

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE AGRONOMÍA
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA



**EFFECTO DE LA ADICIÓN DE HARINA DE CÁSCARA DE NARANJA
Y CASCARÓN DE HUEVO A DIETAS DE CODORNICES JAPONESAS
(*Coturnix japonica*) DE POSTURA**

TESIS
QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER
EL GRADO DE MAESTRÍA EN CIENCIA ANIMAL

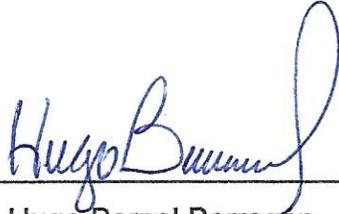
PRESENTA

MVZ CARLOS ALFREDO GAONA RODRÍGUEZ

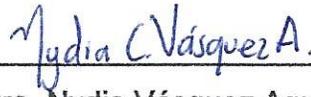
JUNIO 2021

EFFECTO DE LA ADICIÓN DE HARINA DE CÁSCARA DE NARANJA
Y CASCARÓN DE HUEVO A DIETAS DE CODORNICES JAPONESAS
(*Coturnix japonica*) DE POSTURA

Comité de Tesis



Dr. Hugo Bernal Barragan
Director de Tesis



Dra. Nydia Vásquez Aguilar
Co-Directora de Tesis



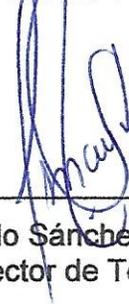
Dra. Estela Garza Brenner
Co-Directora de Tesis



Dr. Néstor Arce Vázquez
Co-Director de Tesis



Dr. Jaime Hernández Escareño
Co-Director de Tesis



Dr. Fernando Sánchez Dávila
Co-Director de Tesis

DEDICATORIA

A mi madre Ana Esmeralda Rodríguez Piñeros, quien fue una mujer incansable y bondadosa, desde siempre lo dio todo por sus hijos con el amor más grande y puro. Sus enseñanzas me guiarán en toda mi vida, para seguir el camino de la rectitud y la verdad.

Desde un lugar mejor está viendo este logro con la alegría que siempre demostró, te amo eternamente madre, gracias por todo y seguiré luchando siempre...

AGRADECIMIENTO

Al Posgrado Conjunto Agronomía – Veterinaria por el apoyo y acompañamiento en este proceso de formación, gracias por toda la asesoría y el respaldo que me brindaron.

Al Dr. Hugo Bernal Barragán por todo su tiempo y conocimientos compartidos, por las experiencias que me permitió vivir durante mis estudios de maestría, por la ayuda brindada en los momentos de dificultad y quedo muy agradecido por la oportunidad y enseñanzas que me brindo para ser un mejor profesional.

A la Dra. Nydia Vásquez Aguilar por todo el apoyo brindado académicamente y por las palabras motivacionales, siendo como un protón (+).

Al Dr. Néstor Arce Vázquez por su acompañamiento en el desarrollo de este trabajo.

A mi Comité de tesis por la ayuda y asesoría prestada para la culminación de este trabajo.

Al Dr. Rogelio Ledezma Torres por todo el apoyo brindado y por siempre hacerme saber que podía contar con su ayuda.

Al Dr. Uziel Castillo Velázquez por todo el acompañamiento y confianza desde el primer semestre, por su guía y consejos brindados.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada para cumplir con mi formación.

A mis compañeros de la maestría por todos los momentos vividos en esta etapa.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
ÍNDICE DE CONTENIDO	iii
ÍNDICE DE CUADROS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
LISTA DE SIMBOLOS Y ABREVIATURAS	xiii
RESUMEN	x
ASBTRACT	xi
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. JUSTIFICACIÓN	3
1.2. HIPÓTESIS	4
1.3. OBJETIVOS	4
1.3.1. Objetivo General	4
1.3.2. Objetivos Específicos	4
2. REVISIÓN DE LITERATURA	5
2.1. La codorniz japonesa	7
2.1.1. Características de la especie	7
2.1.2. Potencial zootécnico	8
2.1.3. Calidad física del huevo	9
2.1.4. Aporte nutricional del huevo de codorniz	10
2.1.5. Generalidades del sistema digestivo de la codorniz	11
2.1.6. Requerimientos nutricionales de la codorniz japonesa	13
2.2. Cáscara de naranja	16
2.2.1. Usos en la alimentación de aves	17
2.3. Cascarón de huevo	18
2.3.1. Composición mineral	19
2.3.2. Utilización de cascarón de huevo en dietas para aves	19
2.3.3. Estado sanitario del cascarón de huevo de descarte	20
3. MATERIALES Y MÉTODOS	22
3.1. Ubicación del experimento	22
3.2. Consideraciones éticas	22

3.3. Condiciones ambientales, animales y tratamientos	22
3.4. Dietas experimentales	23
3.5. Evaluación de la calidad física del huevo	26
3.6. Análisis proximal y contenido de energía de dietas, huevo y excretas	28
3.7. Evaluación de microorganismos en harina de cascarón y dietas	29
3.7.1. Técnica de cuenta viable en placa (CPV)	29
3.7.2. Técnica del número más probable (NMP)	29
3.8. Análisis estadístico	30
4. RESULTADOS	31
4.1. Entorno ambiental del experimento	31
4.2. Datos productivos de las codornices	32
4.2.1. Datos productivos de las codornices hembra	32
4.2.2. Datos productivos de las codornices macho	34
4.3. Utilización de nutrientes	37
4.3.1. Consumo, excreción y utilización de MS y cenizas en hembras	37
4.3.2. Consumo, excreción y utilización de MS y cenizas en machos	38
4.3.3. Consumo, excreción y utilización de proteína y energía en hembras	39
4.3.4. Consumo, excreción y utilización de proteína y energía en machos	40
4.4. Evaluación del método para análisis de la calidad física del huevo	41
4.5. Características de la calidad física del huevo	43
4.6. Colorimetría de la yema de huevo	44
4.7. Estado sanitario de dieta y harina de cascaron	46
5. DISCUSIÓN	47
5.1. Rendimiento productivo	47
5.2. Utilización de nutrientes por las hembras	49
5.3. Características de la calidad física del huevo	52
5.4. Colorimetría de la yema de huevo	54
6. CONCLUSIONES	57
7. BIBLIOGRAFÍA	58

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.	Composición (base húmeda) de algunos macronutrientes (%) y energía (kcal/kg) de huevo de codorniz, según varios autores.	11
Cuadro 2.	Requerimientos nutricionales de la codorniz japonesa (<i>Coturnix japonica</i>) para la etapa de postura (expresados para una dieta con 90% MS), publicados por NRC, (1994), Abou-Elkhair <i>et al.</i> , (2020), y Ashour <i>et al.</i> , (2020).	15
Cuadro 3.	Valor nutricional (g/kg MS) de la cáscara de naranja (Vásquez, 2014)	16
Cuadro 4.	Distribución de unidades experimentales por grupo	23
Cuadro 5.	Dietas formuladas (kg) para la alimentación de codornices en etapa de postura con 4 niveles de inclusión de harina de cáscara de naranja (0, 5, 10 y 15%) y harina de cascarón de huevo (0, 1, 2, y 3%).	24
Cuadro 6.	Composición química (%) y contenido energético (kcal/kg) de las dietas formuladas para la alimentación de codornices en etapa de postura con 4 niveles de inclusión de harina de cáscara de naranja (0, 5, 10 y 15%) y harina de cascarón de huevo (0, 1, 2, y 3%) (Resultados de análisis, n = 3, expresados en base tal como ofrecido).	25
Cuadro 7.	Datos productivos de codornices hembra alimentadas con cuatro niveles de harina de cáscara de naranja (0%, 5%, 10% y 15%) y de harina de cascarón de huevo (0%, 1%, 2% y 3%).	32

Cuadro 8.	Parámetros productivos de codornices macho alimentadas con cuatro niveles de harina de cáscara de naranja (0%, 5%, 10% y 15%) y de harina de cascarón de huevo (0%, 1%, 2% y 3%).	35
Cuadro 9.	Consumo, excreción y utilización de MS y cenizas por tratamiento de codornices hembra utilizadas en esta investigación durante 4 días de la 5 semana de experimentación.	37
Cuadro 10.	Utilización de MS y cenizas por tratamiento de codornices macho utilizados en esta investigación durante 4 días de la 5 semana de experimentación.	38
Cuadro 11.	Utilización de proteína y energía bruta por tratamiento de codornices hembra utilizadas en esta investigación durante 4 días de la 5 semana de experimentación.	39
Cuadro 12.	Utilización de proteína y energía bruta por tratamiento de codornices macho utilizados en esta investigación.	40
Cuadro 13.	Efecto del tipo de método aplicado en los huevos de codorniz sobre las mediciones de calidad física de huevo.	41
Cuadro 14.	Efecto de la inclusión de cuatro niveles de harina de cáscara de naranja (0%, 5%, 10% y 15%) y de harina de cascarón de huevo (0%, 1%, 2% y 3%) en la dieta para codornices sobre la calidad física del huevo.	43
Cuadro 15.	Valores de colorimetría (a^* , b^* , c^* , h^* y L^*) de yema de huevo de codornices alimentadas con cuatro niveles de harina de cáscara de naranja (0%, 5%, 10% y 15%) y de harina de cascarón de huevo (0%, 10%, 20% y 30%) en la dieta.	45

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Temperatura y humedad diaria promedio durante la etapa experimental (35 días)	31
Figura 2.	Peso vivo de codornices hembra en etapa de postura alimentadas con cuatro niveles de harina de cáscara de naranja (0%, 5%, 10% y 15%) y de harina de cascarón de huevo (0%, 1%, 2% y 3%) durante un periodo de 5 semanas.	33
Figura 3.	Peso vivo de codornices macho alimentadas con cuatro niveles de harina de cáscara de naranja (0%, 5%, 10% y 15%) y de harina de cascarón de huevo (0%, 1%, 2% y 3%) durante un periodo de 5 semanas.	36

LISTADO DE SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS

HCN	Harina de cáscara de naranja
HCH	Harina de cascarón de huevo
g	Gramos
kg	Kilogramo
cm²	Centímetros cuadrados
kcal	Kilocalorías
mg	Miligramos
IU	Unidades internacionales
ME	Energía metabolizable
Mín	Mínimo
Máx	Máximo
CaCO₃	Carbonato de calcio
FDA	Administración de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos
NRC	National Research Council
MS	Materia seca
FDN	Fibra neutro detergente
FDA	Fibra ácido detergente
h	Horas
a*	Coeficiente de color de tendencias de verde a rojo
b*	Coeficiente de color de tendencias de azul a amarillo
L*	Luminosidad (tendencia de color negro a blanco)

c*	Saturación
h*	Tono de color
PC	Proteína cruda
EEM	Error estándar de la media
°C	Grados centígrados
N	Nitrógeno
PB	Proteína bruta
CPV	Cuenta viable en placa
NMP	Número más probable
cm	Centímetros
µm	Micrómetro
UFC	Unidades formadoras de colonia

RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de la inclusión de 0, 5, 10 y 15% de harina de cáscara de naranja (HCN) en combinación con 0, 1, 2 y 3% de harina de cascarón de huevo (HCH) en dietas para codornices japonesas (*Coturnix japonica*) de postura, sobre el rendimiento productivo, la utilización de nutrientes, la calidad física y sanitaria del huevo. Se utilizaron 52 codornices (34 hembras y 18 machos) de 7 semanas de edad alojadas individualmente y asignadas al azar (n = 13) a las cuatro dietas. Se utilizó un diseño completamente al azar, el análisis estadístico se realizó empleando el software SPSS® y las comparaciones de medias con Tukey. El peso vivo final fue de 257.9 g, el consumo de alimento fue de (34.4 g / d) y la producción de huevos (6.7 huevos/semana) fue similar (P > 0.05) entre los tratamientos. El peso del huevo de las codornices alimentadas con T1 y T2 fue mayor en comparación con T3 y T4 (12.26 vs 11.58 g; P < 0.05). El cascarón de huevo de las aves alimentadas con T2 fue más grueso (P < 0.05) que con T1 (248 vs 236 µm) y la proporción de cascarón de huevo de las codornices alimentadas con la mezcla fue mayor (P < 0.05) que en T1 (11.3 vs 10.5%). La proporción de yema de T1 fue mayor (31.7%; P < 0.05). El parámetro b * fue menor (P < 0.05) para T1. La utilización metabolizable de MS dietética (72.1%) y energía (68.8%) de T1 fue 13% mayor (P < 0.05) que T4, sin embargo, la utilización de proteína (promedio 41.4%) fue similar (P > 0.05) entre los tratamientos. La inclusión de harina de cáscara de naranja (5, 10 y 15%) y harina de cascarón de huevo (1, 2 y 3%) no afectan el consumo de alimento, ni la conversión alimenticia de las aves, sin embargo, si mejora el peso vivo, peso de los huevos, índice de forma, el grosor y porcentaje de cascarón, así como el cambio de las yemas a un color amarillo más intenso.

ABSTRACT

In order to evaluate the effect of including 0, 5, 10 and 15% of orange peel flour (HCN) combined with 0, 1, 2 and 3% of eggshell flour (HCH) in diets for laying Japanese quail (*Coturnix japonica*), on the productive performance, nutrients utilization, as well as the physical and sanitary egg quality, fifty-two 7-week-old quails (34 females and 18 males) were housed individually and randomly assigned (n = 13) to the four diets. The experiment was a completely randomized design, statistical analysis was performed using SPSS® software and mean comparisons with Tukey. Final PV (mean 2579 g), feed consumption (34.4 g / d) and egg production (6.7 eggs / week) were similar (P>0.05) among treatments. Egg weight of the quails fed with T1 and T2 was higher compared to T3 and T4 (12.26 vs 11.58 g; P <0.05). The eggshells of the birds fed with T2 were thicker (P<0.05) than T1 (248 vs 236 µm) and the eggshells proportion by the quails fed the diets including HCN and HCH was higher (P <0.05) than in T1 (11.3 vs 10.5%). The yolk proportion of T1 was higher (31.7%; P <0.05). The parameter b * was lower (P <0.05) for T1. The metabolizable use of dietary DM (72.1%) and energy (68.8%) of T1 was 13% higher (P <0.05) than T4, however, the protein utilization (average 41.4%) was similar (P>0.05) among treatments. The inclusion of dried citrus meal (5, 10 and 15%) and eggshell meal (1, 2 and 3%) did not affect the feed consumption, nor the feed conversion of the birds, however, it improved the average body weight, egg weight, egg shape index, shell thickness and shell percentage, also allowed to obtain yolks with more intense yellow color.

1. INTRODUCCIÓN

Los productos avícolas tienen una gran demanda a nivel nacional e internacional. Dentro de la industria avícola, la coturnicultura se encarga de la producción de codornices y sus productos, entre los cuales destacan la carne y el huevo.

La codorniz comienza su postura alrededor de los 42 días de edad (Moura *et al.*, 2008), generalmente su ciclo productivo es de 12 meses, puede tener un promedio de postura de 250-300 huevos/ave (Pinto *et al.*, 2002). El huevo de codorniz presenta una destacable composición nutricional, formado por 72% de humedad, 13.3% de proteína cruda, 12.4% de grasa cruda, 1.0% de ceniza, y 1.72% de carbohidratos (Sharaf, 2011).

Para mantener esta eficiencia productiva y calidad nutricional, se requiere alimentación que cubra las necesidades nutrimentales de la especie (NRC, 1994; Altine *et al.*, 2016), permitiendo así la expresión del máximo potencial genético de las codornices. De acuerdo con Applegate y Angel (2014), actualmente se busca no solo prevenir una deficiencia nutricional, sino también optimizar el crecimiento o la producción de huevos.

Lo anterior va acompañado de buenas prácticas sanitarias (Sakomura y Rostagno, 2007) y bienestar animal, evitando el estrés de las aves y que provoque una reducción de los índices de fertilidad y rasgos de calidad del huevo (El-Tarabany, 2016).

Actualmente la industria de alimentos para animales utiliza mayormente granos (ejemplo maíz, sorgo, etc.) como fuentes de energía y las harinas de semillas oleaginosas (harina de soya, etc.) como principal fuente de aminoácidos (NRC, 1994; Dagher y Murtada, 2018). Sin embargo, existen fuentes alternativas que no han sido investigadas en la alimentación animal, que resultan atractivas por su disponibilidad local y aporte nutricional.

Entre las fuentes alternativas se tiene la cáscara de naranja que aporta, por kg de MS, 82 g de proteína cruda, 35 g de extracto etéreo, 609 g carbohidratos y 51 g de ceniza (Vásquez, 2014).

Por otro lado, el cascarón de huevo debido a su composición mineral, aporta 38.1 % de calcio, 0.15 % de fósforo, 0.42 % de magnesio, 1.6 ppm de hierro, 2.8 ppm de zinc y 6.2 ppm de cobre (Küçükyılmaz y Bozkurt, 2017), puede ser aprovechado en dietas para codornices, siempre que tenga una calidad sanitaria adecuada.

En años recientes se ha despertado gran interés por la evaluación de recursos alternativos de alimentación, para determinar en qué medida pueden ser implementados y divulgar los datos obtenidos sobre estas fuentes (FAO, 2017). La harina de cáscara de naranja, por ejemplo, pudiese sustituir total o parcialmente materias primas convencionales como el maíz, que representan costos mayoritarios en la alimentación, y de las cuales México es un gran dependiente de importaciones (Moreno *et al.*, 2016).

Por sus componentes nutricionales y disponibilidad local, en este estudio se tomó como candidatos a evaluar a la harina de cáscara de naranja y la harina de cascarón de huevo de gallina como fuentes no convencionales en formulaciones de alimento balanceado para codornices de postura.

1.1. JUSTIFICACIÓN

El Estado de Nuevo León, México, es un importante productor cítrica y avícola, y cuenta con agroindustrias que procesan naranja para producir jugo y huevo líquido. Esto representa una oportunidad relacionada con alta biodisponibilidad de cáscara de naranja y cascarón de huevo, que pueden ser evaluados por sus aportes nutricionales.

Lo anterior, junto con el creciente interés de los últimos años en la investigación de nuevas fuentes alternativas de alimentación, crean una razón importante para que estos subproductos sean estudiados.

Adicionalmente, existe la necesidad de investigar alimentos alternativos a los convencionales, pues estos podrían significar mayor rentabilidad, y ser materias primas alternativas que podrían ser beneficiosas e influir positivamente sobre los parámetros productivos y de calidad del huevo de codorniz.

Se espera que los resultados de esta investigación tengan impacto para ser utilizados, donde se encuentren disponibles las harinas de cáscara de naranja y de cascarón de huevo, y podrían ser incluidas a las dietas de aves de postura, teniendo esto un impacto positivo sobre la huella de carbono de los sistemas agropecuarios que las utilicen.

1.2. HIPÓTESIS

Las harinas de cáscara de naranja y de cascarón de huevo integradas a la dieta de codornices de postura mejoran la eficiencia productiva, la utilización de proteína cruda y energía, y la calidad física y nutricional, sin afectar la calidad sanitaria del alimento.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo General

Evaluar el efecto conjunto de la inclusión de diferentes niveles de harina de cáscara de naranja y harina de cascarón de huevo en la dieta para codornices de postura, sobre los parámetros productivos, utilización de proteína cruda y energía y la calidad física, nutricional y sanitaria del alimento.

1.3.2. Objetivos Específicos

1. Evaluar la ganancia de peso, la eficiencia alimenticia, la utilización de nutrientes y la producción y propiedades fisicoquímicas del huevo.
2. Comparar la colorimetría de la yema de los huevos.
3. Cuantificar la carga de mesófilos aerobios y coliformes totales de las dietas y harina de cascarón de huevo.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

El huevo es un alimento de bajo costo, que aporta nutrientes con potenciales beneficios para la salud humana, lo que lo hace un valioso contribuyente de una dieta balanceada y saludable (Dussailant *et al.*, 2017). Su importancia radica en que ofrecen una fuente de calorías moderada, proteína de excelente calidad, gran versatilidad culinaria y bajo costo económico, que hacen que los huevos estén al alcance a la mayoría de la población mundial (Miranda *et al.*, 2015).

En México el consumo de huevo ha demostrado un crecimiento continuo. En el año 2019 el consumo *per capita* en México fue de 23.3 kg de huevo, esto es el mayor consumo *per capita* de huevo en el mundo. Se estima que para 2030 el consumo de huevo per cápita en México alcanzará los 32.9 kg por año (Mendoza *et al.*, 2016; UNA, 2020).

En México se reportó en el año 2019 una producción de 2,886,736 ton de huevo. El Estado de Nuevo León participa con alrededor del 3% de la producción nacional (UNA, 2020), sin embargo, los datos de participación de la producción de codorniz y sus subproductos específicamente, a nivel mundial y nacional son limitados (Tserveni-Goussi y Fortomaris, 2011).

Dentro de la industria de la producción de huevos se destaca la coturnicultura, una actividad zootécnica que tiene como finalidad la producción de codornices y sus subproductos como la carne y el huevo principalmente. Con su pequeño tamaño, rápido crecimiento, alta productividad y costo relativamente bajo de cría, las codornices se adaptan bien a la producción comercial, por lo cual han sido

introducidas y promovidas por entidades agropecuarias a nivel mundial para aumentar la disponibilidad de fuentes de proteínas de alta calidad (Shanaway, 1994).

Se conoce que alrededor del 10% de todos los huevos de mesa en el mundo provienen de codornices y su carne representa aproximadamente el 0.2% de la producción avícola mundial. La población de codornices domésticas involucradas en la producción de carne y huevos representa alrededor del 11.8% de todas las aves productivas, ubicándolas en segundo lugar después de las gallinas ponedoras (Lukanov, 2019).

A nivel mundial, la producción principal de huevos de codorniz se concentra en Asia Oriental y Brasil, y la carne de codorniz se consume principalmente en Europa, Estados Unidos y China (Baumgartner, 1994; Minvielle, 1998; 2004).

Los datos precisos y completos de producción de huevos de codorniz son limitados debido a que con frecuencia se agrupan con la producción de huevo de otras aves de corral, por lo que algunos países simplemente no se registran estos datos específicos oficialmente (Arthur y Bejaei, 2017).

Se han obtenido datos de países sudamericanos como Brasil, donde reportaron un inventario de 15,281,681 codornices en 2017 (Instituto Brasileiro de Geografía e Estatística, 2018). En países asiáticos como Japón se registró un inventario de 5,900,000 codornices en 112 granjas comerciales en el 2008 (Sugiura *et al.*, 2009) y finalmente China, se conoce como el más grande productor de carne y huevos de codorniz produciendo entre 146,000 y 190,000 toneladas de carne y

aproximadamente 90,000 millones de huevos anualmente (da Cunha, 2009). Las estadísticas de producción de huevo de codorniz no están disponibles para los Estados Unidos y Canadá, donde es una actividad secundaria a la producción de carne (Arthur y Bejaei, 2017).

2.1. La codorniz japonesa

La codorniz pertenece al orden Galliformes, familia Fasiánidas, siendo la codorniz doméstica o codorniz japonesa (*Coturnix coturnix japonica*) la especie más utilizada en la coturnicultura a nivel mundial por sus destacables características zootécnicas (Lázaro *et al.*, 2005).

2.1.1. Características de la especie

Los pollitos de codorniz japoneses pesan entre 6 y 8 g a la edad de 1 día. Los polluelos tienen un dorso y alas de color marrón claro, con rayas de color marrón negruzco en la parte posterior. Las plumas juveniles aparecen a las 3 - 4 semanas y las plumas adultas típicamente a las 6 semanas. La coloración de las plumas puede variar según la cepa y el sexo, y la identificación sexual por coloración se puede hacer alrededor de las 2 - 3 semanas de edad (Homma *et al.*, 1966; Cheng *et al.*, 2010).

Los adultos son de color marrón, los machos con una garganta de color marrón rojizo, un pecho de color naranja-marrón y abdomen de color crema pálido. Las hembras adultas son similares a los machos, excepto que tienen una garganta y un

pecho de color blanco cremoso con puntos marrones oscuros (Cheng y Kimura, 1990).

2.1.2. Potencial zootécnico

Las características de las codornices mencionadas anteriormente hacen que la coturnicultura requiera de espacios físicos reducidos (Hurtado *et al.*, 2015). Las codornices japonesas generalmente, en condiciones comerciales se mantienen en jaulas, pero también se pueden mantener en sistemas de piso de cama profunda. Un espacio mínimo permitido para codornices es de 145 cm² cuando se crían en pisos y de 125 cm² cuando se crían en jaulas. Las codornices criadas en condiciones intensivas requieren atención adecuada y programas de prevención y control de enfermedades (Tserveni-Goussi y Fortomaris, 2011).

Las principales características de reproducción de las codornices japonesas se pueden resumir de la siguiente manera: edad de madurez de 6 - 7 semanas, edad de producción máxima de huevos de 7 - 8 semanas, aunque otros autores han reportado de 9 - 12 semanas (Minvielle *et al.*, 2000; Narinc *et al.*, 2013).

Otras características destacables de las codornices es que pueden tener una esperanza de vida de 2.5 años, el macho adulto puede pesar de 100 - 140 g mientras que la hembra adulta de 120 - 160 g, período de incubación y eclosión 17 - 18 días, peso del huevo 6 - 16 g, producción de huevos de hasta 280 - 300 huevos / ave en el primer año (Reddish *et al.*, 2003; Sezer, 2007; Bertechini, 2012). El rápido retorno productivo y el poco espacio que se requiere para la producción

de codornices, la convierten en una actividad de interés económico (Hurtado *et al.*, 2015).

2.1.3. Calidad física del huevo

La calidad del huevo es necesaria y se puede describir su importancia desde tres perspectivas diferentes:

a. Incubación. Las propiedades físicas de los huevos de codorniz juegan un papel fundamental en el desarrollo del embrión y tienen el potencial de satisfacer las demandas de los embriones de codorniz de rápido crecimiento (Bai *et al.*, 2019) con respecto a la nutrición, la protección física y el posterior procedimiento de eclosión suave para producir pollitos viables.

Tanto los parámetros de calidad externa del huevo, como el peso del huevo, las características de la cáscara, el área de la superficie del huevo y el volumen del huevo, y los rasgos internos, como la altura y el peso de la yema y la albúmina pueden influir directa o indirectamente en los resultados de la incubación (Boleli *et al.*, 2016).

El peso del huevo afecta tanto la incubación como el peso de la cría (Iqbal *et al.*, 2016). De manera similar, los rasgos internos de la calidad del huevo, como el contenido de yema y albúmina, influyen en el desarrollo del embrión y la viabilidad de las crías (Sahan *et al.*, 2014).

b. Consumidor. La calidad del huevo generalmente se define en relación a los requisitos de los consumidores, empleando métodos que determinan características generales del huevo con la cáscara intacta (frescura, peso,

tamaño y forma, apariencia de la cáscara) y la calidad de las partes del huevo (albúmina, yema y cáscara de huevo).

Además, la industria moderna requiere criterios específicos de integridad del huevo para una comercialización adecuada, así como de la integridad y del color del cascarón, que influyen significativamente en la percepción visual de los consumidores y, en consecuencia, en su aceptación en el mercado (Maxkwee *et al.*, 2014).

c. Productor. Huevos con forma más alargada y picos pronunciados tienen más riesgo de que se quiebren. Este riesgo es maximizado en huevos con menor grosor de cascarón, lo cual representa mermas económicas por huevos quebrados. Adicionalmente, la integridad y resistencia del cascarón del huevo durante el almacenamiento está relacionada con la seguridad de la salud humana (Genchev, 2012). Estas características del cascarón son importantes para prevenir la pérdida de agua, la penetración microbiana y la difusión prematura de gases lo cual afecta negativamente la calidad sanitaria y frescura del huevo (Cook *et al.*, 2005). Industrialmente un huevo con forma más circular dificulta el trabajo manual y/o automatizado en el proceso de embalaje.

2.1.4. Aporte nutricional del huevo de codorniz

Los valores nutricionales de los huevos de codorniz son más altos que otros huevos, ya que son fuentes ricas en antioxidantes, minerales y vitaminas, y brindan una mayor cantidad de nutrientes que otros alimentos. El consumo regular de huevos

de codorniz ayuda a combatir enfermedades y a fortalecer el sistema inmunológico (Shibi *et al.*, 2016).

El tipo de ave, edad, raza, ciclo de postura y el tipo de alimentación tienen una influencia directa sobre los niveles de nutrientes en el huevo. La composición de algunos nutrientes contenidos en el huevo (Cuadro 1), se pueden modificar mediante el cambio de los ingredientes en las dietas de ponedoras (Degollado, 2017).

Cuadro 1. Composición (base húmeda) de algunos macronutrientes (%) y energía (kcal/kg) de huevo de codorniz, según varios autores.

Nutriente	McNamara, 2005	Sharaf, 2011	Shibi <i>et al</i> , 2016
Humedad (%)	74.40	71.50	70.94
Energía bruta (kcal/kg)	1580	-	1993
Proteína (%)	13.10	13.30	13.30
Extracto etereo (%)	11.10	12.43	11.99
Total cenizas (%)	-	1.05	1.07

2.1.5. Generalidades del sistema digestivo de la codorniz

El sistema digestivo de las codornices tiene gran similitud con el de otras especies de aves, generalmente consta de la cavidad orofaríngea, el tracto gastrointestinal y sus apéndices glandulares. El sistema digestivo comienza con la boca que está rodeada por una estructura queratinizada conocida como pico que difiere en su

forma según la variedad de codorniz y su método de alimentación en la naturaleza; tiene un papel fundamental ya que contribuye significativamente a la obtención del alimento (Taha y AL-Duleemy, 2020).

La boca está conectada al esófago, que se divide en tres partes, que son el esófago cervical, el buche y el esófago torácico luego el estómago, que consta de dos partes, el proventrículo y la molleja (Shehan, 2012)

El proventrículo es responsable de la digestión química, posee glándulas que forman el mayor espesor de la pared proventricular, las cuales se abren en el ápice de esta papila por conductos que elaboran pepsinógeno, ácido clorhídrico y secreción de moco en la luz del estómago (Liman *et al*, 2010).

La molleja es responsable de la digestión mecánica (Hamdi *et al*. 2013), por tanto, es mucho más grande y musculosa que el proventrículo, tiene la función de moler la comida. Esta acción de trituración de la molleja prepara la comida para una mayor digestión en el intestino delgado (El-Galil *et al*, 2011).

El intestino delgado se divide en tres porciones: duodeno, yeyuno e íleon. En el intestino delgado desembocan los conductos enzimáticos del páncreas y los conductos biliares, allí se realiza la mayor parte de la digestión química y la absorción de nutrientes (König *et al.*, 2016).

El intestino grueso de la codorniz incluye el ciego y el recto, en contraste con los mamíferos, las aves de corral domésticas tienen dos grandes ciegos. Comienzan en la transición entre el íleon y el recto y están conectados al íleon terminal. Cada ciego está ricamente dotado de tejido linfático, a veces denominado amígdalas

cecales, en este sitio se lleva a cabo la digestión de polisacáridos vegetales como la celulosa (König *et al.*, 2016).

Cada ciego se comunica con el recto, el cual es el segmento final del intestino en donde se lleva a cabo absorción de agua y da paso a la cloaca. La cloaca es el conducto excretor común de los sistemas digestivo y urogenital. La zona de la cloaca donde desemboca el recto se denomina coprodeo (König *et al.*, 2016).

Al mismo tiempo, las glándulas integran y cumplen una importante función en la digestión, están presentes en la cavidad orofaríngea, lengua, pared esofágica y proventrículo, así como glándulas adheridas al sistema digestivo, el hígado y el páncreas (Aksoy y Cinar, 2009)

2.1.6. Requerimientos nutricionales de la codorniz japonesa

La codorniz consume alimento con el fin de satisfacer sus necesidades energéticas y nutritivas. En gran medida, el contenido energético de la dieta determina la cantidad de alimento que consumirá, y en esa cantidad se deben incluir las cantidades necesarias de proteínas, aminoácidos, minerales y vitaminas que la codorniz requiere (Gamal, 2005).

Por tal motivo es indispensable que el alimento sea elaborado utilizando ingredientes de buena calidad nutricional, y que esté correctamente balanceado conforme a los requerimientos nutricionales de las codornices, de acuerdo a la etapa productiva, el fin zootécnico y las condiciones ambientales.

Los requerimientos de energía y proteínas (Cuadro 2) deben suplirse primero, ya que estos dos constituyen los principales requerimientos nutricionales de todas las clases de animales (Lotfi *et al.*, 2018), que influyen en sus rasgos productivos y reproductivos (Gunawardana *et al.*, 2008).

La proteína proporciona los aminoácidos para el crecimiento de los tejidos y la producción de huevos. El requerimiento dietético de proteínas y aminoácidos de la codorniz está influenciado por la edad, la producción de huevos y el contenido de energía metabolizable y los ingredientes utilizados para formular las dietas (Altine *et al.*, 2016).

Cuadro 2. Requerimientos nutricionales de la codorniz japonesa (*Coturnix japonica*) para la etapa de postura (expresados para una dieta con 90% MS), publicados por NRC, (1994), Abou-Elkhair *et al.*, (2020), y Ashour *et al.*, (2020).

Nutriente	Unidad	NRC, 1994	Abou-Elkhair <i>et al.</i> , 2020	Ashour <i>et al.</i> , 2020
Energía Metabolizable	kcal ME/kg	2,900	2,979	3,012
Proteína y aminoácidos				
Proteína	%	20	19.90	19.96
Arginina	%	1.26	-	-
Glicina + serina	%	1.17	-	-
Histidina	%	0.42	-	-
Isoleucina	%	0.9	-	-
Leucina	%	1.42	-	-
Lisina	%	1.000	1.002	1.020
Metionina	%	0.450	0.454	0.450
Metionina + cistina	%	0.7	0.788	0.770
Grasa				
Ácido linoleico	%	1.0	5.9	-
Macrominerales				
Calcio	%	2.500	2.461	2.510
Cloro	%	0.14	-	-
Magnesio	mg	500	-	-
Fósforo no fítico	%	0.35	0.33	0.37
Potasio	%	0.4	-	-
Sodio	%	0.15	-	-
Minerales traza				
Cobre	mg	5	10	5
Iodo	mg	0.3	1	0.5
Selenio	mg	0.3	0.2	0.15
Zinc	mg	50	600	60
Vitaminas liposolubles				
A	IU	3,300	12,000	14,400
D	IU	900	3,000	4,800
E	IU	25	36	15
K	mg	1	3	-
Vitaminas hidrosolubles				
B12	mg	0.003	0.020	0.012
Biotina	mg	0.150	0.075	0.180
Colina	mg	25	-	-
Ácido fólico	mg	1	2	1
Ácido pantoténico	mg	15	12	12
Riboflavina	mg	4	-	9.6
Tiamina	mg	2	-	1

Autores como Alaganawy *et al.* (2014) destacan que un correcto equilibrio de los niveles de aminoácidos y energía, juega un papel esencial en el desempeño de las

codornices japonesas. Para codornices se recomienda que la dieta puede contener niveles de energía entre 2900 y 3000 kcal ME/kg y entre 22% y 26% de proteína cruda (Jahanian y Edriss, 2015; Reda *et al.*, 2015).

2.2. Cáscara de naranja

El procesamiento industrializado de la naranja ha sido enfocado mayormente a obtener su jugo. En este proceso, alrededor del 23 - 40% del peso de la naranja resulta como desechos en forma de cáscara y pulpa de naranja. Una parte de estos residuos son utilizados como alimento animal (Cerón y Cardona, 2011), caracterizados por tener la composición descrita en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Valor nutricional (g/kg MS) de la cáscara de naranja (Vásquez, 2014)

Parámetro	Promedio	Mín.	Máx.
Materia seca	895	858	932
Materia orgánica	918	832	962
Proteína cruda	82	62	156
Extracto etéreo	35	17	49
FDN	281	194	365
FDA	196	128	257
Lignina	24	9	32
Calcio	14	7	19
Fósforo	2	1	5

La cáscara de naranja contiene pigmentos naturales del grupo de los carotenoides, de gran importancia por ser fuente de provitamina A, y que además participan en la desactivación de radicales libres producidos en el metabolismo celular. Estos pigmentos también proveen colores amarillos y rojos a las plantas, y a los productos animales (Delgado-Vargas *et al.*, 2000).

El color que otorgan estos pigmentos a los huevos producidos por las codornices, puede ser medido a través de varios sistemas de colorimetría, donde se utilizan comúnmente sistemas como el CIElab, que es un modelo cromático usado normalmente para describir los colores perceptibles por el ojo humano. En este sistema, los valores combinados de las variables L * (claridad), a * (colores rojos / verdes), b * (colores amarillos/ azules), expresan el color. Los valores de h indican el tono y los valores de c indican la saturación del color (Spasevski *et al.*, 2018).

2.2.1. Usos en la alimentación de aves

Se han realizado estudios en los que se miden los efectos de la inclusión de la harina de cáscara de naranja sobre el comportamiento productivo de gallinas de postura y pollo de engorde. Sin embargo, los estudios de la adición de harina de cascarón de huevo y harina de cáscara de naranja en dietas para codornices de postura son escasos en la literatura científica.

Goliomytis *et al.*, (2018) reportaron que la suplementación dietética con 90 g de pulpa de naranja por kg de alimento, mejoró significativamente la estabilidad oxidativa de la yema de los huevos de gallinas.

Otros autores como Florou-Paneri *et al.*, (2001), evaluaron en codornices japonesas de postura, el efecto de una dieta con pulpa seca de cítricos, sobre el rendimiento de postura y algunas características de calidad del huevo durante un período de postura de 14 semanas. Indicaron que la pulpa seca de los cítricos se puede utilizar en niveles de hasta el 6% en las dietas de las codornices ponedoras sin afectar en su rendimiento.

2.3. Cascarón de huevo

En la industria de la producción y procesamiento del huevo, se generan grandes cantidades de cascarón de huevo como subproducto, el cual tiene un alto contenido de carbonato de calcio (CaCO_3). Las grandes cantidades de cascarón de huevo generados por la industria, podrían ser implementadas como alternativa de sustitución de las piedras calizas, otorgando así un valor a estos “desechos” y disminuyendo la extracción de las reservas no renovables de piedra caliza.

La harina de cascarón de huevo es una materia prima con gran potencial como fuente de calcio en la alimentación animal. De acuerdo con Moura *et al.*, (2020), la solubilidad de la harina de cascarón de huevo es mayor que la de la piedra caliza, lo que indica una mayor biodisponibilidad. Por ello, un uso alternativo del cascarón

de huevo puede ser su inclusión en la alimentación animal como fuente de calcio, en sustitución de la piedra caliza (Moura *et al.*, 2020).

2.3.1. Composición mineral

El cascarón constituye entre el 9 y el 12% del peso total del huevo. Su composición es de 1.6% de agua, 2.5% de materia orgánica, y 95% de minerales (Mann y Mann, 2013). De ellos, 93.6% aproximadamente corresponde a carbonato de calcio presente en forma de calcita, 0.8% de carbonato de magnesio y 0.73% de fosfato tricálcico.

Como el cascarón de huevo es casi totalmente formado de carbonato de calcio, y el calcio representa el 40% de la molécula de carbonato de calcio, la cantidad de calcio encontrado en un cascarón de huevo de gallina oscila entre 2.0 - 2.2 g (Rao y Roland, 1990).

2.3.2. Utilización del cascarón de huevo en dietas para aves

Se han realizado investigaciones donde utilizan la harina de cascarón de huevo como fuente de calcio en la alimentación de aves y sus principales efectos productivos.

Gongruttananun, (2011) investigó el efecto de la sustitución de piedra caliza fina con 3 porcentajes de harina de cascarón de huevo (0, 50 y 100%) como fuente de calcio en la dieta de gallinas ponedoras, sobre la producción y calidad de los huevos

producidos, entre otras características. No se encontró evidencia estadística de diferencias en el rendimiento productivo. Sus resultados indicaron que el cascarón de huevo puede ser utilizado para sustituir por completo como fuente de calcio en las dietas para ponedoras, sin mostrar efectos perjudiciales.

Moura *et al.*, (2020) evaluaron los efectos de la sustitución de piedra caliza con harina de cascarón de huevo sobre el rendimiento zootécnico de la codorniz japonesa en etapa de postura, y observaron que esta sustitución no afectó significativamente el rendimiento zootécnico, y tuvieron una eficiencia económica más alta. Estos resultados indican que el uso de harina de cascarón de huevo puede ser considerado como viable, incluso al nivel de 100% de sustitución de la piedra caliza como fuente de calcio en la alimentación de las codornices ponedoras japonesas.

2.3.3. Estado sanitario del cascarón de huevo de descarte

Como cualquier otra materia prima que componen las dietas de alimentación animal, los cascarones de huevo deben tener calidad sanitaria, esto es principalmente no tener contaminantes físicos, químicos o microbiológicos. Dentro del último grupo mencionado, la presencia de microorganismos como los mesófilos y los coliformes totales son los indicadores de calidad sanitaria.

Los huevos frescos, aun los que tienen cascarones limpios sin rajaduras, pueden tener *Salmonella spp.* y *Escherichia spp.* De igual forma, cuando se obtienen los cascarones de huevos de las plantas de procesamiento, existe una alta probabilidad

de que tenga contaminación bacteriana (Vandepopuliere *et al.*, 1978). Por ese motivo, se recomienda realizar un proceso de reducción de la carga microbiana o esterilización del producto (Yasothai y Kavithaa, 2014), antes de ser utilizadas como fuente alternativa de calcio.

Dentro de los agentes microbianos más comunes que pueden potencialmente afectar la salud de los animales y de los humanos se encuentran *Salmonella enteritidis*, *typhimurium*, y *Escherichia coli* (Rincón *et al.*, 2011). Estas bacterias no son muy resistentes a la luz solar intensa, la desecación, concentraciones elevadas de sal o altas temperaturas, por lo que un proceso térmico con calor puede ser suficiente para garantizar la eliminación del microorganismo.

Por lo tanto, la harina de cascarón de huevo sometida a un correcto proceso de sanitización, puede ser una alternativa para el aprovechamiento de los residuos sólidos del procesamiento de huevos, teniendo así la posibilidad de desarrollar una fuente alternativa orgánica y renovable de calcio en la alimentación animal, cuyas características nutricionales deben ser evaluadas.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación del experimento

La fase experimental se llevó a cabo en el Laboratorio de Nutrición y Calidad de Alimentos de la Facultad de Agronomía, de la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL), así como en el Laboratorio de Microbiología de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia (UANL), en Gral. Escobedo, Nuevo León, México.

Las cáscaras de naranja y cascarones de huevo utilizados para hacer las harinas como componente experimental de las dietas fueron adquiridas de fábrica de jugos cítricos y de granjas avícolas del área metropolitana de Monterrey – Nuevo León, México.

3.2. Consideraciones éticas

Los métodos y procedimientos en su totalidad fueron evaluados y aprobados por parte del Comité de Bioética y Bienestar Animal y el Comité de Bioseguridad e Higiene (Dictamen ID CSBH: 037) de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la UANL.

3.3. Condiciones ambientales, animales y tratamientos

Los parámetros de humedad relativa y temperatura ambiental se registraron diariamente mediante un termómetro – higrómetro digital (TFA-Dostmann, Alemania).

La prueba de alimentación tuvo una duración de 35 días. Antes de este periodo se dieron a las codornices 1 semana de adaptación al entorno y dietas experimentales.

Un total de 52 aves (34 hembras y 18 machos) de 7 semanas de edad, de 3 variedades de codorniz japonesa: Isabelle, Blanca y Tuxedo se asignaron aleatoriamente (Christaki *et al.*, 2011) a cuatro tratamientos (Cuadro 4), consistentes en 4 dietas con diferentes niveles de harina de cáscara de naranja y harina de cascarón de huevo.

Cuadro 4. Distribución de unidades experimentales por grupo

Tratamiento	Hembras (n)	Machos (n)	Total (n)
1.- Control (Dieta convencional)	8	5	13
2.- Harina de cáscara de naranja al 5% + harina de cascarón de huevo al 1%	8	5	13
3.- Harina de cáscara de naranja al 10% + harina de cascarón de huevo al 2%	9	4	13
4.- Harina de cáscara de naranja al 15% + harina de cascarón de huevo al 3%	9	4	13

3.4. Dietas experimentales

Cuatro dietas experimentales isoproteicas e isoenergéticas a base de sorgo molido, harina de soya y carbonato de calcio (Cuadro 5) se formularon para cubrir los requerimientos para codornices de postura publicados por NRC, (1994) y Altine *et al.* (2016).

Cuadro 5. Dietas formuladas (kg) para la alimentación de codornices en etapa de postura con 4 niveles de inclusión de harina de cáscara de naranja (0, 5, 10 y 15%) y harina de cascarón de huevo (0, 1, 2, y 3%).

	Tratamientos			
	T1	T2	T3	T4
Cáscara de naranja (%)	0	5	10	15
Cascarón de huevo (%)	0	1	2	3
Sorgo	479.00	423.00	363.00	304.45
Cáscara de naranja	0.00	50.00	100.00	150.00
Harina de soya	361.00	364.00	370.00	375.00
Aceite vegetal	44.00	49.00	55.00	61.00
Fosfato monocálcico	4.15	4.15	4.15	4.15
Carbonato de Calcio	97.00	85.00	73.00	61.00
Cascarón de huevo	0.00	10.00	20.00	30.00
Sal	3.50	3.50	3.50	3.50
L-Lisina (78%)	4.50	4.50	4.50	4.25
DL-Metionina (99%)	3.00	3.00	3.00	2.80
L-Treonina (99%)	0.50	0.50	0.50	0.50
L-Triptófano (99%)	0.20	0.20	0.20	0.20
Fitasa (G5000)	0.05	0.05	0.05	0.05
Cloruro de Colina (60%)	0.60	0.60	0.60	0.60
Premix Vit+Min*	2.50	2.50	2.50	2.50
	1000.0	1000.0	1000.0	1000.0

*Los 2.5 kg de Premix Vit+Min aportaron por cada 1000 kg de alimento: 12;000,000 UI de Vit. A, 3;500,000 UI de Vit. D₃, 20,000 UI de Vit. E, 5 g de Vit. K₃, 2 g de Vit. B₁, 6.50 g de Vit. B₂, 1 g de Vit. B₆, 20 mg de Vit. B₁₂, 100 mg de Biotina, 35 g de Nicotinamida, 10 g de Ácido pantoténico, 1 g de Ácido Fólico; 37.5 g de Manganeso, 37.5 g de Zinc, 20 g de Hierro, 4 g de Cobre, 0.50 g de Yodo, 0.10 g de Selenio.

La composición analizada de las dietas experimentales utilizadas en el presente trabajo se muestra en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Composición química (%) y contenido energético (kcal/kg) de las dietas formuladas para la alimentación de codornices en etapa de postura con 4 niveles de inclusión de harina de cáscara de naranja (0, 5, 10 y 15%) y harina de cascarón de huevo (0, 1, 2, y 3%) (Resultados de análisis, n = 3, expresados en base tal como ofrecido).

	Tratamientos			
	T1	T2	T3	T4
Cáscara de naranja (%)	0	5	10	15
Cascarón de huevo (%)	0	1	2	3
Materia Seca (%)	94.52	94.63	94.71	94.81
Proteína cruda, (%)	18.11	18.34	18.10	16.30
Energía Bruta, (kcal/kg)	3990	4306	4231	4642
Extracto etéreo, (%)	6.96	6.61	7.80	8.57
Cenizas, (%)	15.55	14.95	15.95	13.86
Fibra Neutro Detergente (FDN), (%)	29.36	30.45	33.81	32.14
Fibra Ácido Detergente (FDA), (%)	6.44	7.46	8.28	9.15
Lignina, (%)	0.87	1.11	1.07	1.05
Hemicelulosa, (%)	22.92	22.98	25.53	22.99
Celulosa, (%)	5.57	6.35	7.21	8.10

El alimento se suministró diariamente en forma de harina, a las 8:00 h, a razón de 25 - 35 g por codorniz. El alimento ofrecido y rechazado se pesó utilizando una báscula electrónica (ESNOVA HS9120®, México). El cálculo del alimento consumido por cada ave se realizó semanalmente.

En la quinta semana del experimento se determinó la tasa de utilización de nutrientes y energía. Para ello se colectaron cuantitativamente las excretas de cada codorniz durante 96 horas. Las muestras colectadas fueron refrigeradas, para analizarlas y determinar su contenido de energía y proteína cruda (Khosravi *et al.*, 2016; Kaur *et al.*, 2008).

Los valores de utilización de la proteína y energía fueron calculados utilizando la fórmula propuesta por McDonald (2002): $UDN = (NI-NE/NI) * 100$, donde NI es nutriente ingerido y NE es nutriente excretado.

3.5. Evaluación de la calidad física del huevo

Los huevos producidos por las codornices durante el periodo experimental se colectaron diariamente (Fathi *et al.*, 2020), se identificaron, y pesaron individualmente, utilizando una balanza con capacidad de 210 g y división mínima de 0.1 mg (A&D Weighing HR- 200, Japón). Se seleccionaron al azar 25 huevos semanales por tratamiento para realizar el análisis de calidad fisicoquímica.

El índice de forma del huevo (Fathi *et al.*, 2020; Degollado *et al.* 2017) se calculó mediante la fórmula: ancho/longitud x 100, habiendo realizado las mediciones con un vernier (STAINLESS HARDENED® Gns 150, China).

Para establecer el procedimiento de separar y medir la proporción de yema, de albumen y de cascarón de huevo, se realizó una prueba piloto, utilizando los huevos de la semana 1. Los métodos evaluados fueron: determinación de las proporciones de yema, albumen y cascarón en huevos frescos (n = 79), o en huevos cocidos

durante un tiempo de 7 - 10 minutos en agua a temperatura que oscilaba entre 90 a 100 °C (n = 67).

Los resultados de esta prueba piloto se valoraron en términos de los valores promedio obtenidos, así como de la variabilidad de los mismos (Desviación estándar y coeficiente de variación), con el fin de determinar cuál debería ser la mejor forma de llevar a cabo este procedimiento, para los huevos de las restantes semanas (2 - 5) del experimento.

El peso de yema, clara y cascarón se registró utilizando una balanza con capacidad de 210 g y división mínima de 0.1 mg (A&D Weighing HR-200, Japón; El-Tarabany, 2016; Degollado *et al.* 2017).

El grosor del cascarón fue medido mediante un micrómetro de tornillo (Mitutoyo® serie 103, USA; Saldaña *et al.*, 2016; Fathi *et al.*, 2020).

Para determinar el color de yema se registraron los valores L^* , a^* , b^* , c^* , h^* , utilizando un cromámetro digital (TCD100®, China). El CIE $L^*a^*b^*$ (CIELAB) es el modelo cromático usado normalmente para describir todos los colores perceptibles por el ojo humano de color, donde los valores de color se expresaron como L^* (claridad), a^* (colores rojos/verdes), b^* (colores amarillos/azules), mientras que los valores de h y c indican el tono y saturación del color respectivamente (Spasevski *et al.*, 2018).

3.6. Análisis proximal y contenido de energía de dietas, huevo y excretas

Los análisis para determinar la composición química de las dietas, del huevo y de las excretas se llevaron a cabo en el Laboratorio de Nutrición y Calidad de los Alimentos, de la Facultad de Agronomía (UANL).

El contenido de Materia seca (MS) se determinó en las dietas, el huevo y las excretas mediante el método 930.15 descrito en AOAC (2005), desecando la muestra en una estufa a 100 °C, donde la muestra final después del secado se considera MS.

El contenido de proteína cruda (PC) se determinó empleando el método Kjeldhal. El método cuantifica el N total de la muestra (Etheridge *et al.*, 1998), basado en los supuestos de que todo el nitrógeno de los alimentos se encuentra en las proteínas, y que las proteínas tienen 160 g N/kg.

Por ello, el contenido de nitrógeno de los alimentos se expresa en proteína bruta (PB) que se calculó de acuerdo con McDonald *et al.*, (2002) del modo siguiente: $PB (g / kg) = g N / kg \times 6.25$.

La determinación de energía de las muestras (huevo, alimento y excretas) se realizó mediante combustión de la muestra utilizando una bomba adiabática calorimétrica como lo describen Saldaña *et al.*, (2016).

3.7. Evaluación de microorganismo en harina de cascarón y dietas

3.7.1. Técnica de cuenta viable en placa (CVP)

Se utilizó la técnica de CVP para mesófilos aerobios (Landa-Salgado *et al.*, 2019) para determinar por medio del cultivo microbiológico, la calidad sanitaria de una muestra de la harina de cascarón de huevo y de cada uno de las dietas experimentales.

Para ello, se vació en condiciones de asepsia una muestra de dieta y harina de cascarón (10 g/muestra) en frascos con 100 mL de agua estéril. Del frasco con la primera dilución se tomaron 100 μ L para la siguiente dilución decimal y así sucesivamente hasta completar 3 diluciones (10^{-1} , 10^{-3} , 10^{-6}). De cada dilución mencionada se depositaron 100 μ L en cajas Petri estériles por duplicado con medio de cultivo agar soya tripticaseína.

La muestra y el agar se homogenizaron mediante movimientos circulares y de lado a lado con asa de vidrio, hasta lograr la correcta extensión del inóculo en el medio. Una vez listas las cajas, se incubaron en posición invertida a 35 - 37°C, hasta por 48 h para mesófilos aerobios. Se incluyó una caja sin inóculo por cada medio y diluyente preparado como testigo de esterilidad.

3.7.2. Técnica del número más probable (NMP)

Se determinó en una muestra de la harina de cascarón de huevo y de cada una de las dietas experimentales, la presencia de coliformes totales mediante la técnica NMP. Ésta es una técnica que consiste en realizar cultivos de bacterias mediante

diluciones decimales de las muestras que fueron analizadas (harina de cascarón y dietas experimentales) en un medio de cultivo líquido. Para ello se depositaron, en condiciones de asepsia en campana de flujo laminar, 10, 1 y 0.1 g de muestra en tubos de ensayo (n=3/dilución decimal) que contenían 10 mL de caldo lactosado.

Los tubos se llevaron a la incubadora a 37°C, donde se realizaron revisiones de las producciones de gas a la 24 y 48 h. Los casos positivos y negativos fueron contados, y se buscó la equivalencia en UFC del valor obtenido mediante la tabla de NMP.

3.8. Análisis estadístico

El análisis estadístico de los datos se realizó mediante el diseño completamente al azar, realizando una ANOVA para cada variable. En caso de existir diferencias significativas entre tratamientos, se estableció una comparación de medias según el método de Tukey. Las diferencias se consideraron significativas si ($P < 0.05$). Se utilizó un intervalo de confianza del 95% para cada prueba. Los datos fueron analizados utilizando el paquete estadístico (SPSS®, versión 24).

4. RESULTADOS

4.1. Entorno ambiental del experimento

Durante la prueba de alimentación de la fase experimental de 35 días, se obtuvo un valor máximo absoluto de temperatura de 30.8 °C (25 de noviembre de 2020 a las 16:00 h), y el valor mínimo absoluto de temperatura (6.8 °C) se registró el 4 de diciembre de 2020 a las 9:00 h. El valor mínimo absoluto de humedad relativa (23%) fue registrado el 26 de noviembre de 2020 a las 16:00 h, y el máximo fue de 92%, registrado el 13 de noviembre de 2020 a las 9:00 h. Los valores promedio diarios se muestran en la Figura 1.

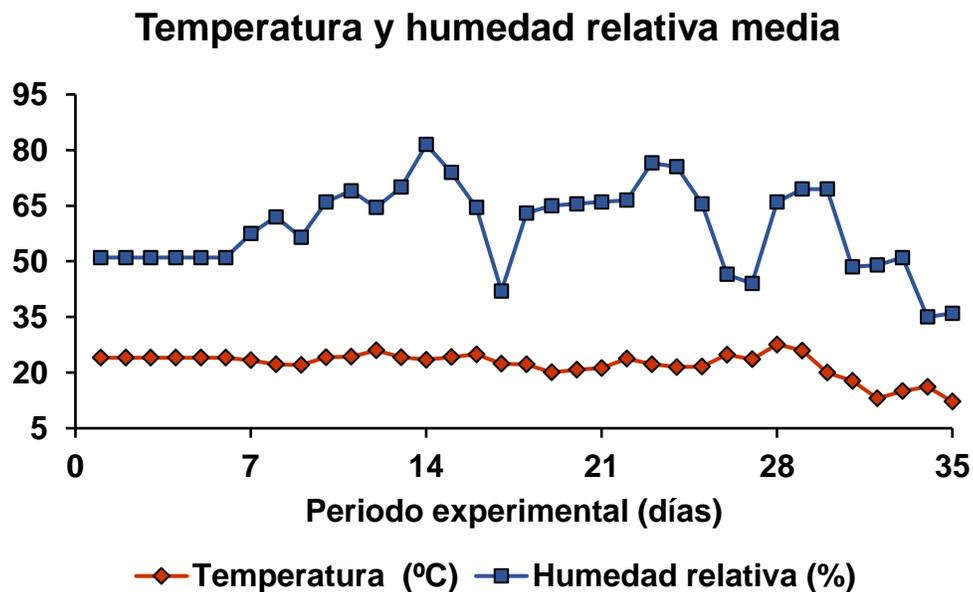


Figura 1. Temperatura y humedad diaria promedio durante la etapa experimental (35 días)

4.2. Datos productivos de las codornices

4.2.1 Datos productivos de las codornices hembra

Los resultados por tratamiento de datos productivos de codornices hembra en el período experimental se presentan en el Cuadro 7. El consumo de alimento, el aumento de peso, el peso inicial y final no fue diferente entre tratamientos ($P > 0.05$). Sin embargo, se encontró diferencia estadística ($P < 0.05$) en el peso promedio de las aves, siendo mayor el tratamiento 2 (253.9 g) que el tratamiento 4 (239.4 g).

Cuadro 7. Datos productivos de codornices hembra alimentadas con cuatro niveles de harina de cáscara de naranja (0%, 5%, 10% y 15%) y de harina de cascarón de huevo (0%, 1%, 2% y 3%).

	Tratamientos				EEM	Valor <i>P</i>
	1	2	3	4		
Cáscara de naranja (%)	0	5	10	15		
Cascarón de huevo (%)	0	1	2	3		
Peso inicial (g)	239.5	236.5	235.5	234.1	9.498	0.978
Peso final (g)	263.2	268.8	253.3	244.5	9.989	0.286
Peso promedio (g)	252.1 ^a	253.9 ^a	248.9 ^{ab}	239.4 ^b	3.727	0.016
Aumento de peso (g/d)	0.67	0.92	0.50	0.43	0.168	0.147
Cantidad de huevos/sem	6.71	6.71	6.73	6.66	0.120	0.973
Peso total de huevos (g/sem)	83.53 ^{ab}	84.73 ^a	81.22 ^{ab}	77.83 ^b	1.814	0.027
Consumo de alimento (g/d)	35.41	34.72	33.76	33.81	0.824	0.387
Conversión alimenticia (g alim/ g huevo)	3.02	3.00	2.97	3.05	0.086	0.908

Letras diferentes en la misma fila, indican diferencias significativas

En la Figura 2 se muestra el peso vivo (g) de las codornices hembra por tratamiento durante las 5 semanas de experimentación. Se observa numéricamente un menor registro de peso de las codornices hembra del tratamiento 4, las que recibieron las tasas de inclusión de subproductos más altas, sin embargo, no fue diferente estadísticamente ($P > 0.05$) los pesos entre los tratamientos/semana.

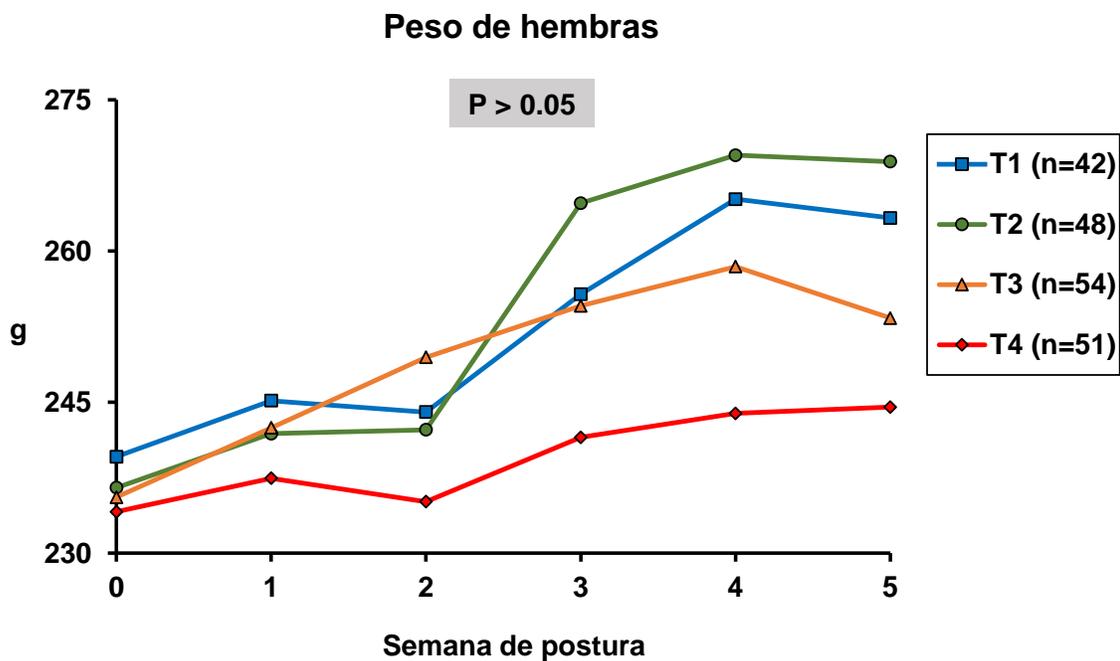


Figura 2. Peso vivo de codornices hembra en etapa de postura alimentadas con cuatro niveles de harina de cáscara de naranja (0%, 5%, 10% y 15%) y de harina de cascarón de huevo (0%, 1%, 2% y 3%) durante un periodo de 5 semanas.

Aunque todos los tratamientos fueron similares estadísticamente entre si ($P > 0.05$), se evidencia una curva de peso que incrementa positivamente en todos los tratamientos a partir de la semana 2 (Figura 3).

El peso promedio de las aves (Cuadro 7), de los tratamientos 1 y 2 fueron mayores ($P < 0.05$) con 252.1 y 253.9 g respectivamente, mientras que con la inclusión de harina de cáscara de naranja superior a 15% y de 3% de harina de cascarón de huevo (Tratamiento 4), se disminuyó significativamente ($P < 0.05$) el peso vivo promedio de las hembras a 239.4 g, con respecto a la dieta sin adición de esos subproductos agroindustriales.

En postura se encontró una diferencia estadística ($P < 0.05$) en el peso total de los huevos por semana, siendo este mayor en el tratamiento 2 (84.7 g). Los tratamientos 1 y 3 fueron intermedios (83.5 y 81.2 g respectivamente), y el menor peso total de huevos por semana lo tuvo el tratamiento 4 con 77.8 g. La conversión alimenticia no presentó diferencias significativas ($P > 0.05$) entre tratamientos (Cuadro 7).

4.2.2 Datos productivos de las codornices macho

Los datos productivos correspondientes a las codornices macho se muestran en el Cuadro 8. No se encontraron diferencias significativas ($P > 0.05$) en las variables consumo de alimento, peso inicial, aumento de peso, peso final.

Se observó diferencia estadística en el peso promedio de las aves durante el experimento ($P < 0.05$), siendo superior el valor obtenido por el tratamiento 2 (214.4

g), mientras que los tratamientos 1 y 3 fueron intermedios con 211.4 y 194.6 g, y el tratamiento con peso promedio inferior fue el 4 con 188.2 g.

Cuadro 8. Parámetros productivos de codornices macho alimentadas con cuatro niveles de harina de cáscara de naranja (0%, 5%, 10% y 15%) y de harina de cascarón de huevo (0%, 1%, 2% y 3%).

	Tratamientos				EEM	Valor <i>P</i>
	1	2	3	4		
Cáscara de naranja (%)	0	5	10	15		
Cascarón de huevo (%)	0	1	2	3		
Peso inicial	199.3	204.6	194.5	185.6	14.183	0.754
Peso final (g)	224.3	230.8	197.5	189.0	19.007	0.247
Peso promedio (g)	211.4 ^{ab}	214.4 ^a	194.6 ^{bc}	188.2 ^c	5.735	0.000
Aumento de peso (g/d)	0.714	0.749	0.086	0.095	0.296	0.130
Consumo de alimento (g/d)	22.45	22.45	22.25	21.75	1.375	0.976

En el tratamiento 3 se registró un menor peso vivo promedio de los machos, con una tendencia semejante en el tratamiento 4, que fue estadísticamente inferior ($P < 0.05$) a los tratamientos 1 y 2.

La Figura 3 muestra el peso vivo de las codornices macho de los cuatro tratamientos por semana de experimentación. Se puede observar que numéricamente los pesos de los tratamientos 1 y 2 evidencian unas curvas de peso superiores, sin embargo,

no hubo diferencia estadística significativa ($P > 0.05$) entre los pesos entre tratamientos/semana.

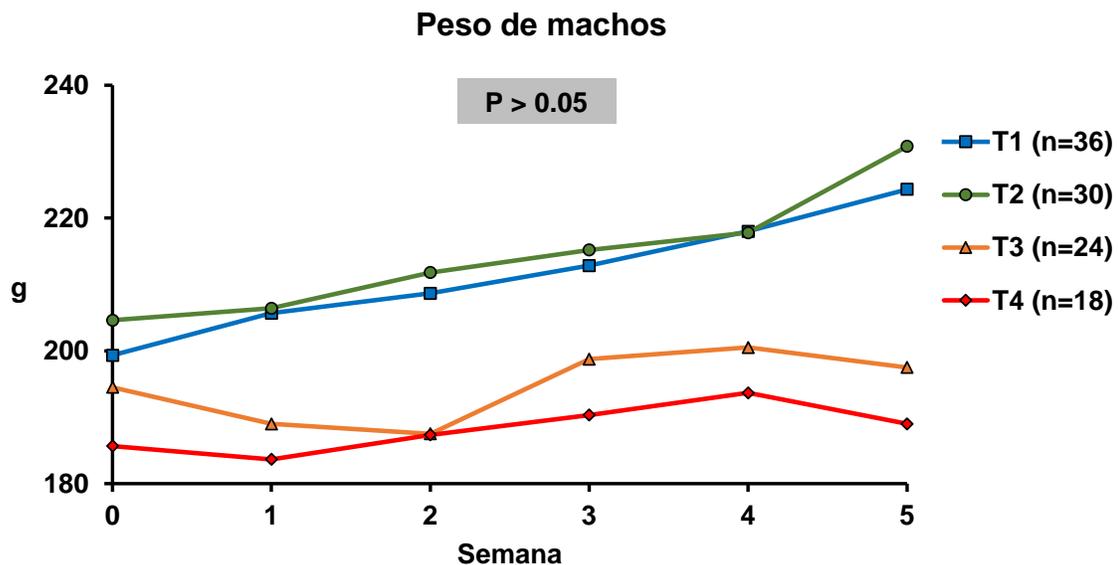


Figura 3. Peso vivo de codornices macho alimentadas con cuatro niveles de harina de cáscara de naranja (0%, 5%, 10% y 15%) y de harina de cascarón de huevo (0%, 1%, 2% y 3%) durante un periodo de 5 semanas.

4.3. Utilización de nutrientes

4.3.1. Consumo, excreción y utilización de MS y cenizas en hembras

No se encontraron diferencias estadísticas significativas ($P > 0.05$) entre tratamientos en el consumo (32- 34 g/d) de alimento o cantidad de excretas (9 -12 g MS/d). Los valores de consumo y excreción de ceniza fueron similares ($P > 0.05$) entre tratamientos, con valores de consumo que oscilaron entre 4 y 5 g/d y de excreción de cenizas entre 2 y 3 g/d (Cuadro 9).

Cuadro 9. Consumo, excreción y utilización de MS y cenizas por tratamiento de codornices hembra utilizadas en esta investigación durante 4 días de la 5 semana de experimentación.

	Tratamientos				EEM	Valor <i>P</i>
	1	2	3	4		
Cáscara de naranja (%)	0	5	10	15		
Cascarón de huevo (%)	0	1	2	3		
n	6	6	6	6		
Consumo de MS (g/d)	34.54	31.86	33.33	32.84	1.488	0.647
Excreción de MS (g/d)	9.59	10.13	10.57	12.21	0.663	0.060
Utilización de MS (%)	72.07 ^a	68.37 ^{ab}	67.89 ^{ab}	62.74 ^b	1.989	0.028
Consumo de cenizas (g/d)	5.23	4.96	5.04	4.31	0.223	0.045
Excreción de cenizas (g/d)	2.53	2.55	2.50	2.69	0.183	0.884
Utilización de cenizas (%)	51.09	48.92	49.84	37.20	3.731	0.056

Letras diferentes en la misma fila, indican diferencias significativas

En hembras, la tasa de utilización de MS del presente trabajo fue significativamente ($P < 0.05$) superior en el tratamiento 1 (72.1%), mientras que los tratamientos 2 y 3 fueron intermedios, con 68.4 y 67.9% respectivamente. La tasa de utilización más baja (62.74%; $P < 0.05$) la tuvo el tratamiento 4 (Cuadro 9).

Las tasas de utilización de cenizas fueron similares ($P > 0.05$) entre tratamientos para las hembras. Se obtuvieron promedios de 51.1, 48.9, 49.8, 37.2 % de utilización para los tratamientos 1, 2, 3, y 4 respectivamente.

4.3.2. Consumo, excreción y utilización de MS y cenizas en machos

En el presente estudio no se encontraron diferencias en cuanto al consumo y excreción de MS (Cuadro 10; $P > 0.05$) de los machos, cuyo consumo se mantuvo entre 22 y 29 g/d, mientras que el rango de excreción fue de 7 - 9 g/d de MS.

Cuadro 10. Utilización de MS y cenizas por tratamiento de codornices macho utilizados en esta investigación durante 4 días de la 5 semana de experimentación.

	Tratamientos				EEM	Valor <i>P</i>
	1	2	3	4		
Cáscara de naranja	0%	5%	10%	15%		
Cascarón de huevo	0%	1%	2%	3%		
n	3	3	3	3		
Consumo de MS (g/d)	29.40	29.69	22.59	24.42	2.557	0.170
Excreción de MS (g/d)	8.69	9.01	7.76	8.51	0.678	0.627
Utilización de MS (%)	69.38	66.95	65.56	65.20	4.013	0.855
Consumo de cenizas (g/d)	4.45	4.62	3.42	3.20	0.382	0.064
Excreción de cenizas (g/d)	2.10	2.60	1.98	2.06	0.200	0.199
Utilización de cenizas (%)	51.98	35.85	41.77	35.93	7.391	0.407

El consumo y excreción de cenizas fueron similares ($P > 0.05$) entre tratamientos. El consumo promedio para cada tratamiento osciló entre 3.20 y 4.62 g/d. La excreción de cenizas osciló entre los 1.98 y 2.60 g/d. Las tasas promedio de utilización de MS (65 – 69 %) y de cenizas (35 y 52 %) fueron similares ($P > 0.05$) entre tratamientos.

4.3.3. Consumo, excreción y utilización de proteína y energía en hembras

En el Cuadro 11 se presentan los valores para consumo, excreción y utilización de proteína bruta de las codornices hembra, no se encontraron diferencias ($P > 0.05$) entre tratamientos.

Cuadro 11. Utilización de proteína y energía bruta por tratamiento de codornices hembra utilizadas en esta investigación durante 4 días de la 5 semana de experimentación.

	Tratamientos				EEM	Valor <i>P</i>
	1	2	3	4		
Cáscara de naranja (%)	0	5	10	15		
Cascarón de huevo (%)	0	1	2	3		
N	6	6	6	6		
Consumo de proteína (g/d)	6.25	5.74	6.05	6.03	0.270	0.610
Excreción de proteína (g/d)	3.37	3.50	3.34	3.90	0.301	0.542
Utilización de proteína (%)	45.84	39.76	44.50	35.68	4.115	0.311
Consumo de energía (kcal/d)	137.8	126.5	150.2	141.7	6.208	0.087
Excreción de energía (kcal/d)	42.78	47.34	42.92	56.45	3.638	0.050
Utilización de energía (%)	68.84 ^{ab}	62.71 ^{ab}	71.04 ^a	60.23 ^b	2.582	0.025

Letras diferentes en la misma fila, indican diferencias significativas

En hembras, la tasa de utilización de energía fue significativamente mayor ($P < 0.05$) en el tratamiento 3 (71.04%) que en el tratamiento 4 (60.23%), mientras que los tratamientos 1 y 2 fueron intermedios e iguales entre si con 68.84 y 62.71% respectivamente.

4.3.4. Consumo, excreción y utilización de proteína y energía en machos

En el Cuadro 12 se presentan los datos de utilización de proteína cruda y energía correspondientes a los machos de los cuatro tratamientos.

Cuadro 12. Utilización de proteína y energía bruta por tratamiento de codornices macho utilizados en esta investigación.

	Tratamientos				EEM	Valor <i>P</i>
	1	2	3	4		
Cáscara de naranja (%)	0	5	10	15		
Cascarón de huevo (%)	0	1	2	3		
N	3	3	3	3		
Consumo de proteína (g/d)	5.32	5.35	4.10	4.49	0.463	0.191
Excreción de proteína (g/d)	2.97 ^a	3.69 ^a	2.12 ^{ab}	1.26 ^b	0.401	0.006
Utilización de proteína (%)	43.73 ^b	27.26 ^b	48.30 ^{ab}	72.42 ^a	5.931	0.005
Consumo de energía (kcal/d)	117.3	117.9	101.8	105.3	10.403	0.558
Excreción de energía (kcal/d)	38.02	33.84	30.36	36.16	5.317	0.767
Utilización de energía (%)	63.50	64.63	70.21	65.72	4.042	0.674

Letras diferentes en la misma fila, indican diferencias significativas

El consumo de proteína de las codornices macho fue similar entre tratamientos (Cuadro 12). La mayor excreción de proteína ($P < 0.05$) fue en el tratamiento 2 (3.69 g/d) y en el tratamiento 1 (2.97 g/d), y la menor excreción ($P < 0.05$) se registró en el tratamiento 4, con 1.26 g/d de proteína. Con ello, se calculó una mayor tasa de

utilización de proteína (72.42%; $P < 0.05$), en el tratamiento 4, mientras que la menor tasa de utilización de proteína se calculó para el tratamiento 2, con 27.26%.

El consumo, la excreción y la utilización de energía (Cuadro 12) fue similar entre tratamientos ($P > 0.05$), en el caso de los machos de codornices.

4.4. Evaluación del método para análisis de la calidad física del huevo

Los resultados de la evaluación de dos tipos de presentación del huevo (fresco y cocido), para la determinación porcentual de sus componentes, se muestran en el Cuadro 13.

Cuadro 13. Efecto del tipo de método aplicado en los huevos de codorniz sobre las mediciones de calidad física de huevo.

	Método utilizado		EEM	Valor <i>P</i>
	Fresco	Cocido		
Peso (g)	11.85	12.09	0.091	0.067
Largo (cm)	3.26	3.29	0.017	0.203
Ancho (cm)	2.60	2.60	0.014	0.982
índice de forma (%)	80.0	79.2	0.474	0.232
Proporción de huevo (%)				
Clara	49.70 ^b	58.84 ^a	0.376	0.000
Yema	34.89 ^a	30.45 ^b	0.332	0.000
Cascarón	15.42 ^a	10.71 ^b	0.182	0.000
Grosor del cascarón (µm)	236	235	0.137	0.697

**Numero de huevos analizados por tratamiento: T1: 32, T2: 31, T3: 35 y T4: 39.

En el caso de las características físicas del huevo (peso, longitud, ancho e índice de forma) los resultados de los dos procedimientos evaluados resultaron similares (Cuadro 13).

La proporción de clara fue mayor ($P < 0.001$) con el método de huevo cocido (58.84%), que con el método del huevo fresco (49.70%). Las proporciones de yema (34.89%) y cascarón (15.42%) fueron mayores ($P < 0.001$) en el método fresco que en los huevos cocidos (30.45% y 10.71%, respectivamente).

En esta prueba piloto se determinó que los resultados de composición (%) de clara, yema y cascarón de huevo utilizando huevos cocidos, tuvieron menores Coeficientes de Variación ($CV = 3.7\%$ para clara, 6.5% para yema y 8.7% para cascarón), que al hacer las determinaciones utilizando huevos frescos ($CV = 10.4\%$ para clara, 12.6% para yema y 14.2% para cascarón).

A partir de la evaluación de los dos métodos anteriores, se seleccionó el método de huevo cocido durante 7 - 10 minutos en agua a aprox $90 - 100\text{ }^{\circ}\text{C}$, para analizar los huevos obtenidos de las codornices de la fase experimental, con el fin de determinar la proporción de clara, yema y cascarón, debido a la facilidad al separar los componentes del huevo, además de presentar menos variabilidad estadística (coeficientes de variación) los resultados obtenidos.

4.5. Características de la calidad física del huevo

En el Cuadro 14 se muestran los resultados de la calidad física del huevo por tratamiento durante la fase experimental de 35 días.

Cuadro 14. Efecto de la inclusión de cuatro niveles de harina de cáscara de naranja (0%, 5%, 10% y 15%) y de harina de cascarón de huevo (0%, 1%, 2% y 3%) en la dieta para codornices sobre la calidad física del huevo.

	Tratamientos				EEM	Valor <i>P</i>
	1	2	3	4		
Cáscara de naranja (%)	0	5	10	15		
Cascarón de huevo (%)	0	1	2	3		
N	113	111	115	118		
Peso (g)	12.25 ^a	12.28 ^a	11.71 ^b	11.45 ^b	0.085	0.000
Largo (cm)	3.32 ^a	3.32 ^a	3.27 ^b	3.26 ^b	0.012	0.000
Ancho (cm)	2.62 ^{ab}	2.63 ^a	2.60 ^b	2.55 ^c	0.008	0.000
índice de forma (%)	79.05 ^{ab}	79.49 ^{ab}	79.60 ^a	78.48 ^b	0.302	0.031
Proporción de huevo (%)						
Clara	57.68	57.96	57.20	57.51	0.211	0.078
Yema	31.77 ^a	30.90 ^b	31.52 ^{ab}	30.94 ^b	0.191	0.001
Cascarón	10.54 ^b	11.13 ^a	11.26 ^a	11.53 ^a	0.130	0.000
Grosor del cascarón (µm)	236 ^b	248 ^a	246 ^{ab}	243 ^{ab}	0.123	0.033

Letras diferentes en la misma fila, indican diferencias significativas

Se registró mayor ($P < 0.001$) peso de los huevos en los tratamientos 1 y 2, que en los tratamientos 3 y 4. Las variables largo y ancho del huevo ($P < 0.001$), fueron superiores en los tratamientos 1 y 2, que en el tratamiento 3 y 4 (Cuadro 14). El

ancho del huevo del tratamiento 2 fue mayor al del tratamiento 4. El índice de forma de los huevos del tratamiento 4 se vio reducido ($P < 0.05$) respecto a los valores registrados en el tratamiento 3.

La proporción de yema en los huevos obtenidos de aves alimentadas con el tratamiento 1 (31.77%) fue mayor ($P < 0.05$) a la registrada en los huevos de los tratamientos 2 y 4 (Cuadro 14). La proporción de cascarón de huevo fue significativamente menor ($P < 0.05$) en los huevos del tratamiento 1 que en los demás tratamientos.

El grosor del cascarón de los huevos del tratamiento 2 (248 μm) fue mayor ($P < 0.05$), al de los del tratamiento 1 (236 μm), mientras que los tratamientos 3 y 4, con los niveles superiores de inclusión dietaria de cáscara de naranja y de cascarón de huevo, tuvieron valores intermedios de grosor de cascarón (Cuadro 14).

4.6. Colorimetría de la yema de huevo

En el Cuadro 15 se muestran los valores del sistema CIELAB (L^* , a^* y b^*), así como los valores c y h , registrados de la yema de los huevos del presente estudio, de acuerdo con los tratamientos.

Los valores a^* , indicativos de verde (valores negativos) a rojo (valores positivos) fueron similares ($P > 0.05$) entre tratamientos.

Cuadro 15. Valores de colorimetría (a^* , b^* , c^* , h^* y L^*) de yema de huevo de codornices alimentadas con cuatro niveles de harina de cáscara de naranja (0%, 5%, 10% y 15%) y de harina de cascarón de huevo (0%, 10%, 20% y 30%) en la dieta.

	Tratamientos				EEM	Valor <i>P</i>
	1	2	3	4		
Cáscara de naranja (%)	0	5	10	15		
Cascarón de huevo (%)	0	1	2	3		
n	55	56	56	55		
a^*	-1.72	-1.12	-1.63	-1.28	0.494	0.801
b^*	16.29 ^c	18.78 ^{bc}	20.27 ^{ab}	22.53 ^a	0.698	0.000
L^*	53.10	51.95	54.08	52.67	0.755	0.239
c	16.78 ^c	18.90 ^{bc}	20.92 ^{ab}	23.30 ^a	0.718	0.000
h	95.24	91.41	93.99	91.05	1.689	0.231

Letras diferentes en la misma fila, indican diferencias significativas

En los valores de b^* , indicativos de azul a amarillos, fueron mayores ($P < 0.001$) conforme se aumenta el nivel de inclusión de cáscara de naranja y de cascarón de huevo a la dieta. El valor más alto se obtuvo en el tratamiento 4 y el menor valor en el control (tratamiento 1). En los valores de L^* , indicativos de luminosidad de negro a blanco, no se encontraron diferencias significativas ($P > 0.05$).

En el caso de los valores de c , indicativos de croma (saturación), se encontraron diferencias significativas ($P < 0.001$), que indican mayor saturación de color de la yema del huevo, a medida que se aumenta el nivel de inclusión de harina de cáscara de naranja y de cascarón de huevo a la dieta, por lo que el mayor valor lo obtuvo el tratamiento 4, y el menor valor de c fue registrado en el tratamiento 1.

En los valores de h no se encontraron diferencias significativas ($P > 0.05$) entre tratamientos, estos valores se expresan de 0 - 360° e indican el ángulo del tono, los tratamientos fueron similares en estos valores indicativos de un tono amarillo – naranja.

4.7. Estado sanitario de dieta y harina de cascarón

Los resultados de los análisis microbiológicos para la cuantificación de mesófilos aerobios y coliformes totales realizados en una muestra de la harina de cascarón de huevo y de cada una de las dietas experimentales fueron los siguientes:

- **Mesófilos aerobios.** La carga de mesófilos viables en placa fue de 2, 3, 19 y 45 UFC/g para las muestras de alimento de T1, T2, T3 y T4 respectivamente. La harina de cascarón de huevo presentó una carga de 107 UFC/g.
- **Coliformes totales.** Los valores de coliformes encontrados en las muestras de alimento fueron de 2.0, 3.6, 6.1 y 8.1 UFC/mL para T1, T2, T3 y T4 respectivamente, y de 107 UFC/mL en harina de cascarón de huevo.

5. DISCUSIÓN

5.1. Rendimiento productivo

Los resultados obtenidos en la presente investigación brindaron la posibilidad de constatar si la hipótesis planteada podía ser aceptada o rechazada. En la presente investigación, los 3 niveles de HCN (5, 10 y 15%) y HCH (1, 2 y 3%) incluidos en la dieta no afectaron el consumo de alimento, ni la conversión alimenticia de hembras y machos. El consumo de alimento de las hembras de los 4 tratamientos se mantuvo entre 33 – 35 g/d y la conversión alimenticia entre 2.97 – 3.05.

Estos resultados fueron similares a los reportados por Ashour *et al.*, (2020) quienes también utilizaron hojas y semillas de *Moringa oleífera* en diferentes niveles y en combinación, como una fuente alternativa de proteína y aminoácidos en la dieta de codornices japonesas. Estos autores reportaron resultados similares en consumo y conversión con rangos de entre 33.1 - 33.7 g/d y de 2.83 - 3.18, respectivamente.

En el presente estudio se observó un mayor peso promedio en las aves alimentadas con el tratamiento 2, suplementadas con 5% de HCN y 1% HCH. Resultados semejantes fueron reportados por Florou-Paneri *et al.*, (2001) en codornices alimentadas con dietas que incluían 3 y 6% de harina de cáscara seca de cítricos (HCC). El peso corporal de la dieta con inclusión de 3% de harina de cáscara de cítricos fue de 242 g, mientras que con inclusión de 6% de HCN las aves pesaron 248 g); en cambio, el tratamiento control, con 0% de HCC adicionado, pesaron 221.9 g.

Christaki *et al.*, (2011) también evaluaron hojas de anís, orégano y oliva, como materias primas alternativas de alimentación. Las dietas suministradas a un grupo mixto de codornices japonesas (126 hembras y 63 machos), registraron reportes de resultados similares ($P > 0.05$) en el consumo o peso entre tratamientos de machos y hembras.

Gongruttananun, (2011), reemplazo la piedra caliza en 50 y 100% en la dieta de gallinas de postura como fuente de calcio, este autor reportó que no tuvo un efecto significativo sobre la ganancia de peso corporal, la producción de huevos, la masa del huevo, el consumo de alimento y la tasa de conversión alimenticia.

En los machos de la presente investigación, las variables productivas evaluadas no fueron diferentes entre tratamientos, y al igual que con lo observado en hembras, el peso promedio, fue mayor ($P < 0.05$) en el tratamiento 2 (214.4 g), y menor ($P < 0.05$) en el tratamiento 4 (188.2 g).

En ese sentido, se puede hacer notar que, en el presente estudio, tanto en machos como en hembras, la inclusión conjunta de 15% de harina de cáscara de naranja y de 3% de cascarón de huevo (T4) a la dieta de codornices durante 5 semanas, ocasionó que los animales tuvieran un peso promedio que fue entre 5% (hembras) y 11% (machos) menor que en los animales del grupo control (tratamiento 1), sin adición de esos dos ingredientes.

En el caso de las codornices hembras del presente estudio, la cantidad de huevos producidos por semana no fue diferente entre tratamientos, sin embargo, el peso

promedio de huevo sí fue 4 y 8% (T3 y T4) menor al de los huevos producidos por las codornices de los otros tratamientos (T1 y T2).

Estos hallazgos sugieren que los niveles de inclusión conjunta de harina de cáscara de naranja y de harina de cascarón de huevo a la dieta de codornices no debe ser superior a 10% (cáscara de naranja) y de 2% (cascarón de huevo).

5.2. Utilización de nutrientes por las hembras

Los trabajos realizados en la quinta semana de la presente investigación, para determinar la tasa de utilización de nutrientes y energía de las codornices alimentadas con los cuatro niveles de inclusión conjunta de harina de cáscara de naranja y harina de cascarón de huevo, también constatan que para las codornices hembra se observa una disminución en la tasa de utilización de la materia seca del alimento, llegando a ser 13% menor ($P < 0.05$) en el tratamiento 4, respecto al tratamiento 1.

En el presente trabajo el consumo de materia seca fue similar entre tratamientos. Otros investigadores (Buenaño *et al.*, 2018), reportaron que al incluir Azolla (un género de helecho acuáticos conocido comúnmente como helecho flotante o doradilla) en 4 niveles (0, 5, 10 y 15%) como fuentes alternativas de alimentación en dietas de codornices japonesas de postura, se incrementó el consumo de materia

seca (41 - 45 g/d), conforme se aumentaba el nivel de esta materia prima, contrario a lo aquí reportado donde no se encontró diferencia estadística.

En el caso de la utilización de proteína cruda, Buenaño *et al.*, (2018), reportaron tasas de utilización similares a las del presente estudio (33-46%), sin embargo, en su estudio sí detectaron una mejor utilización de proteína en los niveles de 0 y 5% de inclusión de Azolla, contrario a la similitud en la utilización de proteína cruda (35 - 45%) entre tratamientos ($P > 0.05$) de esta investigación. Existen diferentes motivos para que las diferencias entre tratamientos no sean significativas, incluyendo que los tipos de ingredientes tienen una importancia para ello.

Por ejemplo, la adición de hojas de moringa en hasta 15% a la dieta de pollos de engorda evaluada hasta los 35 días de edad no afectó la tasa de utilización de proteína de la dieta (Nkukwana *et al.*, 2014), lo cual coincide con los resultados de la presente investigación. Nkukwana *et al.*, (2014), observaron que la inclusión de hojas de moringa a la dieta de pollos de engorda permitió que éstos expresaran mejor su potencial para crecimiento.

La determinación de la tasa de utilización de la proteína en los machos de codornices en la presente investigación debe ser considerada como valores exploratorios, sujetos a revisión debido a la pequeña cantidad de repeticiones ($n = 3$) para cada tratamiento. Existen dos valores de tasa de utilización de proteína por lo machos ($T2 = 27.26\%$, y $T4 = 72.42\%$) que requieren ser revisados cuidadosamente en trabajos posteriores, ya que en el tratamiento 2 se registró una muy alta excreción de proteína, y en el tratamiento 4 se registró una muy baja excreción de proteína. Estos valores difieren significativamente de los valores de los

tratamientos 1 y 3, y son difíciles de explicar en el contexto de animales machos cuyo consumo de proteína fue similar entre tratamientos.

En un estudio anterior, Degollado *et al.*, (2017) reportaron que la inclusión de 0, 5 y 10% de adición de hojas de *Moringa oleífera*, a las dietas de codornices de postura no ocasionaron diferencia ($P > 0.05$) en la tasa de utilización de energía (77.1, 73.7 y 72.4%, respectivamente) entre tratamientos.

En el presente trabajo, la tasa de utilización de energía fue significativamente mayor ($P < 0.05$) en el tratamiento 3, con 71.04%, mientras que los tratamientos 1 y 2 fueron intermedios e iguales entre sí, con 68.84 y 62.71% respectivamente. El porcentaje más bajo de utilización se observó en el tratamiento 4 con 60.23%.

Porcentajes de utilización de energía superiores a los de la presente investigación, fueron reportados por Quevedo *et al.* (2013) con tasas de utilización de energía de 80 – 82% al incluir salvado de arroz entero en dietas para codornices japonesas de postura. Fernandes *et al.* (2016) reportaron utilización de energía de 76 y 78% al sustituir 5 y 25% de la dieta por harina de nuez de Cajú en dietas de codornices tipo carne.

Los resultados obtenidos en codornices hembras de postura en la presente investigación contribuyen a constatar la hipótesis planteada, en el sentido de que la inclusión conjunta de harina de cáscara de naranja y de harina de cascarón de huevo de gallina, permite incrementar la eficiencia de utilización de energía hasta niveles de inclusión de 10% y 2% del alimento respectivamente. En el caso de la

proteína, la inclusión conjunta de harina de cáscara de naranja y de harina de cascarón de huevo de gallina, no afectó la eficiencia de utilización de proteína.

5.3. Características de la calidad física del huevo

Los huevos obtenidos de codornices alimentadas con T1 y T2 (12.25 y 12.28 g) fueron más pesados ($P > 0.05$) que los huevos producidos por codornices alimentadas con T3 y T4 (11.71 g y 11.45 g).

Moura *et al.*, (2020) reportaron pesos promedio del huevo de codorniz inferiores (entre 10.53 y 10.81 g) a los obtenidos en esta investigación, y reportaron que no hubo efecto negativo sobre esta característica al sustituir en diferentes porcentajes (0, 25, 50, 75, y 100%) piedra caliza de la dieta por harina de cascarón de huevo.

Similarmente, Gongruttananun, (2011), al reemplazar la piedra caliza en 50 y 100% en la dieta de gallinas de postura, no observó ningún efecto sobre el peso, los componentes del huevo, ni el grosor del cascarón entre los grupos de aves.

En esta investigación, se encontró que el índice de forma de los huevos (shape index) más alto (79.60%) fue registrado en los huevos del tratamiento 3, en el que se adicionaron 10% de harina de cáscara de naranja y 2% de harina de cascarón de huevo. Sin embargo, niveles de inclusión conjunta de HCN y HCH de 15% y 3% respectivamente (T4), redujeron el índice de forma a 78.48%.

Autores como Fathi *et al.*, (2020) reportaron que el índice de forma de huevos de codorniz japonesa aumentó significativamente ($P < 0.03$) en los huevos de aves alimentadas con dietas suplementadas con 0.1 y 0.2% de harina de hojas de *Eucalyptus camaldulensis* en la dieta, reportando 77.5 y 77.2% respectivamente frente a 76.6% del tratamiento con el control.

La prueba piloto realizada con huevos en la primera semana experimental, permitió establecer que la metodología más conveniente para evaluar las proporciones (%) de clara, yema y cascarón del huevo. Onyenweaku *et al.* (2018) también compararon la composición química de huevos crudos vs cocidos en condiciones similares a las que utilizamos en el presente trabajo, y obtuvieron resultados similares de composición química de huevos crudo y cocidos. Los resultados obtenidos en nuestra prueba piloto con respecto a la reducción del coeficiente de variación de las proporciones de clara, yema y cascarón de huevo nos permitieron determinar que con huevos cocidos tendríamos mejores resultados.

En la presente investigación, la proporción de yema de los huevos de codornices alimentadas con el tratamiento 1 fue superior (31.77%) a la de los tratamientos 2 y 4 (30.90 y 30.94%). Estos resultados son similares a los obtenidos por Ludke *et al.*, (2018) quienes reportaron una reducción de los porcentajes de yema y cascarón de huevo en dietas suplementadas con 21% de harina de ricino como ingrediente alternativo en dietas de codornices de postura.

En el presente trabajo, la proporción de cascarón de huevo fue significativamente menor en los huevos del T1, que en los otros tratamientos, Erol y Cufadar, (2015) compararon el efecto de diferentes fuentes de calcio en diferentes niveles y combinaciones en dietas para gallinas de postura usando: piedra caliza, concha de ostra y cascaron de huevo. Reportaron que no se observó ningún efecto significativo entre las fuentes de calcio sobre la proporción del cascarón, así como en el grosor del cascarón.

Con respecto al grosor del cascarón de los huevos de codornices alimentadas con el tratamiento 2 fue estadísticamente mayor (248 μm) y el del grupo control fue menor. Safaa *et al.*, (2008) no reportaron diferencias en el grosor entre los tratamientos de gallinas de postura alimentadas con combinaciones de piedra caliza fina, piedra caliza gruesa y concha de ostra como fuente de calcio.

Los resultados obtenidos en la presente investigación indican que el calcio aportado por el cascarón de huevo de gallina incluido a la dieta, puede ser una fuente aprovechable de calcio para la formación del cascarón de huevo de codornices de postura.

5.4. Colorimetría de la yema de huevo

La inclusión conjunta de 0, 5, 10 y 15% harina de cáscara de naranja y 0, 1, 2 y 3% de cascarón de huevo, no afectó los valores a^* , L^* , h , obtenidos de la medición de colorimetría de la yema de huevo de las codornices, de acuerdo a los resultados presentados en esta investigación.

En el estudio de Christaki *et al.*, (2011), se obtuvieron valores de a^* significativamente mayores y por ende un color de yema más rojizo, al alimentar codornices japonesas en postura con adición de 10 y 20 g/kg de orégano u hojas de olivo.

La tendencia observada en la presente investigación, de valores mayores de b^* ($P < 0.001$) conforme se incrementa el nivel de inclusión conjunta de harina de cáscara de naranja y de cascarón de huevo a la dieta, concuerdan con los resultados reportados por Goliomytis *et al.*, (2018), quienes observaron que los huevos producidos por el grupo de gallinas ponedoras suplementadas con 9% de harina de cáscara de cítricos en la dieta, obtuvo un valor de b^* superior al registrado en los huevos de las aves alimentadas sin adición de cáscara de naranja. Esto es indicativo de que las yemas de huevos de codornices alimentadas con dietas adicionadas con harina de cáscara de naranja y de cascarón de huevo tuvieron un color amarillo más intenso.

En los valores de c , indicativos de croma (saturación), se determinaron también tendencias significativas ($P < 0.05$), en las que se puede observar que a medida que se aumenta el nivel de inclusión de harina de cáscara de naranja y de cascarón de huevo, se incrementa la saturación de color de la yema de huevo.

Los resultados del análisis microbiológico realizado en la presente investigación, en una muestra de cascarón de huevo y de cada una de las dietas experimentales adicionadas con cascarón de huevo en diferentes proporciones, aunque tienen solamente el carácter de análisis exploratorios, ya que fueron practicados en solamente una muestra en cada caso, dan indicios de que en estudios posteriores

en los que se evalúe la factibilidad de adicionar harina de cascarón de huevo a la dieta de aves de postura, se debe tener cuidado de llevar a cabo procesos adecuados, efectivos y evaluables de sanitización de los cascarones de huevo que se destinen para ello, ya que en la medida en que se tenga un cierto nivel de contaminación del cascarón de huevo con mesófilos y/o con coliformes totales, las dietas elaboradas tienden a sufrir asimismo cierto nivel de contaminación.

Como posibles métodos efectivos de sanitización de cascarones de huevo se pueden considerar la aplicación fumigación con 13.3 g de paraformaldehído/m³ aplicado durante 20 minutos, con subsecuente período de 10 minutos para fumigación y 10 minutos para liberación de residuos del formaldehído y la irradiación de los cascarones de huevo con luz UV a 254 nm de longitud de onda durante 60 segundos (dos Santos *et al.*, 2018). En cambio, la fumigación con ozono, o con una solución de 1.56% de peróxido de hidrógeno, o con una solución de 0.13% de ácido peracético no fueron efectivos para lograr la sanitización de cascarones de huevos (dos Santos *et al.*, 2018).

6. CONCLUSIONES

En el presente trabajo de investigación se evaluó el efecto de la inclusión de harina de cáscara de naranja (0, 5, 10 y 15%) y harina de cascarón de huevo (0, 1, 2 y 3%) a la dieta de codornices de postura. Se concluye que:

La inclusión de 3 niveles de harina de cáscara de naranja (5, 10 y 15%) y harina de cascarón de huevo (1, 2 y 3%) no afectan el consumo de alimento y conversión alimenticia de las codornices en etapa de postura.

Al suplementar la dieta de codornices de postura con 5 - 10% de harina de cáscara de naranja y 1 - 2% de harina de cascarón de huevo se mejoró el peso vivo promedio de las aves, así como el peso de los huevos, índice de forma, el grosor y porcentaje de cascarón.

La inclusión de harina de cáscara de naranja y harina de cascarón tiene efectos positivos en la colorimetría conforme se aumenta el nivel de inclusión en la dieta, permitiendo obtener yemas de un color amarillo más intenso.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Abanikannda, O., Adejumo, U., Giwa, U. y Leigh, G. 2018. PSXIII-33 Hen weight and feed consumption effects on egg weight of three different laying groups of quail. *Journal of Animal Science*. 3(96): 261.
- Abou-Elkhair, R., Abdo Basha, H., Slouma Hamouda Abd El Naby, W., Ajarem, J. S., Maodaa, S. N., Allam, A. A., & Naiel, M. A. E. 2020. Effect of a diet supplemented with the *Moringa oleifera* seed powder on the performance, egg quality, and gene expression in japanese laying quail under heat-stress. *Animals*, 10(5): 809.
- Aksoy, A. y Cinar, K. 2009. Distribution and ontogeny of gastrin-and serotonin-immunoreactive cells in the proventriculus of developing chick, *Gallus gallus domestica*. *Journal of Veterinary Science*.10(1): 9–13.
- Alagawany, M., El-Hack, M., Laudadio, V. y Tufarelli, V. 2014. Effect of low-protein diets with crystalline amino acid supplementation on egg production, blood parameters and nitrogen balance in laying Japanese quails. *Avian Biology Research*. (7): 235- 243.
- Altine, S., Sabo, M., Muhammad, N., Abubakar, A. y Saulawa, L. 2016. Basic nutrient requirements of the domestic quails under tropical conditions: A review. *World Scientific News*. 49(2): 223-235.
- AOAC. 2005. *Official Methods of Analysis*. 16th ed. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, V.A.

- Applegate, T. y Angel, R. 2014. Nutrient requirements of poultry publication: History and need for an update. *Journal of Applied Poultry Research*. 3(23): 567-575.
- Arthur, J. y Bejaei, M. 2017. Quail Eggs. *Egg Innovations and Strategies for Improvements*. Chapter 2. 3 -21
- Ashour, E., El-Kholy, M., Alagawany, M., Abd El-Hack, M., Mohamed, L., Taha, A., El Sheikh, A., Laudadio, V., y Tufarelli, V. 2020. Effect of dietary supplementation with *Moringa oleifera* leaves and/or seeds powder on production, egg characteristics, hatchability and blood chemistry of laying japanese quails. *Sustainability*.12(6): 2463.
- Bai, J., Yang, S., Pang, Y., Wu, X. y Li, G. 2019. Comparative analysis of egg quality and egg laying capacity of different quails. *Pakistan Journal of Zoology*. 51(5): 1663 – 1666.
- Baumgartner, J. 1994. Japanese quail production, breeding and genetics. *World's Poultry Science Journal*. (50): 227-235.
- Bertechini, A. 2012. The quail production CD Paper in Proceedings of the XXIV World's Poultry Congress, Salvador, Brazil. *Worlds Poultry Science Journal*. 68(1): 4.
- Boleli, C., Morita, V., Matos, J., Thimotheo, M. y Almeida, V. 2016. Poultry egg incubation: integrating and optimizing production efficiency. *Brazilian Journal of Poultry Science*. 18(2): 1806 –9061.
- Buenaño, J., Nuñez-Torres, P., Barros-Rodríguez, M., Rosero-Peñaherrera, M., Lozada-Salcedo, E., Guishca-Cunuhay, C. y Zurita-Vásquez, H. 2018. Efecto

de la inclusión de Azolla en la dieta de codornices japonesas sobre el consumo voluntario, digestibilidad aparente y producción de huevos. *Rev. de Investig Veterinarias del Perú*. 29(1): 161-168.

Cerón-Salazar, I. y Cardona-Alzate, C. 2011. Evaluación del proceso integral para la obtención de aceite esencial y pectina a partir de cáscara de naranja. *Ingeniería y Ciencia*. 7(13): 65-86.

Cheng, K., Bennett, D., y Mills, A. 2010. The Japanese quail. In: Hubrecht, R.C., Kirkwood, J. (Eds.), *The UFAW Handbook on the Care and Management of Laboratory and Other Research Animals*. eighth ed. Wiley-Blackwell, Oxford, United Kingdom. 655–673.

Cheng, K., y Kimura, M. 1990. Mutations and major variants in Japanese quail. In: Crawford, R.D. (Ed.), *Poultry Breeding and Genetics*. Elsevier, Amsterdam, Netherlands. 333–362.

Christaki, E., Bonos, E. y Florou-Paneri, P. 2011. Comparative evaluation of dietary oregano, anise and olive leaves in laying Japanese quails. *Br. J. Poultry Science*. 13(2): 97-101.

Cook, M., Beissinger, S., Toranzos, G. y Arendt, W. 2005. Incubation reduces microbial growth on eggshells and the opportunity for trans-eggshell infection. *Ecology Letters*. 8(5): 532-537.

Da Cunha, R. 2009. Quail meat - an undiscovered alternative. *World Poultry*. (25): 12-14.

- Daghir, N. y Murtada, M. 2018. Availability quality and utilisation of oil seed meals produced in the Middle East and North Africa regions. *Word's Poultry Science Journal*. 1(74); 45-60.
- Degollado, K., Bernal, H., Olivares, E., Sánchez, F., Cervantes, M., Morales, A. y Vásquez, N. 2017. Egg production and quality from laying quails fed three levels of moringa meal. *Journal of Animal Science*. 4(95):41.
- Delgado-Vargas F., Jiménez, A. y Paredes-López, O. 2000. Natural pigments: carotenoids, anthocyanins, and betalains – characteristics, biosynthesis, processing, and stability. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 40:173-289.
- Dos Santos, W.L., de Faria, E., Pereira, D., Maseo, M., Vieira da Silva, M.F., Cleto, L.C., Carneiro N., Goulart, L., Machado, F., Resende, M., Camargos L.J. 2018. Eggshell microbiology and quantity of hatching eggs subjected to different sanitizing procedures. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. Brasília. 53(10): 1177-1183
- Dussaillant, C., Echeverría, G., Rozowski, J., Velasco, N., Arteaga, A. y Rigotti A. 2017. Consumo de huevo y enfermedad cardiovascular: una revisión de la literatura científica. *Nutrición Hospitalaria*. 34(3):710-718.
- El-Galil, Y., Kamel, G. y El-Magd. 2011. Histomorphological studies on the stomach of the Japanese quail. *Asian Journal of Poultry Science*. 5(2): 56-67.
- El-Tarabany, M. S. 2016. Effect of thermal stress on fertility and egg quality of Japanese quail. *Journal of Thermal Biology*. (61):38-43.

- Erol, A. y Cufadar, Y. 2015. Effect of calcium sources and particle size on performance and eggshell quality in laying hens. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*. 3(4): 205-209.
- Etheridge, R., Pesti, G. y Foster, H. 1998. A comparison of nitrogen values obtained utilizing the Kjeldahl nitrogen and Dumas combustion methodologies (Leco CNS 2000) on samples typical of an animal nutrition analytical laboratory. *Animal Feed Science and Technology*. 73(1-2):21-28.
- FAO. 2017. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponibilidad de piensos y nutrición de aves de corral en países en desarrollo. <http://www.fao.org/3/a-al706s.pdf> (accesado 28 de sept. de 19)
- Fathi, M., Homidan, I., Ebeid, T. Abou-Emera, O. y Mostafa, M. 2020. Dietary supplementation of Eucalyptus leaves enhances eggshell quality and immune response in two varieties of Japanese quails under tropical condition. *Poultry Science*. 2(99): 879-885.
- Fernandes, D., Freitas, ER, Watanabe, P., Filgueira, T., Cruz, C., do Nascimento, G., Aguiar, G., y Nascimento, E. 2016. Cashew nut meal in the feeding of meat quails. *Tropical Animal Health and Production*. 48(4):711-717.
- Florou-Paneri, P., Babidis, D., Christaki, E. y Spais, B. 2001. Effect of feeding dried citrus pulp on quail laying performance and some egg quality characteristics. *Arch. Geflügelk.*65(4): 178-181.

- Gamal, M. 2005. Effect of dietary energy on some productive and physiological traits in Japanese quail (*Coturnix coturnix japonica*). MS Thesis. AlAzhar Univ., Cairo, Egypt.
- Genchev, A. 2012. Quality and composition of Japanese quail eggs (*Coturnix japonica*). Trakia Journal of Sciences. 10(2): 91-101.
- Goliomytis, M., Kostaki, A., Avgoulas, G., Lantzouraki, D., Siapi, E., Zoumpoulakis, P., Simitzis, P. y Deligeorgis, S. 2018. Dietary supplementation with Orange Pulp (*Citrus sinensis*) improves egg yolk oxidative stability in laying hens. Animal Feed Science and Technology. (244): 28-35.
- Gongruttananun, N. 2011. Effects of using ground eggshell as a dietary calcium source on egg production traits, hatching performance and eggshell Ultrastructure in Laying Hens. Kasetsart Journal - Natural Science. (45): 209-220.
- Gunawardana, P., Roland, D. y Bryant, M. 2008. Effect of energy and protein on performance, egg components, egg solids, egg quality, and profits in molted Hy-Line W-36 hens. (17): 432-439.
- Hamdi, H., El-Gareeb, A., Zaher, M., y AbuAmod, F. 2013. Anatomical, histological and histochemical adaptations of avian alimentary canal to their food habits. *II-Elanus caeruleus*. International Journal of Science and Research. 4(10): 1355–1364.
- Herrera, C., Bernal, H., Sánchez, F., Hernández, J., Montemayor, M. y Cervantes, M. 2016. Japanese quail (*Coturnix japonica*) responses to low protein diets

- supplemented with crystalline lysine, methionine, and threonine. *Journal of Animal Science*. 5(94): 461.
- Homma, K., Siopes, T., Wilson, W.O., McFarland, L.Z., 1966. Identification of sex of day-old quail (*Coturnix coturnix japonica*) by cloacal examination. *Poultry Science*. (45): 469–472.
- Hurtado, V., Gutiérrez, L., y Torres, D. 2015. Recomendación de niveles de lisina digestible para codornices japonesas en periodo de postura. *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia*. 62(3): 49-57.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), 2018. Production of Municipal Livestock. Brazilian Institute of Geography and Statistics, Rio de Janeiro, Brazil. Consultado el 20-Julio-2020.
- Iqbal, J., Khan, S., Mukhtar, N., Ahmed, T. y Pasha, A. 2016. Effects of egg size (weight) and age on hatching performance and chick quality of broiler breeder. *Journal of Applied Animal Research*. 44(1): 54 – 64.
- Jahanian, R. y Edriss, M. 2015. Metabolizable energy and crude protein requirements of two quail species (*Coturnix japonica* and *Coturnix ypsilophorus*). *The Journal of Animal and Plant Sciences*. 25(3): 603-611.
- Kaur, S., Mandal, A. B., Singh, K. y Kadam, M. 2008. The response of Japanese quails (heavy body weight line) to dietary energy levels and graded essential amino acid levels on growth performance and immuno-competence. *Livestock Science*. 117(2-3):255-262.

- Khosravi, H., Mehri, M., Bagherzadeh-Kasmani, F. y Asghari-Moghadam, M. 2016. Methionine requirement of growing Japanese quails. *Animal Feed Science and Technology*. 212:122-128.
- König, H., Korbelt R. y Liebich, H. 2016. 2nd Edition. *Avian Anatomy*. Editorial: 5m Publishing.
- Küçükylmaz K. y Bozkurt, M. 2017. Organic farming and mineral content of chicken eggs. *Egg Innovations and Strategies for Improvements*. 103-110.
- Landa-Salgado P., Y. Caballero-Cervantes, E. Ramírez-Bribiesca, A.M. Hernández-Anguiano, L.M. Ramírez-Hernández, D. Espinosa-Victoria, D. Hernández-Sánchez. 2019. Aislamiento e identificación de bacterias ácido- lácticas con potencial probiótico para becerros del altiplano mexicano. *Revista Mexicana de Ciencias Pecurias*.10(1):68-83.
- Lázaro R., M. Serrano y J. Capdevila. 2005. Nutrición y alimentación de avicultura complementaria: codornices. XXI Curso de Especialización FEDNA. *Avances en Nutrición y Alimentación Animal*. Consultado el 20-Julio-2020.
- Liman, N., Alan, E., Kucuk, G. y Bayram, G. 2010. The differences between the localizations of MUC1, MUC5AC, MUC6 and osteopontin in quail proventriculus and gizzard may be a reflection of functional differences of stomach parts. *Journal of Anatomy*. (217): 7-16.
- Lotfi, E., Karimi, N., Parizadian Kavan, B. y Sharifi, M. 2018. Influence of different dietary levels of energy and protein on reproductive and post hatch growth

- performance in japanese quails. *Iranian Journal of Applied Animal Science*, 8(1): 137-145.
- Ludke, M., Pimentel, A., Ludke, J., Silva, J., Rabello, C., y Santos, J. 2018. Laying performance and egg quality of japanese quails fed diets containing castor meal and enzyme complex. *Br. Journal of Poultry Science*. 20(4): 781-788.
- Lukanov, H. 2019. Domestic quail (*Coturnix japonica domestica*), is there such farm animal?. *World's Poultry Science Journal*. 75(4): 547-558.
- Mann, K., Mann, M. 2013. The proteome of the calcified layer organic matrix of turkey (*Meleagris gallopavo*) eggshell. *Proteome Science*. 11(40): 1-15.
- Maxkwee, E., Perry, J. y Lee, K. 2014. Flavor and appearance of whole eggshell eggs made safe with ozone pasteurization. *Food Science & Nutrition*. 2(5): 578 – 584.
- McDonald, P., Edwards, R., Greenhalgh, J. y Morgan C. 2002. *Animal Nutrition*. 6th ed. Pearson Education Limited. Harlow, U.K. p. 693.
- Mendoza, Y., Brambila, J., Arana, J., Sangerman-Jarquín, D. y Molina, J. 2016. El mercado de huevo en México: tendencia hacia la diferenciación en su consumo. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*.7(6): 1455-1466.
- Minvielle, F. 1998. Genetic and Breeding of Japanese quail for production around the World. *Proceedings of 6th Asian Poultry Congress, Nagoya*. 122-127.
- Minvielle, F. 2004. The future of Japanese quail for research and production. *World's Poultry Science Journal*. (60): 500-507.

- Minvielle, F., Monvoisin, J.L., Costa, J. y Maeda, Y. 2000. Long term egg production and heterosis in quail lines after within line or reciprocal recurrent selection for high early egg production. *British Poultry Science*. (41): 150–157.
- Miranda, J., Anton, X., Redondo-Valbuena, C., Saavedra, P., Rodríguez, J., Lamas, A., Franco, C. y Cepeda, A. 2015. Egg and egg-derived foods: effects on human health and use as functional foods. *Nutrients*. 7(1): 706–729.
- Moreno, L., González, S. y Matus, J. 2016. Dependencia de México a las importaciones de maíz en la era del TLCAN. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 7(1): 115-126.
- Moreno, M., Belén, D., García, D. y Mendoza, L. 2006. Evaluación del contenido de carotenoides totales en cáscaras de algunas variedades de naranjas venezolanas. *Revista de la Facultad de Agronomía*. 23(3): 301-309.
- Moura, G., Barreto, S., Donzele, J., Hosoda, L., Pena, G. y Angelini, M. 2008. Dietas de diferentes densidades energéticas manteniendo constante a relação energía metabolizável: nutrientes para codornos japonesas em postura. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 37(9):1628-1633.
- Moura, R., Reis, R., Mendonça, M., Salgado, H., Abreu, K., Madella, G. y Lima, M. 2020. Substitution of limestone for eggshell powder in the diet of Japanese laying quails. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*. (21): 01-13.
- Moura, R., Reis, R., Mendonça, M., Salgado, H., Abreu, K., Madella, G. y Lima, M. 2020. Substitution of limestone for eggshell powder in the diet of Japanese laying quails. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*. (21): 1-13.

- Narinc, D., Karaman, E., Aksoy, T., y Firat, M. 2013. Investigation of nonlinear models to describe long-term egg production in Japanese quail. *Poultry Science*. (92): 1676–1682.
- National Research Council, NRC. 1994. Nutrient requirements of Poultry: Ninth Revised Edition, 1994. Washington, DC: The National Academies Press.
- Nkukwana, T., Muchenje, V., Pieterse, E., Masika, P., Mabusela, T., Hoffman, L. y Dzama, K. 2014. Effect of *Moringa oleifera* leaf meal on growth performance, apparent digestibility, digestive organ size and carcass yield in broiler chickens. *Livestock Science*. 161: 139-146.
- Onyenweaku E.O., H.N. Ene-Obong, I.O. Williams, Ch.O. Nwaehujor. 2018. Comparison of nutritional composition of bird egg varieties found in southern Nigeria: a preliminary study. *Food and Nutrition Sciences*. 9:868-879
- Pinto, R., Soares, A., Teixeira, L., Gomes, P. y Vargas J. 2002. Níveis de proteína e energia para codornas japonesas em postura. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 31(4): 1761-1770.
- Quevedo, I., Freitas, E., Filgueira, T., do Nascimento, G., Braz, N., Fernandes, D. y Watanabe, P. 2013. Parboiled rice whole bran in laying diets for Japanese quails. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*. 48(6): 582-588.
- Rao, K. y Roland, S. 1990. In vivo limestone solubilization in comercial Leghorns: role of dietary calcium level, limestone particle size, in vitro limestone solubility rate, and the calcium status of the hen. *Poultry Science*. (69):2170-2176.

- Reda, F., Ashour, E., Alagawany, M. y El- Hack, M. 2015. Effects of dietary protein, energy and lysine intake on growth performance and carcass characteristics of growing japanese quails. *Asian Journal of Poultry Science*. (9): 155-164.
- Reddish, J., Nestor, K. y Lilburn, M. 2003. Effect of selection for growth on onset of sexual maturity in randombred and growth-selected lines of Japanese quail. *Poultry Science*. (82): 187–191.
- Rincón, D., Ramírez, R. y Vargas, J. 2011. Transmisión de salmonella entérica a través de huevos de gallina y su importancia en salud pública. *Revista de la Universidad Industrial de Santander. Salud*. 43(2):167-177.
- Safaa, H., Serrano, M., Valencia, D., Frikha, M., Jiménez-Moreno, E., y Mateos, G. 2008. Productive performance and egg quality of brown egg-laying hens in the late phase of production as influenced by level and source of calcium in the diet. *Poultry Science*. 87(10): 2043-2051.
- Sahan, U., Ipek, A. y Sozcu, A. 2014. Yolk sac fatty acid composition, yolk absorption, embryo development, and chick quality during incubation in eggs from young and old broiler breeders. *Poultry Science*. 93(8): 2069 – 2077.
- Sakomura, N. y Rostagno, H. 2007. Métodos de pesquisa em nutrição de monogástricos. *Jaboticabal*. 283.
- Saldaña, B., Gewehr, C., Guzman, P., Garcia, J. y Mateos, G. 2016. Influence of feed form and energy concentration of the rearing phase diets on productivity, digestive tract development and body measurements of brown-egg laying

- hens fed diets varying in energy concentration from 17 to 46 wk of age. *Animal Feed Science and Technology*. 221:87-100.
- Sezer, M. 2007. Heritability of exterior egg quality traits in Japanese quail. *Journal of Applied Biological Sciences*. 1(2): 37–40.
- Shanaway, M. 1994. *Quail Production Systems: A Review*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- Sharaf, A.M. 2011. Chemical characteristics of whole eggs from avian species: A comparative study. *Journal of Food and Dairy Sciences*. 2(4): 225 -235.
- Shehan, N. 2012. Anatomical and histological study of esophagus in geese (*Anser anser domesticus*). *Basrah Journal of Veterinary Research*. 11(1): 13–22.
- Shibi, K., Richard, P., Lurthu, T y Rajendran, D. 2016. Nutrient composition of Japanese quail eggs. *International Journal of Science, Environment and Technology*. 5(3): 1293-1295.
- Spasevski, N., Puvača, N., Pezo L., Tasić, T., Vukmirović, Đ., Banjac, V., Čolović R., Rakita, S., Kokić B. y Džinić, N. 2018. Optimisation of egg yolk colour using natural colourants. *European Poultry Science*. (82): 1612- 9199.
- Sugiura, K., Fushimi, K., Takehisa, T., Miwa, M., Saito, T., Uchida, Y. y Onodera, T. 2009. An outbreak of H7N6 low pathogenic avian influenza in quails in Japan. *Veterinaria Italiana*. (45): 481–489.

- Taha, A. y AL-Duleemy, A. 2020. Morphological description of the digestive canal in *Taeniopygia guttata* (zebra finch) and *Sturnus vulgaris* (starling). The Journal of Basic and Applied Zoology. 81(24): 1-10.
- Tserveni-Goussi, A. y Fortomaris, P. 2011. Production and quality of quail, pheasant, goose and turkey eggs for uses other than human consumption. improving the safety and quality of eggs and eggs products. Egg Chemistry, Production and Consumption. Cambridge, U.K., Wood head Publishing Limited. 509-537.
- UNA. 2020. Compendio de indicadores económicos del Sector Avícola. Consultado el 19 -Julio-2020.
- Vandepopuliere, J., Walton, H., Jaynes, W. and Cotterill, O.1978. Elimination of pollutants by utilization of egg breaking plant shell-waste. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C.
- Vásquez, N.C. 2014. Determinación de fracciones de carbohidratos y proteínas y del valor nutricional de pasto buffel (*Cenchrus ciliaris L*) asociado con dos subproductos agroindustriales. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Nuevo León, Nuevo León, México.
- Yasathai, R. y Kavithaa, N. 2014. Eggshell waste a calcium source for layers review. International Journal of Science, Environment and Technology. 4(3): 1465-1471.