

FOTOPERIODO Y CONCENTRACIÓN PLASMÁTICA DE ESTRADIOL, PROGESTERONA Y TESTOSTERONA EN PAVO CRIOLLO (*Meleagris gallopavo* Linnaeus), EN LA REGIÓN DE ÑUBLE, CHILE

PHOTOPERIOD AND PLASMA CONCENTRATION OF ESTRADIOL, PROGESTERONE AND TESTOSTERONE IN CREOLE TURKEY (*Meleagris gallopavo* Linnaeus), IN THE ÑUBLE REGION, CHILE

Makarena A. Rubilar Quezada^{1a}, Albert R. Carrasco Morales^{1b}, Luisa L. Iturra Alegría^{1c}, Jennifer A. Ibáñez Valenzuela^{1c}, Mario A. Briones Luengo^{1d}, Cristina J. Palma Ibáñez^{1c}, Michele Thompson Dos Santos^{1c} y Fidel O. Castro Rebolledo^{1e*}.

^{1a} Universidad de Concepción Facultad de Ciencias Veterinarias, Av. Vicente Méndez No 595, Chillán, Chile. CP 4070386

<https://orcid.org/0009-0008-7254-2622>

^{1b} Universidad de Concepción Facultad de Ciencias Veterinarias, Av. Vicente Méndez No 595, Chillán, Chile. CP 4070386

<https://orcid.org/0000-0002-4000-7632>

^{1c} Universidad de Concepción Facultad de Ciencias Veterinarias, Av. Vicente Méndez No 595, Chillán, Chile. CP 4070386

^{1d} Universidad de Concepción Facultad de Ciencias Veterinarias, Av. Vicente Méndez No 595, Chillán, Chile. CP 4070386

<https://orcid.org/0000-0002-8721-257X>

^{1e} Universidad de Concepción Facultad de Ciencias Veterinarias, Av. Vicente Méndez No 595, Chillán, Chile. CP 4070386

<https://orcid.org/0000-0001-8828-1449>

* Autor para correspondencia: fidcastro@udec.cl

RESUMEN

El fotoperiodo es una de las señales ambientales de mayor impacto sobre la estimulación reproductiva de las aves, actuando directamente sobre el eje hipotálamo-pituitario-gonadal, estimulando la producción de testosterona en el macho y estrógeno y progesterona en la hembra. Este estudio aborda el papel del fotoperiodo sobre las concentraciones plasmáticas de testosterona, estradiol y progesterona, en pavos criollos (*Meleagris gallopavo*) del Hemisferio Sur. Los resultados pueden contribuir a aclarar las relaciones entre la cantidad de horas de luz del fotoperiodo estacional y las temporadas con mayor potencial reproductivo. Los estudios se efectuaron entre julio y diciembre en Chillán, Región de Ñuble, Chile. Se emplearon 24 pavas y 16 pavos en un fotoperiodo natural, negativo de días cortos hacia uno positivo de días largos. Se efectuaron recolecciones mensuales de sangre, utilizando la fracción de suero para determinar las concentraciones hormonales mediante la técnica de RIA, empleando kits comerciales de acuerdo a las recomendaciones del fabricante. Existen diferencias significativas ($p < 0,05$) en las concentraciones de estradiol, progesterona y testosterona a lo largo del ciclo reproductivo, con picos de estradiol, progesterona y testosterona coincidentes en los meses de septiembre y octubre, donde los aumentos de horas de luz diarias influyen significativamente ($p < 0,05$) en la concentración plasmática. En conclusión, la etapa de fines

de invierno e inicios de primavera es el período de mayor interés reproductivo para la especie en los sistemas de crianza de traspatio en el hemisferio sur, favoreciendo el desarrollo de programas de conservación y reproducción.

Palabras clave: fotoperiodo, estradiol, progesterona, testosterona, pavo, pava, *Meleagris gallopavo*.

ABSTRACT

Photoperiod is one of the environmental signals with the greatest impact on the reproductive stimulation of birds, acting directly on the hypothalamic-pituitary-gonadal axis, and stimulating the production of testosterone in the male and estrogen and progesterone in the female. This study addresses the role of photoperiod on plasma concentrations of testosterone, estradiol and progesterone, in creole turkeys (*Meleagris gallopavo*) from the Southern Hemisphere. The results may contribute to clarifying the relationships between the number of light hours of the seasonal photoperiod and the seasons with greater reproductive potential. The studies were carried out between July and December in Chillán, Ñuble region, Chile Twenty-four turkey hens and 16 toms were used in a natural photoperiod, negative for short days to positive for long days. Monthly blood collections were carried out using the serum fraction to determine hormonal concentrations through the RIA technique, using commercial kits according to the manufacturer's recommendations. There are significant differences ($p < 0.05$) in the concentrations of estradiol, progesterone and testosterone throughout the reproductive cycle, with peaks of estradiol, progesterone and testosterone coinciding with the months of September and October, where increases in daily light hours significantly influence ($p < 0.05$) plasma concentration. In conclusion, the late winter and early spring stage is the period of the greatest reproductive interest for the species in backyard breeding systems in the Southern Hemisphere, favoring the development of conservation and reproduction programs.

Keywords: photoperiod, estradiol, progesterone, testosterone, turkey, turkey hen, *Meleagris gallopavo*.

INTRODUCCIÓN

El fotoperiodo ha sido aceptado como una de las señales ambientales de mayor impacto sobre la estimulación reproductiva en las especies aviares (Bédécarrats, 2015), influenciando tanto en el inicio como en la duración de los ciclos. Se asocia con la capacidad de percibir el aumento de las horas de luz del día y estimular el eje hipotálamo-pituitario-gonadal, mediante fotorreceptores de la retina del ojo, la glándula pineal y el hipotálamo, en el cerebro profundo (Sturkey, 2015). Aumentando la secreción de las hormonas luteinizante (LH) y hormona foliculo estimulante (FSH) en la glándula pituitaria anterior, que colaboran en el desarrollo testicular y la proliferación de células de Leydig en el macho, y el desarrollo ovárico y la ovulación en la hembra (Prieto and Velásquez, 2002; Sturkey, 2015). Tanto la FSH como la LH poseen actividad esteroidogénica, estimulando la producción de testosterona en el macho y estrógeno y progesterona en la hembra (Ubuca y Bentley, 2011). Dicha estimulación permitiría activar el inicio de la madurez sexual, alrededor de las 30 a 36 semanas de vida, en especies como el pavo.

La testosterona es liberada mediante patrones

pulsátiles en el macho, tanto en el pavo como en otras aves, manteniéndose un patrón de secreción independiente de su concentración inicial (Bacon, 2000). En cuanto al fotoperiodo, se ha establecido que la exposición a fotoperiodos cortos (6L:18O, donde L=luz; O=oscuridad) y luego a otros más largos (16L:8O) genera marcados aumentos en las concentraciones plasmáticas de LH y testosterona, durante las primeras cuatro semanas posteriores a la fotoestimulación, seguido de aumento del tamaño testicular y producción de semen. Por el contrario, fotoperiodos largos durante todo el desarrollo de vida del pavo generan una regresión irreversible del tamaño testicular (Krueger et al., 1977), mientras que aquellos más cortos (7L:17O) retrasan el desarrollo testicular y la producción de semen, sin embargo, logran una mayor permanencia de la producción de semen durante la temporada (Noirault et al., 2006a).

La secreción de hormonas esteroidales en la hembra, como el estradiol y la progesterona, se efectúa mediante un patrón cíclico, de acuerdo al desarrollo ovulatorio, y en menor medida a un patrón continuo. Para una correcta estimulación de la secreción hormonal, la hembra debe ser expuesta a un período de días cortos (idealmente 8L:16O, hasta un máximo de 10L:14O), previo a

las 22 semanas de vida, por lo menos 6 semanas antes de iniciar la ovulación (Sauveur, 1992; Lewis, 2009). Para luego efectuar una estimulación en base a días largos (desde 11L:13O hasta 12-14L:12-10O), donde aumenta la producción de estrógenos en sinergia con testosterona y progesterona, permitiendo el desarrollo del ovario y el oviducto, iniciándose así la síntesis de los constituyentes del huevo (Sturkie, 2015; Lewis, 2009). Mientras que, durante la fase de cloquera, se libera la hormona prolactina, estimulando la conducta materna de incubación, en paralelo con una regresión gonadal, reduciéndose los niveles de estradiol y LH circulante (Sturkie, 2015; Tamai y Yoshimura, 2017).

El objetivo del estudio aborda el papel del fotoperiodo y la estacionalidad ambiental en pavos criollos de una zona geográfica del hemisferio sur, con clima templado y cuatro estaciones. Los parámetros a medir fueron el perfil de testosterona en machos y en hembras el perfil de estradiol y progesterona, durante su primera temporada reproductiva. Estos resultados pueden contribuir a aclarar las relaciones entre la cantidad de horas de luz del fotoperiodo estacional y las temporadas con mayor potencial reproductivo, asociadas con una mayor predisposición hacia la producción de semen, postura e incubabilidad de los huevos. De este modo, el estudio permitiría diseñar y efectuar manejos reproductivos eficientes, en torno a la fertilización e incubación, que permitan el desarrollo de programas de mejoramiento y conservación específicos para el pavo criollo.

Esta especie es de alto valor genético, económico, nutricional y patrimonial, y es empleada ancestral, cultural y tradicionalmente por comunidades rurales que fundamentan la producción de sus alimentos en base a sistemas sustentables, de bajo impacto ambiental, respetuosos con el bienestar animal, a la vez que resguardan la economía familiar, la seguridad y soberanía alimentarias (FAO, 2013; Boza et al., 2016; FAO, 2023).

MATERIALES Y MÉTODOS

Geo-localización

Los estudios se efectuaron en la Unidad Avícola de la Universidad de Concepción, en la localidad de Chillán (latitud -36.60664 y longitud -72.10344), en Chile, durante los meses de julio a diciembre, desde un fotoperiodo negativo de días cortos hacia uno positivo de días largos.

Animales de ensayo

Se emplearon 24 hembras y 16 machos, obtenidos desde el núcleo genético de pavo criollo

de la Unidad Avícola de la Facultad de Ciencias Veterinarias de la Universidad de Concepción. Todas las aves nacieron a finales de octubre de la temporada anterior, iniciando su primer ciclo reproductivo durante el desarrollo del estudio, desde julio a diciembre del año de muestreo, con 28 semanas de vida. Las aves fueron alimentadas con concentrado comercial, proporcionando una ración para aves de engorda (Champion Performance®, Nutrición Animal) durante las etapas de crianza y recría (19,5% de proteína cruda, 6% de fibra cruda y 3,5% de extracto etéreo), para luego efectuar una transición y cambio de concentrado a alimento para postura de huevos y reproducción (Champion Performance®, Nutrición Animal) a partir de las 22 semanas de vida, previo y durante la madurez sexual (15% de proteína cruda, 6,5% de fibra cruda y 3% de extracto etéreo). La proporción de alimento y agua fresca fueron suministradas *ad-libitum*. Las aves fueron albergadas en un sistema ambiental que emula las condiciones de traspatio, donde son criadas tradicionalmente este tipo de aves, expuestas durante toda su etapa de recría, madurez sexual y reproducción al fotoperiodo natural disponible en la región de experimentación.

Toma de muestras

Se efectuaron recolecciones mensuales de 1,5 ml de sangre, en un horario fijo desde las 9 hasta las 11 horas, previa restricción de alimento y agua por 12 h, a partir de la vena braquial de las aves, depositándose en tubos plásticos estériles de politereftalato de etileno etilendiaminotetraacético con paredes internas siliconizadas y activador de coagulación (Vacuette®). Las muestras fueron centrifugadas a 3.500 rpm a 4 °C por 15 min (Heraeus Megafuge® 1.0 R), la fracción de suero resultante fue extraída y almacenada a -20 °C hasta su análisis.

Ensayos endocrinos

La concentración plasmática de estradiol y progesterona, en muestras de hembras, y testosterona, en muestras de machos, fueron determinadas mediante la técnica de radioinmunoensayo (RIA), empleando kits comerciales (E2-RIA-CT Kit KIP0629, PROG-RIA-CT Kit KIP1458 y TESTO-RIA-CT Kit KIR1709, DIAsource ImmunoAssays SA, Nivelles, Bélgica), de acuerdo a las recomendaciones del fabricante. Se validó previamente cada kit por medio de la cuantificación de la concentración de estradiol, progesterona y testosterona de muestras de concentración conocida (triplicado), las cuales posteriormente fueron añadidas (test de recuperación) o diluidas (test de dilución) en

concentraciones conocidas empleando distintos factores de dilución, desde 1:2 hasta 1:36. Los resultados fueron graficados y por medio de ensayos de paralelidad, en la prueba de dilución y recuperación, se validaron los kits con resultados comprendidos entre el rango del 90 – 110% de dilución y recuperación, considerando los límites de cuantificación de 2,70 pg/mL de estradiol, 0,05 ng/mL de progesterona y 5 ng/dL de testosterona, con los coeficientes de variación de 1,71 – 5,69% para estradiol, 2,44 – 6,08% para progesterona y 0,47 – 4,90% para testosterona.

La cuantificación se efectuó mediante un ensayo de competencia para estradiol, uno para progesterona y otro para testosterona, a partir de las concentraciones hormonales presentes en las muestras, en conjunto con el estándar de estradiol, progesterona y testosterona iodados, proveído entre los reactivos de cada kit. La determinación de la concentración plasmática se realizó por medio de un contador gamma (Perkin Elmer Wizard, Helsinki Finlandia), y una recta de cuantificación obtenida a partir de los estándares de concentración conocida, presentes en cada kit.

Fotoperiodo

El fotoperiodo al cual se expuso a las aves (Fig. 1) se determinó de acuerdo a la cantidad de horas luz presentes en la localidad en que se desarrolló el estudio, durante cada uno de los días de toma de muestras. De este modo, como la localidad

de muestreo se rige por las estaciones climáticas del hemisferio sur, se iniciaron los muestreos a mediados de invierno durante el mes de julio, con 9 h y 50 min de luz, finalizando a fines de primavera durante el mes de diciembre, con 14 h y 38 min de luz. El comportamiento de la cantidad de horas de luz durante el período obedece a un fotoperiodo positivo con ascenso gradual y progresivo en el tiempo, con diferencias ($p < 0,05$) que alcanzan las 4 h y 48 min de aumento total de horas de luz. El mayor aumento se generó a mediados de primavera, entre los meses de octubre y noviembre, con 1 h y 11 min, y el menor aumento se produjo a fines de primavera, entre los meses de noviembre y diciembre, con 36 min.

Análisis estadístico

La cantidad de horas de luz diaria, durante los meses de muestreo, fue evaluada mediante un análisis de varianza, el que contempló la interacción entre el número de horas y los meses de muestreo. Los resultados de las concentraciones plasmáticas de testosterona, estradiol y progesterona fueron evaluados mediante un análisis de varianza y un análisis de comparación de medias empleando el Test LSD de Fisher. Adicionalmente se efectuó una regresión no lineal, polinomial de segundo grado, entre las concentraciones hormonales y las horas de luz diarias. Los análisis fueron realizados mediante el software estadístico Infostat® (2020), considerando un valor de $P < 0,05$ como diferencia estadísticamente significativa.

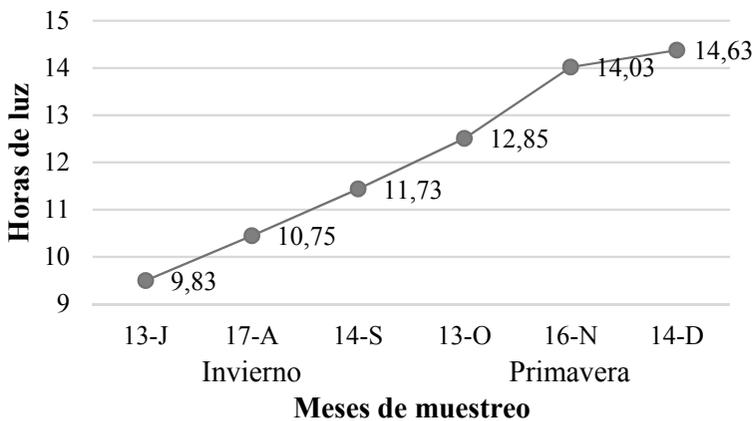


Fig. 1. Sumatoria de las horas de luz diarias durante el fotoperiodo de las fechas de muestreos, para la determinación de la concentración plasmática de hormonas sexuales en machos y hembras de pavo criollo (METEOGRAM, 2022). 13-J: 13 de julio; 17-A: 17 de agosto; 14-S: 14 de septiembre; 13-O: 13 de octubre; 16-N: 16 de noviembre; 14-D: 14 de diciembre.

Fig. 1. Sum of daily light hours during the photoperiod of the sampling dates for the determination of the plasma concentration of sex hormones in male and female creole turkeys (METEOGRAM, 2022). 13-J: July 13; 17-A: August 17; 14-S: September 14; 13-O: October 13; 16-N: November 16; 14-D: December 14.

RESULTADOS

Análisis hormonal de la hembra

Concentración plasmática de estradiol

Las medias de la concentración plasmática de estradiol en pavas, durante invierno y primavera, en las fases de fotoperiodo negativo y positivo (Fig. 2), muestran diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las distintas fechas de muestreo. De este modo, las concentraciones más bajas de estradiol a mediados de invierno, en los meses de junio y agosto con medias de $39,58 \pm 21,11$ pg/mL y $89,43 \pm 79,33$ pg/mL, respectivamente, sin diferencias entre sí ($p \geq 0,05$), difieren ($p < 0,05$) con todos los demás puntos de muestreo, correspondientes a septiembre a fines de invierno, con $269,84 \pm 99,63$ pg/mL, y octubre, noviembre y diciembre en primavera, con $290,83 \pm 215,65$ pg/mL, $184,04 \pm 135,29$ pg/mL y $197,58 \pm 156,57$ pg/mL, respectivamente. En cuanto a las concentraciones más altas de estradiol, registradas en septiembre a fines de invierno y octubre a principios de primavera, sin diferencias entre sí ($p \geq 0,05$), septiembre presenta diferencias con el mes de noviembre a mediados de primavera, mientras que octubre posee concentraciones de estradiol estadísticamente superiores a noviembre y diciembre, los que a su vez no presentan diferencias entre sí ($p \geq 0,05$). Respecto a la dispersión de los datos, se puede observar que las fases de análisis inicial, durante la temporada invernal de julio y agosto,

muestran la mayor dispersión en la concentración de estradiol, mientras que las concentraciones plasmáticas de las muestras tomadas a fines de invierno en septiembre e inicios de primavera en octubre, durante los picos de estradiol, poseen menor dispersión.

Fotoperiodo y concentración plasmática de estradiol

Al evaluar la dispersión de los datos de la concentración plasmática de estradiol, como variable dependiente, y la cantidad de horas de luz disponibles durante los meses en que se efectuó el muestreo, se observa una tendencia que se ajusta a un modelo curvo, correspondiente a un análisis de regresión polinomial de segundo grado (Fig. 3). De acuerdo al coeficiente de determinación (R^2) se puede establecer que el 83% de la variabilidad de los datos es explicada por el modelo, donde la concentración hormonal de estradiol responde significativamente diferente ($p < 0,05$) de acuerdo a las distintas horas de luz. De este modo se puede determinar que la concentración plasmática de estradiol durante la etapa de fotoperiodo negativo, a inicios de invierno, con la menor exposición promedio de horas de luz diarias, es la más baja del período. La concentración de estradiol aumenta progresivamente en el tiempo a medida que se acerca la primavera y aumentan las horas de luz diarias, durante una fase foto sensible del ave. El pico de concentración de estradiol se alcanza

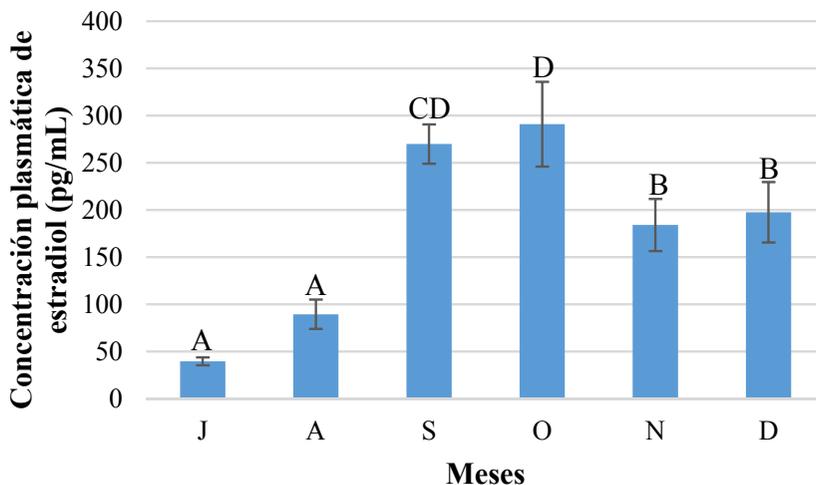


Fig. 2. Concentración plasmática de estradiol, en hembras de pavo criollo, en Chile, durante invierno y primavera. J: julio; A: agosto; S: septiembre; O: octubre; N: noviembre; D: diciembre. Test LSD Fisher, donde medias con la misma letra no son significativamente diferentes ($p \geq 0,05$).

Fig. 2. Plasma concentration of estradiol in female creole turkeys in Chile, during winter and spring. J: July; A: August; S: September; O: October; N: November; D: December. Means with the same letter are not significantly different by Fisher's LSD test ($p \geq 0.05$).

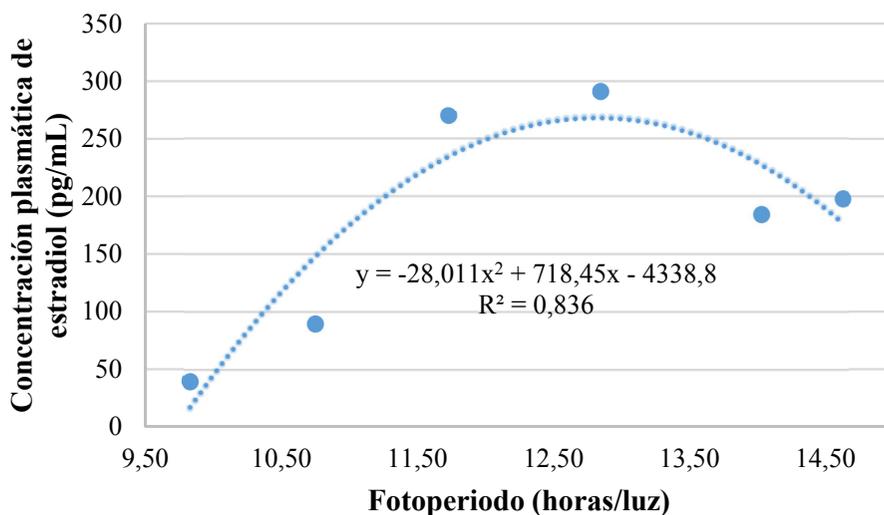


Fig. 3. Regresión no lineal de la concentración plasmática de estradiol de acuerdo a las horas de luz diarias en hembras de pavo criollo, en Chile, durante invierno (julio, agosto y septiembre) y primavera (octubre, noviembre y diciembre).

Fig. 3. Non-linear regression of plasma estradiol concentration according to daily light hours in female creole turkeys in Chile, during winter (July, August, and September) and spring (October, November, and December).

a inicios de primavera, durante la etapa de fotoperiodo positivo, como respuesta de la hembra frente a una exposición de 12,85 horas de luz al día. Posterior al pico de estradiol, se aprecia un descenso en la concentración durante mediados y fines de primavera, donde el aumento en la cantidad de horas de luz no genera una mayor concentración de estradiol en la hembra, sino que, por el contrario, se genera un descenso en el tiempo. Durante la fase de asociación positiva entre variables es posible apreciar un aumento de 27,73 pg/mL frente a cada cambio unitario en las horas de luz diarias, mientras que en la fase de asociación negativa se aprecia un descenso de 33,80 pg/mL por cada cambio unitario en las horas de luz.

Concentración plasmática de progesterona

Respecto a la concentración plasmática de progesterona de hembras de pavo criollo (Fig. 4), durante los meses de invierno y primavera, correspondiente a las etapas de fotoperiodo negativo y positivo, se pudo establecer que existen diferencias ($p < 0,05$) de acuerdo a los distintos meses de muestreo durante el desarrollo del estudio. A partir de lo anterior se puede establecer que las concentraciones más bajas de progesterona, que se encuentran a mediados y fines de invierno en los meses de julio y agosto, con $0,69 \pm 0,39$ ng/mL y $0,88 \pm 0,57$ ng/mL, respectivamente, sin diferencias entre sí ($p \geq$

$0,05$), son estadísticamente diferentes ($p < 0,05$) con el mes de septiembre a fines de invierno, con $1,46 \pm 0,79$ ng/mL, octubre a inicios de primavera, con $1,77 \pm 1,14$ ng/mL, y diciembre a fines de primavera, con $2,14 \pm 2,71$ ng/mL, sin diferencias entre sí ($p \geq 0,05$). En cuanto a la concentración de progesterona observada en el mes de noviembre, a mediados de primavera, con $1,13 \pm 0,82$ ng/mL, se aprecia una concentración que difiere del patrón ascendente establecido a lo largo del muestreo, con menores concentraciones en los meses a mediados de invierno y mayores en los meses de fines de invierno y primavera, en este caso el mes de noviembre, a mediados de primavera, sólo presenta diferencias ($p < 0,05$) con el mes de diciembre a fines de primavera, sin diferir ($p \geq 0,05$) de las medias observadas previamente durante el muestreo. En cuanto a la dispersión de los datos respecto a la media, se puede observar que durante los meses con menor concentración de progesterona, correspondientes a julio y agosto durante la temporada de invierno, y noviembre a mediados de primavera, existe mayor variación, mientras que durante los meses con mayor concentración de progesterona, en septiembre a fines de invierno y octubre a inicios de primavera, existe menor dispersión. Sin embargo, el pico de progesterona a fines de primavera, durante el mes de diciembre, muestra una variabilidad relativamente alta respecto al promedio.

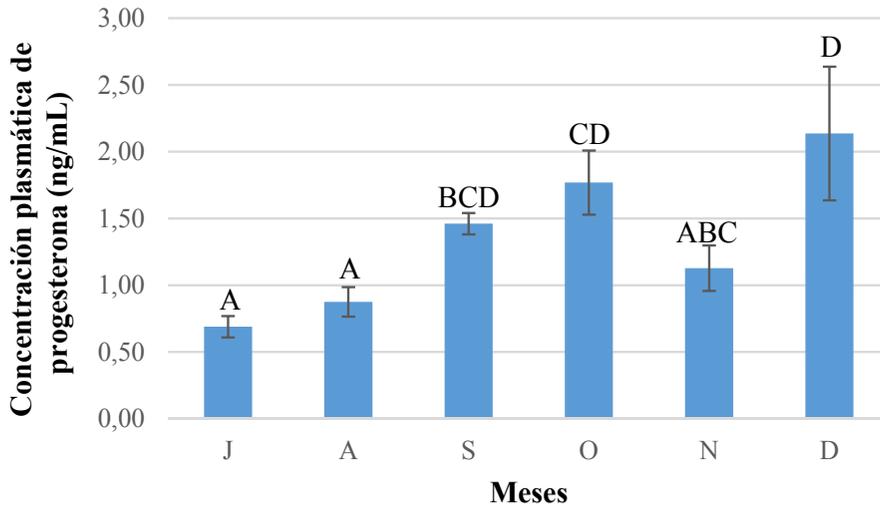


Fig. 4. Concentración plasmática de progesterona, en hembras de pavo criollo, en Chile, durante invierno y primavera. J: julio; A: agosto; S: septiembre; O: octubre; N: noviembre; D: diciembre. Test LSD Fisher, donde medias con la misma letra no son significativamente diferentes ($p \geq 0,05$).

Fig. 4. Plasma concentration of progesterone in female creole turkeys in Chile, during winter and spring. J: July; A: August; S: September; O: October; N: November; D: December. Means with the same letter are not significantly different by Fisher's LSD test ($p \geq 0,05$).

Fotoperiodo y concentración plasmática de progesterona

Al efectuar un análisis de dispersión de los datos de concentración de progesterona, como variable dependiente, y compararlos con las horas de luz diarias durante las etapas de muestreo, se pudo constatar que los datos se ajustan a un modelo más curvo que lineal (Fig. 5). Con un coeficiente de determinación (R^2) que demuestra con un 62% de certeza que las variaciones expuestas por los datos son explicadas por el modelo, donde los cambios en la cantidad de horas de luz diarias influyen significativamente ($p < 0,05$) en la concentración plasmática de progesterona. Las concentraciones plasmáticas de progesterona son más bajas a inicios de invierno, donde se registra la menor cantidad de horas de luz, con 9,83 h, para luego establecer un ascenso progresivo y gradual en el tiempo, donde la concentración de progesterona aumenta a medida que aumenta el número de horas de luz de exposición diaria, alcanzando la máxima concentración frente a la máxima exposición de horas de iluminación detectada, correspondiente a 14,6 h. De este modo el registro de datos desde invierno a fines de primavera establece una asociación positiva, en la que la concentración de progesterona aumenta a medida que las horas de luz aumentan, estableciendo un aumento de 0,11 ng/mL de progesterona frente a cada aumento unitario en la cantidad de horas de luminosidad.

Análisis hormonal del macho

Concentración plasmática de testosterona

En cuanto a la concentración plasmática de testosterona en machos de pavo criollo (Fig. 6), se pudo determinar que existen diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los distintos meses de muestreo. De este modo, los meses con menor concentración plasmática de testosterona fueron los meses de inicio y término del muestreo, sin diferencias entre sí ($p \geq 0,05$), correspondientes a julio en invierno, con $15,72 \pm 18,26$ ng/dL, y diciembre a fines de primavera, con $12,52 \pm 23,23$ ng/dL. Mientras que los meses intermedios del muestreo, sin diferencias entre sí, correspondientes a agosto y septiembre en invierno, con $43,38 \pm 37,31$ ng/dL y $51,59 \pm 29,68$ ng/dL, respectivamente, y octubre a comienzos de primavera, con $62,58 \pm 43,55$ ng/dL, poseen concentraciones de testosterona significativamente superiores ($p < 0,05$). En cuanto a la concentración de testosterona registrada en noviembre a mediados de primavera, con $31,42 \pm 17,34$ ng/dL, no se detectan diferencias ($p \geq 0,05$) con ningún punto de muestreo. En cuanto a la variabilidad de los datos respecto a la media, ésta presenta valores elevados durante el comienzo y término del muestreo, cuando inicia el aumento de testosterona a fines de invierno y cuando decae la curva de concentración plasmática a fines de primavera en diciembre. Sin embargo,

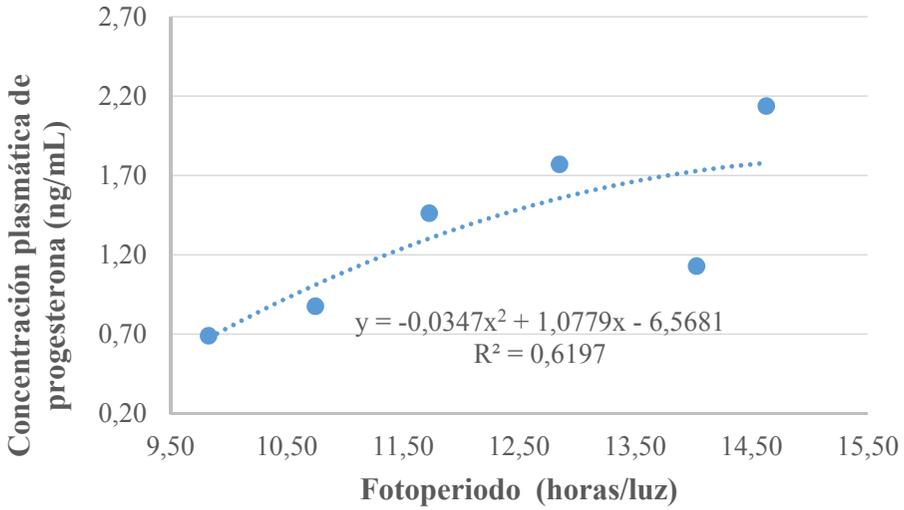


Fig. 5. Regresión no lineal de la concentración plasmática de progesterona de acuerdo a las horas de luz diarias en hembras de pavo criollo, en Chile, durante invierno (julio, agosto y septiembre) y primavera (octubre, noviembre y diciembre).

Fig. 5. Non-linear regression of plasma progesterone concentrations according to daily light hours in female creole turkey, in Chile, during winter (July, August, and September) and spring (October, November, and December).

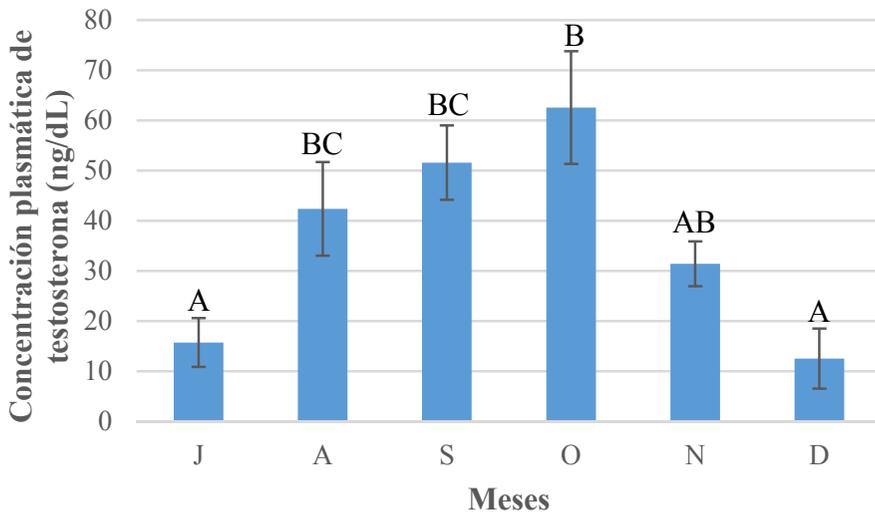


Fig. 6. Concentración plasmática de testosterona, en machos de pavo criollo, en Chile, durante invierno y primavera. J: julio; A: agosto; S: septiembre; O: octubre; N: noviembre; D: diciembre. Test LSD Fisher, donde medias con la misma letra no son significativamente diferentes ($p \geq 0,05$).

Fig. 6. Plasma testosterone concentrations in male creole turkeys in Chile, during winter and spring. J: July; A: August; S: September; O: October; N: November; D: December. Means with the same letter are not significantly different by Fisher's LSD test ($p \geq 0,05$).

durante los meses con mayor concentración de testosterona, en septiembre a fines de invierno y octubre a inicios de primavera, se observan las menores dispersiones respecto a la media.

Fotoperiodo y concentración plasmática de testosterona

El análisis de dispersión de los datos obtenidos a partir de la relación entre la concentración plasmática de testosterona y la cantidad de horas de luz diarias, muestra un marcado ajuste a un modelo de asociación de datos con forma curva, para el cual se efectuó un análisis de regresión polinomial de segundo grado (Fig. 7). En este caso el coeficiente de determinación (R^2) indica que las variaciones de los datos se pueden justificar en un 95% por la asociación establecida en el modelo, de este modo, se consigue establecer que la concentración plasmática de testosterona responde significativamente diferente ($p < 0,05$) de acuerdo a las variaciones en las cantidades de horas de luz durante el muestreo. En cuanto al análisis de la curva de regresión, se puede señalar que existen bajas concentraciones de testosterona al inicio del muestreo, cuando las horas de luz disponibles son las más reducidas, alcanzando las 9,83 h por día, para luego efectuarse una asociación positiva entre variables, observándose un aumento en la concentración de testosterona a medida que aumentan las horas de luz diarias,

aumento que se mantiene hasta el equinoccio de primavera, con un aumento de 5,17 ng/dL frente a cada cambio unitario en las horas de luz diarias, apreciando un pico de concentración a las 12,85 h de luz diarias. Posterior al pico de testosterona se observa un proceso de asociación negativa, en el cual, a medida que la exposición del macho a un mayor número de horas de luz diarias aumenta, la concentración plasmática de testosterona disminuye, alcanzando un promedio de concentración tan bajo como el valor reportado a inicios del proceso de muestreo, al disponer de 14,63 h de luz diarias, con un descenso de 14,06 ng/dL por cada cambio unitario en las horas de luz.

DISCUSIÓN

Los niveles hormonales de testosterona, vinculados a la espermatogénesis y actividad reproductiva en el macho, así como el estradiol y progesterona, asociados al desarrollo oviductal y ovulatorio en la hembra (Sauveur, 1992; Brady et al., 2020; Sturkie, 2015), son fundamentales para establecer programas de conservación y mejoramiento del pavo criollo, criado tradicionalmente en ambientes de traspatio (FAO, 2013; FAO, 2023), en base a la comprensión de su comportamiento reproductivo, y cómo éste va variando de acuerdo a la concentración

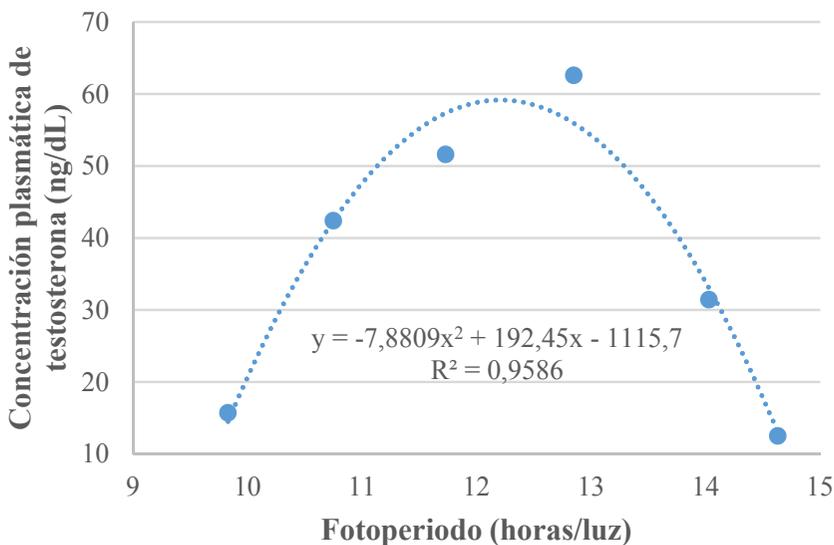


Fig. 7. Regresión no lineal de la concentración plasmática de testosterona de acuerdo a las horas de luz diarias en machos de pavo criollo, en Chile, durante invierno (julio, agosto y septiembre) y primavera (octubre, noviembre y diciembre).

Fig. 7. Non-linear regression of plasma testosterone concentrations according to daily light hours in male creole turkeys in Chile, during winter (July, August, and September) and spring (October, November, and December).

hormonal respecto al número de horas luz y la estación climática, en una zona geográfica con cuatro estaciones anuales.

En relación a la variabilidad de los datos respecto a la media, se observa un patrón común durante toda la temporada reproductiva en cuanto a las concentraciones hormonales de estradiol, progesterona y testosterona, donde los muestreos con menor promedio en la concentración hormonal generan mayor dispersión, mientras que, a medida que aumentan los promedios de la concentración hormonal, las variaciones van disminuyendo. Sin embargo, al final del periodo reproductivo, a fines de primavera en diciembre, se observa una mayor dispersión de los datos de progesterona a medida que la media aumenta, dicha dispersión podría explicarse por las mayores fluctuaciones individuales respecto a las concentraciones hormonales de las hembras al finalizar la temporada reproductiva, donde habrá hembras en estado ovulatorio con postura de huevos, otras en estado de cloquera en incubación, otras en etapa de maternidad ocupadas en la crianza de sus pavipollos y otras simplemente ya habrán culminado su etapa reproductiva anual (Muñoz, 2019).

Al observar la dinámica inicial del comportamiento hormonal, se puede establecer que el macho presenta concentraciones de testosterona diferencialmente superiores, versus las concentraciones basales del inicio del ciclo reproductivo durante el mes de agosto, a mediados de invierno, cuando se supera un umbral de fotosensibilidad mayor a 9,5 horas de luz (Noirault et al., 2006a). A diferencia de la hembra, que aumenta la producción de estradiol y progesterona con un diferencial significativo recién en septiembre, a fines de invierno, relacionado con el inicio de la postura de huevos. Los aparentes desfases reproductivos entre ambos sexos, desde el punto de vista hormonal, durante el inicio de la temporada, podrían explicarse por la capacidad de almacenamiento espermático que posee la hembra, capaz de mantener en su tracto a espermatozoides viables hasta por 70 días en los túbulos de almacenamiento espermático de la unión útero vaginal (Bakst et al., 1994; Bakst y Vinyard, 2002; Bakst et al., 2010). Las hembras son receptivas a la monta previo al inicio de la ovulación y consiguiente postura de huevos, período en que los túbulos de almacenamiento espermático son más eficientes, con mayor velocidad y volumen de carga espermática (Brillard y Bakst, 1990), ya sea por un proceso de selección espermática menos exigente en la región vaginal (Bakst y Akuffo, 2008) o por una menor dificultad de avance de los espermatozoides, al no encontrarse con huevos

en procesos de formación al interior del oviducto (Zaniboni y Bakst, 2004). Dichos antecedentes permiten asociar un mayor nivel de testosterona en el macho a mediados de invierno con una hembra receptiva a la monta, que, aunque aún no esté ovulando, ya cuenta con la capacidad de almacenar espermatozoides viables para el inicio de la temporada reproductiva.

Respecto a las temporadas de finales de invierno e inicios de primavera, correspondientes a los meses de septiembre y octubre en la localidad de muestreo, correspondiente al punto central de la temporada reproductiva de acuerdo al comportamiento hormonal observado en el estudio, se pudo determinar que corresponden a la temporada de mayor coincidencia respecto a los picos hormonales de testosterona en machos, y estradiol y progesterona en hembras, aumentos que se relacionan directamente con el incremento de las horas de luz diarias, de acuerdo al fotoperiodo estacional. Dichos resultados son coincidentes con el comportamiento reproductivo de los pavos criollos observado en terreno, donde el inicio de la postura de huevos ocurre en septiembre y aumenta gradualmente hasta concentrar las mayores tasas de ovulación en el mes de octubre, acompañado por la mayor postura de huevos dentro de la temporada (Muñoz, 2019). Todo esto a su vez es coincidente con el comportamiento de cortejo y apareamiento en el macho, asociado con los niveles circulantes de testosterona, los cuales no se muestran en presencia de fotoperiodos cortos (Godden y Scanes, 1977). Se ha descrito en los pavos machos un estímulo en la actividad sexual, a consecuencia de aumentos en las concentraciones de LH y testosterona, por fotoperiodos prolongados (Bacon, 2000; Noirault, et al., 2006a), sólo después de haber estado previamente expuestos a fotoperiodos con periodos de luz acotados, que permiten romper el período fotorrefractario (Follett et al., 1975). De este modo se corrobora lo que establecen otros autores respecto al control de los ciclos reproductivos a consecuencia de la influencia del fotoperiodo, y su responsabilidad en la estimulación de la síntesis y liberación de gonadotropinas (Godden y Scanes, 1977; Bacon, 2000; Noirault, et al., 2006a).

Posterior al pico de testosterona en el macho, asociado a la culminación del proceso de maduración sexual en la especie, cuando el umbral de exposición sobrepasa las 12 h de luz (Burke y Cogger, 1977), comienza un descenso gradual y progresivo en el tiempo, alcanzando niveles basales similares a los del inicio del ciclo reproductivo (Lizano y Kennamer, 1977). Esto se relaciona con el descenso del nivel de gonadotropinas después de 2 a 3 meses de

exposición a días con fotoperíodos largos (Godden y Scanes, 1977). Por otra parte, se ha establecido que cuando los machos aviares son expuestos a temperaturas ambientales sobre los 25 °C, la actividad sexual, el número y la viabilidad de la producción espermática decrecen, debido a un efecto perjudicial sobre el metabolismo general del animal y las funciones gonadotropas (Sauveur, 1992). En la región geográfica del estudio estas temperaturas se alcanzan en el mes de diciembre, a fines de primavera (METEOGRAM, 2022).

En el caso de la hembra, ésta presenta una actividad hormonal diferencial respecto al descenso gradual, rectilíneo y progresivo evidenciado en los niveles de testosterona del macho. De este modo, las concentraciones de estradiol y progesterona de la hembra durante el mes de noviembre, a mediados de primavera, los cuales no se relacionan con el aumento del fotoperiodo estacional, se explican por el inicio del estado de cloquera, donde la hembra bloquea la ovulación y postura de huevos (Tamai y Yoshimura, 2017). De este modo, aquellas hembras que han concluido el stock de huevos suficiente para iniciar el proceso de incubación (período de aproximadamente 28 días), se concentran en la crianza de su primer lote de pavipollos dentro de la temporada (Sauveur, 1992; Muñoz, 2019; Tamai y Yoshimura, 2017). Dicho fenómeno puede relacionarse con la disminución de las concentraciones de gonadotropinas circulantes, descrito para la especie como fenómeno coincidente con el descenso en la postura de huevos (Godden y Scanes, 1977).

Posteriormente se aprecia un segundo pico de progesterona, que podría relacionarse con el descenso de la prolactina y aumento de LH posterior a la incubación, durante la fase de crianza de los pavipollos (Sauveur, 1992), o al reinicio de la ovulación y la postura de huevos, iniciando el segundo ciclo de postura dentro de la temporada. Sin embargo, no existe un aumento significativo en los niveles de estradiol, probablemente porque no existe una sincronización exacta para todas las hembras respecto al reinicio del segundo ciclo de postura, y porque el segundo ciclo es bastante más reducido en tiempo y número de huevos, debido a su cercanía con los meses de verano, donde hay temperaturas más elevadas y la producción de huevos es generalmente más reducida en número y tiempo de postura (Sauveur, 1992; Sauveur 1993; Sturkie, 2015).

De manera general se puede establecer que el macho va finalizando su actividad de apareamiento a medida que la hembra reduce su receptividad estacional debido a los períodos de incubación y crianza (Tamai y Yoshimura, 2017),

el aumento de las temperaturas ambientales (Sauveur, 1992) y la consecuente reducción en la calidad espermática (Noirault, et al., 2006a), mientras que la hembra reinicia su actividad ovulatoria, pero con la capacidad de conservar de forma viable los espermatozoides (Bakst et al., 1994; Bakst y Vinyard, 2002; Bakst et al., 2010) necesarios para asegurar la fertilidad de la siguiente etapa de incubación y crianza, para el segundo lote de pavipollos (Muñoz, 2019). Estos cambios estacionales en la actividad reproductiva, tienen como propósito biológico la maximización de la supervivencia de la descendencia, para que las crías nazcan y se desarrollen en condiciones ambientales donde el clima y la disponibilidad de alimentos sean favorables.

Los antecedentes revelados en el estudio ayudarán en el desarrollo de programas de conservación y mejoramiento genético mediante manejos reproductivos eficientes, fragmentados, de acuerdo a la etapa reproductiva y hormonal específica del macho o la hembra. De este modo, serían recomendables los manejos de inseminación artificial y monta dirigida desde mediados de invierno hasta inicios de primavera, correspondiente a los meses de agosto a septiembre, con un fotoperiodo progresivo con aumento de horas luz en el tiempo. Considerando las evidencias en la estacionalidad del peso testicular, producción y viabilidad espermática, LH y testosterona circulante, de acuerdo a un alto grado de sensibilidad al fotoperiodo (Driot, et al., 1978; Bacon, et al; 1991; Yang, et al., 1998; Noirault, et al., 2006a; Noirault, et al., 2006b). Otro manejo recomendable sería efectuar inseminación o montas dirigidas sólo en aquellas hembras que se encuentren en fase ovulatoria y postura de huevos a mediados de primavera (noviembre en el sitio de estudio), durante el periodo de incubación y crianza de pavipollos, y fines de primavera en diciembre, durante el reinicio de la postura de huevos. Por el contrario, las actividades de incubación natural o artificial debiesen concentrarse desde fines de invierno en septiembre e inicios de primavera en octubre, cuando se dispone de un stock de huevos suficiente, para luego volver a concentrar las incubaciones a fines de primavera, momento en que las hembras retornan la postura de huevos en su segundo ciclo de postura dentro de la temporada.

CONCLUSIONES

De lo discutido, se concluye que la etapa de fines de invierno e inicios de primavera es el período de mayor interés reproductivo para la especie, en los sistemas de crianza de traspatio en

la región geográfica de este estudio, para efectuar programas de incubación artificial o natural, así como manejos de monta dirigida o inseminación artificial.

LITERATURA CITADA

- Bacon, W.L., B. A. Kurginski-Noonan, and J. Yang. 2000. Effects of environmental lighting on early semen production and correlated hormonal responses in turkeys. *Poult. Sci.* 78:1669–78.
- Bacon, W.L., J.A. Proudman, D.N. Foster, and P.A. Renner. 1991. Pattern of secretion of luteinizing hormone and testosterone in the sexually mature male turkey. *Gen Comp Endocrinol* 84:447–60.
- Bakst, M.R. 1994. Fate of Fluorescent Stained Sperm following Insemination: New Light on Oviducal Sperm Transport and Storage in the Turkey. *Biology of Reproduction* 50(5):987–992.
- Bakst, M.R., and B.T. Vinyard. 2002. Oviducal sperm storage in turkeys: Spatial distribution of sperm within the uterovaginal junction sperm-storage tubules. *J. Exp. Zool.* 292:206–209.
- Bakst, M.R., and V. Akuffo. 2008. Turkey sperm reside in the tubular glands in the urodeum following artificial insemination. *Poult. Sci.* 87(4):790–792.
- Bakst, M.R., A.M. Donoghue, D.E. Yoho, J.R. Moyle, S.M. Whipple, M.J. Camp, G.Q. Liu, and R.K. Bramwell. 2010. Comparisons of sperm storage tubule distribution and number in 4 strains of mature broiler breeders and in turkey hens before and after the onset of photostimulation. *Poult. Sci.* 89(5):986–992.
- Bédécarrats, G.Y. 2015. Control of the reproductive axis: balancing act between stimulatory and inhibitory inputs. *Poult. Sci.* 94:810–815.
- Boza, S., M. Cortés y T. Muñoz. 2016. Estrategias de desarrollo rural con enfoque de género en Chile: el caso del programa “Formación y capacitación para mujeres campesinas”. *Civilizar* 16(30):63-76.
- Brady, K., T. Porter, H. Liu, and J. Long. 2020. Characterization of the hypothalamo-pituitary-gonadal axis in low and high egg producing turkey hens. *Poult. Sci.* 99(2):1163-1173.
- Brillard, J. P., and M. R. Bakst. 1990. Quantification of spermatozoa in the sperm-storage tubules of turkey hens and the relation to sperm numbers in the perivitelline layer of eggs. *Biol. Reprod.* 43:169–275.
- Driot F.J.M., D.H. Garnier, and M. Terqui. 1978. Development and validation of a “direct” radioimmunoassay for plasma testosterone in the fowl (*Gallus domesticus*). *Gen. Comp. Endocrinol.* 36:244–9.
- FAO. 2023. Producción y productos avícolas. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Disponible en <https://www.fao.org/poultry-production-products/production/es/> (Consulta 22 agosto 2023).
- FAO. 2013. Revisión del desarrollo Avícola. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Disponible en <https://www.fao.org/3/i3531s/i3531s.pdf> (Consulta 22 agosto 2023).
- Follett, B.K., D.S. Farner, and P.W. Mattocks. 1975. Luteinizing hormone in the plasma of white crowned sparrows (*Zonotrichia leucophrys gambelii*) during artificial photosimulation. *Gen. Comp. Endocrinol.* 26:126-134.
- Godden, P.M.M., and C.G. Scanes. 1977. Effect of photoperiod on gonadotrophin concentrations in domestic turkeys. *British Poultry Science* 18(6):687–694.
- InfoStat. 2020. InfoStat versión 2020. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Krueger, K.K., J.A. Owen, C.E. Krueger, and T.M. Ferguson. 1977. Effect of feed or light restriction during the growing and breeding cycles on the reproductive performance of broad breasted white turkey males. *Poult. Sci.* 56:1566–74.
- Lewis, P. 2009. Iluminación para reproductoras pesadas. Aviagen Incorporated / Aviagen Limited. Bradford Drive, EE.UU. /Scotland, UK.
- Lisano, M.E., and J.E. Kennamer. 1977. Seasonal variations in plasma testosterone level in male eastern wild turkeys. *J. Wildl. Manage.* 41(2):184-188.
- METEOGRAM. 2022. Hora de salida y puesta de sol. Disponible en <https://meteogram.es/sol/chile/chillan/> (Consultado 21 diciembre 2022).
- Muñoz O., F. 2019. Caracterización de producción de pavos (*Meleagris gallopavo*) en la agricultura familiar campesina en la región de Ñuble, Chile. Tesis Medicina Veterinaria. Universidad de Concepción, Facultad de Ciencias Veterinarias, Chillán, Chile. Disponible en: <http://repositorio.udec.cl/handle/11594/9294>

- Noirault, J., J.P. Brillard, and M.R. Bakst. 2006a. Spermatogenesis in the turkey (*Meleagris gallopavo*): Quantitative approach in immature and adult males subjected to various photoperiods. *Theriogenology* 1-65(4), 845-859.
- Noirault, J., J.P. Brillard, and M.R. Bakst. 2006b. Effect of various photoperiods on testicular weight, weekly sperm output and plasma levels of LH and testosterone over the reproductive season in male turkeys. *Theriogenology* 1-66(4):851-859.
- Prieto, B., and M. Velázquez. 2002. Fisiología de la reproducción: hormona liberadora de gonadotropinas. *Revista Facultad de Medicina de UNAM* 45(6):252-257.
- Sauveur, B. 1992. Reproducción de las aves. Mundi-Prensa / Aedos, Madrid, España.
- Sauveur, B. 1993. El huevo para consumo: bases productivas. Mundi-Prensa / Aedos, Madrid, España.
- Sturkie, P.D. 2015. *Avian Physiology*. (6a. ed.). Elsevier. Wisconsin, USA.
- Tamai, T. K., and T. Yoshimura. 2017. Molecular and neuroendocrine mechanisms of avian seasonal reproduction. *Avian Reproduction* 125-136.
- Ubuka, T., and G.E. Bentley. 2011. Neuroendocrine control of reproduction in birds. pp. 6-25. En D. Norris, and H. López (ed.). *Hormones and reproduction of vertebrates*. Elsevier. San Diego, USA.
- Yang, J., D.W. Long, N. Inpanbutr, and W.L. Bacon. 1998. Effects of photoperiod and age on secretory patterns of luteinizing hormone and testosterone and semen production in male domestic turkeys. *Biol Reprod.* 59:1171-9.
- Zaniboni, L., and M.R. Bakst. 2004. Localization of aquaporins in the sperm storage tubules in the turkey oviduct. *Poult. Sci.* 83(7):1209-1212.