



**UNIVERSIDAD MICHUACANA DE SAN
NICOLÁS DE HIDALGO**



**FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y
ZOOTECNIA**

**EFFECTO DE LA PIGMENTACIÓN, BRILLO, PESO E
ÍNDICE DE FORMA DEL HUEVO DE CODORNIZ
(*Coturnix coturnix japónica*) SOBRE LA TASA DE
INCUBABILIDAD**

TESIS

Que Presenta

Alejandro López Hernández

Director:

Dr. Aureliano Juárez Caratachea

Morelia, Michoacán, México. Octubre de 2021.



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN
NICOLÁS DE HIDALGO**



**FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y
ZOOTECNIA**

**EFFECTO DE LA PIGMENTACIÓN, BRILLO, PESO E
ÍNDICE DE FORMA DEL HUEVO DE CODORNIZ
(*Coturnix coturnix japónica*) SOBRE LA TASA DE
INCUBABILIDAD**

TESIS

Que Presenta

Alejandro López Hernández

Para obtener el título profesional de

MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

Morelia, Michoacán, México. Octubre de 2021.

DEDICATORIA

A mis padres Cosme López Andrade y María del Socorro Hernández Orozco por apoyarme emocional y económicamente cuando lo necesite, por su cariño, regaños y palabras que me ayudaron a no darme por vencido en mi estudio profesional. A mis hermanos que me apoyaron como pudieron y me dieron el ánimo que necesite. A personas; que estimo como mi padrino J. Jesús Patiño Castellanos; en paz descanse, quien me dio la motivación desde un principio, el apoyo y confianza para que yo siguiera estudiando, gracias por todo lo que hiciste por mi estaré eternamente agradecido contigo, recibe un abrazo hasta el cielo. Al Sr. Juan Manuel Nieto Verduzco, Sra. María Leticia Aguilar Aragón y su familia por abrirme las puertas de su casa, darme una oportunidad de trabajo el cual me ayudo a lograr satisfactoriamente mis estudios, gracias por la confianza que me tienen y el apoyo emocional que me brindan. A mi pareja y futura esposa, Bibiana Camacho Reyes; quien me ayudo a lo largo de la carrera alentándome a dar lo mejor de mí siempre, dándome la motivación y palabras que necesitaba. A todos mis amigos; con los que compartí aula y facultad, a todos los que me ayudaron, un gusto y un placer a ver compartido con ustedes esta bonita profesión.

AGRADECIMIENTOS

Sin duda alguna a lo largo de 5 años estudiando esta hermosa profesión, conocí y compartí tiempo con diversas personas que me apoyaron día con día entre amigos y profesores quiero agradecer a todos y cada uno de ustedes comenzando con mis amigos de equipo: Juan Daniel Serrano, Carlos Salvador Molina, Kevin Quevedo, Heriberto Espinosa, Héctor Manuel Baeza; por mencionar algunos, gracias a todos por su amistad, consejos y apoyo que me brindaron. No fue una carrera fácil ya que hubo diversos obstáculos pero con su ayuda pude llegar al final.

A mis profesores, Dr. Aureliano Juárez Caratachea y la Dra. Ernestina Gutiérrez, por su apoyo, amistad y confianza; gracias a ambos por todo lo que hicieron por mí.

A las personas que me ayudaron y apoyaron como pudieron se los agradeceré de por vida, no fue fácil llegar hasta el final hubo muchos desvelos, estrés, cansancio, hambre pero gracias a todos se pudo lograr llegar al final cumpliendo un objetivo en la vida.

Mis padres y mis hermanos se llevan todo mi aprecio ya que jamás dejaron de ayudarme con este proyecto que tuve en mi vida. Estaré eternamente agradecido con ustedes. Pero nada de esto hubiera sido posible sin la ayuda de mi padrino J. Jesús Patiño, Solo yo sé lo que hiciste por mí y lo agradecido y orgulloso que estarías de haberme visto concluir mi carrera universitaria, hasta el cielo te digo muchas gracias por todo y este trabajo y mi futuro va por ti.

INDICE

RESUMEN.....	8
ABSTRACT.....	9
INTRODUCCIÓN.....	10
MATERIALES Y MÉTODOS.....	14
RESULTADOS.....	16
DISCUSIÓN.....	20
CONCLUSIÓN.....	23
BIBLIOGRAFÍA.....	24

RESUMEN

Se evaluó el efecto de las variables peso del huevo, pigmentación y brillo de cáscara, así como el índice de forme sobre la tasa de incubabilidad del huevo de codorniz, en un sistema semiintensivo de producción. Para ello se incubaron 3300 huevos de codorniz, en las instalaciones avícolas de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, previamente seleccionados por pigmentación de la cáscara y clasificados como de alta (AP), mediana (MP) y baja pigmentación (BP); por brillantez de cáscara: brillante (CB) y opaca (CO); por peso del huevo: <11g, 11.0-11.9g, 12.0-12.9g y >13g e índice de forma: <78 y >78%. Los resultados más relevantes indican que: los huevos con AP y MP muestran mayor incubabilidad (69.21 y 63.1% respectivamente) sin diferencias significativas ($P>0.05$) entre ellos, los huevos con CB mostraron incubabilidad de 75.7%, superior a los de CO ($P<0.05$); en peso del huevo, aquellos entre 12 y 12.9g presentaron mayor incubabilidad (79.11%) y en índice de forma, los huevos con índice >78% presentaron mayor incubabilidad (67.62%). En conclusión, se observó mayor incubabilidad en huevos con cáscara alta y medianamente pigmentada, brillante, con peso entre 12.0 y 12.9g e índice de forma >78%.

Palabras Clave: Codorniz, Incubación, cascaron, pigmentación.

ABSTRACT

The effect of the variables egg weight, pigmentation and shell gloss, as well as egg shape index on the hatchability rate of quail eggs was evaluated in a semi-intensive production system. For this purpose, 3300 quail eggs were incubated in the poultry facilities of the Faculty of Veterinary Medicine and Zootechnics of the Universidad Michoacana de San Nicolas de Hidalgo, previously selected by shell pigmentation and classified as high (AP), medium (MP) and low pigmentation (BP); by shell brightness: bright (CB) and opaque (CO); by egg weight: <11g, 11.0-11.9g, 12.0-12.9g and >13g and shape index: <78 y >78%. The most relevant results indicate that: eggs with AP and MP showed higher hatchability (69.21 and 63.1% respectively) without significant differences ($P>0.05$) between them; eggs with CB showed 75.7% hatchability, higher than those with CO ($P<0.05$); in egg weight, those between 12 and 12.9g showed higher hatchability (79.11%) and in shape index, eggs with shape index >78% showed higher hatchability (67.62%). In conclusion, higher hatchability was observed in eggs with high and medium pigmentation, shiny shells, with egg weight between 12.0 and 12.9g and shape index >78%.

Key Words: Quail, Incubation, shell, pigmentation.

INTRODUCCIÓN

En términos generales, por ganadería se entiende al conjunto de actividades económicas que consisten en la cría de animales domésticos para el consumo humano de sus productos y subproductos, tales como la carne, leche, lana, piles, huevo y miel. En relación al tema, la avicultura es una rama de la ganadería que trata de la cría, producción y reproducción de las aves domésticas con fines económicos, científicos y recreativos. En este sentido, la cotornicultura de coturnix (codorniz) y cultor (el arte de cultivar) es una rama de la avicultura que trata de la cría, mejoramiento, fomento a la producción, aprovechamiento y cuidado de las aves de la especie codorniz, sus productos: carne y huevo, ya sea fértil para incubar o infértil para consumo humano, y el beneficio de sus subproductos como las plumas y las excretas para abono orgánico, conocido como codornaza (Vázquez *et al.*, 2007, Valle *et al.*, 2015 y De Basilio, 2017).

Por muchos años estas aves se usaron de forma ornamental, los machos eran apreciados por su característico canto. Es un ave que a pesar de sus hábitos migratorios se adapta con facilidad a la vida sedentaria, por lo cual se ha aprovechado su cría y producción en diferentes sistemas de tipo intensivo con alto grado de tecnificación y semiintensivo donde el ave tendrá un espacio reducido (Valle *et al.*, 2015). La codorniz que actualmente es domesticada se introdujo a Japón desde China atravesando Corea. Su domesticación comenzó en el lejano oriente y no en oriente medio como algunos autores mencionan (Valle *et al.*, 2015 y De Basilio, 2017). Los primeros registros de domesticación de la codorniz en Japón corresponden al siglo XII, donde se comenzó a criar codorniz por su canto. Sin embargo, esta actividad tuvo un auge cuando surgió la noticia de que el emperador de Japón se curó de tuberculosis gracias a la alimentación basada en carne de codorniz, aunque fue hasta la última parte del siglo XIX que comenzó la producción masiva de carne y huevo de codorniz (Valle *et al.*, 2015).

Esta pequeña ave pertenece al Orden Galliformes y a la Familia Faisanídos de la especie *Coturnix coturnix* (Grimaldos, 2020). Aun cuando existen cuantiosas razas de esta ave, los de interés comercial se concentran en la producción de dos

variedades, la codorniz salvaje, común o europea (*Coturnix coturnix coturnix*) y la codorniz japonesa (*Coturnix coturnix japónica*); lo que llama la atención de los coturnicultores es el alto rendimiento en la producción de huevo y carne (Díaz *et al.*, 2017). *Coturnix coturnix coturnix*: es la codorniz salvaje originaria de Europa y Asia. Esta ave es aprovechada por los coturnicultores para la producción de carne por su mayor peso corporal. *Coturnix coturnix japónica*: es la codorniz originaria de la isla de Sakhalin y el archipiélago de Japón (Vázquez *et al.*, 2007).

La codorniz japonesa fue introducida a Europa y Estados Unidos con fines de investigación y decorativos ya que se domesticaron como aves ornamentales en el siglo XIX. Más tarde adquirieron un gran valor para la industria avícola la cual utilizó para la producción de huevo. Existe una característica que diferencia desde el punto de vista zootécnico a la codorniz salvaje de la japonesa, primeramente por duplicarles el peso y consumo y porque su producción es menor en 10-12 huevos/ ave /año (Vázquez *et al.*, 2007).

Entre las generalidades de la codorniz japonesa, Grimaldos (2020) menciona que los machos poseen un color canela o marrón en la garganta, el cual va desde las mejillas hasta la mitad del pecho; las hembras en esta misma región presentan un color cremoso con diversas manchas negras que las diferencian cuando estas son pequeñas, las plumas son similares entre ambos teniendo plumas color marrón con bandas negras, el dimorfismo sexual o la diferenciación de sexo se da a los 21 días donde se puede apreciar el cambio de fenotipo entre macho y hembra.

Entre sus características reproductivas (*Coturnix coturnix japonica*) las hembras comienzan a los 60 días de edad su período reproductivo. Aunque es sexualmente madura desde antes, sus huevos tienen un bajo porcentaje de eclosión ya que la yema o vitelo se desarrolla en menor tamaño. Por su parte los machos alcanzan su madurez sexual a los 42 días, pero su capacidad fecundante inicia a los 50 días. Mantienen una actividad sexual intensa durante 6 meses y después comienza a disminuir gradualmente (García-Moreira, 2018).

Esta rama de la avicultura es catalogada como una actividad pecuaria de baja inversión inicial, rápido retorno del capital, bajos costo de producción, poca demanda de mano de obra, mínimo espacio para su desarrollo y alto valor nutricional de sus productos. Además de ello, las bondades con las que cuenta esta especie: productividad, rápido crecimiento, rusticidad y precocidad, colocan a la cotornicultura como una industria flexible que se puede adaptar tanto a sistemas intensivos altamente tecnificados, así como a sistemas familiares (Valle *et al.*, 2015). No obstante, ambos sistemas se centran en la producción y comercialización de carne y huevo principalmente. Siendo este último (producción de huevo) de mayor importancia, puesto que, el huevo de codorniz no solo se utiliza para el consumo humano, además, es la materia prima para la producción de polluelos ya sea para el propio sistema o para la venta exterior.

Los huevos que produce la codorniz son de color blanco, cubiertos de manchas cuyas tonalidades van desde el marrón al negro, pasando por el azul o verde (Stoddard *et al.*, 2012). La formación del huevo es compleja y comprende desde que ocurre la ovulación hasta que el huevo es puesto por el ave. La calidad del huevo va a depender de numerosos componentes que deben ser sintetizados correctamente. La alimentación con nutrientes de alta calidad, el confort o bienestar animal y un adecuado régimen sanitario garantizarán el éxito en el proceso de formación del huevo (Valle *et al.*, 2015).

El color del huevo depende de tres componentes orgánicos básicos; protoporfirina, biliverdina y quelato de zinc, que de acuerdo con sus concentraciones dan la coloración al cascarón (Salomón, 2010). Por ejemplo, en huevos con cascarón azul o verde, la biliverdina y el quelato de biliverdina con zinc tienen mayor proporción, mientras que huevos con cáscara de color marrón predomina la protoporfirina (Tumova *et al.*, 2007). Tanto la biliverdina como la protoporfirina se sintetizan en la glándula de la cáscara del oviducto y posteriormente se depositan simultáneamente en el cascarón del huevo (Aygün, 2014). Se ha reportado que el color del cascarón del huevo puede afectar tanto su calidad como su valor biológico. En faisanes se ha reportado mayor actividad de lisozima en huevos con

cascarón azul vs huevos con otros tonos de cascarón (Kennedy y Vevers, 1976). Zhao *et al.* (2006) también reportan relación entre el color del cascarón y la calidad de la albúmina.

Además de la coloración del cascarón, sus rasgos también inciden sobre la incubabilidad y el desarrollo del embrión (De Basilio, 2017). Se tienen reportes (Galindez *et al.*, 2009) que los mejores huevos para la incubación son los que presentan superficie tersa y brillante, dicha característica se asocia con la calidad de la cutícula que los protege de contaminación y deshidratación. Huevos sin brillo, no son aptos para incubación, debido a su mayor porosidad, lo cual pone en riesgo la viabilidad del embrión (Villacis *et al.*, 2016). Dicha característica (ausencia de brillo) se asocia con la propia fisiología reproductiva de las aves, la cual es a través del huevo; al ser el huevo un sistema cerrado en cuanto al intercambio de minerales, el cascarón participa como fuente de material de construcción para el correcto desarrollo del embrión, huevos sin brillo, son asociados con mineralización deficiente e índices mayores de contaminación lo cual compromete la viabilidad del embrión (Wang *et al.*, 2007).

Otros criterios que se han evaluado en el huevo de codorniz para determinar su viabilidad en la incubación son, la forma del huevo, su peso y el grosor del cascarón (Erensayin, 2002; Galindez *et al.*, 2009), además de factores ambientales como la humedad relativa y periodo de almacenamiento (Majhi *et al.*, 2016). Con respecto a los factores inherentes del huevo sobre su viabilidad biológica, se ha demostrado que la eclosión de huevos con cascarón más grueso son mejores (9%) para ser incubados, ello con respecto a huevos con cascarón delgado (Samiullah y Roberts, 2013). Así mismo, existen reportes de la relación intensidad de pigmentación del cascarón y su grosor sobre la incubabilidad, lo que indica posible correlación entre los procesos de pigmentación del cascarón y su calcificación (Nowaczens *et al.*, 2013).

Independientemente de los factores antes mencionados faltan estudios orientados a investigar la fertilidad de esta especie, enfocados directamente sobre las características físicas inherentes del huevo (Kuurman *et al.*, 2002). Ello propiciaría

un abanico de oportunidad para el productor, puesto que, se podría tipificar el huevo apto para producción de polluelos y el huevo para consumo humano ya que generalmente, el consumidor no tiene preferencias al respecto en cuanto al tamaño, pigmentación o sabor del huevo (Taha, 2011). Ello brinda la oportunidad a los criadores en la selección de los huevos biológicamente aptos para la incubación

Por los antecedentes ya señalados, en los que se destaca el tamaño del huevo, pigmentación y brillo cuticular de la cáscara, así como las dimensiones longitudinales y transversales del huevo de codorniz, es factible que: los huevos con diferente tamaño, grados de pigmentación y brillo, así como con diferentes índices de forma, también presenten diferentes tasas de incubabilidad.

OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto de la pigmentación y brillo de la cáscara, peso del huevo e índice de forma sobre la tasa de incubabilidad del huevo de codorniz.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Determinar cuál de las variables es la mejor para seleccionar con éxito al momento de incubar.
- Precisar el rasgo o característica de cada variable con el mayor índice de incubabilidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se desarrolló en el sector avícola de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (FMVZ-UMSNH), que se localiza en el km 9.5 de la carretera Morelia Zinapécuaro, municipio de Tarímbaro, Michoacán, entre las coordenadas 19°47'11" de latitud Norte y 101°10'35" de longitud oeste, a una altura de 1,864 msnm, el clima de la

región es templado subhúmedo con lluvias en verano, presenta una precipitación pluvial anual de 600 a 800mm y temperatura que oscila de 2.5 a 25.1 °C. (INEGI, 2017).

El huevo fértil (n=3,300) fue obtenido de un sistema local de producción comercial de codorniz, para ello, cada dos semanas se obtenían 1100 huevos fértiles, durante un periodo de seis semanas. La población reproductora de dicho sistema consta de 10,000 aves de 36 semanas de edad. Las codornices se encontraban alojadas en un sistema de jaulas en batería con proporción de sexos (1♂:3♀). El suministro de agua y alimento de las aves fue a libre acceso, la dieta contenía 2,900 kcal de EM/kg y 20% de proteína cruda. La infraestructura de las instalaciones, así como la densidad de aves por jaula cumplieron con las normas estipuladas en el Manual de Buenas Prácticas de Avicultura Productiva Alternativa (Juárez *et al.*, 2008), específicamente lo relacionado con reproducción, crianza, desarrollo, incubación, postura, alimentación, sanidad e infraestructura.

El embalaje del huevo se hizo en conos especiales para transportarlo al sector avícola de la FMVZ-UMSNH, donde fue clasificado por grado de pigmentación (proporción de manchas, rasgos del cascarón, como brillo, peso e índice de forma del huevo). Los huevos de cada adquisición fueron agrupados como de alta (AP), mediana (MP) y baja (BP) pigmentación, según la superficie pigmentada (cm²), ésta se determinó con el método de papel milimétrico transparente (aproximativo), que consiste en colocar el papel sobre la superficie a medir y se calca el contorno. Luego se cuentan los cuadrados de 1 cm, ½ cm y ¼ cm y se suman para determinar el área pigmentada (Corberó *et al.*, 1989). La selección por rasgos del cascarón fue como cascarón brillante (CB) o cascarón opaco (CO). El peso del huevo (PH) se clasificó en cuatro grupos: <11 g, 11.0 a 11.9 g, 12.0 a 12.9 g y >13 g, para ello, los huevos fueron pesados con una báscula digital con precisión de 0.1 g. El índice de forma (IF) se determinó con las mediciones longitudinal y transversal de los huevos a través de la siguiente ecuación:

$$IF = \frac{\text{Diametro transversal}}{\text{Diametro longitudinal}} * 100$$

De acuerdo con los resultados obtenidos del IF se clasificaron en dos grupos: <78 y >78%. Al final, los 3,300 huevos quedaron divididos entre las 11 variables con un número aproximado de 300 huevos/variable.

La incubación del huevo, previa desinfección de éste en una solución de yodo al 3%, se llevó a cabo en tres incubadoras eléctricas con capacidad para 300 huevos, cada una. Los huevos fueron colocados en sacos de malla de acuerdo con las clasificaciones previamente descritas, e identificados individualmente para llevar seguimiento y facilitar el monitoreo al eclosionar. La temperatura de incubación fue de 37.5 a 38°C y 60 a 65% de humedad. La rotación del huevo se realizó de forma manual, por un mismo operario, tres veces al día. A los 15 días del periodo de incubación los huevos fueron transferidos a las nacedoras. Los resultados de cada tratamiento y de cada carga de incubación fueron concentrados en una hoja de cálculo, hasta concluir con la cantidad de huevos establecidos en el diseño experimental.

Los datos obtenidos se procesaron estadísticamente utilizando el paquete estadístico SAS 9.4®. Los grupos se compararon mediante la prueba F y la prueba t de Student para muestras independientes. Los datos de eclosión, después de verificar la normalidad de la distribución (prueba de Kolmogorov-Smirnov), se analizaron mediante la prueba no paramétrica de Mann-Whitney para muestras independientes (equivalente a la prueba t de Student). Para determinar el mayor nivel de eclosión de los huevos de acuerdo con su peso, la ecuación de regresión estimada se derivó y fue igual a cero para determinar el punto crítico. Las diferencias entre los grupos se obtuvieron mediante el método de medias de mínimos cuadrados (LSmeans). Para las diferencias significativas entre los grupos se consideraron $\alpha < 0.05$. Los resultados se presentan como media $\pm$ EE.

RESULTADOS

El efecto ($P < 0.001$) de color/brillo de la cáscara sobre indicadores de incubabilidad de los huevos fue evaluado (Tabla 1). La mayor ($P < 0.05$) tasa de eclosión fue para los huevos con cáscara brillante y con alta pigmentación (Tabla 1). Independientemente de no mostrar diferencia estadística ($P > 0.05$) en la tasa de

eclosión dichas clasificaciones de huevos, los huevos que presentaron cáscara brillante mostraron mejor comportamiento con respecto a los huevos con alta pigmentación: 6.49% mayor eclosión (Tabla 1). Huevos con cáscara opaca y baja pigmentación fueron los que presentaron el menor ($P<0.05$) porcentaje de eclosión (Tabla 1).

Tabla 1. Medias de mínimos cuadrados para la tasa (%) de incubabilidad de acuerdo con el color y brillo de la cáscara

Tasa de incubabilidad	Color de cáscara			Brillo de cáscara	
	AP	MP	BP	Brillante	Opaco
Eclosionados	69.21 ^{ac}	63.10 ^a	50.01 ^b	75.70 ^c	56.41 ^b
Picados no eclosionados	7.71 ^a	13.10 ^b	17.80 ^c	6.10 ^a	10.21 ^b
Embrión muerto	10.19 ^a	10.48 ^a	17.78 ^b	12.09 ^a	10.19 ^a
Infértiles	12.79 ^a	13.09 ^b	14.31 ^b	6.10 ^a	20.48 ^b
Contaminados	0.00 ^a	0.00 ^a	0.00 ^a	0.00 ^a	2.60 ^b
Error estándar	3.34	3.29	3.17	5.89	5.89

AP=alta pigmentación; MP=media pigmentación; BP=baja pigmentación.

^{a,b,c} Literales diferentes indican diferencia estadística ($P<0.05$) dentro de fila.

La tasa de embriones muertos de acuerdo con el color y brillo de cáscara fue mayor ($P<0.05$) en los huevos con baja pigmentación (17.78%), las demás clasificación de color/brillo de la cáscara no mostraron diferencia ($P>0.05$) para dicho indicador, se encontraron en un rango entre 10.19 a 12.09% (Tabla 1). Con respecto a la tasa de fertilidad de los huevos de acuerdo con el color y brillo de la cáscara, los huevos con media y baja pigmentación y huevos opacos fueron los que presentaron el menor ($P<0.05$) porcentaje de fertilidad, 86.91, 85.66 y 79.52%, respectivamente; ello con respecto a huevos con cáscara brillante y alta pigmentación: tasa de fertilidad promedio 90.54% (Tabla 1).

Con respecto al efecto ($P<0.001$) del peso del huevo sobre indicadores de incubabilidad se encontró que el mayor porcentaje de eclosión (72.11%) fue para los huevos con un peso entre 12.0 a 12.9 g, porcentaje superior ($P<0.05$) al

encontrado en huevos con peso <11g (29.25%) y >13 g (41.34%) (Tabla 2). En relación con la tasa de embriones muertos, los huevos clasificados entre 11.0 y 11.9 g fueron los que presentaron la mayor ($P<0.05$) tasa: 22.22% (Tabla 2). Mientras que los huevos con peso entre 12.0 a 12.9% fueron los que presentaron la menor ($P<0.05$) tasa de mortalidad embrionaria (Tabla 2). La tasa de fertilidad de los huevos de acuerdo con su peso fue mayor ($P<0.05$) en los huevos clasificados entre 11.0 a 11.9g (88.89%) y 12.0 a 12.9g (83.33). La menor ($P<0.05$) tasa de fertilidad fue para los huevos con peso >13g: 69.23% (Tabla 2).

Tabla 2. Medias de mínimos cuadrados para la tasa (%) de incubabilidad de acuerdo con el peso del huevo

Tasa de incubabilidad	Peso del huevo, g			
	<11	11.0 – 11.9	12.0 – 12.9	>13
Eclosionados	42.86 ^a	63.89 ^b	72.11 ^c	30.77 ^d
Picados no eclosionados	14.29 ^a	2.78 ^b	8.33 ^c	7.69 ^c
Embrión muerto	17.86 ^a	22.22 ^b	2.78 ^c	15.38 ^a
Infértiles	25.00 ^a	11.11 ^b	16.67 ^c	30.77 ^d
Contaminados	0.00 ^a	0.00 ^a	0.00 ^a	15.38 ^b
Error estándar	3.34	3.29	3.17	5.89

^{a,b,c} Literales diferentes indican diferencia estadística ($P<0.05$) dentro de fila.

De acuerdo con la distribución de los pesos de los huevos sobre la tasa de eclosión, los estimadores de regresión mostraron comportamiento cuadrático (Figura 1): $PE = 1748.58 + 301.50 * PH - 12.49 * PH^2$; $R^2 = 0.67$, donde; PE=porcentaje de eclosión y PH=peso del huevo. El análisis polinomial ortogonal determinó que el peso del huevo de 12.06 g promedio, resultó en una mayor tasa de eclosión: 70.76% ($P<0.05$) (Figura 1).

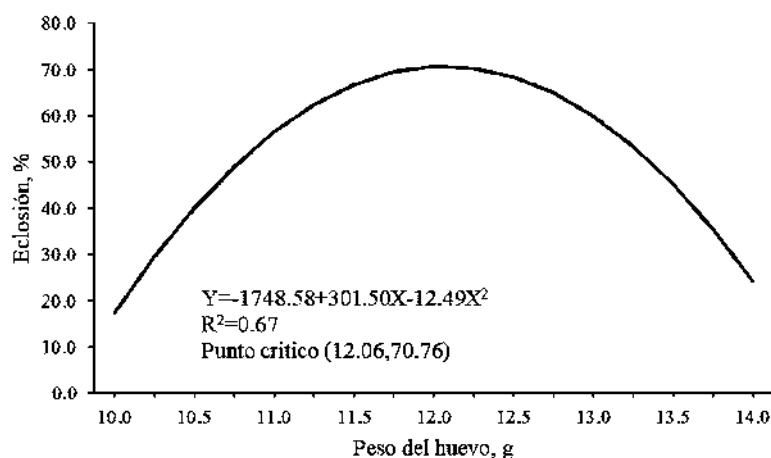


Figura 1. Curva de predicción para el porcentaje de eclosión de acuerdo con el peso del huevo.

Al evaluar el efecto ($P < 0.001$) del índice de forma del huevo sobre indicadores de incubabilidad, se encontró que, el índice de forma superior a 78% presentó mejor comportamiento para la tasa de eclosión (21.88% mayor eclosión) y mortalidad embrionaria (14.71% menor mortalidad), con respecto al índice de forma menor a 78% ($P < 0.05$) (Tabla 3). Los huevos picados y no eclosionados y la tasa de fertilidad no mostraron diferencia ($P > 0.05$) de acuerdo con el índice de forma (Tabla 3).

Tabla 3. Medias de mínimos cuadrados para la tasa (%) de incubabilidad de acuerdo con el índice de forma del huevo

Tasa de incubabilidad	Índice de forma, %	
	<78	>78
Eclosionados	47.34 ^a	67.62 ^b
Picados no eclosionados	13.41 ^a	13.57 ^a
Embrión muerto	20.22 ^a	5.51 ^b
Infértiles	15.81 ^a	13.31 ^a
Contaminados	3.22	0.00
Error estándar	1.97	1.97

^{a,b} Literales diferentes indican diferencia estadística ($P < 0.05$) dentro de fila.

DISCUSIÓN

En la presente investigación se encontró que el color y brillo de la cáscara del huevo, peso e índice de forma afectaron los indicadores de incubabilidad del huevo de codorniz japonesa. No obstante, los datos disponibles en la literatura no son consistentes al respecto. Las investigaciones de Ravel (2006) y Alasahan *et al.* (2016), sobre el impacto del color y área de manchas de la cáscara del huevo establecen que no existe relación entre color de la cáscara o tamaño de las manchas sobre la incubabilidad. En cambio, García-Moreira (2018), al analizar el efecto de la edad de la codorniz, encontró incubabilidad de 86.6 y 79.9% para 21 y 30 semanas de edad, respectivamente, asociados al tono oscuro de la cáscara. Así mismo, Galindez *et al.* (2009) observaron mayor porcentaje de eclosión (48%) cuando la cantidad de manchas oscuras fue mayor, con respecto a huevos con pigmentación intermedia cuya tasa de eclosión fue de 42%. Las discrepancias entre lo reportado por estos investigadores puede deberse a muchas razones, aunque la principal es la edad de las aves. Zita *et al.*, (2013) indican impacto significativo de la edad de la parvada en la pigmentación de la cáscara de los huevos puestos por las codornices. En la presente investigación, los huevos provenían de aves de la misma edad, lo que permitió omitir este factor durante el estudio.

Respecto a la superioridad en eclosión de los huevos con mayor número de manchas se ha atribuido a que éstos huevos permanecen por más tiempo en el tracto reproductor de la hembra, aumentando así la protección de éste (mayor grosor, mayor cantidad de cutina sobre los poros) contra los agentes patógenos que pudieran interferir el desarrollo embrionario (Quintana, 2013). Además, se ha establecido que la biliverdina que genera manchas azul-verdoso en la cáscara del huevo tiene propiedades antioxidantes (Duval *et al.*, 2013), mientras que la protoporfirina incrementa la resistencia a las fracturas del cascarón debido a una mayor mineralización (Cassey *et al.*, 2012).

Con respecto a la incubabilidad encontrada (75.70%) en huevos con cáscara brillante, es similar a los hallazgos de Alasahan *et al.* (2016), dichos autores

reportaron ventajas de incubación en huevos con cáscara brillante, los cuales mostraron una incubabilidad y fertilidad de 79 y 84% respectivamente. Galindez *et al.* (2009) obtuvieron diferencias de eclosión entre huevos fértiles, de acuerdo con el brillo del cascarón: con cascarón brillante, 43.89% y con cáscara no brillante 36.7%. No obstante, estudios realizados en pollos han demostrado que la eclosión de los polluelos a partir de huevos con cáscaras muy brillantes es menor (Ingram *et al.*, 2008; Garcia-Navas *et al.*, 2011). Resultados en huevos de faisán mostraron que la eclosión de huevos marrones y oliva son mejores en comparación con huevos de color azul (Garcia-Navas *et al.*, 2011).

Estos hallazgos de mayor incubabilidad de los huevos con cáscara brillante quizá se explique por la presencia de una cutícula compuesta de proteínas y lípidos que cubre todo el huevo, cuyo rol es regular el intercambio gaseoso y humedad con el medio, contribuyendo así a mantener la calidad de la albúmina y, en consecuencia, el equilibrio ácido-base, lo que tal vez beneficia a la sobrevivencia embrionaria y posterior eclosión (Reis *et al.*, 1997 y Rapao *et al.*, 1999, citados por Galindez *et al.*, 2009). Además, al ser el carbonato de calcio el principal material de construcción (96%) de la cáscara, y los componentes restantes son magnesio, fósforo, cobre, zinc, hierro y muchos oligoelementos (litio, estroncio entre otros) (Nys *et al.*, 1999). Todas las relaciones descritas, entre el color de la cáscara e incubabilidad, se deben probablemente a las propiedades de los pigmentos de la cáscara, así como la biodisponibilidad de los elementos constructivos, mismos que dependen del color y que afectan el valor biológico de los huevos para incubar (Goran *et al.*, 2010). Sin embargo, este fenómeno necesita un análisis más detallado.

Aunado al color del huevo sobre la incubabilidad, también se tienen reportes (Uddin *et al.*, 1994), de la asociación entre la pigmentación de la cáscara del huevo y su peso. Por lo tanto, los resultados de la eclosión son influenciados no solo por el color de la cáscara del huevo sino también por el peso del huevo, lo que explicaría los resultados encontrados (Tabla 2). Lambecke *et al.* (2001) encontraron que el peso del huevo y la eclosión presentan una correlación positiva

de 0.942 y una incubabilidad de 75.5, 86.22 y 75.0%, en huevos de codornices de 5, 10 y 15 meses de edad respectivamente. Para el caso de la presente investigación, con codornices de 9 meses de edad, los resultados son inferiores a los observados por dichos autores (72.11 vs 86.22%). De acuerdo con García-Moreira, (2018), mientras mayor sea el peso del huevo fértil incubable, mayor será el peso del polluelo, sugiere además, que un criterio para la selección de huevos fértiles es que pesen 12 g o más, criterio que coincide con la mayor eclosión del presente estudio (Tabla 2).

En relación con el tamaño promedio del huevo para incubar, Kartikayudha *et al.* (2013) recomiendan que éste pese de 11 a 13 g, tamaño que se alcanza después que la codorniz alcanza la edad de 2.5 meses. En la presente investigación, en el intervalo de los rangos aquí recomendados (11 a 13 g) se observó la mayor tasa de eclosión, en aquellos huevos cuyo peso varió de 12.0 a 12.9 g (Tabla 2). De acuerdo con la ecuación de regresión estimada (Figura 1) se encontró que el mayor porcentaje de eclosión (70.76%) es con huevos que pesen 12.06 g. Una posible explicación al efecto del peso del huevo sobre la incubabilidad parece ser el hecho de que, los huevos con peso intermedio cuentan con alta capacidad de intercambio de humedad y gases con el medio ambiente, debido a mayor número de poros por unidad de superficie de cáscara. Ozbey y Ozcelik (2004) establecen que dicha capacidad de intercambio de gases y humedad con el medio se relaciona directamente con mayor calidad de albúmina, lo cual asegura la sobrevivencia del embrión.

Además del peso del huevo, en la selección de huevos para incubar se deben tener en cuenta las características morfológicas dado que éstas determinan directamente la posibilidad de incubabilidad (García-Moreira, 2018). Para Sari *et al.* (2012), el índice del huevo es una variable que determina la forma del huevo y, es una relación entre el ancho del huevo y la longitud del mismo. Con base en los criterios de esta fuente y conforme a los resultados del presente estudio, el índice de forma del huevo fue redonda: 67.62%, la misma fuente menciona que los

huevos ideales para incubar tiene forma oval e idealmente tienen índices entre 72 y 76%.

De acuerdo con Dewil *et al.* (1996), la forma del huevo tiene efecto sobre la incubabilidad del mismo; cerca del 20% de las diferencias entre los tipos de huevos que resultan ser los mejores y los peores para incubar se encuentran los de mejor índice de forma. La mayor incubabilidad se obtiene con la forma normal, con valores entre $80\pm 8\%$ del índice de forma; 13% arriba de lo encontrado en el presente estudio. Por su parte Casas *et al.* (2016), al estudiar los diámetros de huevo para calcular volumen, superficie e índice de forma, encontraron que los tres propósitos presentan características externas e internas que garantizan eficacia en la incubación.

Finalmente, esta investigación proporciona información valiosa para especialistas en el área y productores de codorniz sobre la importancia que tienen las propiedades físicas del huevo sobre la productividad. Puesto que, el valor biológico de los huevos se entiende principalmente como sus características relacionadas con la eficiencia de la eclosión, es decir, la incubabilidad, la tasa de fertilidad y la calidad de los polluelos, factores que están influenciados por el color de la cáscara, peso e índice de forma del huevo.

CONCLUSIÓN

Los resultados de la presente investigación permiten concluir que, los huevos con cáscara mediana y altamente pigmentadas, así como aquellos con cáscara brillante, los que pesaron entre 12.0 y 12.9g y los que presentaron un índice de forma superior a 78%, mostraron los mejores resultados de incubabilidad.

BIBLIOGRAFÍA

Alasaham, S., Capur, A.G., Canogullari, S. y Beylan, M. 2016. El impacto del color de la cáscara de huevo y el área de la mancha en las codornices japonesas: I. La temperatura de la cáscara del huevo durante los resultados de la incubación y eclosión. R. Bras. Zootec, Vol. 45(5):1-22.

Aygun, A., (2014). The relationship between eggshell colour and egg quality traits in table eggs. *Indian Journal of Animal Research* [en línea]. **48**(3), 290. [Consultado el 21 de mayo de 2021]. Disponible en: doi: 10.5958/j.0976-0555.48.3.061

Casas, R.S., Guerra, C.L., Ceró, R.A., Uña, I.F. 2016. Empleo de los diámetros del huevo para el cálculo del volumen y superficie y su correlación con otros caracteres externos e internos en tres propósitos de gallinas reproductoras. *Rev. Prod. Anim*, 28(2-3):33-36.

Cassey, P., Thomas, G.H., Portugal, S.J., Maurer, G., Hauber, M.E., Grim, T., Lovell, P., Gamer, M., Miksik, I. 2012. Why are birds eggs colourful?. Eggshell pigments co-vary with life-history and nesting ecology among British breeding non passerine birds. *Biological Journal of the Linnean Society*, 106:657-672.

Corberó, Ma. V., Figueras, P., Lladó, C., Murgadas, F., Parera, Ma. A., Prim, C. y Roig, M. 1989. Trabajar mapas. Editorial Alhambra, Madrid, España, 149 pp.

De Basilio, V. 2017. Historia de la Codorniz en el Mundo y en Venezuela. [En línea] 6 de febrero de 2017. codornizvipraca.com/historia-de-la-codorniz-en-el-mundo-y-en-venezuela/.

Díaz p., D., Espinoza P., R., 2017. Coturnicultura. 1st ed. Chihuahua: Lebas, pp 3-12. Available at: <http://lebascom.files.wordpress.com/2017/06/coturnicultura.pdf>. accessed 20 abril 2021

Duval, C., Cassey, P., Miksik, I., Reynolds, S.J. and Spencer, K.A. 2013. Condition- dependent strategies of eggshell pigmentation: on experimental study of Japanese quail (*Coturnix coturnix japonica*). *The Journal of Experimental Biology*, 216:700-708.

Erensayin, C. 2002. Influence of parental age on fertility, embryonic mortality and hatchability in Japanese quail. *Journal Central Animal Research Institute*, 12:47-50.

Faraway, J.J. 2006. Extending the linear model with R generalized linear, mixed effects and nonparametric regression models. Chapter 6 Generalized Linear Models. *Texts in Statistical Science*. pp. 126-148.

Galindez, R., De Bacilio, V., Martínez, G., Vargaz, D., Uztariz, E. y Mejía, P. 2009. Evaluación de la fertilidad y eclosión de la codorniz japonesa. *Zootecnia Trop.*, 27(1):7-15.

García-Moreira, M.A. 2018. Influencia de la edad de codornices (*Coturnix coturnix* japónica) reproductoras en fertilidad, incubabilidad, natalidad y características productivas de la progenie. (Tesis de maestría) Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.

Garcia-Navas, V.; Sanz, J.J.; Merino, S.; Martinez-de la Puente, J.; Lobato, E.; del Cerro, S.; Rivero, J.; de Castaneda, R.R.; Moreno, J. Experimental evidence for the role of calcium in eggshell pigmentation pattern and breeding performance in Blue Tits *Cyanistes caeruleus*. *J. Ornithol.* 2011, 152, 71–82.

Goran, G.V.; Crivineanu, V.; Tudoreanu, L.; Udrea, D. Dynamics of some mineral elements in hen eggs. *Bull. Univ. Agric. Sci. Vet. Med. Cluj-Napoca. Vet. Med.* 2010, 67, 88–95.

Grimaldos P., D., 2020. Guía para la producción de cordornices y sus derivados. (Tesis de Licenciatura) Universidad Cooperativa de Colombia.

INEGI. 2017. Anuario Estadístico y Geográfico de Michoacán de Ocampo 2017. [En línea] 2017. [Citado el 17 de Noviembre de 2018.] https://www.datatur.sectur.gob.mx/ITxEF_Docs/MICH_ANUARIO_PDF.pdf.

Ingram, D.R.; Hatten, L.F.; Homan, K.D. A study on the relationship between eggshell color and eggshell quality in commercial broiler breeders. *Int. J. Poult. Sci.* 2008, 7, 700–703.

Ipek, A., Sahan, U and Yilmaz, B. 2004. The effect of live weight male to female ratio and breeder age on reproduction performance in Japanese quails (*Coturnix coturnix japonica*),. South African Journal of Animal Science, 34:130-134.

Juárez-Caratachea, A., Gutiérrez-Vázquez, E., Pérez-Sánchez, R.E., Román-Bravo, R.M. y Ortiz-Rodríguez, R. 2011. Evaluación física de la calidad externa e interna del huevo de pavas nativas (*Melliagris gallopavo* g). Revista Científica, FCV-LUZ, Vol. 11(6):524-532.

Kartikayudha, W., Isrull, N.N., Supropti, T.R., Saraswat, I. 2013. Muscle fiber diameter and fat tissue score in quail (*Coturnix coturnix japonica*) meat as affected by dietary turmeric (*Curcuma longa*) powder and swang's fegh (*Priacathus tayenus*) meal. Journal of the Indonesian Tropical Animal Agriculture, 38(4):204-272.

Kennedy, G. Y. y Vevers, H. G., (1976). A survey of avian eggshell pigments. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Comparative Biochemistry* [en línea]. 55(1), 117–123. [Consultado el 21 de mayo de 2021]. Disponible en: doi: 10.1016/0305-0491(76)90183-8

Kuurman, W., Bailey, B., Koops, W. and Grossman, M. 2002. Influence of storage days on the distribution for time of embryonic mortality during incubation. Poultry Sci, 81:1-8.

Kuurman, W., Bailey, B., Koops, W. and Grossman, M. 2003. A model for failure of a chicken embryo to survive incubation. Poultry Sci, 82:214-222.

Lambecke, C.C., Figueroa, T.E., Sulca, A.P., Falcón, P.H. 2001. Efecto de la edad de las reproductoras sobre el peso del huevo, fertilidad, incubabilidad y peso al nacer de la codorniz variedad japonesa (*Coturnix coturnix japonica*). Rev. Inv. Vet. Perú, 12(1):50-57.

Majhi, B., Panigrahi, B., Panda, N., Mallik, B.K., Pradhan, G.R., Bagh, J. and Biswal, C.H. 2016. Effect of age and mating ratio on fertility and hatchability of Japanese quail (*Coturnix coturnix japonica*) in the coastal climate of Adisha. Indian Journal of Poultry Science, 51(2):187-191.

Nowaczewski, S., Szablewski, T., Cegielska-Radziejewska, R. y Kontecka, H., (2013). Egg Morphometry and Eggshell Quality in Ring-Necked Pheasants Kept in Cages / Budowa jaja i jakość skorupy u bażantów obrożnych utrzymywanych w klatkach. *Annals of Animal Science* [en línea]. **13**(3), 531–541. [Consultado el 21 de mayo de 2021]. Disponible en: doi: 10.2478/aoas-2013-0034

Nys, Y .; Hincke, MT; Arias, JL; García-Ruiz, JM; Solomon, SE Mineralización de cáscara de huevo aviar. *Poult aviar. Biol. Rev.* 1999 , 10 , 143-166.

Ozbey, O., and Ozcelik, M. 2004. The effect of high environmental temperature quail with different body weight. *Int. J. Poultry Sci*, 3(7):468-470.

Quintana, J.A. 2013. Avitecnia: manejo de las aves domésticas más comunes. 4ed. Ed. Trillas, México, D.F. 406pp.

Ravel, P. 2006. Diagnóstico de las características productivas y reproductivas de la codorniz (*Coturnix coturnix* japónica) en la zona central de Venezuela. (Tesis Ing. Agr.) Universidad Central de Venezuela, Maracy, Venezuela.

Sari, M., Serpil, I., Onk, K., Tilki, M. and Kirmizibayrak, T. 2012. Effect of layer age and defferent plumaje colors on external and internal egg quality characteristics in japanese quail (*Coturnix coturnix* japónica). *Arch. Geffulgelk*, 76(4):254-258.

Salomon, S. E., (2010). The eggshell: strength, structure and function. *British Poultry Science* [en línea]. **51**(sup1), 52–59. [Consultado el 19 de mayo de 2021]. Disponible en: doi: 10.1080/00071668.2010.497296

Samiullah, S. y Roberts, J. R., (2013). The location of protoporphyrin in the eggshell of brown-shelled eggs. *Poultry Science* [en línea]. **92**(10), 2783–2788. [Consultado el 21 de mayo de 2021]. Disponible en: doi: 10.3382/ps.2013-03051

Stoddard, M.C., Fayet, A.L., Klnier, R.M., Hinde, C.A. 2012. Egg speckling patterns do not advertise offspring quality or influence male provisioning in Great Tits. *Plos One*, 7:1-12.

Taha, A.E. Analyzing of quail eggs hatchability, quality, embryonic mortality and malpositions in relation to their shell colors. *J. Anim. Feed Res.* 2011, 1, 267–273.

Tůmová, E., Zita, L., Hubený, M., Skřivan, M. y Ledvinka, Z., (2008). The effect of oviposition time and genotype on egg quality characteristics in egg type hens. *Czech Journal of Animal Science* [en línea]. **52**(No. 1), 26–30. [Consultado el 21 de mayo de 2021]. Disponible en: doi: 10.17221/2326-cjas

Valeriy N., Michael R., (2002). Physical characteristics of chicken eggs in relation to their hatchability and chick weight. En: *2002 chicao, IL july 28-31, 2002* [en línea]. St. Joseph, MI: American Society of Agricultural and Biological Engineers. [Consultado el 21 de mayo de 2021]. Disponible en: doi: 10.13031/2013.9226

Valle, M.S.A., Bustamante, C.M.G., Argentina, R.R., Guillet, H. y Vivas, J. 2015. Manual crianza y manejo de codornices. Universidad Nacional Agraria, Managua, Nicaragua. 162pp.

Vasquez R., R., Ballesteros C., H., 2007. *La cria de codornices (coturnicultura)*. 1st ed . Bogotá DC. Colombia: produmedios, pp 8-10 available at: https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/13273/75067_56035.pdf?sequence=1&isAllowed=y. accessed 20 abril 2021.

Villacis, V.L.P. y Vizhco, M.C.I., Torres-Inga, C., Astudillo, R.F. 2016. Evaluación de dos tipos de fitasa sobre la productividad y calidad del huevo de codorniz. XXIV Congreso Latinoamericano de Avicultura, del 8 al 11 de septiembre de 2015, Guayaquil, Ecuador.

Wang, X. T., Deng, X. M., Zhao, C. J., Li, J. Y., Xu, G. Y., Lian, L. S. y Wu, C. X., (2007). Study of the deposition process of eggshell pigments using an improved dissolution method. *Poultry Science* [en línea]. **86**(10), 2236–2238. [Consultado el 21 de mayo de 2021]. Disponible en: doi: 10.1093/ps/86.10.2236

Zhao, R., Xu, G. Y., Liu, Z. Z., Li, J. Y. y Yang, N., (2006). A study on eggshell pigmentation: biliverdin in blue-shelled chickens. *Poultry Science* [en línea]. **85**(3), 546–549. [Consultado el 21 de mayo de 2021]. Disponible en: doi: 10.1093/ps/85.3.546