

ARTÍCULO CIENTÍFICO

Influencia de la edad del ave y tiempo de almacenamiento sobre las propiedades del huevo de codorniz japonesa¹.Alejandra Solano-Soley², Rebeca Zamora-Sanabria³, Alejandro Chacón-Villalobos⁴

RESUMEN

El objetivo del estudio fue evaluar el efecto de las condiciones de almacenamiento y edad del ave, sobre las características fisicoquímicas, nutricionales y microbiológicas de huevos de codorniz japonesa (*Coturnix coturnix japonica*) producidos en Atenas, Costa Rica. Los huevos de aves de uno, cuatro y seis meses de edad se almacenaron durante 28 días a 5, 20 y 30 °C. Se analizaron variables fisicoquímicas como peso del huevo, índice morfológico, porosidad aparente de la cáscara, altura de cámara de aire, unidad de calidad interna (UQI), color de yema, índice y peso de yema, grosor de cáscara, pH de la yema y del albumen; variables nutricionales como porcentaje de humedad, proteína cruda, extracto etéreo y cenizas; y variables microbiológicas como recuento bacteriano de coliformes totales, *E. coli* y *Salmonella* spp. El peso del huevo disminuyó significativamente a 30 °C conforme pasaron los días de almacenamiento. El índice morfológico y el grosor de cáscara no se vieron afectados por el almacenamiento, sino por la edad del ave. La altura de la cámara de aire aumentó a 30 °C. La UQI, índice y peso de yema se vieron afectados por las temperaturas ambientales de 20 °C y

¹ Este trabajo formó parte del proyecto de investigación C2-162. Efecto de almacenamiento y la edad ponedora de codorniz japonesa (*Coturnix coturnix japonica*) en la características proximales y microbiológicas del huevo.

² Escuela de Zootecnia, Universidad de Costa Rica, San Pedro, San José, Costa Rica. Correo electrónico: alejandra.solanosoley@ucr.ac.cr. (<https://orcid.org/0009-0003-9121-7423>)

³ Escuela de Zootecnia, Universidad de Costa Rica, San Pedro, San José, Costa Rica. Centro de Investigación en Nutrición Animal (CINA). San Pedro, San José, Costa Rica. Correo electrónico: rebeca.zamora@ucr.ac.cr (<https://orcid.org/0000-0002-9679-4647>)

⁴ Escuela de Zootecnia, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. Estación Experimental Alfredo Volio Mata, La Unión, Cartago, Costa Rica. Autor para correspondencia: alejandro.chacon@ucr.ac.cr (<https://orcid.org/0000-0002-8454-9505>)

Recibido: 12 abril 2024 Aceptado:



30 °C. Los valores de pH de yema y albumen incrementaron en el tercer día del estudio y luego se mantuvieron de forma constante. El color de yema no fue afectado por el almacenamiento ni por la edad. La calidad nutricional fue afectada en términos de materia seca por la evaporación de agua durante el estudio. Durante toda la investigación, la microbiología del huevo se mantuvo idónea. La calidad general del huevo se vio afectada por las condiciones de tiempo y temperatura de almacenamiento, disminuyendo con el paso del tiempo.

Palabras Clave: Codorniz, calidad de huevo, temperatura ambiental, humedad relativa, tiempo de almacenamiento, edad.

ABSTRACT

Influence of the age of the bird and storage time on the properties of the japanese quail egg. The study's objective was to evaluate the effect of storage conditions and the bird's age on the physicochemical, nutritional, and microbiological characteristics of Japanese quail (*Coturnix coturnix japonica*) eggs produced in Atenas, Costa Rica. Eggs from one-, four-, and six-month-old birds were stored for 28 days at 5, 20, and 30 °C. Physicochemical variables were analyzed, such as egg weight, morphological index, apparent shell porosity, air chamber height, internal quality unit (UQI), yolk color, yolk index, yolk weight, shell thickness, pH of the yolk, and albumen pH; nutritional variables such as moisture, crude protein, ether extract, and ash percentage; and microbiological variables such as the bacterial count of the total coliforms, *E. coli* and *Salmonella* spp. Egg weight decreased significantly at 30 °C as the storage days passed. The morphological index and shell thickness were not affected by storage but rather by the bird's age. The height of the air chamber increased to 30 °C. The UQI, index, and yolk weight were affected by the environmental temperatures of 20 °C and 30 °C. The pH values of yolk and albumen increased on the third day of the study and then remained constant. Yolk color was not affected by storage or age. Nutritional quality was affected, in terms of dry matter, by water evaporation during the study. Throughout the investigation, egg microbiology remained

ideal. Overall egg quality was affected by storage time and temperature conditions, decreasing over time.

Keywords: Quail, egg quality, environmental temperature, relative humidity, storage time, age.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento demográfico de la población humana a nivel mundial se relaciona directamente con la demanda de alimentos de origen animal, lo que ha provocado la intensificación de diversos sistemas de producción pecuaria (Rosario y Nieves, 2015). En este contexto, la codorniz es una especie de alto rendimiento productivo que podría ayudar a suplir la demanda de alimentos.

La cría de codorniz es una alternativa productiva que requiere de menor capital inicial y que genera ganancias en poco tiempo con altos rendimientos en producción de huevos (Agina et al., 2020). La codorniz japonesa, de la línea *Coturnix coturnix japonica* es considerada una oviparífera eficiente y rentable, atribuido a su rápido desarrollo sexual (Ratriyanto et al., 2018). Esta es originaria de Japón e inicia la puesta de huevos entre los 35 y 45 días de vida, produciendo de forma continua 200 a 300 huevos anualmente (Ratriyanto et al., 2018). La vida útil de estas ponedoras es de aproximadamente dos años y medio, ya que su eficiencia productiva y calidad del huevo decaen con el tiempo (Villacís-Vivar y Vizhco-Minchala, 2016). La codorniz es un animal altamente sensible a climas fríos, por lo que es necesario controlar el ambiente en el que se desarrollan; la temperatura ideal de manejo de estas aves es de 25-27 °C y la humedad relativa debe encontrarse cercana a 60%, pero puede llegar a alcanzar valores de 70% (Raharjo et al., 2018).

El huevo de codorniz tiene un peso entre los 9,8 y 10,0 g. No obstante, es considerado un alimento con alto nivel de vitaminas, minerales y aminoácidos esenciales (Arthur y Bejaei, 2017; Sousa-Santos et al., 2016). El consumo regular de huevo de codorniz ayuda a combatir trastornos del tracto digestivo, a fortalecer el sistema inmune y nervioso, y a aumentar los niveles de hemoglobina por su alto contenido de hierro, por lo que es un alimento altamente

digestible. Además, presenta bajos contenidos de colesterol y se recomienda el consumo para niños y adultos mayores (Valle-Muñoz et al., 2015).

A nivel mundial, los huevos de gallina son los más consumidos. Sin embargo, en Asia, Francia y Brasil la producción de huevos de codorniz está altamente desarrollada (Arthur y Bejaei, 2017). En el 2009, China reportó una producción de 270-300 millones de codornices; en 2008, se produjeron 83 millones de huevos de codorniz en Francia (Arthur y Bejaei, 2017; Alessandri et al., 2020). En Costa Rica, la mayoría de los sistemas de producción coturnícola son de tipo traspatio y caseros en los jardines de las casas, con alimentación no especializada y pocas condiciones de bioseguridad (Zamora-Sanabria y Chacón-Villalobos, 2021). El mercado en el país es un nicho comercial muy limitado, ya que se enfoca principalmente en la venta de huevos en conserva en algunos supermercados, restaurantes, ferias o directamente con el consumidor, quienes suelen ser de estrato medio y alto, y conocen los beneficios nutricionales de los productos (Zamora-Sanabria y Chacón-Villalobos, 2021; Marín González, 2014).

En el país, no existe legislación específica para los productos de codorniz, por lo que deben adecuarse al Reglamento sobre Granjas Avícolas N.º 31088-S y al Reglamento Técnico RTCR Huevos Frescos o Refrigerados de Gallina para consumo humano N.º 397:2006, que se enfocan en los productos de gallina específicamente (Goyenaga, 2014). Por esta razón, es necesario realizar campañas informativas a productores y consumidores con respecto a buenas prácticas de manejo y cualidades nutricionales de estos productos (Marín-González, 2014).

La calidad de los huevos para consumo humano puede medirse a través del análisis de sus características internas y externas, por medio de diferentes métodos. Externamente, puede medirse el peso, la densidad, el índice morfológico y la integridad de la cáscara, este último por medio de ovoscopía (Agina et al., 2020). Las pruebas internas se realizan una vez que se abre el huevo, e incluyen el color de la yema, el peso de todas sus estructuras, el espesor de la cáscara y el pH del albumen y la yema (Gökmen et al., 2022).

El almacenamiento y la edad de la ponedora son dos de los principales factores que influyen en la calidad e inocuidad de los huevos, por lo que deben ser controlados, especialmente en el periodo entre la puesta y el almacenamiento antes de llegar al consumidor (Nepomuceno

et al., 2014; Ratriyanto et al., 2018). La refrigeración retrasa posibles efectos adversos del almacenamiento y contaminación por patógenos en los huevos de codorniz, ya que el almacenaje a temperaturas altas y humedad relativa baja generan cambios bioquímicos más rápidos en la albúmina (Kumari et al., 2020; Sousa-Santos et al., 2016).

Condiciones adversas durante el almacenamiento producen efectos negativos sobre los huevos como pérdida de peso, que se da por una evaporación del agua y dióxido de carbono (CO₂) de la albúmina a través de la cáscara, ocasionado por un aumento en la presión osmótica del ambiente (Sousa-Santos et al., 2016). Un cambio en el pH del huevo por una pérdida de CO₂ también puede provocar una disociación química del complejo proteico, que resulta en la licuefacción de la albúmina, lo que podría cambiar el sabor del huevo comercializado (Sousa-Santos et al., 2016). Otros cambios que pueden darse en el huevo son nutricionales y microbiológicos, como una concentración de la proteína o el ingreso de patógenos a través de la cáscara (Gherardi et al., 2015; Kumari et al., 2020). Por otro lado, se ha visto que gallinas ponedoras más jóvenes tienden a poner huevos más pequeños y con cáscaras gruesas en comparación con aves de mayor edad (Vlčková et al., 2019; Marzec et al., 2019), por lo que se espera un comportamiento similar en codornices.

El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de las condiciones de almacenamiento y edad de la codorniz sobre las características fisicoquímicas, nutricionales y microbiológicas de huevos de codorniz japonesa (*Coturnix coturnix japonica*) producidos en Atenas, Costa Rica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del estudio

Los huevos fueron obtenidos de granja Linda Vista, ubicada en Atenas de Alajuela. El almacenamiento de estos, así como la ejecución de análisis instrumentales, se realizó en el Laboratorio de Fisiología de la Escuela de Zootecnia, los análisis nutricionales en el Laboratorio de la Estación Experimental Alfredo Volio Mata (EEAVM) y el análisis microbiológico en el Laboratorio de Microbiología del Centro de Investigación en Nutrición Animal (CINA); todos pertenecientes a la Universidad de Costa Rica.

Los huevos se recolectaron una vez al día y se mantuvieron bajo condiciones ambientales en la bodega de almacén de la granja. La temperatura ambiental y humedad relativa se registraron por medio de un termómetro e higrómetro ubicado en dicha bodega. Llegado el momento del traslado a los laboratorios correspondientes, para efectuar los análisis fisicoquímicos, los huevos se depositaron en hieleras de poliestireno expandido durante el tiempo que duró el transporte. Al llegar a destino se colocaron en cartones para huevo de gallina a la espera del inicio de las pruebas.

Estudio de almacenamiento

Las pruebas se realizaron para un tiempo de almacenaje de 28 días empleando un total de 1800 huevos de codorniz japonesa para todo el estudio. El experimento tuvo tres repeticiones de todos los tratamientos, por lo cual, cada una de esas repeticiones empleó 600 huevos.

Cada repetición del experimento contempló tres grupos de huevos provenientes de aves con 1 mes de edad (60 huevos), 4 meses de edad (60 huevos) y 6 meses de edad (60 huevos), almacenados todos a 5 °C. De la misma manera se contemplaron también tres grupos experimentales de huevos, distribuidos en número de idéntica manera a la antes descrita, y provenientes de aves con 1 mes, 4 meses y 6 meses de edad ahora almacenados a 20 °C; finalmente y siguiendo las cantidades de huevos antes detalladas, se establecieron tres grupos

adicionales de huevos provenientes de aves con 1 mes, 4 meses y 6 meses de edad almacenados a 30 °C. Según lo antes descrito, los huevos se distribuyeron entonces en 9 grupos experimentales con 60 huevos cada uno, y que fueron establecidos según la edad del ave y la temperatura a la que se realizó el almacenamiento. Finalmente, para cada repetición del experimento se tomaron 20 huevos antes del inicio del estudio de almacenamiento, de manera que sirvieran como testigo (control) para todos los tratamientos, y a los cuales se les hizo corresponder el día “cero” en este estudio. Esto completaría entonces los 600 huevos por cada repetición del experimento.

La temperatura a 5 °C se logró por medio de almacenamiento en una refrigeradora convencional; por otro lado, se simuló la temperatura a 20 °C (temperatura ambiente fresca) utilizando aire acondicionado controlado por su respectivo termostato; finalmente las condiciones a 30 °C (temperatura cálida), se simularon con una incubadora manual modelo JN-60. A lo largo de todo el experimento se registró la temperatura ambiental y humedad relativa con un registrador marca LogTag, modelo HAXO-8.

Análisis de calidad

Los análisis fisicoquímicos se realizaron en 5 huevos por tratamiento. Estos fueron: peso del huevo, índice morfológico, porosidad aparente de la cáscara, altura de cámara de aire, unidad de calidad interna (UQI), color de yema, índice y peso de yema, grosor de cáscara, y pH de la yema y del albumen. Asimismo, se analizaron variables nutricionales como porcentaje de humedad, proteína cruda, extracto etéreo y cenizas; y también variables microbiológicas, como recuento bacteriano de coliformes totales, *E. coli* y *Salmonella* spp. Las observaciones se realizaron dos veces por semana, hasta el día 28 que duró la prueba de almacenamiento.

La temperatura superficial se registró en cada huevo con una cámara termográfica marca Testo, modelo 868, que capturó diferentes niveles de luz infrarroja y la convirtió en una imagen. El peso de huevo se determinó mediante el pesaje individual con una balanza eléctrica marca ADAM, modelo Highland HCB 3001, y los resultados se expresaron en gramos, con un decimal. Para el índice morfológico se utilizó un micrómetro, este midió el largo y ancho de los huevos

(ancho/largo*100). La translucidez de la cáscara se analizó cualitativamente en un cuarto oscuro con un ovoscopio de luz blanca y una escala estructurada por dos categorías: translúcida y no translúcida. Para la altura de la cámara de aire, los huevos se abrieron con el fin de medir el tamaño, se insertó un objeto delgado en la cámara y se midió la porción en el huevo con un micrómetro. Este instrumento fue utilizado para determinar el grosor de la cáscara, medido en la zona ecuatorial de los huevos abiertos.

Por su parte, la unidad de calidad interna (UQI) se calculó midiendo la altura del albumen denso del huevo con un micrómetro, el cual se correlacionó con el peso. Según la ecuación de UQI, H corresponde a la altura y W al peso:

$$U.Q.I=100\log(H+4,18-0,8989\times W^{0,6674}) \quad (1)$$

El valor de índice de yema se calculó utilizando los valores del diámetro y la altura de la yema colocadas sobre una superficie plana y un micrómetro, de modo que se determinó la relación entre ellas (altura yema/diámetro yema). El color de la yema se midió cualitativamente con una escala visual, para lo que se abrió el huevo y se comparó el color con un abanico de coloración de yema YolkFan 15 de la empresa DSM; esta es una herramienta con una gama visual de 15 colores escalonados que van del amarillo ligero al naranja intenso; este patrón puede utilizarse para asignar comparativamente una clasificación colorimétrica a la yema. El peso de la yema se calculó una vez separada del albumen, este paso se realizó utilizando una balanza eléctrica marca ADAM, modelo Highland HCB 3001. Para la determinación del pH de la yema y del albumen, se tomó una muestra y se midió utilizando un pH metro de grado alimenticio, modelo HI981036, previamente calibrado.

Análisis nutricional

Se tomaron muestras de 10 huevos frescos para cada réplica de cada edad de recolección. Los huevos se mezclaron con "celite", la cual es una sustancia sólida inerte que incluye fósiles de diatomeas y se usa como material filtrante y absorbente con el fin de obtener una pasta consistente para los análisis nutricionales. La materia seca se obtuvo mediante el retiro de la humedad en una estufa a 105 °C durante 48 horas y las cenizas se determinaron mediante la eliminación de la materia orgánica en las muestras utilizando una mufla a 550 °C. El valor de proteína cruda se obtuvo mediante la digestión automatizada para un análisis por Kjeldahl (hidrólisis ácida) con la marca FOSS, modelo Kjeltex 8299. El nitrógeno encontrado se multiplicó por 6,68 para convertirlo en proteína cruda, y el extracto etéreo se determinó después de la hidrólisis ácida con un equipo comercial ANKON Technology, modelo XT10 Extractor, adicionando éter de petróleo.

Análisis microbiológico

Se tomaron 10 huevos frescos de cada edad para cada réplica y 10 huevos de cada tratamiento después del almacenamiento y se determinó la carga microbiológica interna. Las muestras se prepararon con el método desarrollado por Pyzik et al. (2014), donde los huevos frescos se colocaron hacia arriba en la cámara de aire, quebrándolos para descargar su contenido. Los huevos se analizaron interiormente para evaluar la penetración bacteriana, se descartaron las cáscaras y se mezcló la clara y la yema en una bolsa. Se agregó agua de peptona tamponada a las muestras en las bolsas, en una relación 1:10 según el peso de las muestras.

Siguiendo la metodología descrita en el Compendio de Métodos para el Examen Microbiológico de Alimentos (Guier-Serrano et al., 2021), se realizaron aislamientos de colonias sospechosas de *E. coli* en agar HC, un medio de placa a base de sorbitol, desarrollada para alimentos. El agar se incubó a 43 °C por 18-24 horas para seleccionar *E. coli* y para su diferenciación adicional, ya que estas aparecen como colonias claras que no emiten fluorescencia bajo luz ultravioleta. Por otro lado, la detección de *Salmonella* spp. se realizó en una muestra de 25 gramos, según el procedimiento de AOAC 967.25 descrito por Molina et al. (2016).

Diseño estadístico

Definición de factores o tratamientos

La calidad de los huevos de codorniz, a lo largo del experimento de almacenamiento, se evaluó con un diseño factorial 3 x 3 x 9; utilizando la edad de las codornices (1, 4 y 6 meses), las diferentes temperaturas de almacenamiento (5, 20 y 30 °C) y los días de almacenamiento (0, 3, 7, 10, 14, 17, 21, 24, 28). Se realizaron tres réplicas independientes del experimento para lograr obtener resultados más representativos. La unidad experimental de la evaluación fisicoquímica se conformó con cinco huevos muestreados de cada tratamiento y diez para los análisis nutricionales y microbiológicos.

Análisis estadístico

Se propuso un modelo lineal generalizado univariante con el siguiente modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + \alpha_k + \tau\beta_{ij} + \tau\alpha_{ik} + \beta\alpha_{jk} + \tau\beta\alpha_{ijk} + \epsilon_{ijk}$$

Donde:

μ es la media general.

τ_i es el efecto del i-ésimo nivel de edad de la codorniz.

β_j es el efecto del j-ésimo nivel de temperatura.

α_k es el efecto del k-ésimo día de almacenamiento.

$\tau\beta_{ij}$ es la interacción entre edad de codorniz y temperatura.

$\tau\alpha_{ik}$ es la interacción entre edad de codorniz y día de almacenamiento.

$\beta\alpha_{jk}$ es la interacción entre temperatura y día de almacenamiento.

$\tau\beta\alpha_{ijk}$ es la interacción entre edad de codorniz, temperatura y días de almacenamiento.

ϵ_{ijk} es el error aleatorio experimental.

Se realizó un ANOVA y la prueba Scheffé para corroborar que las condiciones de almacenamiento fueran similares a las temperaturas propuestas. Para esto se compararon con la temperatura superficial de la cáscara del huevo de codorniz. Se realizaron pruebas de T-student para determinar diferencias significativas en las variables y su relación con la translucidez de la cáscara. Asimismo, se realizó una prueba de Chi cuadrado para determinar las frecuencias de la translucidez de la cáscara según la edad de la ponedora. Los resultados de color de yema y su relación con la edad de la codorniz se analizaron por medio de un análisis de reducción de dimensiones. Se realizó un análisis de correlación bilateral de Pearson con todas las variables y factores (edad de la ponedora, temperatura de almacenamiento y días de almacenamiento). Se evaluó la existencia de una correlación bilateral de Pearson entre los tratamientos aplicados y la composición nutricional del huevo de codorniz. El software utilizado para el análisis de todos los datos fue InfoStat (Di Rienzo et al., 2020).

RESULTADOS

Condiciones de almacenamiento

El Cuadro 1 muestra los promedios de temperatura y humedad relativa a lo largo de todo el experimento, así como la temperatura superficial de la cáscara y valores obtenidos del estudio de almacenamiento.

Cuadro 1. Promedio de temperatura y humedad relativa de las 3 condiciones de almacenamiento durante el estudio.

Condición de almacenamiento	Humedad relativa ambiental (%)	Temperatura ambiental (°C)	Temperatura superficial cáscara (°C)
5 °C	84,7±9,5a	4,7±1,0a	5,6±1,2
20 °C	72,9±8,4b	19,3±1,0b	19,2±0,9
30 °C	69,5±5,5c	31,8±0,9c	29,5±1,8

Letras distintas entre las filas indican diferencia estadística $p < 0.05$, según test de Scheffé.

Los análisis estadísticos compararon la temperatura superficial de los huevos, con la de los tres ambientes propuestos. Según el ANOVA, no se observaron diferencias significativas ($p < 0.05$). Sin embargo, sí se observaron en la prueba Scheffé.

Análisis fisicoquímicos

Los resultados de los análisis fisicoquímicos externos del huevo se presentan con su desviación estándar respectiva en el Cuadro 2, divididos según la edad de la codorniz, la temperatura y el tiempo de almacenamiento.

Cuadro 2. Medias y desviaciones estándar de peso del huevo (g), índice morfológico, altura de la cámara de aire (mm) y grosor de cáscara (mm) según la edad de la codorniz japonesa, la temperatura ambiental y el tiempo de almacenamiento.

Factor	Nivel	*PH (g)		IM		AC (mm)		GC (mm)	
		Valor	DE	Valor	DE	Valor	DE	Valor	DE
Edad Ponedora	1 mes	10,40 a	1,15	78,24a	4,96	4,04a	1,74	0,24a	0,06
	4 meses	10,78b	1,38	78,03a	7,62	3,28b	1,42	0,20b	0,03
	6 meses	10,58 c	1,04	77,49b	3,15	3,24b	1,37	0,20b	0,02
Temperatura Almacenamiento	30 °C	10,31 a	1,52	77,95 a	7,69	4,95 a	1,65	0,21 a	0,05
	20 °C	10,52 a	0,99	77,83 a	3,14	3,56b	0,99	0,21 a	0,04
	5 °C	10,86b	0,94	77,98 a	5,15	2,32 c	0,49	0,21 a	0,04
Días Almacenamiento	0**	11,12 a	0,98	77,91 a	2,90	1,59 a	0,52	0,23 a	0,05
	3	11,02 ab	0,93	77,89 a	3,21	2,33b	37,92	0,22 ab	0,04
	7	10,82 abc	1,30	77,49 a	3,18	2,95 c	0,95	0,22 ab	0,05
	10	10,70 abc	1,29	78,41 a	7,22	3,37d	1,26	0,22 ab	0,06
	14	10,50 cd	1,56	78,07 a	10,0	3,45d	1,36	0,2 1ab	0,04
	17	10,63 abc	0,89	78,32 a	3,27	3,90 e	3,54	0,21 ab	0,04
	21	10,47 cd	1,09	77,78 a	3,17	4,04 e	1,74	0,20 b	0,04
	24	10,36 cd	0,98	77,59 a	2,82	4,44 f	1,78	0,20 b	0,03
	28	10,00d	1,23	77,83 a	7,26	4,32 f	1,60	0,21 b	0,03

Letras distintas entre las filas indican diferencia estadística $p < 0,05$, según test de Scheffé. *PH: peso de huevo; IM: índice morfológico; AC: altura cámara de aire; GC: grosor de cáscara; DE: desviación estándar.

** Día cero corresponde al testigo (control).

Peso de huevo

Según los resultados obtenidos, la edad de las codornices tuvo un efecto significativo ($p < 0.05$) sobre el peso de los huevos. Las codornices de 6 meses de edad produjeron huevos con una media de peso mayor a las codornices de un mes de edad, y se observó una tendencia en la que las aves de mayor edad ponían huevos más pesados (Cuadro 2). En promedio, el peso de los huevos de este experimento fue de 10,40 g en codornices ponedoras de 1 mes de edad. En cuanto a las condiciones de almacenamiento, el peso de los huevos no fue significativamente diferente ($p < 0.05$) cuando la temperatura fue de 20 °C y 30 °C. Sin embargo, sí se observaron diferencias significativas cuando la temperatura de almacenamiento fue de 5 °C. La interacción entre las condiciones de temperatura y el tiempo de almacenamiento difirió significativamente ($p < 0.05$) sobre el peso del huevo, siendo este mayor a 5 °C. En la Figura 1.A se puede observar cómo temperaturas de almacenamiento mayores resultan en huevos más livianos.

Altura de la cámara de aire

Los resultados mostraron que la cámara de aire se vio afectada significativamente ($p < 0.05$) por la edad de las aves, las condiciones ambientales y el tiempo de almacenaje. Sin embargo, no hubo diferencias ($p < 0.05$) entre los valores de las medias de las temperaturas ambientales y el tiempo de almacenamiento. Se observaron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las cámaras de los huevos, según las tres edades de las codornices ponedoras; aunque las de cuatro y seis meses no mostraron significancia ($p < 0.05$). Además, se observó que la altura de la cámara suele ser mayor cuando proviene de aves más jóvenes.

De la misma forma, la cámara de aire de los huevos aumentó con el tiempo y la temperatura de almacenamiento. Debido a que, a mayor temperatura (30 °C), el tamaño de la cámara de aire fue mayor en comparación con las temperaturas de 5 °C y 20 °C (Figura 1). La prueba Scheffé mostró que los valores de altura de la cámara de aire difirieron significativamente ($p < 0.05$) entre las tres condiciones de almacenamiento y el día cero. Las temperaturas ambientales mayores (30 °C) generaron alturas de cámara de aire mayores; estas fueron de 5 mm después

de 20 días de almacén de 19-23 °C y después de 7 días de almacenamiento a 30 °C (Cuadro 2). Asimismo, se notó un aumento en la altura de la cámara conforme avanzaron los días de almacenamiento. La Figura 1.B muestra las alturas de las cámaras de aire en mm de los huevos según el tiempo de almacenamiento.

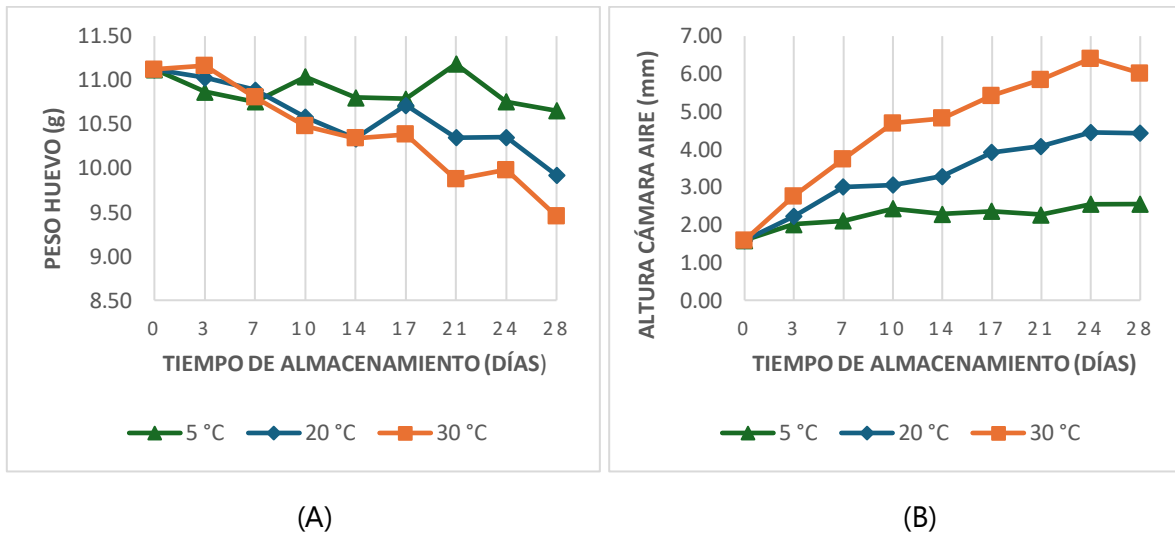


Figura 1. (A) Variación del peso del huevo y (B) de la altura de la cámara de aire del huevo de codorniz en diferentes temperaturas ambientales y días de almacenamiento.

Índice morfológico

Los huevos tuvieron una forma más redondeada conforme las aves eran más jóvenes, de forma que sí hubo diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los huevos de las aves de uno y seis meses (Cuadro 2). En cuanto al almacenamiento de los huevos, el índice morfológico no mostró diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las distintas temperaturas ambientales ni según los días de almacenaje (Cuadro 2).

Grosor de cáscara

Según los resultados observados, este parámetro se vio significativamente afectado ($p < 0.05$) por la edad del ave, siendo los huevos de aves más jóvenes los que presentaron un mayor grosor de cáscara, y que, además, mantuvieron este grosor al final del periodo de almacenamiento (Cuadro 2). Los valores medios de grosor mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los huevos provenientes de aves de 1, 4 o 6 meses de edad; no obstante, no hubo diferencias entre los últimos dos grupos. En cuanto a las condiciones de almacenamiento, se observaron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre el día cero y las tres condiciones diferentes de almacenamiento. Los días de almacenaje tampoco afectaron significativamente el grosor de cáscara de los huevos, como se puede observar en el Cuadro 2, donde los valores son muy similares entre sí. Asimismo, se presentó una interacción significativa ($p < 0.05$) entre la edad de la codorniz y los días de almacenamiento, donde a mayor edad y más días de almacenamiento, menor grosor de la cáscara.

Translucidez de la cáscara y variables fisicoquímicas internas del huevo

No se observó un efecto significativo ($p < 0.05$) respecto a la frecuencia de la translucidez de la cáscara según la edad de la codorniz. Las variables fisicoquímicas internas del huevo, tales como la unidad de calidad interna (unidades Haugh), índice, peso (g), y pH de la yema; así como el pH del albumen, fueron analizadas según la edad de la codorniz, la temperatura ambiental y el tiempo de almacenamiento (Cuadro 3).

Cuadro 3. Medias y desviaciones estándar de parámetros internos del huevo de codorniz japonesa: unidad de calidad interna, índice de yema, peso de yema (g), pH de yema y de albumen; según edad de la ponedora (EP), temperatura de almacenamiento (TA) y días de almacenamiento (DA).

Factor	Nivel	UQI		IY		PY (g)		pHY		pHA	
		Valor	DE	Valor	DE	Valor	DE	Valor	DE	Valor	DE
Edad	1	58,67 a	8,39	0,34 a	0,12	3,62 a	0,71	6,35 a	0,96	9,53 a	1,31
Ponedora (mes)	4	57,93 a	8,89	0,36 a	0,12	3,73 b	0,66	6,45 b	0,99	9,78 b	1,16
	6	57,86 a	9,20	0,35 a	0,12	3,83 c	0,51	6,37 a	0,33	9,67 c	0,27
T °C	30 °C	55,96 a	9,10	0,21 a	0,08	3,83 a	0,90	6,70 a	1,34	9,83 a	1,71
	20 °C	53,78 a	8,09	0,37 b	0,05	3,72 ab	0,45	6,31 b	0,21	9,66 b	0,24
Almacenamiento	5 °C	63,24 b	5,21	0,45 c	0,05	3,64 b	0,48	6,21 c	0,48	9,56 b	0,54
	0**	65,73 a	6,73	0,46 a	0,04	3,68 ab	0,50	6,09 a	0,20	9,19 a	0,36
	3	61,77 b	6,87	0,42 ab	0,07	3,57 a	0,43	6,18 b	0,16	9,63 b	0,26
	7	59,86 bc	8,44	0,38 abc	0,10	3,67 ab	0,59	6,26 bc	0,79	9,72 b	1,21
	10	57,83 c	7,56	0,35 bc	0,12	3,75 ab	0,62	6,33 cd	0,81	9,69 b	0,88
	14	56,87 c	9,83	0,33 bc	0,13	3,74 ab	0,75	6,42 de	0,83	9,67 b	1,20
	17	57,06 c	9,30	0,33 c	0,12	3,88 b	0,52	6,45 ef	0,33	9,67 b	0,26
Almacenamiento	21	56,34 c	8,82	0,32 c	0,12	3,69 ab	0,63	6,48 ef	0,86	9,68 b	0,87
	24	56,31 c	9,01	0,32 c	0,13	3,86 b	0,78	6,52 fg	1,15	9,74 b	1,20
	28	56,67 c	8,57	0,32 bc	0,12	3,69 ab	0,75	6,61 g	1,18	9,68 b	1,67

Letras distintas entre las filas indican diferencia estadística $p < 0.05$, según test de Scheffé. UQI: índice calidad interna, IY: índice yema, PY: peso de yema, pHY: pH de yema, pHA: pH de albumen, DE: desviación estándar. ** Día cero corresponde al testigo (control).

Unidad de calidad interna (UQI)

De acuerdo con los resultados observados, la temperatura y el tiempo de almacenamiento afectaron significativamente ($p < 0.05$) esta variable. No se encontró diferencias significativas ($p > 0.05$) en la UQI, según la edad de la ponedora. La interacción entre la edad y las condiciones de almacenamiento afectaron significativamente la UQI, donde a menor edad del ave hay un mayor valor de UQI, y de igual forma, a menor periodo de almacenamiento mayor valor de UQI. Se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) en la UQI a las diferentes temperaturas de almacenamiento. La UQI disminuyó conforme la temperatura de almacenamiento fue mayor (20 °C y 30 °C) (Cuadro 3). Los valores de UQI disminuyeron drásticamente en los días 1 al 10 del periodo de almacenamiento, no obstante, posteriormente el cambio fue mínimo. Se observó una disminución de la UQI a lo largo del periodo experimental de acuerdo con el tiempo de almacenamiento (Figura 2), y esta disminución fue significativamente diferente ($p < 0.05$) a 20 y 30 °C en comparación con la temperatura de 5 °C (Cuadro 3).

Índice de yema

El análisis estadístico mostró diferencias significativas ($p < 0.05$) atribuibles a la temperatura y tiempo de almacenamiento. Por otro lado, los resultados de la prueba Scheffé no mostraron diferencias ($p > 0.05$) según la edad de las codornices. No se observaron diferencias entre el testigo y la temperatura de 5 °C ($p > 0.05$). Según el comportamiento de esta variable a lo largo del experimento, presentado en la Figura 2.B, temperaturas de almacén de 20 °C y 30 °C resultan en un menor índice de yema. Solo se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) por efecto del tiempo en los primeros 10 días de almacenamiento. Durante el experimento, la yema de los huevos se rompió varias veces, mientras se realizaban los análisis experimentales, en los huevos almacenados a más de 30 °C.

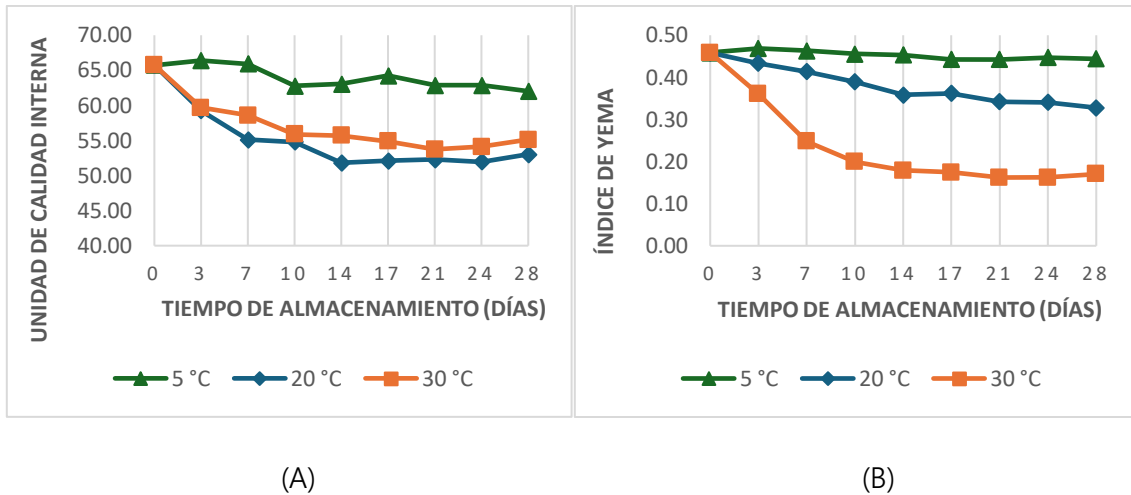


Figura 2. (A) Variación de la unidad de calidad interna (UQI) y (B) índice de yema de huevo de codorniz en diferentes condiciones de temperatura y tiempo de almacenamiento.

Peso de yema

El peso de la yema fue significativamente afectado ($p < 0.05$) por la edad de las codornices, las condiciones de almacenamiento y los días transcurridos, así como por la interacción entre estos tres factores, pero no cuando la interacción es simultánea (Cuadro 3). Según los resultados de la prueba de la prueba Scheffé, esta variable fue significativamente diferente ($p < 0.05$) entre las aves de 1, 4 y 6 meses. En general, se observó que animales de edades mayores produjeron un peso de yema más alto. En cuanto a las condiciones de almacenamiento, se observaron diferencias significativas ($p < 0.05$) en el peso de la yema de los huevos colocados a temperaturas de 5 °C y 30 °C. Los pesos de la yema fueron significativamente mayores en temperaturas más cálidas. Por otro lado, se observaron diferencias significativas ($p < 0.05$) en el peso de la yema de los huevos, según el día en el que fueron puestos, ya sea el día 3, 17 o 24. Esta variable aumentó paulatinamente conforme transcurrió el periodo experimental.

pH de yema

Se observó un efecto significativo ($p < 0.05$) según la edad del ave, las condiciones y días de almacenamiento en el pH de la yema. Este pH también se vio afectado por la interacción de estos tres factores, observándose que, a mayor edad de las codornices, temperatura ambiental más alta y mayor cantidad de días de almacenamiento, mayor es el valor del pH de la yema. Además, se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre la temperatura a 5 °C y el tratamiento testigo el (día cero) en cuanto al pH de la yema. El pH de la yema fue mayor conforme aumentó la temperatura de almacenamiento (Cuadro 3). De acuerdo con los resultados de la prueba de Scheffé, el pH de yema aumentó conforme pasaron los días de almacenamiento, pasando de un pH de 6,09 en el día 1, a 6,61 en el 28. Durante todo el experimento, la temperatura de 30 °C provocó valores mayores de pH de yema (Figura 3).

pH de albumen

Según el análisis factorial de varianza, el pH del albumen se vio afectado significativamente ($p < 0.05$) por la edad de las aves y condiciones de almacenamiento, igualmente, fue afectada por la interacción entre estos factores, donde el valor de pH fue mayor cuando la edad, la temperatura y los días de almacenamiento aumentaron (Cuadro 3). Al observar los resultados de la prueba Scheffé, el pH del albumen no presentó diferencias significativas ($p < 0.05$) según la edad de las aves, pero sí entre el día cero y las temperaturas aplicadas. Al comparar los resultados según cada temperatura, no se observó efecto ($p < 0.05$) entre la temperatura a 5 y 20 °C, y el pH de los huevos almacenados a 30 °C fue mayor. En cuanto a los días de almacenamiento, solo se observó significancia ($p < 0.05$) entre los huevos frescos y el resto, a partir del día 3 el pH se mantuvo constante hasta el final del experimento (Figura 3).

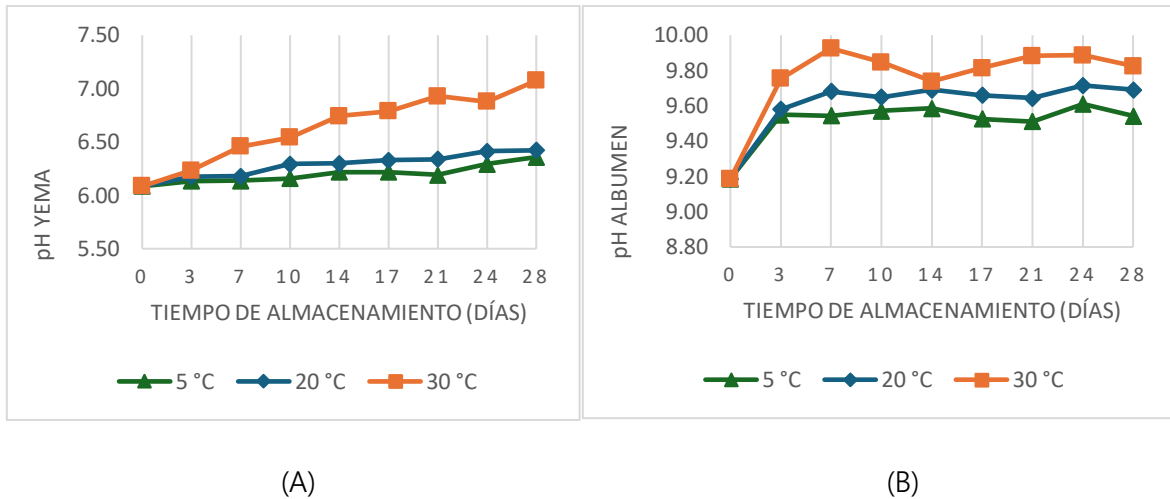


Figura 3. (A) Variación en el tiempo del pH de la yema y (B) del pH del albumen del huevo de codorniz en diferentes condiciones de almacenamiento.

Color de yema de huevo

La Figura 4 (chi cuadrado: 60,69) muestra una relación de correspondencias entre el color de yema y la edad de las ponedoras dónde los colores más destacados en los huevos de las aves de un mes de edad fueron el 9 y 10, de cuatro meses a 7, 8 y 12, y a los seis, al 8 y 11. Los tonos más altos, de 11 y 12, fueron más comunes en aves mayores.

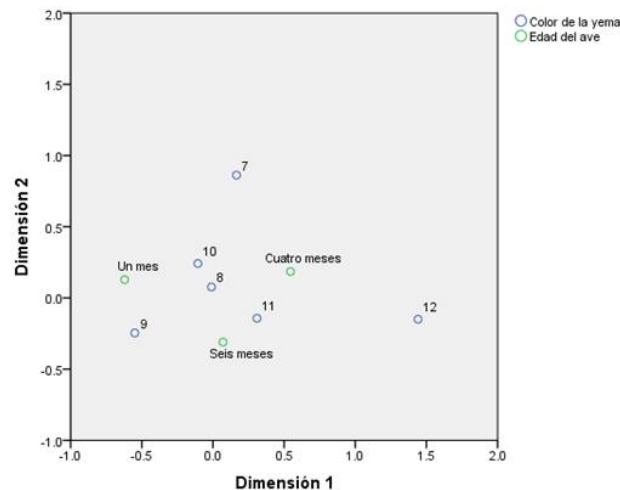


Figura 4. Análisis de correspondencia entre el color de yema y la edad en meses de la ponedora.

Según los resultados obtenidos del ANOVA, se determinó que no existieron diferencias significativas ($p < 0.05$) en los colores presentados, según la edad del ave y la condición o días de almacenamiento. Por otro lado, en la frecuencia de color de yema en los huevos durante el estudio de almacenamiento, se observó un comportamiento de campana de Gauss, donde el color más frecuente fue el 10 de la escala colorimétrica DSM YolcFan.

Variabes nutricionales

A partir de la materia seca (MS) de los huevos de codorniz, se analizó el contenido nutricional, lo que se presenta en el Cuadro 4 como un promedio de todos los niveles evaluados.

Cuadro 4. Promedio de variables nutricionales durante el estudio de almacenamiento.

	Materia Seca	DE	Proteína Cruda	DE	Extracto Etéreo	DE	Cenizas	DE
Huevo de codorniz	28,30	1,69	13,54	1,76	13,54	1,76	3,66	1,64

La temperatura de almacenamiento afectó significativamente ($p < 0.05$) la MS de los huevos al final del experimento. Por otro lado, la prueba de Scheffé mostró que las condiciones de almacenamiento afectaron significativamente ($p < 0.05$) el contenido de MS de los huevos. No se observaron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los huevos frescos y los almacenados a 5 °C, ni entre 20 y 30 °C. El grupo de huevos del día cero no llevó ningún tipo de almacenamiento, por lo que se considera que los huevos frescos tienen un mayor contenido de materia seca. El resto de las variables fueron sometidas a los mismos análisis estadísticos, sin embargo, las diferencias generadas fueron muy pequeñas para que la potencia de prueba estadística las identificara, por lo que se consideró que ninguno de los tratamientos generó diferencias significativas ($p < 0.05$).

Análisis microbiológicos

No se encontró presencia de coliformes totales, *Escherichia coli* y *Salmonella* spp. en los huevos analizados bajo las diferentes condiciones de edad de la codorniz, temperatura ambiental y tiempo de almacenamiento.

DISCUSIÓN

Peso del huevo

En el presente estudio, la media de los huevos provenientes de ponedoras de 6 meses fue superior a la de los de aves de un mes de edad. De acuerdo con lo observado por Marzec et al. (2019), los huevos puestos por aves más viejas son más grandes en comparación con los de aves más jóvenes, al igual que Valle-Muñoz et al. (2015), observaron una tendencia donde los pesos entre huevos presentaron diferencias significativas según la edad de la ponedora, siendo mayor cuando provinieron de aves mayores.

Los pesos promedio de los huevos utilizados en esta investigación (9,67 g a 8 dos meses de edad y 10,78 g a 4 meses), fueron un poco menores a los mencionados por Santos et al. (2015) de 13,43 g a los 4 meses y ligeramente más altos a los reportados por François et al. (2021) de 10,42 g a los 6 meses. La diferencia en los pesos de los huevos puede deberse a las líneas genéticas de las aves, prácticas de alimentación y de manejo aplicadas, edad, entre otros factores. Del mismo modo, Flórez y Osorio (2013), mencionan que conforme las aves son mayores, aumenta la síntesis de lipoproteínas, lo que incrementa el peso de la yema, y, por lo tanto, del huevo.

Otro factor que afecta el peso de los huevos es la temperatura de almacenamiento, debido a que en ambientes más calientes la evaporación del huevo se incrementa por una mayor transferencia de CO₂ a través de la cáscara (Kumari et al., 2020). La evaporación del huevo es mayor conforme aumenta el tiempo de almacenamiento, y según los resultados reportados por Roriz et al. (2016), este peso, en huevos almacenados, disminuye a partir del día cinco.

Autores como Roriz et al. (2016) y Silva et al. (2020) encontraron una menor pérdida de peso cuando los huevos fueron almacenados en refrigeración, a diferencia de aquellos a temperatura ambiente, en la que disminuyeron notablemente su calidad. La media de peso de los huevos almacenados a 5 °C fue más alta a la de los que se encontraron a 20 y 30 °C. Los resultados de esta investigación pudieron deberse a la exposición de los huevos a temperaturas altas y humedades bajas, que fueron aún más bajas a las del almacenamiento a temperatura ambiente y caliente (Silva et al., 2020; Sousa-Santos et al., 2016). Según la literatura, en el momento en que las gallinas ponen huevos, se dan cambios fisicoquímicos, llamados envejecimiento del huevo (Gole et al., 2014; Brasil et al., 2022); aunque no existe tanta información al respecto, se espera un comportamiento similar en huevos de codorniz.

Índice morfológico

El índice morfológico de los huevos se utiliza para conocer la forma del huevo, que según Stoddard et al. (2017), valores cercanos a 100 se encuentran en huevos más redondeados, y valores menores en huevos más alargados. Un índice de 70-75% se encuentra en huevos de tamaño común, un 65% son huevos largos, y un 85% huevos más redondeados. De acuerdo con los resultados obtenidos, el índice tiende a ser menor cuando las ponedoras son mayores, lo que se asemeja a lo reportado por González (2016), que observó valores de 79,63% y de 77,44% en ponedoras de 8 y 39 semanas, respectivamente. No obstante, Kruenti et al. (2022) menciona que el índice no fue afectado por la edad del ave. Asimismo, no se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) según el almacenamiento, que coincide con lo mencionado por (Silva et al., 2020), que tampoco encontró diferencias.

Altura de la cámara de aire

La evaporación del agua produce una reducción de la albúmina, que aumenta el tamaño de la cámara de aire, por lo que la frescura de los huevos se evalúa al medir la altura de la misma (Brasil et al., 2022). De acuerdo con los resultados obtenidos, la cámara de aire fue más alta cuando las ponedoras fueron mayores, sin embargo, Santos et al. (2015) no observaron diferencias significativas ($p < 0.05$) según este factor.

De acuerdo con Nakaguchi y Ahmed (2022), un huevo de buena calidad presenta una cámara de aire menor a 5 mm; según los valores observados, los huevos de este estudio nunca exhibieron valores mayores de 5 mm a temperatura de 30 °C. Del mismo modo, García (2023) observó que valores de temperatura y humedad desfavorables durante el periodo de almacenamiento, provocan un aumento de la cámara de aire, a largo plazo, en este experimento se observó una tendencia de aumento conforme pasaron los días de almacenamiento.

Grosor de cáscara

Debido a que la cáscara es la responsable de la pérdida de agua y gases del huevo, un grosor mayor implica una menor pérdida, siendo este generalmente superior en los huevos de codorniz en comparación con los de gallina (Nepomuceno et al., 2014). De acuerdo con Santos et al. (2015), el grosor de la cáscara es diferente según la edad de las aves., Sin embargo, Ondrušíková et al. (2018) sí encontraron cambios en el peso del huevo, pero no un aumento proporcional en el peso de la cáscara según la temperatura de almacenamiento.

Translucidez de la cáscara

De acuerdo con los resultados, se determinó que es posible observar una cáscara translúcida en huevos con valores de peso, cámara de aire y unidad de calidad interna mayores. Todas estas características se relacionaron con la calidad del huevo, por lo que una cáscara translúcida puede ser indicativa de una menor calidad del huevo.

La translucidez de la cáscara de gallinas y codornices ponedoras se comporta de forma similar, de modo que los huevos menos translúcidos presentan pesos mayores (Orellana, 2023). Esta variable se relaciona con la calidad interna de los huevos, debido a que estos se deterioran cuando la luz pasa a través de ellas durante el periodo de exposición ambiental y de almacenamiento. La acumulación de humedad en los huevos resulta en la translucidez de este por los cambios estructurales tanto internos como en la cáscara, la cual se puede debilitar si el periodo de exposición ambiental aumenta (Cheng y Ning, 2022).

Unidad de calidad interna (UQI)

La UQI correlaciona el peso del huevo con la altura del albumen denso, y es uno de los parámetros más utilizados para comprobar la calidad del albumen; valores mayores indican una mejor calidad del huevo (Sousa-Santos et al., 2016). Los resultados de la prueba Scheffé obtenidos en el presente experimento no mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$) en la UQI, según la edad del ave, no obstante, esto difiere de lo reportado por Marzec et al. (2019). Los valores de UQI disminuyeron conforme la temperatura de almacenamiento fue mayor, lo que coincidió con lo reportado por Silva et al. (2020), quien almacenó huevos a temperatura de refrigeración, pero no observó una pérdida de peso suficiente para reducir la calidad interna de los huevos de codorniz refrigerados. Por el contrario, los huevos que se refrigeraron en este estudio mostraron los valores más altos de UQI. Ondrušíková et al. (2018), sí encontró valores similares de UQI en huevos frescos, reportando como media al día 0 de almacenamiento un valor de 62,12, similar al reportado en este estudio, el cual ronda los 63,5 en el día 0 de almacenamiento.

En cuanto a la temperatura, se observó una pérdida constante de la calidad de los huevos almacenados a 20 y 30 °C en comparación con aquellos a 5 °C. La pérdida de calidad se relaciona con los cambios químicos que diluyen el albumen denso del huevo durante el almacenamiento. Por otro lado, un cambio en el pH puede provocar la disociación química del complejo proteico, que resulta en una ruptura de la estructura del gel de albumina densa, y, por lo tanto, su licuefacción (Aguilar et al., 2020).

Índice de yema

La yema de un huevo recién puesto es redonda, firme y con aspecto de botón; no obstante, con el paso del tiempo, el agua migra de la albúmina a la yema, lo que provoca un aumento en su tamaño y una mayor presión sobre la membrana vitelina, resultando en su expansión (Kumari et al., 2020). González (2016), observó que a 30 °C, se da una mayor migración de agua a la yema y una disminución de la elasticidad de la membrana vitelina, lo que podría provocar una ruptura de la primera. Este comportamiento es similar a lo observado en el presente estudio, en el que, a una temperatura mayor, se observó un menor índice de yema.

Según la literatura, el índice de yema debe encontrarse entre 0,35 y 0,65 para considerar que un huevo es de buena calidad (Satan-Chuim, 2020). De acuerdo con los resultados del presente estudio, la edad de las aves no tuvo un efecto significativo ($p < 0.05$) sobre el índice de yema, el mismo efecto obtenido por Jurado (2017), donde no se observó diferencias significativas en dicho índice.

Igualmente, Gherardi et al. (2015) y Ondrušíková et al. (2018) observaron diferencias significativas ($p < 0.05$) en el índice de yema según el día de almacenamiento y encontraron valores promedio de 0,43 y 0,47, respectivamente, en el día 1, los cuales son similares a los encontrados en el presente estudio. En todas las investigaciones mencionadas, el índice de yema disminuyó conforme pasó el tiempo, por la migración de agua entre la clara y yema de huevo. La calidad de los huevos utilizados en este experimento disminuyó marcadamente cuando se almacenaron a 30 °C, en comparación con 5 y 20 °C, lo que coincide con lo mencionado por Prado (2016) en su estudio.

Peso de yema

Conforme transcurren los días de almacenamiento, los huevos sufren un deterioro provocado por la migración de agua de la clara a la yema, lo que podría aumentar el peso final del huevo (Castro-Alvarado et al., 2023). En este estudio se observó que aves mayores suelen poner huevos con pesos más altos, lo que probablemente se debe al incremento de lipoproteínas del huevo (Nhan et al., 2016). Sin embargo, autores como Silva et al. (2020) no encontraron diferencias ($p < 0.05$) entre aves de 9 y 21 semanas de edad, no obstante, esto pudo deberse a que el periodo de almacenamiento fue de solo 8 días. Por otro lado, Ondrušíková et al. (2018) reportó pesos de 3,91 g en el día cero, y de 3,68 g en el día uno.

pH de yema

El pH de la yema de un huevo fresco se encuentra alrededor de 6, y puede aumentar gradualmente hasta alcanzar 6,9 (Sousa-Santos, 2016). Por otro lado, aumentos en el pH provocan cambios en las estructuras internas del huevo, ya que la membrana vitelina tiende a debilitarse facilitando el traspaso de agua hacia la yema. Aunado a esto, se da un intercambio de iones H^+ con los iones de la albúmina, lo que incrementa el pH de la yema (González, 2016).

De acuerdo con los resultados de la prueba Scheffé, la edad de la ponedora no tuvo un efecto significativo sobre el pH de la yema, lo que concuerda con lo reportado por Gherardi et al. (2015), que reportaron un pH menor en la yema de huevos almacenados en refrigeración, y concluyeron que la pérdida de CO_2 aumenta cuando la temperatura de almacenamiento es mayor. En el presente estudio, fue posible observar que a partir del día siete, el pH alcanza valores mayores a 6,40 y cercanos a 6,20 cuando se almacenan a 5 y 20 °C respectivamente. Estos descubrimientos concuerdan con lo mencionado por Silva et al. (2020) y Gherardi et al. (2015), que observaron esta misma diferenciación en sus respectivos estudios de almacenamiento.

pH de albumen

El pH del albumen es una de las características que se ven más afectadas conforme se da el envejecimiento del huevo, ya que con el tiempo se produce una descomposición del albumen denso. Aunado a esto, la evaporación de CO₂ y agua a través de los poros de la cáscara de huevo resulta en un aumento del pH del albumen. En huevos frescos, se han observado valores de pH del albumen de 7,6 a 7,9, llegando incluso a 9,5 durante el almacenamiento (Kumari et al., 2020; Sousa-Santos et al., 2016).

De acuerdo con los resultados obtenidos, la edad de las aves tuvo un efecto significativo ($p < 0.05$) sobre el pH de albumen, que fue el mismo comportamiento observado por Nowaczewski et al. (2021) pero contrario a lo observado por Vlčková (2019). Por otro lado, el pH de albumen observado fue mayor a 30 °C, en comparación con el resto de las condiciones de almacenamiento, caso contrario a lo mencionado por Northcutt et al. (2022), donde el pH se mantuvo constante durante todo el periodo de almacenamiento.

El comportamiento del pH del albumen reportado por Silva et al. (2020) mostró un cambio a partir del día 7 de su experimento, mientras que en el estudio de Vlčková (2019) se reportó un pH de 8,63 en el día cero y se mencionó un comportamiento lineal a lo largo del estudio; en el presente trabajo se observó un pH de albumen de 9,16 en este mismo día. Asimismo, de acuerdo con la literatura, la pérdida de CO₂ y el deterioro del albumen es más rápido a temperaturas mayores (Kumari et al., 2020).

Color de yema de huevo

En el presente estudio, se observaron valores de tonos más altos, alcanzando niveles de 11 y 12, a medida que las aves aumentaban en edad, lo que podría estar relacionado con un aumento de consumo de pigmentos a través de la dieta (Marzec et al., 2019). No obstante, no se observaron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre el color de la yema y la edad del ave y la condición o días de almacenamiento, ya que depende mayoritariamente de los carotenoides presentes en la dieta, principalmente luteína, zeaxantina y β -caroteno (Prado, 2016).

Autores como Ondrušíková et al. (2018), tampoco reportan diferencias significativas según el almacenamiento, y el valor de color más común fue de 3 en una escala del 1 al 5, que en proporción (60%) se acerca al de este estudio (66%). En contraste, Gherardi et al. (2015) sí observaron diferencias según las condiciones y tiempo de almacenamiento, lo que se puede atribuir a la migración de proteínas de la albúmina hacia la yema, alterando su color.

Variables nutricionales

Los promedios de los contenidos nutricionales obtenidos se asemejan a los reportados por Tunsaringkarn et al. (2013), que mencionaron un 27,75% de materia seca, 12,70% de proteína cruda, 9,89% de grasa y 1,06% de cenizas. Estudios como los de Gherardi et al. (2015), han reportado un aumento lineal de materia seca en huevos almacenados a temperatura ambiente y refrigerada relacionado a la pérdida de agua del albumen por evaporación, mismo efecto al observado en el presente estudio. Este mismo comportamiento también se ha visto en huevos de gallinas, donde los huevos almacenados a temperatura más altas presentan una mayor pérdida de peso, lo que disminuye la materia seca del huevo (Wang et al., 2015).

Análisis microbiológicos

Aves como las gallinas y codornices son animales propensos a sufrir la presencia de microorganismos como *Salmonella* spp., no obstante, tienen una alta resistencia, por la que su presencia podría ser poco común. Estudios como el de Katayama et al. (2013), han reportado que huevos de codornices alimentadas con distintas dietas y que han pasado por un periodo de almacenamiento, no han presentado ningún porcentaje de *Salmonella* spp., lo que coincide con los resultados de este experimento. A partir del comportamiento observado, se puede deducir que, aunque la producción de la cual se obtuvieron los huevos de codorniz era pequeña y un poco artesanal, se manejaron siempre con la mayor atención a la inocuidad e higiene, ya que no se detectaron microorganismos nocivos en ellos.

CONSIDERACIONES FINALES

La edad de las aves ponedoras tuvo un efecto positivo sobre el peso del huevo, ya que los huevos de aves más jóvenes presentaron una cáscara más gruesa, lo que resultó en una menor pérdida de humedad y en una cámara de aire más alta. Además, la temperatura tuvo un efecto significativo sobre la unidad de calidad interna de los huevos y el índice de yema, disminuyendo a medida que pasaba el tiempo y esta aumentaba.

El almacenamiento no afectó el color de la yema, pero sí se observó translucidez en los huevos estudiados. A partir de los resultados de pH de la yema y del albumen, se concluyó que el huevo sufre pérdidas de calidad conforme aumenta la temperatura, ya que aumentaron significativamente hasta el día 3 y se mantuvieron constantes hasta el final del experimento. Los tratamientos no tuvieron un efecto sobre la calidad nutricional ni la calidad microbiológica de los huevos.

El aumento de temperatura y el paso del tiempo generaron una disminución del peso y de la calidad general del huevo. Por ello, los huevos de codorniz pueden almacenarse a 30 °C por un máximo de 3 días sin perder la calidad significativamente, mientras que pueden mantenerse hasta 28 días a 5 °C.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean extender un agradecimiento tanto a la Estación Experimental Alfredo Volio Mata como al Centro de Investigación en Nutrición Animal, ambas unidades pertenecientes a la Universidad de Costa Rica, cuyo apoyo permitió la concreción del presente trabajo.

LITERATURA CITADA

- Agina, O. A., Chukwudi, C. U., David, S. C y Okoye, C. N. (2020). Comparative effect of quail and chicken egg consumption on lipid profile, total proteins and blood parameters of male albino rats (*Rattus norvegicus*). *Comparative Clinical Pathology*, 29 (3), 745-754. <https://doi.org/10.1007/s00580-020-03106-y>
- Aguilar, J.M., López-Castejón, M.L., Cordobés, F. y Guerrero, A.F. (2020). Efecto del pH y del procesado térmico sobre las propiedades viscoelásticas lineales de la yema de huevo acidulada con ácido clorhídrico. *Afinidad*, 77 (589), 22-30.
- Alessandri, N., Durán, E., y Valenzuela, C. (2020). Huevos de tinamou (*Nothoprocta perdicaria*): una nueva alternativa en Chile. *Revista Chilena de Nutrición*, 47 (1), 135-140. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182020000100135>.
- Arthur, J., y Bejaei, M. (2017). *Egg innovations and strategies for improvements*. 1st Ed. Academic Press. Londres. pp. 13-21. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800879-9.00002-0>
- Brasil, Y. L., Cruz-Tirado, J. y Barbin, D. (2022). Fast online estimation of quail eggs freshness using portable NIR spectrometer and machine learning. *Food Control*, 131, 108418. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108418>
- Castro-Alvarado, H., Davidovich-Young, G. y Wong-González, E. (2023). Calidad, durante el almacenamiento, de huevos de gallina (*Gallus gallus domesticus*) recubiertos con aceite. *Cuadernos de Investigación UNED*, 15 (2). <https://doi.org/10.22458/urj.v15i2.4685>
- Cheng, X., y Ning, Z. (2022). Research progress on bird eggshell quality defects: a review. *Poultry Science*, 102 (1), 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2022.102283>

- Di Rienzo, J.A., Casanoves, F., Balzarini, M.G., Gonzalez, L., Tablada, M. y Robledo, C.W. (2020). Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. <http://www.infostat.com.ar> (Consultado 06 feb, 2023).
- Flórez, J. y Osorio, J. (2013). Perfil metabólico de aves comerciales mediante métodos directos. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 24 (2), 162-167.
- François, D. K., Akana, A., Radu-Rusu, R., Teodorescu, A., Usturoi, M., Ngoula, F. y Téguia, A. (2021). Effect of the quail phenotype and breeding age on egg laying and characteristics. *Open Journal of Animal Sciences*, 11 (02), 208-221. [10.4236/ojas.2021.112016](https://doi.org/10.4236/ojas.2021.112016)
- García, C. (2023). Influencia de la temperatura, tipo de empaque y tiempo de almacenamiento sobre la calidad interna de huevos de gallinas Bovans Brown. Tesis Bach., Universidad Científica del Sur, Villa el Salvador, Perú.
- Gherardi, S.R.M., Santos, B.M., Silva, F.A., Stringhini, J.H. y Café, M.B. (2015). Physical and chemical changes and functional properties of white eggs as a function of time and conditions of storage. 10-13 of May, 2015. XXII European Symposium on the Quality of Poultry Meat XVI European Symposium on the Quality of Eggs and Egg Products. World's Poultry Science Association. Nantes, Francia. <https://doi.org/10.31186/jspi.id.19.2.104-110>
- Gökmen, S. A., Gül, E. T. y Olgun, O. (2022). The effect of sodium formate supplementation to the diet of quail on performance, egg quality and serum parameters. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 10 (5), 941-945. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v10i5.941-945.5208>
- Gole, V. C., Chousalkar, K. K., Roberts, J. R., Sexton, M., May, D., Tan, J. y Kiermeier, A. (2014). Effect of egg washing and correlation between eggshell characteristics and egg penetration by various *Salmonella typhimurium* strains. *PLOS ONE*, 9 (3). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0090987>

- González, J. (2016). Efectos de los tiempos de conservación a temperatura ambiente, en la calidad del huevo de gallina camperas (*Gallus domesticus*) (CIPCA). Tesis Bach., Universidad Estatal Amazónica, Pastaza, Ecuador.
- Goyenaga, R. (2014). Producción de codornices en Atenas. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Extensión Agropecuaria. Hoja de Divulgación Educativa N002.
- Guier-Serrano, M., Davidovich-Young, G., Wong-González, E. y Cubero-Castillo, E. (2021). Calidad microbiológica y fisicoquímica y sabor de huevos de gallina de producción convencional o pastoreo. *Agronomía mesoamericana*, 33 (1), 1-18. <http://dx.doi.org/10.15517/am.v33i1.46140>
- Jurado, S. (2017). Comportamiento productivo y calidad de huevo de codornices en postura alimentadas con dietas suplementadas con complejo enzimático comercial. Tesis Bach., Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
- Katayama, E.R., Donato, T.C., Silva, A de Pa., Mazola, R.P., Garcia, E.A., Okamoto, A.S. y Andreatti Filho, R.L. (2013). Salmonella enteritidis in the eggs of Japanese Quails (*Coturnix coturnix japonica*-Temminck & Schlegel, 1849) fed diets with different calcium and phosphorus levels. *Revista Brasileira de Ciência Avícola*, 15 (1), 27–30. <https://doi.org/10.1590/S1516-635X2013000100005>
- Kruenti, F., Lamptey, V. K., Okai, M. A., Adu-Aboagye, G., Oduro-Owuso, A. D., Bebonaayele, F., y Suurbessig, B. (2022). The influence of flock age and egg size on egg shape index, hatchability and growth of Japanese quail chicks. *Journal of innovative agriculture*, 9 (1), 8. [10.37446/jinagri/rsa/9.1.2022.8-16](https://doi.org/10.37446/jinagri/rsa/9.1.2022.8-16)
- Kumari, A., Kumar Tripathi, U., Maurya, V. y Kumar, M. (2020). Internal quality changes in eggs during storage. *International Journal of Science, Environment and Technology*, 9 (4), 615–624.

- Marín-González, X. (2014). Producción de huevos de codorniz: empresario desarrolla negocio en Atenas. *Revista Oficial de la Universidad Técnica Nacional*, 70, 18-20. <https://www.utn.ac.cr/sites/default/files/attachments/utn%20informa%2070.pdf>
- Marzec, A., K., Damaziak, H., Kowalska, J., Riedel, M., Michalczyk, E., Koczywąs, F., Cisneros, A., Lenart, A. y Niemiec, J. (2019). Effect of hens age and storage time on functional and physiochemical properties of eggs. *Journal of Applied Poultry Research*, 28 (2), 290–300. <https://doi.org/10.3382/japr/pfy069>
- Molina, A., Granados-Chinchilla, F., Jiménez, M. R., Acuña-Calvo, M. T., Alfaro, M. y Chavarría, G. (2016). Vigilance for *Salmonella* in feedstuffs available in Costa Rica: Prevalence, serotyping and tetracycline resistance of isolates obtained from 2009 to 2014. *Foodborne Pathogens and Disease*, 13 (3), 119-127. <https://doi.org/10.1089/fpd.2015.2050>
- Nakaguchi, V. M. y Ahamed, T. (2022). Fast and non-destructive quail egg freshness assessment using a thermal camera and deep learning-based air cell detection algorithms for the revalidation of the expiration date of eggs. *Sensors*, 22 (20), 7703. <https://doi.org/10.3390/s22207703>
- Nepomuceno, R.C., Rodrigues-Watanabe, P.H., Freitas, E., Braga Cruz, C.E., Lemos Sousa, M. y Mendes Peixoto, M. (2014). Quality of quail eggs at different times of storage. *Ciencia Animal Brasileira*, 15 (4), 409-413.
- Nhan, N., Lan, L., Khang, N., Du, P., Dung, T. y Ngu, N. (2016). Effects of layer age and egg weight on egg quality traits of japanese quails (*Coturnix coturnix japonica*). *The Journal of Animal & Plant Sciences*, 28 (4), 978-980.
- Northcutt, J., Buyukyavuz, K. y Dawson, A. (2022). Quality of Japanese quail (*Coturnix coturnix japonica*) eggs after extended refrigerated storage. *Journal of Applied Poultry Research*, 31 (3). <https://doi.org/10.1016/j.japr.2022.100280>

- Nowaczewski, S., Szablewski, T., Cegielska-Radziejewska, R., Stuper-Szablewska, K., Rudzińska, M., Tomczyk, L., Szulc, K., Kaczmarek, S., Perz, K. y Hejdysz, M. (2021). Effect of age of Japanese quail on physical and biochemical characteristics of eggs. *South African Journal of Animal Science*, 51 (1). 10.4314/sajas.v51i1.14
- Ondrušíková, S., Nedomová, Š., Pytel, R., Cwиковá, O. y Kumbár, V. (2018). Effect of different storage times on Japanese quail egg quality characteristics. *Potravinarstvo*, 12 (1), 560-565. <https://doi.org/10.5219/949>
- Orellana, L. (2023) La translucidez de la cáscara y calidad del huevo. 2023 IPPE 2023 International Poultry Scientific Forum. 24 al 26 de Enero, 2023. Atlanta, EE.UU.
- Prado, F. (2016). Evaluación del palillo (*Curcuma longa*) sobre la respuesta productiva, estabilidad oxidativa de yema y calidad de huevo de codornices japonesas. Tesis Bach., Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
- Pyzik, E., Marek, A. y Hauschild, T. (2014). Characterization of Staphylococcus aureus and Staphylococcus aureus – like strains isolated from table eggs. *Bulletin of The Veterinary Institute in Pulawy*, 58 (1), 57-63. <https://doi.org/10.2478/bvip-2014-0009>
- Raharjo, S. P., Rahayu, E. S. y Purnomo, S. H. (2018). Factors affecting quail egg production under the changing climate at Kulonprogo Regency, Indonesia. IOP Conference Series. Earth And Environmental Science. 10.1088/1755-1315/200/1/012012
- Ratriyanto, A., Nuhriawangsa, A., Masykur, A., Prastowo, S. y Widayas, N. (2018). Egg production pattern of quails given diets containing different energy and protein contents. AIP Conference Proceedings. <https://doi.org/10.1063/1.5054415>
- Roriz, B., Sgavioli, S., Garcia, R., Nääs, I., Domingues, C., Caldara, F., Rombola, L., Ayla, C. y Bernneck, K. (2016). Storage period affects weight loss of Japanese quail eggs. *Brazilian Journal of Poultry Science*, 18 (4), 589–592. <https://doi.org/10.1590/1806-9061-2015-0178>

- Rosario, J. y Nieves, D. (2015). Producción y calidad de huevos de codornices alimentadas con dietas con harina de residuos aserrados de carnicerías. *Revista Científica de la Facultad de Ciencias Veterinarias de la Universidad del Zulia*, 25 (2), 139–144. <https://doi.org/0798-2259>
- Santos, T. C., Murakami, A., Oliveira, C., De Moraes, G., Stefanello, C., Carneiro, T., Feitosa, C. y Kaneko, I. (2015). Influence of European quail breeders age on egg quality, incubation, fertility and progeny performance. *Brazilian Journal of Poultry Science*, 17 (1), 49-56. <https://doi.org/10.1590/1516-635x170149-56>
- Satan-Chuim, J.R. (2020). Comportamiento productivo y calidad del huevo de la codorniz (*Coturnix coturnix japonica*) en etapa de postura en condiciones del CIPCA. Tesis Lic., Universidad Estatal Amazónica. Pastaza, Ecuador. <https://repositorio.uea.edu.ec/handle/123456789/735>
- Silva, Y. L., Fernandes, T., Muniz, E., Marengoni, N., De Oliveira Carvalho, P. y Silva, N. (2020). Effect of storage time and temperature on the quality of Japanese quail eggs. *Boletim de indústria animal*, 77, 1-16. <https://doi.org/10.17523/bia.2020.v77.e1489>
- Sousa-Santos, J., Galvão-Maciel, S., Costa Seixas, L. y de Araujo, J. (2016). Parâmetros avaliativos da qualidade física de ovos de codornas (*Coturnix coturnix japônica*) em função das características de armazenamento. *Desafios - Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins*, 3 (1), 54-67. <https://doi.org/10.20873/uft.2359-3652.2016v3n1p54>
- Stoddard, M. C., Yong, E., Akkaynak, D., Sheard, C., Tobias, J. y Mahadevan, L. (2017). Avian Egg Shape: Form, Function, and evolution. *Science*, 356 (6344), 1249-1254. [10.1126/science.aaj1945](https://doi.org/10.1126/science.aaj1945)
- Tunsaringkarn, T., Tungjaroenchai, W. y Siriwong, W. (2013). Nutrient benefits of quail (*Coturnix coturnix japonica*) eggs. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 3 (5), 1-8.

- Valle-Muñoz, S.A., Bustamante-Castro, M.G., Argentina-Rodríguez, R., Vivas, J.A. y Guillet, H. (2015). Manual: crianza y manejo de codornices. Tesis Grad., Universidad Nacional Agraria. <https://repositorio.una.edu.ni/id/eprint/3323>
- Villacís-Vivar, L.P. y Vizhco-Minchala, I.C. (2016). Evaluación de dos tipos de fitasa sobre la productividad y calidad del huevo en codornices. Tesis Pregrad., Universidad de Cuenca. Cuenca, Ecuador. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/23619>
- Vlčková, J., Tůmová, E., Míková, K., Englmaierová, M., Okrouhlá, M. y Chodová, D. (2019). Changes in the quality of eggs during storage depending on the housing system and the age of hens. *Poultry Science*, 98 (11), 6187-6193. <https://doi.org/10.3382/ps/pez401>
- Wang, X., Wu, S., Zhang, H., Yue, H., Qi, G. y Li, J. (2015). Effect of dietary protein sources and storage temperatures on egg internal quality of stored shell eggs. *Animal Nutrition*, 1 (4), 299-304. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2015.12.003>
- Zamora-Sanabria, R. y Chacón-Villalobos, A. (2021). Consumo y venta del huevo de codorniz en Costa Rica. *Nutrición Animal Tropical*, 15 (2), 162-182. <https://doi.org/10.15517/nat.v15i2.49418>