, 56(1), 15–33.
[https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(98\)00147-X](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(98)00147-X)
147. Reddish, J.M. (2004). Evaluation of the effects of selection for increased body weight and increased yield on growth and development of poultry. Dissertation. Degree Doctor of Philosophy in The Ohio State University, 111 p.
148. Reddish, J.M. & Lilburn, M.S. (2004). A comparison of growth and development patterns in diverse genotypes of broilers. 2. Pullet Growth. *Poultry Science*. 83: 1072–1076.
149. Renema, R. A., Robinson, F. E., Proudman, J. A, Newcombe., M., & McKay, R. I. (1999). Effects of body weight and feed allocation during sexual maturation in broiler breeder hens. 2. Ovarian morphology and plasma hormone profiles. *Poultry Science*, 78(5), 629–639. <https://doi.org/10.1093/ps/78.5.629>
150. Renema, R.A., Rustad, M.E., & Robinson, F.E. (2007). Implications of changes to commercial broiler and broiler breeder body weight targets over the past 30 years. *World's Poultry Science Journal*, 63(3), 457-472.
<https://doi.org/10.1017/S0043933907001572>
151. Richards, M. P. (2003). Genetic regulation of feed intake and energy balance in poultry. *Poultry Science*, 82(6), 907-916. <https://doi.org/10.1093/ps/82.6.907>
152. Richards, M. P., Rosebrough, R. W., Coon, C. N., & McMurtry, J. P. (2010). Feed intake regulation for the female broiler breeder: In theory and in practice. *Journal of applied poultry research*, 19(2), 182-193.
<https://doi.org/10.3382/japr.2010-00167>

153. Rigonatto, T. (2014). Análisis comparativo de las características reproductivas y de la evolución de la progenie de dos poblaciones sintéticas maternas del pollo Campero INTA. Tesis presentada para acceder al grado de Doctor de la Universidad Nacional del Nordeste en Ciencias Veterinarias. Corrientes. Argentina.
154. Rizzi, C., & Marangon, A. (2012). Quality of organic eggs of hybrid and Italian breed hens. *Poultry science*, 91(9), 2330-2340.
<https://doi.org/10.3382/ps.2011-01966>
155. Roberts, J. R. (2004). Factors affecting egg internal quality and egg shell quality in laying hens. *The Journal of Poultry Science*, 41(3), 161-177.
<https://doi.org/10.2141/jpsa.41.161>
156. Roberts, J.R., & Ball, W. (2004). Egg quality guidelines for the Australian egg industry. Australian Egg Corporation Limited Publication 03/19 pp. 32.
157. Robinson, F.E., & Renema, R.A. (2003a). Managing what you can't see: the role of feed in breeder ovary management. University of Alberta, Edmonton, Alberta, Canada, PIC Health Conference. Disponible en:
www.poultryindustrycouncil.ca/bbreedersession.pdf
158. Robinson F.E., & Renema, R.A. (2003b). Variation between strains of breeders in managing sexual maturation. University of Alberta, Edmonton, Alberta, Canada, PIC Health conference. Disponible en:
www.poultryindustrycouncil.ca/bbreedersession.pdf.
159. Robinson, F.E., Fassenko, G.M., & Renema, R.A. (2003). Optimizing chick production in broiler breeders. Spotted Cow Press. Edmonton. 132 p.

160. Robinson F.E., & Wilson. L. (1996). Reproductive failure in overweight male and female broiler breeders. *Animal feed Science Technology*, 58(1-2),143-150. [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(95\)00880-2](https://doi.org/10.1016/0377-8401(95)00880-2)
161. Romera, B. M., Canet, Z. E., Librera, J.E., Acosta, J.E., Acevedo, H.J., Dottavio, A.M., & Di Masso, R.J. (2015). Fertilidad, incubabilidad y viabilidad al inicio del primer ciclo de postura en dos poblaciones de gallinas reproductoras camperas. XVI Jornadas de Divulgación Técnico-Científicas 2015 – III Jornada Latinoamericana Facultad de Ciencias Veterinarias – Universidad Nacional de Rosario. Argentina.
162. Romera, B.M., Librera, J.E., Canet, Z.E., Dottavio, A.M., & Di Masso, R.J. (2019). Patrón dinámico del peso corporal de gallinas Campero Casilda en su primer ciclo de postura discriminada por el desarrollo de los atributos sexuales a las 30 semanas de edad. VII Jornadas de difusión de la Investigación y Extensión. Facultad de Ciencias Veterinarias, UNL, Esperanza, Santa Fe. Argentina.
163. Roush, W. B., & Branton, S. L. (2005). A comparison of fitting growth models with a genetic algorithm and nonlinear regression. *Poultry Science*, 84(3), 494-502. <https://doi.org/10.1093/ps/84.3.494>
164. Salah Uddin, M., Tareque, A. M. M., Howlider, M. A. R., & Jasimuddin Khan, M. (1991). The influence of dietary protein and energy levels on egg quality in Starcross layers. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 4(4), 399-405. <http://dx.doi.org/10.5713/ajas.1991.399>

165. Salas, C., Ekmay, R. D., England, J., Cerrate, S., & Coon, C. N. (2019). Effect of body weight and energy intake on body composition analysis of broiler breeder hens. *Poultry Science*, 98(2), 796-802.
<https://doi.org/10.3382/ps/pey377>
166. Salehinasab, M., Zerehdaran, S., Abbasi, M. A., Alijani, S., & Hassani, S. (2013). Determination of the best model for estimating heritability of economic traits and their genetic and phenotypic trends in Iranian native fowl. *Archives Animal Breeding*, 56(1), 237-245. <http://dx.doi.org/10.7482/0003-9438-56-023>
167. Scarpa, R. (1999). Revealed preference valuation methods for farm animal genetic material: principles, strengths and weaknesses. In: J.E.O. Rege (ed), *Proceedings of an FAO/ILRI Workshop on economic valuation of animal genetic resources*, Rome, 1999, (International Livestock Research Institute, Nairobi), 40-47
168. Schmidt, C.J., Persia, M.E., Feierstein, E., Kingham, B., & Saylor, W. W. (2009). Comparison of a modern broiler line and a heritage line unselected since the 1950s. *Poultry Science*, 88(12), 2610-2619.
<https://doi.org/10.3382/ps.2009-00055>
169. Sesti, L.A. (2003). *Orgãos reprodutivos e reprodução das aves domésticas*. Parte 1. Biologia das aves. pp. 3. En: *Manejo da Incubação*. Macari, M. y Gonzáles, 2da. Edición. Jaboticabal Brasil. FACTA. 537 p.
170. Sheldon, B. L., & Podger, R. N. (1974). Selection for low variability of egg weight in poultry. 15th World's Poultry Congress, New Orleans, 159-161.

171. Shen, M., Qu, L., Ma, M., Dou, T., Lu, L., Guo, J., Hu, Y., Yi, G., Yuan, J., Sun, C., Wang, K., & Yang, N. (2016). Genome-Wide association studies for comb traits in chickens. *Genome-Wide Association Studies for Comb Traits in Chickens*. PLOS ONE 11(7): e0159081.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0159081>
172. Sheskin, D. (2011). *Handbook of parametric and nonparametric statistical procedures*. Chapman & Hall, USA.
173. Siegel, P. B., & Dunnington, E. A. (1997). Genetic selection strategies—population genetics. *Poultry Science*, 76(8), 1062-1065.
<https://doi.org/10.1093/ps/76.8.1062>
174. Škrbić, Z., Pavlovski, Z., & Lukić, M. (2007). Body mass and dynamics of growth of broiler chickens of different genotype in improved rearing conditions. *Biotechnology Animal Husbandry*, 23(5-6-2), 347–356.
<http://dx.doi.org/10.2298/BAH0702347S>
175. Soliman, M.A.; Khalil, M.H.; El-Sabrou, K., & Shebl, M.K. (2020). Crossing effect for improving egg production traits in chickens involving local and commercial strains. *Veterinary World*, 13(3), 407-412.
<https://doi.org/10.14202%2Fvetworld.2020.407-412>
176. Spies, A. (2000). Reproductive efficiency of broiler breeder females as influenced by post peak feed allocation and long ahemeral days. A thesis submitted to the Faculty of Graduate Studies and Research in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in Animal Science. Department of Agricultural, Food and Nutritional Science Edmonton, Alberta. 84 p.

177. Sreesujatha, R. M., Jeyakumar, S., Kundu, A., & Balasundaram, C. (2016). Use of transcutaneous ultrasonography to characterize ovarian status, size distribution, and hierarchical status of follicles in Japanese quail (*Coturnix coturnix japonica*). *Theriogenology*, 86(5), 1231-1239.
<https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2016.04.026>
178. Steel, R., & Torrie, J. (1988). Bioestadística: principios y procedimientos. México: McGraw-Hill/Interamericana de México, S.A.
179. Terraes, J.C.; Sindik, M., Revidatti, F.; Fernández, R.J.; Rigonatto, T.; Michel, M., & Ortíz, D. (2010). Curva de crecimiento, consumo de alimento, porcentaje de uniformidad y madurez sexual en reproductoras Campero-INTA sometidas a dos programas de distribución de alimento. Trabajo presentado en las XXXI Sesión de Comunicaciones Científicas de la FCV. Corrientes, agosto de 2010.
<http://www.vet.unne.edu.ar/uploads/comunicacionesCientificas/archivos/4b8205aab24b3a5d0ac3c06e9ee569d077370324.pdf>
180. Thielebein, J., & Kozlowski, K. (2010). Examination of the genital system in poultry with transintestinal ultrasound imaging. *Journal of Applied Animal Research*, 37(1), 15-18. <https://doi.org/10.1080/09712119.2010.9707087>
181. Tůmová, E. Zita, L. Hubený, M. Skřivan, M., & Ledvinka, Z. (2007). The effect of oviposition time and genotype on egg quality characteristics in egg type hens. *Czech Journal of Animal Science*, 52(1), 26-30.
<http://dx.doi.org/10.17221/2326-CJAS>

182. van der Klein, S. A., Zuidhof, M. J., & Bédécarrats, G. Y. (2020). Diurnal and seasonal dynamics affecting egg production in meat chickens: A review of mechanisms associated with reproductive dysregulation. *Animal reproduction science*, 213, 106257. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2019.106257>
183. Van Emous, R.A. (2010). Innovative housing in broiler breeder production. Pages37- 44. In Proc. 2nd Int. Symp. Highlights in Nutr. And Welf. In Poult. Production, Wageningen, The Netherlands. Animal Science Group, Lelystad, The Netherlands.
184. Van Emous, R.A.; Kwakkel, R.P.; Van Krimpen, M.M., & Hendriks, W. H. (2013). Effects of growth patterns and dietary crude protein levels during rearing on body composition and performance in broiler breeder females during the rearing and laying period. *Poultry Science*, 92(8), 2091-2100. <https://doi.org/10.3382/ps.2012-02987>
185. Van Middelkoop, J.H., & Siegel, P.B. (1976). Classification of abnormal chicken eggs. *Poultry Sci.* 55, 1563–1566. <https://doi.org/10.3382/ps.0551563>
186. Verduzco Ríos, C., Martínez González, E.G., Muñoz-Rodríguez, M., Santoyo Cortés, V.H., & Aguilar Ávila, J. (2016). Estrategia de gestión de la innovación para la avicultura de traspatio en zonas rurales marginadas de Oaxaca, México. *Transitare*, 2(2), 165-182
187. Villa, J.R. (2001). Evaluación de la calidad de los huevos de aves reproductoras camperas en diferentes edades. *Revista Cubana de Ciencia Avícola*, 25, 155-157.
188. Wagner, W.M., & Kirberger, R.M. (2001). Transcutaneous ultrasonography of the coelomic viscera of the ostrich (*Struthio camelus*). *Veterinary Radiology*

- & *Ultrasound*, 42(6), 546-552. <https://doi.org/10.1111/j.1740-8261.2001.tb00985.x>
189. Wang, Y., Sun, Y., Ni, A., Li, Y., Yuan, J., Ma, H., & Chen, J. (2022). Research Note: Heterosis for egg production and oviposition pattern in reciprocal crossbreeds of indigenous and elite laying chickens. *Poultry Science*, 101(12), 102201. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2022.102201>
190. Weatherup S., & Foster, W. 1980. A description of the curve relating egg weight and age of hen. *British Poultry Science*, 21(6), 511-19. <https://doi.org/10.1080/00071668008416704>
191. Whittow, C.G. (2000). *Sturkie's Avian Physiology*. Academia Press. Fifth Edition. 685 p.
192. Wilhelmsson, S., Yngvesson, J., Jönsson, L., Gunnarsson, S., & Wallenbeck, A. (2019). Welfare Quality® Assessment of a fast-growing and a slower-growing broiler hybrid, reared until 10 weeks and fed a low-protein, high-protein or mussel-meal diet. *Livestock Science*, 219, 71-79. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2018.11.010>
193. Wolc, A., Arango, J., & Fulton, J. E. (2020). Genetics and genomics of egg production traits in poultry species. *Advances in Poultry Genetics and Genomics*. Ed: Aggrey S.E., Zhou H., Tixier-Boichard M., Rhoads D.D., Burleigh Dodds Science Publishing, pp. 151-182.
194. Wolc, A., Arango, J., Settar, P., O'Sullivan, N. P., & Dekkers, J.C.M. (2011). Evaluation of egg production in layers using random regression models. *Poultry Science*, 90(1), 30-34. <https://doi.org/10.3382/ps.2010-01118>

195. Wright, D., Rubin, C., Schutz, K., Kerje, S., Kindmark, A., Brandstrom, H., Andersson, L., Pizzari, T., & Jensen, P. (2012). Onset of sexual maturity in female chickens is genetically linked to loci associated with fecundity and a sexual ornament. *Reproduction in domestic animals*, 47, 31-36.
<https://doi.org/10.1111/j.1439-0531.2011.01963.x>
196. Yaissle, J., & Lilburn, M.S. (1998). Effects of dietary protein and strain on the growth of broiler breeder pullets from zero to five weeks of age. *Poultry Science*, 77(11), 1613–1619. <https://doi.org/10.1093/ps/77.11.1613>
197. Yang, N. & Jiang, R.S. (2005). Recent advances in breeding for quality chickens. *World's Poultry Science Journal*, 61(3), 373-381.
198. Yassin, H. A. G. J., Velthuis, A. G., Boerjan, M., van Riel, J., & Huirne, R. B. (2008). Field study on broiler eggs hatchability. *Poultry Science*, 87(11), 2408-2417. <https://doi.org/10.3382/ps.2007-00515>
199. Yu, M.W., Robinson, F.E., Charles, R.G., & Weingardt, R. (1992). Effect of feed allowance during rearing and breeding on female broiler breeders. 2. Ovarian morphology and production. *Poultry Science*, 71(10), 1750-1761.
<https://doi.org/10.3382/ps.0711750>
200. Yuan, L., Ni, Y., Barth, S., Wang, Y., Grossmann, R., & Zhao, R. (2009). Layer and broiler chicks exhibit similar hypothalamic expression of orexigenic neuropeptides but distinct expression of genes related to energy homeostasis and obesity. *Brain research*, 1273, 18-28.
<https://doi.org/10.1016/j.brainres.2009.03.052>

201. Zaman, M.A., Sørensen, P., & Howlader, M.A.R. (2018). Egg production performances of a breed and three cross breeds under semi-scavenging system of management. *Livestock Research for Rural Development*, 16(8), 60
202. Zerehdaran, S. (2005). Mejoramiento genético para la producción y sanidad en pollos de engorde. Tesis doctoral. Grupo de Zootecnia y Genética del Departamento de Zootecnia. Universidad de Wageningen. Wageningen, Países Bajos. 125 págs.
203. Zuidhof, M. J., Renema, R. A., & Robinson, F. E. (2007). Reproductive efficiency and metabolism of female broiler breeders as affected by genotype, feed allocation, and age at photostimulation. 3. Reproductive efficiency. *Poultry Science*, 86(10), 2278-2286. <https://doi.org/10.1093/ps/86.10.2278>
204. Zuidhof, M.J., Holm, D.E., Renema, R.A., Jalal, M.A., & Robinson, F. E. (2015). Effects of broiler breeder management on pullet body weight and carcass uniformity. *Poultry Science*, 94(6), 1389-1397. <https://doi.org/10.3382/ps/pev064>