

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y  
ZOOTECNIA

EL AUMENTO DE CO<sub>2</sub> DURANTE LA ETAPA TEMPRANA DE  
INCUBACIÓN FAVORECE EL ÓPTIMO DESARROLLO DE LOS  
EMBRIONES DE CODORNIZ JAPONESA (*Coturnix coturnix*  
*japonica*) Y DE GALLINA DOMÉSTICA (*Gallus gallus domesticus*)

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

PRESENTA

MANUEL MARTÍN GÓMEZ

Asesores:

MVZ MC Marco Antonio Juárez Estrada  
MVZ MC DR José Antonio Quintana López

México, D.F.

2011



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

*Con mucho cariño a mis padres  
y a mi hermana.*

## AGRADECIMIENTOS

A mi padre por haberme apoyado en cada paso que he dado en este mundo, gracias papá, y a mi madre por haber creído siempre en mí, gracias mamá.

A ti Yaya, por acompañarme en tantas historias que escribimos juntos y otras tantas que faltan por escribir.

A esos pequeñines llenos de energía, Iñaki y Regina, que cada día con esa capacidad de asombro ante las cosas más triviales nos enseñan lo bella que es la vida.

A mi Abi, a mi abuelo Homero gracias por dejarme tu vida y experiencia en palabras, el mejor regalo que me pudiste dar.

A mis grandes amigos, esa familia que se elige, que te acompaña por el camino de la vida y que siempre está cerca, gracias Paco, Mayani, Eric, Lalo, León, Migue, Fer, Nati y Mau.

A esos grandes aventureros, que más que un deporte nos une “una filosofía de vida” gracias por tantas buenas experiencias que hemos compartido Azu, Miriam, Pedro, Lencho, Jens, Ana, Daniel y Damián.

Un agradecimiento especial a la Dirección General de Asuntos del Personal Académico (D.G.A.P.A.- U.N.A.M.) por el apoyo financiero otorgado al presente estudio a través del proyecto **PAPIIT IN 220909-3 “Evaluación del incremento de CO<sub>2</sub> en la etapa temprana de incubación sobre el desarrollo embrionario en aves domésticas”**.

Agradecemos a la granja CODORACA, en especial al Lic. Francisco Humberto Bustamante Domínguez por su disponibilidad y las facilidades otorgadas para la adquisición del huevo fértil de codorniz utilizado en el presente estudio y al Señor Samuel Santiago Sánchez por toda su ayuda en el manejo del huevo de codorniz *in situ*.

Agradezco a mis asesores Marco Juárez y José Antonio Quintana por su apoyo total para la realización de esta tesis sin olvidar a mi honorable jurado por todo el apoyo brindado y sus observaciones, que mejoraron este trabajo.

Agradezco el apoyo brindado por el Departamento de Producción Animal: Aves de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la UNAM y a todos sus académicos, personal administrativo y alumnos, por brindarnos el espacio y todas las facilidades para llevar a cabo esta tesis.

Agradezco de todo corazón a mi *alma mater* y máxima casa de estudios, la Universidad Nacional Autónoma de México, por haberme formado no sólo académicamente como profesionista, sino también física y culturalmente como un ser cabal y cosmopolita «*Mens sana in corpore sano*», forjando día a día durante esta larga carrera el espíritu universitario que ha dejado una profunda huella en un servidor y que difícilmente se olvidará, “MÉXICO, PUMAS, UNIVERSIDAD...”

## CONTENIDO

	Página
RESUMEN.....	1
INTRODUCCIÓN.....	2
HIPÓTESIS.....	8
OBJETIVOS.....	9
MATERIAL Y MÉTODOS.....	10
RESULTADOS.....	19
DISCUSIÓN.....	25
REFERENCIAS.....	44
CUADROS.....	53

## RESUMEN

MARTÍN GÓMEZ, MANUEL. El aumento de CO<sub>2</sub> durante la etapa temprana de incubación favorece el óptimo desarrollo de los embriones de codorniz japonesa (*Coturnix coturnix japonica*) y de gallina ligera (*Gallus gallus*) (bajo la dirección de: MVZ MC Marco Antonio Juárez Estrada y MVZ MC DR José Antonio Quintana López).

Se evaluó el efecto de la ventilación limitada durante los primeros 8.5 días de incubación de huevos fértiles de codorniz japonesa (*Coturnix coturnix japonica*) sobre parámetros de incubación. Se formaron dos grupos, uno no-ventilado (NV) y otro de ventilación estándar (V). Después de los 8.5 días de desarrollo embrionario (DE) y hasta la eclosión las dos incubadoras continuaron con incubación estándar. Al día 8.5 DE la concentración de CO<sub>2</sub> en el tratamiento NV fue 2.1% mayor ( $P < 0.05$ ) al 0.3% del grupo V. La incubabilidad del grupo NV fue de 29% menor ( $P < 0.05$ ) al 59% observado en el grupo testigo; la natalidad registró una diferencia significativa proporcional a la incubabilidad. La pérdida de peso porcentual al día 8.5 DE en el grupo NV fue de 10%, mayor ( $p > 0.05$ ) al 7.1% del grupo V, al día 15 el grupo NV perdió 12.6% de su peso, mayor ( $p > 0.05$ ) al 11.5% del grupo V. Durante la eclosión los guarnigones no mostraron diferencia estadística dentro de las tres primeras categorías de calidad (Excelente, bueno y regular), en las dos siguientes categorías (deficiente e inaceptable) el grupo NV mostró mayor calificación ( $p > 0.05$ ) que el V. La ventana de nacimientos finalizó primero en el grupo V (43.5 horas) menor ( $p < 0.05$ ) al grupo NV (68 horas). En el embriodiagnóstico de la etapa I y II el grupo NV obtuvo mayor porcentaje (etapa I, 12% y etapa II, 33%) ( $p < 0.05$ ) que el grupo V (etapa I, 9% y etapa II, 13%) en la etapa IV la mortalidad fue mayor en V (8%) que en NV (1%). En la evaluación post-eclosión no hubo diferencia significativa de los parámetros evaluados entre los guarnigones de ambos grupos. A la par de este estudio, se realizó un experimento testigo, para el que se utilizaron huevos fértiles de *Gallus gallus* pertenecientes a la estirpe *Bovans white ceteris paribus*, la incubabilidad y la natalidad no mostraron diferencias entre grupos (V y NV), aún cuando el nivel de CO<sub>2</sub> en el tratamiento NV llegó al 2.2 %, concentración de CO<sub>2</sub> similar al grupo NV de huevos de codorniz. Al analizar la biomasa presente en ambos estudios se encontró que aunque las aves ligeras presentaron 7,557 g totales, mayor ( $p < 0.05$ ) a los 4,663 g registrados en las codornices, la producción de CO<sub>2</sub> fue similar en ambos experimentos, con diferentes efectos sobre los parámetros de incubabilidad. La producción de CO<sub>2</sub> se incrementa o disminuye de acuerdo al metabolismo particular de cada especie analizada; es importante denotar que durante la primera mitad del periodo de incubación al llegar a concentraciones mayores a 2% de CO<sub>2</sub> se presentan efectos deplorables para la supervivencia de un mayor número de embriones que en el caso de los embriones de aves ligeras del segundo estudio, aún cuando estos niveles de CO<sub>2</sub> no fueron determinantes en la calidad o rendimiento productivo posterior al nacimiento de los guarnigones que lograron eclosionar, ya que muchos de estos embriones presentaron parámetros productivos apropiados al momento de su procesamiento.

**PALABRAS CLAVE:** CODORNIZ, GUARNIGÓN, INCUBABILIDAD, VENTILACIÓN LIMITADA, HIPERCAPNIA, BOVANS WHITE, AUMENTO DE CO<sub>2</sub>.

**KEY WORD:** QUAIL, YOUNG QUAIL, HATCHABILITY, AIR-TIGHT, HIPERCAPNIA, BOVANS WHITE, HIGH CO<sub>2</sub> LEVELS.

## INTRODUCCIÓN

La población mundial muestra un crecimiento paulatino y a la par de ello lo hacen sus requerimientos alimenticios, principalmente de proteína de origen animal; la necesidad de alimentos de calidad con precios accesibles abre la puerta a productos alternativos que ofrezcan nuevas opciones sobre calidad, nutrientes y sabores. Dentro de las mejores alternativas que pueden satisfacer la exigencia por nuevos productos cárnicos y de huevo se encuentra la codorniz doméstica (Zhen y Wohlgenant, 2006).<sup>1</sup>

La cría de codornices para la producción de carne y de huevo para plato es una buena alternativa para la obtención de proteína de origen animal, este tipo de explotación ha tenido en los últimos años un gran auge, demostrando amplias perspectivas de industrialización y comercialización, en particular la subespecie de codorniz japonesa (*Coturnix coturnix japonica*), la cual es de gran interés zootécnico por sus características de precocidad, intervalo generacional corto, excelente fertilidad, crecimiento rápido y alta tasa de postura (80-95%); además, las instalaciones para criarlas no requieren de gran inversión, son aves pequeñas y ocupan poco espacio, el sabor de su carne es exquisito, y se menciona que son resistentes a las enfermedades más comunes de las aves domésticas, asimismo, la producción de desechos es menor que en los animales convencionales, lo cual disminuye la afectación al medio ambiente (Panda y Singh, 1990)<sup>2</sup>. Sin embargo, aún bajo este contexto positivo, se conoce poco sobre el potencial productivo de las codornices y las condiciones adecuadas para su manejo, reproducción e

incubación (Móri *et al.*, 2005; Portillo, 2005, Juárez *et al.*, 2009).<sup>3,4,5</sup> En México existen pocas líneas genéticas de codornices destinadas exclusivamente para producción de carne o de huevo (Portillo, 2005),<sup>4</sup> lo que aunado a la falta de información sobre su manejo óptimo, reproducción, incubación, programas de salud, desempeño y requerimientos nutricionales ocasiona que los productores efectúen la producción de carne y huevo de codorniz de manera poco organizada y ocasionalmente hasta en forma empírica por lo que un reto para los productores e investigadores nacionales es desarrollar técnicas de producción que contribuyan a obtener una mejor productividad (Portillo, 2005; Juárez *et al.*, 2009).<sup>4,5</sup>

Un ejemplo del atraso en investigación para la innovación tecnológica es que existen pocos estudios que analicen la productividad de esta especie en México, por ejemplo, la mayor parte de los estudios de rendimiento en canal de la codorniz son de origen extranjero, en México un estudio reciente sobre diferentes líneas genéticas de codorniz presentes en México se centró principalmente en la producción de huevo y la respuesta a diferentes niveles de nutrientes en la dieta de aves reproductoras (Portillo, 2005),<sup>4</sup> pero existen pocos trabajos nacionales que involucren aspectos técnicos sobre la óptima incubación de los huevos fértiles de las codornices japonesas. Una parte de este importante ramo productivo y que constituye la base física del mismo es la incubación del huevo fértil (Vázquez *et al.*, 2006);<sup>6</sup> la incubación es el proceso fisiológico donde se favorece el desarrollo embrionario hasta que se logra eclosionar un guarnigón de alta calidad, este proceso fisiológico está integrado de varias etapas con diferentes requerimientos



físicos por parte del embrión, los cuales principalmente son presencia y presión de oxígeno, bióxido de carbono, temperatura, humedad relativa y movimiento del huevo de acuerdo al día de desarrollo embrionario (Ar y Rahn, 1978).<sup>7</sup> El desarrollo embrionario (DE) es un proceso dinámico que no sólo se encuentra influenciado por el material genético, también existen diversos factores epigenéticos que pueden influir sobre dicho desarrollo, como son el medio ambiente donde se desarrolla, en este caso la incubadora y los elementos que ésta integra (French, 1997).<sup>8</sup> Por lo tanto un aspecto importante a estudiar es el papel que juegan la ventilación y la composición del aire (O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> principalmente) con relación a las demás variables físicas de la incubación sobre la incubabilidad (temperatura, humedad relativa y volteo), la calidad del producto y su posterior desempeño productivo (Elibol y Brake, 2003; Lourens *et al.*, 2005; De Smit *et al.*, 2006; Hernández 2007; Juárez *et al.*, 2009).<sup>9,10,11,12,5</sup>

En contraste a las investigaciones llevadas a cabo sobre los efectos genéticos en el desarrollo embrionario y su desempeño en su desarrollo posterior, los estudios sobre factores medioambientales, más específicamente sobre el ambiente gaseoso y la influencia que tiene éste sobre el desarrollo embrionario durante la incubación no son comunes. Distintos autores afirman que manipular los parámetros medioambientales tienen un efecto benéfico en el desarrollo embrionario (Romanoff and Romanoff, 1933, Hogg, 1997, Gildersleve y Boesch, 1983).<sup>15,13,14</sup> La dispersión y proporción de los diferentes gases ambientales es otro tema investigado recientemente, se ha observado que al restringir el flujo de

aire fresco al interior de la máquina incubadora el O<sub>2</sub> permanece estable, después conforme la incubación avanza el O<sub>2</sub> disminuye porcentualmente al tiempo que los niveles de CO<sub>2</sub> aumentan; se ha descrito que estos cambios funcionan como activadores en el incremento del desarrollo embrionario temprano y que muestran la expresión temprana de un acelerado desarrollo embrionario principalmente en aves reproductoras pesadas (De Smit *et al.*, 2006, Tona *et al.*, 2007),<sup>11,16</sup> sin embargo, existen muy pocos trabajos que contemplen este tipo de variables de investigación en aves ligeras o en otras especies avícolas alternativas productivas como es la codorniz japonesa.

Al restringir la entrada de O<sub>2</sub> durante la primera mitad de la incubación los niveles de CO<sub>2</sub> aumentan progresivamente conforme se desarrolla el embrión, el cual lo libera al ambiente de forma natural por medio del metabolismo generado a través de la síntesis de los tejidos embrionarios a partir de la principal fuente de energía del embrión: el vitelo. La liberación de CO<sub>2</sub> se efectuará siempre y cuando las diferencias de presión parcial entre O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> entre el interior y el exterior del huevo lo permitan; al restablecer la ventilación de acuerdo a diversas investigaciones se ha observado que los niveles en la concentración de CO<sub>2</sub> son superiores a los encontrados comúnmente dentro de la cámara de aire hasta cuatro días posteriores al día en que se restablecen las condiciones de ventilación (Sadler *et al.*, 1954; De Smit *et al.*, 2006).<sup>17,11</sup>

El aumento de CO<sub>2</sub> ambiental dentro del gabinete de incubación da como resultado una disminución o acidificación del pH interno del contenido del huevo incubado, lo cual contribuye tempranamente a la expresión de enzimas dependientes de pH como lo es la anhidrasa carbónica, una de las enzimas más importantes involucradas en las primeras etapas del desarrollo embrionario, al mismo tiempo que se relaciona con una formación temprana del líquido subembrionario, la producción de este fluido es fundamental y clave para un óptimo desarrollo embrionario temprano (Sadler *et al.*, 1954; Deeming, 1989; De Smit *et al.*, 2006).<sup>17,18,11</sup>

En la incubación artificial se asume que la aplicación de CO<sub>2</sub> durante su fase temprana puede ser una práctica viable, se realiza empíricamente ya que se piensa que mejora la incubabilidad, la calidad del pollito y su conformación, aunque todavía no se ha probado en algún tipo de estudio. Un aspecto importante que tiene efecto sobre estas variables y al cual se le ha dado también poca importancia en la mayor parte de los estudios recientes sobre limitación de O<sub>2</sub> en la incubación temprana, es la cantidad, dirección y tipo de flujo de aire en la máquina incubadora empleada y el tipo de especie con la que se trabaja, ya que la mayor parte de los estudios se han efectuado con *Gallus gallus domesticus* en máquinas de flujo constante (French, 1997; Christensen *et al.*, 2005; Summet *et al.*, 2006; De Smit *et al.*, 2006; Tona *et al.*, 2007; Bruggeman *et al.*, 2007).<sup>8,19,20,11,16,21</sup> Existen pocos estudios utilizando esta variable de ventilación o bien otras especies avícolas productivas como son codornices, pavos o patos.

El propósito del presente estudio es explorar las posibilidades que ofrece modificar el equilibrio de gases ( $O_2$  y  $CO_2$ ) durante la primera mitad del desarrollo embrionario en una especie diferente a la gallina doméstica, esto con la finalidad de verificar si existe algún tipo de beneficio al permitir que el  $CO_2$  aumente de los niveles usualmente recomendados (0.3- 0.5%) con la finalidad de determinar el efecto que el aumento de  $CO_2$  genera sobre el desarrollo embrionario de las codornices, verificando a su vez el posible efecto que muestra la hipoxia generada sobre el desarrollo embrionario de la codorniz durante esta etapa temprana de la incubación (Epple *et al.*, 1997; Villamor *et al.*, 2004; Chan y Burgren, 2005; De Smit *et al.*, 2006; Milene *et al.*, 2007; Mortola y Besterman, 2007; Everaert *et al.*, 2007).

<sup>22,24,23,11,25,26,27</sup> Al mismo tiempo se efectuará un estudio bajo las mismas circunstancias generales de incubación de ventilación limitada o no ventilación (NV) en aves ligeras, lo cual contribuirá a tener resultados que puedan servir como marco de referencia para el análisis del primer estudio.

En el presente estudio se evalúan dos condiciones diferentes de ventilación (limitada o de no-ventilación NV y estándar o ventilada V) sobre la incubación de huevos fértiles de gallina y el beneficio potencial que ofrece este manejo en la incubación de huevos fértiles de codorniz japonesa y su desarrollo post-natal, la cuestión es aplicar estas innovaciones en cuanto al manejo de gases en especies distintas a la gallina para aumentar su productividad y su posterior integración al mercado.

## **HIPÓTESIS**

Al alcanzar concentraciones de CO<sub>2</sub> de forma natural mayores a 0.3-0.5% en el interior de la incubadora durante el periodo temprano de la incubación se favorece un óptimo desarrollo del embrión de codorniz japonesa y de aves ligeras, lo cual contribuye a aumentar la tasa de eclosión sin afectar morfológica o fisiológicamente el desarrollo posterior de los guarnigones o la eclosión de los pollitos.

## **OBJETIVO GENERAL**

Evaluar el efecto que tiene un aumento de CO<sub>2</sub> inducido a través de un proceso de incubación con no-ventilación durante la primera mitad del periodo de incubación sobre la eclosión y el desarrollo posterior de los guarnigones hasta su finalización, al mismo tiempo que se obtienen los parámetros de incubación en pollitos de aves ligeras como comparativo.

## OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar el porcentaje de natalidad (porcentaje de nacidos vivos del total de huevos) e incubabilidad (porcentaje de nacidos vivos del total de huevos fértiles) en embriones de codorniz y gallinas ligeras incubados bajo condiciones de no-ventilación con relación a los embriones que durante la primera etapa de incubación reciben condiciones estándar de ventilación (Normoxia con 0.3-0.5% de CO<sub>2</sub> máximo).
- Evaluar y comparar la ventana de nacimientos de los guarnigones y pollitos provenientes de una incubación bajo condiciones de no-ventilación con concentraciones altas de CO<sub>2</sub> en contraste con los guarnigones y pollitos incubados bajo condiciones de incubación estándar.
- Calificar la calidad en los guarnigones y pollitos eclosionados que fueron incubados bajo condiciones de no-ventilación y los incubados bajo condiciones estándar.
- Realizar un embriodiagnóstico con la finalidad de determinar la causa o el periodo en el que se interrumpió el desarrollo embrionario a partir de los huevos fértiles incubados bajo condiciones de ventilación estándar y no-ventilación durante la primera mitad de la incubación.
- Evaluar el desarrollo y crecimiento posterior a la eclosión de los guarnigones que fueron incubados bajo condiciones de ventilación estándar y no-ventilación.

## MATERIAL Y MÉTODOS

### Huevos fértiles de codorniz

Los huevos fértiles para incubación se obtuvieron a partir de un pie de cría perteneciente a una granja comercial ubicada en el estado de Guerrero, México, la cual se encuentra a una altitud de 540 metros sobre el nivel del mar. Recién adquiridos los huevos se pesaron, identificaron y fueron asignados a cada tratamiento de forma aleatoria.

### Origen del huevo fértil y reproducción del pie de cría

Las reproductoras que dieron origen a la muestra de huevo fértil empleada en el presente estudio consiste en un pie de cría de codorniz japonesa de la variedad faraona que aprovecha la alta capacidad reproductiva de la línea materna; para hacer más eficientes los efectos genéticos no aditivos de heterosis y reciprocidad se cruzan selectivamente con una línea paterna compuesta principalmente de la variedad de codorniz *Jumbo Mix*; en este tipo de grupo heterótico obtenido generación tras generación se espera que la magnitud de heterosis lograda sea inversamente proporcional al grado de semejanza genética entre estas dos poblaciones parentales utilizadas, por lo cual para renovar el efecto heterótico frecuentemente se introduce sangre fresca al criadero por medio de la cruce recurrente con la línea base (*Coturnix coturnix japonica*) lo cual se efectúa cada 4 o 5 generaciones (Steigner *et al.*, 1992; Hyánková *et al.*, 2002; Portillo, 2005; Hyánková *et al.*, 2008).<sup>28,29,4,30</sup>

## **Condiciones de almacenaje y transporte del huevo**

El transporte del huevo se efectuó en un vehículo especial donde se proporcionaron las condiciones ambientales idóneas de almacenaje temporal del huevo fértil para evitar muerte embrionaria temprana (temperatura de 21°C y 60% H.R.). El almacenaje se efectuó durante 4 días a una temperatura de 19.5°C y 70% de humedad relativa (Fasenko *et al.*, 2001; Ipeck y Sahan, 2004; Petek y Dikmen, 2004).<sup>31,32,33</sup> Los huevos se almacenaron con el polo agudo hacia abajo hasta el momento de su incubación; no se realizó ningún tipo de volteo durante el almacenaje (Brake *et al.*, 1997; Fasenko *et al.*, 2001; Petek y Dikmen., 2004).<sup>34,31,33</sup>

## **Acondicionamiento en la etapa de pre-incubación**

Previo a la incubación se permitió que los huevos adquirieran pasivamente una temperatura ambiental más alta con la finalidad de evitar choques térmicos al embrión o bien posibles condensaciones sobre la superficie del huevo. El periodo fue de 8 a 12 horas, a una temperatura inicial de 22°C y 60% de H.R y de término de 26°C y 60% de H.R. (Brake *et al.*, 1997; Ipek y Sahan, 2004; Petek y Dikmen, 2004).<sup>34,32,33</sup>

## **Diseño experimental**

El presente estudio se realizó en una unidad de aislamiento del Departamento de Aves de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Se formaron dos grupos cada uno con tres incubadoras que emplearon el mismo tipo de máquina (Hova-Bator® con capacidad para 120 huevos fértiles de codorniz por máquina).



El primer grupo (Tratamiento I) recibió condiciones ambientales de incubación estándar o ventilada (V) (0.05 a 0.4% de CO<sub>2</sub> y 21% de O<sub>2</sub>) (De Smit *et al.*, 2006);<sup>11</sup> el segundo grupo (Tratamiento II) fue el no ventilado (NV) y se le administró un tipo específico de ventilación limitada o no-ventilación (NV) sellando la incubadora en la tapa, el Damper y los conductos de ventilación, el ventilador se mantuvo funcionando para homogenizar el ambiente interno con la finalidad de que todos los huevos fértiles recibieran las mismas variables (temperatura, humedad, O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>), esto se efectuó durante los primeros 8.5 días del DE lo cual permitió que las concentraciones de CO<sub>2</sub> aumentaran a 2.1 % (21,141.1 ppm) (De Smit *et al.*, 2006).<sup>11</sup> Cada tratamiento (V y NV) constó de tres incubadoras Hova Bator para 120 huevos de codorniz que se distribuyeron alternadamente en un anaquel de tipo vertical con tres niveles y en cada nivel se alojaron dos incubadoras. Una vez que finalizó la primera mitad del periodo de incubación (8.5 días de DE), en el tratamiento NV se restableció el flujo de aire y ambos tratamientos continuaron el resto del periodo de incubación bajo condiciones estándar de incubación.

Los huevos identificados, después del día 8.5 días de desarrollo embrionario y hasta el momento de la transferencia (día 15 DE) permanecieron dentro de cada una de las tres incubadoras correspondientes a cada uno de los dos tratamientos con la finalidad de dar condiciones estándar de incubación y vigilar su comportamiento sobre la producción de CO<sub>2</sub>, las condiciones para una máquina nacedora se habilitaron en las mismas máquinas implementando las condiciones adecuadas para ello sin ningún tipo de movimiento, temperatura de 37.2°C,

humedad relativa de 70% y posicionados lateralmente sobre una malla (Brake *et al.*, 1997; Ipek y Sahan, 2004; Petek y Dikmen, 2004).<sup>34,32,33</sup>

## **Condiciones de incubación**

Se utilizaron seis máquinas Hova-Bator® #1583 verticales de ventilación a presión negativa modelo 2009; cada máquina incubadora contó con un sistema de volteo automático donde se colocaron 120 huevos fértiles de codorniz japonesa los cuales previamente se pesaron e identificaron asignándolos de forma aleatoria a cada tratamiento (tres máquinas incubadoras con 120 huevos por cada tratamiento V y NV); los huevos se incubaron durante 15 días a una temperatura de 37.64°C en el bulbo seco y de 28.9 a 30.0°C en el bulbo húmedo, la humedad relativa en el grupo NV durante los primeros 8.5 días de incubación se limitó por medio de un agente deshumidificador (Cloruro de Calcio), se proporcionaron movimientos laterales de 45° con respecto al eje vertical mayor de cada huevo cada hora; los dos últimos días de incubación posteriores al día 15 no tuvieron movimiento y se mantuvieron en el mismo tipo de máquina que se implementó como nacedora a una temperatura de 37.2°C en bulbo seco y de 32.2 a 34.4°C en bulbo húmedo (Bruzual *et al.*, 2000; Petek y Dikmen, 2004).<sup>35,33</sup>

La temperatura y humedad relativa medioambiental y las existentes en cada una de las máquinas incubadoras se verificó diariamente en cuatro ocasiones, la temperatura se registró (°C) a partir de un termómetro de columna de mercurio (Brannan®), la humedad relativa (%) se verificó por medio de un higrómetro de tensión gradual (Taylor®), las mediciones de oxígeno (%) se realizaron por medio

de una celda galvánica (Analox®), el CO<sub>2</sub> (ppm) se determinó por medio de un sensor tipo infrarrojo (Analox®); las lecturas de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> ambientales y dentro de las máquinas incubadoras ventiladas V se efectuaron desde el día 1 hasta el día 17 de incubación cuatro veces por día en el mismo horario (8:00, 12:00, 16:00 y 20:00 horas), las lecturas de gases de las máquinas no-ventiladas NV debido a la variable explicativa de ventilación limitada (*air-tight*), que considera un estado de sellado completo del gabinete de incubación, sólo se pudieron evaluar a partir del cambio a condiciones de tipo estándar al día 8.5 y hasta el día 17 de desarrollo embrionario cuatro veces por día en el mismo horario que el tratamiento NV.

## **Evaluación del desarrollo embrionario y análisis de la mortalidad embrionaria**

Al día 18 de incubación y una vez finalizada ésta, las mortalidades embrionarias por etapa de desarrollo embrionario, se registraron en cada uno de los dos grupos de incubación (V y NV). Las etapas se determinaron de acuerdo a la cronología del desarrollo embrionario específico de las codornices y para efecto de análisis en el presente estudio se determinaron las siguientes etapas: I (día 1 al 4 DE), II (día 5 al 14 DE), III (día 15 al 17 DE) y IV (Picados no nacidos). En ambos tratamientos se efectuó el registro de la mortalidad, así como el grado de desarrollo embrionario macroscópico alcanzado (Suarez *et al.*, 1997; Prado y Juárez 2002; Petek y Dikmen, 2004; Vázquez *et al.*, 2006).<sup>36,37,33,38</sup> Después de la transferencia del huevo fértil a las nacedoras la ventana de nacimientos se evaluó desde las 384 horas cada dos horas a través del registro del picaje externo y

eclosión del primero hasta el último guarnigón eclosionado (Tona *et al.*, 2003, 2004).<sup>39,40</sup>

## **Evaluación de parámetros de incubación**

Se evaluó el porcentaje promedio de pérdida de peso al día 8.5 y al día 15 DE fecha de transferencia a máquina nacedora. Al cierre de la ventana de nacimientos se evaluó el porcentaje de fertilidad, con ayuda del embriodiagnóstico se determinó el número total de huevos que contenían un embrión o bien un blastodisco en el caso de los huevos infértiles.

El porcentaje de incubabilidad se determinó al dividir el número de guarnigones nacidos entre el número de huevos diagnosticados como fértiles por máquina, ajustándolo a porcentaje al multiplicar este resultado por 100; el porcentaje de natalidad se obtuvo al dividir el número de guarnigones nacidos entre el número total de huevos incubados ajustándolo a porcentaje al multiplicar este resultado por 100. Conforme eclosionaban los guarnigones se obtuvo el peso promedio al nacimiento y la talla del guarnigón (longitud en centímetros), esta se tomó desde el pico hasta el dedo medio usando una escala de medición cuantitativa en centímetros (Tona *et al.*, 2004; Boerjan, 2005; Wolansky y Renema, 2006, 2007; Willemsen *et al.*, 2008; López *et al.*, 2009).<sup>40,41,44,45,46,42</sup>

La calidad del guarnigón al nacimiento fue evaluada de forma cualitativa mediante una escala de medición no invasiva que fue determinada por el aspecto del guarnigón al nacimiento (vivacidad del guarnigón, estado ocular, tamaño del guarnigón, presencia o ausencia de ombligos mal cicatrizados, rastros de

membranas, tarsos enrojecidos, grado de hidratación, peso corporal y guarnigones sucios), de acuerdo a los resultados obtenidos para estos parámetros los guarnigones se clasificaron en excelente, bueno, regular, deficiente e inaceptable (Wilson, 1991; Tona, *et al.*, 2004; Boerjan, 2005; Wolanski y Renema, 2006, 2007; Willemsen *et al.*, 2008; López *et al.*, 2009).<sup>43,40,41,44,45,46,42</sup>

## **Comportamiento productivo post-natal de los guarnigones**

En cada uno de los grupos (ventilación limitada y estándar) se llevó a cabo un registro de peso, talla y calidad de los guarnigones al nacimiento, posteriormente con la finalidad de evaluar peso corporal, consumo de alimento, ganancia de peso, conversión alimenticia, viabilidad de los guarnigones y rendimiento de la canal, los guarnigones fueron criados en jaulas separadas por tratamiento durante un periodo de 38.5 días (Torges y Wegner, 1984; Tserveni-Gousi y Yannakopoulos, 1986; Tona *et al.*, 2004; Özbey *et al.*, 2004; Mori *et al.*, 2004; De Smit *et al.*, 2006, Juárez *et al.*, 2009).<sup>47,48,40,49,3,11,5</sup> En la evaluación de parámetros productivos se registró semanalmente el peso corporal, consumo de alimento, conversión alimenticia y mortalidad general; con la finalidad de descartar cualquier enfermedad transmisible o metabólica, los guarnigones muertos se evaluaron a través del diagnóstico del laboratorio de patología aviar del Departamento de Medicina y Zootecnia de Aves de la F.M.V.Z. de la U.N.A.M.

## **Estudio de incremento de CO<sub>2</sub> en embriones de gallinas ligeras**

A la par del estudio efectuado en codornices, se realizó un experimento testigo *ceteris paribus* con el fin de evaluar únicamente las variables de incubación especificadas en el primer estudio; las condiciones de incubación fueron idénticas a las descritas por De Smit *et al.* (2006)<sup>11</sup> para lo cual se utilizaron huevos fértiles de gallinas productoras de huevo para plato (*Gallus gallus*) pertenecientes a la estirpe *Bovans white* provenientes de una parvada de aves reproductoras de 52 semanas de edad alojadas en las inmediaciones de la ciudad de Tehuacán, Puebla, México; los huevos se colocaron en el mismo tipo de máquinas incubadoras del experimento con codornices (Mod. HOVA BATOR # 1583), la capacidad del sistema de volteo fue para 42 huevos incubables de gallina por incubadora, cada tratamiento contó con tres máquinas, el periodo de NV fue de 10 días, la transferencia fue a los 18.5 días de desarrollo embrionario y el análisis de los parámetros de incubación se efectuó después de las 510 horas de incubación.

### **Análisis estadístico**

Las variables explicativas fueron la condición de ventilación estándar y la ventilación limitada durante los primeros 8.5 días de incubación en el caso de codorniz y de 10 días en el caso de la gallina doméstica, mientras que las variables de respuesta fueron los parámetros de incubación y calidad del guarnigón y de los pollitos. En los dos diferentes grupos estas variables se sujetaron a una prueba de normalidad, las variables con comportamiento paramétrico se analizaron a través de análisis de varianza por medio de un

modelo lineal general y cuando se determinó una diferencia significativa entre alguna de las medias se procedió a su discernimiento por medio de la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey a una significancia para alfa igual o menor al 5% (Gill, 1978).<sup>50</sup>

Los datos que se obtuvieron de pérdida de peso en cada grupo de incubación, fertilidad, incubabilidad y natalidad, previo a su análisis estadístico y con la finalidad de homogenizar su distribución aproximándola a la normal, y asumiendo en todo caso la distribución normalizada de la variable en la naturaleza, se transformaron al arcoseno de la raíz cuadrada de la proporción. Para determinar las probables diferencias entre estos datos se sometieron a un análisis de varianza de un sólo factor (GLM); cuando hubo diferencia significativa entre las medias las diferencias entre tratamientos se analizaron con la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey ( $P < 0.05$ ) (Gill, 1978; Montgomery, 1991).<sup>50, 51</sup>

Los datos porcentuales de las mortalidades por etapas observadas en el embriodiagnóstico se evaluaron por medio de la técnica  $\chi^2$ , para ello se determinó una significancia de  $P < 0.05$  (Gill, 1978).<sup>50</sup>

## RESULTADOS

La incubabilidad (embriones nacidos de huevos fértiles) del grupo de ventilación limitada fue de 29.4% menor ( $p < 0.05$ ) al 59.2% de incubabilidad de los guarnigones eclosionados en el grupo testigo (ventilación estándar). La natalidad (embriones nacidos del total de huevos) del grupo testigo fue aproximadamente el 59.2% de los huevos totales incubados al día uno, mayor ( $p < 0.05$ ) al 24.44% de los nacidos en el grupo experimental (Cuadro 1). En la etapa I de mortalidad embrionaria hubo 12.6% de embriones muertos en el grupo de ventilación limitada, cantidad mayor ( $p < 0.05$ ) al 9.25% observado en el grupo testigo, esta misma tendencia se observó en la mortalidad embrionaria de la etapa II, donde el grupo experimental tuvo un 33.9% de mortalidad, mayor ( $p < 0.05$ ) que 13.6% de embriones muertos analizados en el grupo testigo. En la etapa III la mortalidad de ambos grupos no fue diferente y osciló en aproximadamente 6%. El 8% de embriones picados no nacidos (etapa IV) en el grupo testigo fue mayor ( $p < 0.05$ ) al 2% observado en el grupo de ventilación limitada (Cuadro 1).

El peso promedio de los huevos de codorniz incubados osciló alrededor de 12.9 g sin diferencia estadística entre ambos grupos. Al día 8.5 de incubación no hubo diferencia estadística de peso de los huevos entre los grupos, aunque el grupo de ventilación limitada perdió 10% de peso promedio mayor ( $p < 0.05$ ) al 7% de pérdida de peso del grupo testigo (Cuadro 2). Al día 15 de incubación el peso promedio del huevo de ambos grupos fue de aproximadamente 11.4 g sin diferencias entre los mismos, sin embargo, el grupo experimental perdió 12.6% de peso mayor ( $p < 0.05$ ) al 11.5% del huevo incubado bajo condiciones estándar



(Cuadro 2). La temperatura del día 1 al 15 de incubación dentro de las máquinas incubadoras en ambos tratamientos se mantuvo en 37.4°C; y la temperatura de los dos días en nacedora fue aproximadamente de 37.1°C en ambos tratamientos (Cuadro 2).

El grupo de ventilación limitada mostró un picaje externo a las 370.5 horas sin diferencia a las 382.75 horas del grupo testigo (Cuadro 3). El término de nacimientos en el grupo de ventilación limitada fue a las 437.3 horas, periodo mayor ( $p < 0.05$ ) a las 421.5 horas tomadas por el grupo testigo (Cuadro 3). La duración de la ventana de nacimientos en el grupo experimental fue de 68.7 horas mayor ( $p < 0.05$ ) a las 43.5 horas que les tomo nacer a los guarnigones del grupo testigo (Cuadro 3).

En la evaluación de calidad, el grupo experimental mostró un 39.23% de guarnigones calificados como excelentes, no diferentes al 39.6% del grupo testigo (Cuadro 4); 53.9% del grupo experimental obtuvo la calificación de bueno, sin diferir con el 57.7% de los guarnigones del grupo testigo (Cuadro 4), en la categoría regular el grupo experimental mostró un 4.33%, no diferente al 2.7% del grupo testigo (Cuadro 4). El grupo experimental mostró 1.75% de guarnigones deficientes, mayor ( $p < 0.05$ ) al 0% observado en el grupo testigo (Cuadro 4); con menor porcentaje en la categoría de inaceptables no hubo diferencia estadística entre grupos (Cuadro 4).

El peso promedio de los guarnigones en el grupo de ventilación estándar fue de 9.2 g, mayor ( $p < 0.05$ ) a los 8.9 g del grupo experimental (Cuadro 4). La longitud

del guarnigón en el grupo experimental fue de 10.3 cm sin diferencia con la observada en el grupo testigo (Cuadro 4).

Las mediciones de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> del día 1 al 7 del experimento sólo se registraron en el grupo testigo donde se observó un promedio de 20.5 % de O<sub>2</sub> y de 1,824.2 ppm de CO<sub>2</sub> (Cuadro 5). Al día 8 el grupo experimental mostró 21,141 ppm de CO<sub>2</sub> cantidad mayor ( $p < 0.05$ ) a las 2,933 ppm del grupo testigo, el O<sub>2</sub> no mostró diferencias significativas entre los grupos (Cuadro 5). A partir del día 12 de incubación existe una tendencia negativa del grupo experimental a mostrar un menor valor en la cantidad de CO<sub>2</sub> producida por los embriones con relación al valor observado en el grupo testigo, el cual muestra valores mayores de este gas hasta el final del experimento. En cuanto al O<sub>2</sub> no hubo diferencias significativas entre los dos grupos (Cuadro 5).

El peso promedio de los guarnigones en la primera semana de evaluación post-nacimiento en el grupo testigo fue de 43.2 g mayor ( $p < 0.05$ ) a los 39.5 g de peso promedio del grupo experimental (Cuadro 6), el peso promedio durante la semana 2 y 3 no mostró diferencias entre grupos. Aunque el peso promedio del grupo experimental aritméticamente fue mayor durante la semana 4 y 5 de evaluación no se mostró diferencia estadística con relación al peso promedio de los guarnigones del grupo testigo hasta el momento de su procesamiento (Cuadro 6).

En la primer semana de evaluación el consumo acumulado por ave en el grupo testigo fue de 52,7 g, mayor ( $p < 0.05$ ) a los 49.5 g consumidos por cada guarnigón del grupo experimental (Cuadro 6); posteriormente, sólo en la semana 4 las aves del grupo experimental consumieron una mayor cantidad de alimento 157.4 g

diferente ( $p < 0.05$ ) a los 145.9 g consumidos por cada ave del grupo testigo; el resto de los consumos en las fechas evaluadas, que no se mencionan, no mostraron diferencias estadísticas entre los grupos (Cuadro 6).

La conversión alimenticia durante la primer semana de evaluación en el grupo experimental fue de 1.17:1, menor ( $p < 0.05$ ) al 1.25:1 que se obtuvo en el grupo testigo. Durante la segunda semana, el grupo experimental mostró una conversión de 1.6:1 mayor ( $p < 0.05$ ) a 1.4:1 que se observó en el grupo testigo, el resto de las fechas de evaluación no mostró ningún tipo de efecto significativo en cualquiera de los dos grupos, la conversión alimenticia a las 5.5 semanas fue de 2.5 en el grupo testigo y 2.6 en el grupo experimental, sin diferencia estadística (Cuadro 6).

El peso vivo final mixto promedio a la semana 5.5 en el grupo experimental fue de 238.9 g, sin diferencia con respecto a los 231.9 g del grupo testigo; la canal en el grupo experimental pesó 165.5 g (69.3% de rendimiento en canal), sin diferir con los 161 g (69.4% de rendimiento en canal) registrados en el grupo testigo; el peso de las vísceras en el grupo experimental fue de 28 g mientras que el grupo testigo mostró un peso de 27.9 g, por lo que no hubo diferencia estadística entre ambos (Cuadro 7).

En el segundo estudio, donde se evaluó el incremento de  $\text{CO}_2$  durante la primera etapa de incubación de embriones aves ligeras (*Bovans white*) efectuado en la misma sala de aislamiento aproximadamente al mismo tiempo ( $\pm 3$  días) que el primer estudio, se determinó que el 65% de pollitos nacidos de huevos fértiles (incubabilidad) en el grupo de ventilación limitada no difirió con relación al 66.6% de los pollitos eclosionados en el grupo de ventilación estándar. La natalidad del

grupo de ventilación estándar fue de 41.6% sin diferir con el 42.2% de los pollitos nacidos en el grupo de ventilación limitada (Cuadro 8).

En la etapa I de mortalidad embrionaria hubo 39.9% de embriones muertos en el grupo de ventilación limitada, cantidad menor ( $p < 0.05$ ) al 41.8% observado en el grupo de ventilación estándar; en la mortalidad embrionaria de la etapa II, el grupo experimental tuvo un 9.5% de mortalidad, menor ( $p < 0.05$ ) al 17.8% de embriones muertos del grupo testigo. En la etapa III el grupo de ventilación limitada mostró una mortalidad de 50.5% mayor ( $p < 0.05$ ) al 33.5% del grupo testigo. El grupo testigo tuvo 6.7% de embriones picados no nacidos mayor ( $p < 0.05$ ) al 0% observado en el grupo de ventilación limitada.

El peso promedio del huevo incubado osciló alrededor de 59 g sin diferencia estadística entre ambos grupos. Al día 10 de incubación no hubo diferencia estadística en el peso entre grupos; la pérdida de peso al día 10 fue de 7% sin diferir entre los dos grupos (Cuadro 9). Al día 18 de incubación el peso promedio del huevo en el grupo NV fue de 53.5 g mayor ( $p < 0.05$ ) a los 51.6 g del grupo testigo, ambos grupos perdieron aproximadamente 12% de su peso sin diferir entre ellos (Cuadro 9). La temperatura del día 1 al 18 DE se mantuvo entre 37.6 y 37.7°C en ambos grupos. La temperatura en la nacedora no difirió entre los dos grupos 36.4 a 36.9°C (Cuadro 9).

Con respecto al picaje externo, estadísticamente no hubo diferencia entre las 496.7 horas del grupo de ventilación limitada y las 490 horas del grupo testigo (Cuadro 10). El término de nacimientos en el grupo experimental fue a las 529.3 horas mayor ( $p < 0.05$ ) a las 522.7 horas del grupo testigo (Cuadro 10). La duración

de la ventana de nacimientos en ambos grupos fue de 32.7 horas sin mostrar diferencia estadística entre ambos (Cuadro 10).

Referente a la calidad del pollito al día uno de edad, en la categoría excelente del grupo experimental se observó el 62.2% de los pollitos, el grupo testigo obtuvo 55.7% sin diferencia estadística entre ambos (Cuadro 11), de igual manera sucedió con los pollitos clasificados como buenos, donde el grupo experimental mostró 33.3% de los pollitos en esta categoría, mientras que el grupo testigo mostró 38.3% de pollitos; con relación a la categoría regular no hubo diferencia significativa entre el grupo experimental con 2.2% y el grupo testigo con 3.9%; en la categoría deficiente el grupo experimental tuvo 2.3%, sin diferencia con el 1.9% observado en el grupo testigo. Finalmente, en la categoría inaceptable no se determinó ningún pollito en cualquiera de los dos grupos (Cuadro 11). El peso del pollito en el grupo experimental fue de 38.3 g sin diferir con los 39 g del grupo testigo. La longitud del pollito en el grupo experimental fue de 16.5 cm y en el testigo fue de 16.6 cm, sin diferencia estadística entre ambos grupos (Cuadro 11). Al día 10 se determinó que la concentración de CO<sub>2</sub> en el grupo experimental fue de 22,073 ppm mayor ( $p < 0.05$ ) a los 2,613 ppm del grupo testigo. El resto de las mediciones hasta la eclosión no mostraron diferencia estadística entre los dos grupos, observando que los dos grupos alcanzaron cantidades mayores a 5,000 ppm de CO<sub>2</sub> desde el día 15 de incubación (Cuadro 12); al día 10 el O<sub>2</sub> no mostró diferencias significativas entre el 19.6% medido en el grupo experimental y 20.1% del grupo testigo (Cuadro 12). Al igual que con el CO<sub>2</sub>, el resto del estudio no mostró diferencias estadísticas entre los grupos (Cuadro 12).

## DISCUSIÓN

Al no haber intercambio de aire con el exterior en el grupo de no-ventilación, la producción de CO<sub>2</sub> por parte de los embriones de codorniz durante la primera mitad del desarrollo embrionario se incrementó progresivamente, al día 8.5 dio una lectura de 21,000 ppm (2.1%), concentración fuera de los márgenes alcanzados por diversos investigadores como De Smith *et al.* (2006)<sup>11</sup>, quienes al utilizar ventilación limitada durante la incubación de huevos fértiles de aves reproductoras pesadas (Cobb 500) obtuvo resultados positivos sobre los parámetros de incubabilidad general y mayor peso de los embriones al alcanzar una concentración de 1% de CO<sub>2</sub> durante la incubación de huevos fértiles provenientes de aves de 60 semanas de edad y de 1.5% de CO<sub>2</sub> con embriones provenientes de aves reproductoras de 45 semanas de edad; o bien Willemsen *et al.* (2008)<sup>46</sup> quienes reportan efectos positivos sobre la incubabilidad y disminución de mortalidad embrionaria al obtener una concentración de 1% de CO<sub>2</sub> de forma natural durante esta misma etapa temprana del desarrollo embrionario.

Es evidente que la alta concentración de CO<sub>2</sub> (2.1%) obtenida durante la primer mitad del periodo de incubación de embriones de codorniz en el presente estudio, en lugar de ser benéfica para el desarrollo embrionario, como ya lo han reportado en la incubación de pollo de engorda (*Gallus gallus*) los investigadores anteriormente mencionados, afectó significativamente los parámetros de incubabilidad, natalidad y porcentajes de mortalidad embrionaria.

Bajo este contexto, es importante recalcar que el sistema de incubación de cada máquina incubadora es diferente, por lo cual a pesar de utilizar las condiciones de

no-ventilación de manera similar a las indicadas e implementadas por otros investigadores, es evidente que en el presente estudio y con el tipo de máquinas utilizadas aquí (*Hova Bator* #1583) se alcanzó el doble de concentración de CO<sub>2</sub> que la lograda por estos investigadores de forma natural (CO<sub>2</sub> proveniente del metabolismo propio del embrión), además debe considerarse que el grado de sellado y tipo de aislamiento utilizado en cada máquina fue diferente, ya que De Smith *et al.* (2006)<sup>11</sup> sólo indica una condición de no-ventilación, pero no menciona cómo la obtuvo al manipular el *Damper* o los conductos de ventilación (salida), por lo cual el presente estudio es un modelo experimental que incluye un sistema de no-ventilación considerando el sello total del gabinete y podemos tener conocimiento de la cantidad de CO<sub>2</sub> que se produce en la primera mitad del periodo de incubación en 120 huevos fértiles de codorniz y 42 de gallina ligera; se determinó además que bajo este sistema de incubación se dificulta la eliminación de agua metabólica del embrión, cuestión técnica que se solucionó al colocar un agente absorbente de la humedad (Cloruro de Calcio), lo cual permitió resolver esta limitante técnica al lograr pasar el 7.5% de humedad que debe perder aproximadamente un huevo fértil de codorniz en esta fecha de desarrollo embrionario (8.5 días de desarrollo embrionario) logrando perder hasta el 12% de peso al día de la transferencia, lo que indica un buen manejo en la pérdida de humedad, cuestión que se dificulta aún más cuando la incubación se efectúa a grandes altitudes sobre el nivel del mar, ya que el sitio de incubación se ubica a 2,230 m.s.n.m. aproximadamente. Otro factor que explica las concentraciones tan grandes de CO<sub>2</sub> alcanzadas está ampliamente vinculado con las características

intrínsecas de cada huevo fértil incubado. Las características genéticas de las aves influyen fuertemente sobre la cantidad específica de CO<sub>2</sub> producido, los factores que más afectan en este aspecto están ligados directamente con cada máquina en particular, esto tiene una relación directa con la densidad que guardan los embriones con respecto al volumen del gabinete de incubación, una proporción que determina la cantidad de huevos incubados en un espacio definido (M<sup>3</sup>/embrión), misma que no se especifica en ningún tipo de investigación revisada hasta el presente y que es importante considerar para su registro en el futuro en este tipo de estudios; si bien French (1997)<sup>8</sup> determinó y explicó didácticamente el grado de importancia que tiene el diseño de la incubadora sobre este tipo de variables de incubabilidad, específicamente el efecto de la ventilación interna sobre la incubación, con énfasis especial en el flujo de aire y la conductividad térmica que se genera en cada caso, hizo hincapié en que la mayor parte de las investigaciones sólo reportan la temperatura de incubación, pasando por alto el efecto que muestra el diseño de la máquina sobre la velocidad del aire y sus efectos en la temperatura a nivel del cascarón, el papel de la humedad en la transmisión térmica y su acción sobre la incubabilidad, aspectos que pocos investigadores consideran en sus publicaciones limitándose a indicar la marca y modelo de la máquina utilizada; muchas veces al no contar exactamente con el mismo tipo de maquinaria que utilizan estos investigadores para sus pruebas experimentales se limita la extrapolación apropiada de variables, se puede considerar entonces que el presente estudio es el primero en abordar esta variable de NV con el tipo específico de máquina empleada.



French (1997)<sup>8</sup> menciona que para efectuar adecuadamente una extrapolación de las variables de incubación de máquinas experimentales pequeñas a máquinas de escala comercial, es imprescindible considerar el efecto que tiene mayor valor para efectuar adecuadamente este tipo de proyecciones, además de considerar el flujo del aire, y se requiere considerar el grado de estabilidad de la temperatura logrado a nivel de cascarón, el cual es más fácil de lograr en la etapa crítica del desarrollo embrionario bajo un sistema NV, cuestión que deberá explorarse en futuros estudios. Es importante indicar que al utilizar una máquina nueva para este tipo de estudios, además de vigilar estrechamente la temperatura y la humedad, se requiere un ensayo previo del tipo de ventilación que contribuya a determinar el mejor grado de sellado en la ventilación limitada o no-ventilación (*air-tight*), por lo cual, con base a los resultados del presente estudio es evidente que se debe efectuar un sellado menos estricto, esto con la finalidad de no alcanzar niveles tan altos en la concentración de CO<sub>2</sub> y obtener porcentajes similares a los recomendados por De Smith *et al.* (2006)<sup>11</sup>, Tona *et al.* (2007)<sup>16</sup> y Willemsen *et al.* (2008)<sup>46</sup>, lo cual contribuiría a determinar si existe una diferencia de respuesta particular por parte de los embriones de codorniz a las altas concentraciones de CO<sub>2</sub> observadas en el presente estudio.

Previendo una falta de analogía en las variables verificadas en el presente trabajo con relación a la especie más estudiada (*Gallus gallus*) en este rubro de óptimos niveles de gas (O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>) durante las diferentes fase de la incubación, y que es una especie distinta a la utilizada en el presente estudio (*Coturnix coturnix japonica*), se incluyeron como referente comparativo de la incubación ensayada

aquí con generación de altas concentraciones de CO<sub>2</sub>, huevos fértiles de aves ligeras (*Bovans white*), para lo cual en el grupo de ventilación limitada de estos huevos fértiles el sellado del gabinete se realizó de forma idéntica a la del grupo de ventilación limitada del primer experimento donde se incubaron huevos fértiles de codorniz; sin embargo, lo que se pudo observar es que bajo el concepto de biomasa los embriones de codorniz que tenían un menor peso total de biomasa inicial (4,663.2 g) al día 8.5 DE produjeron mayor cantidad de CO<sub>2</sub> (2.1%) que los embriones de aves ligeras, los cuales con un peso mayor al arranque de la incubación (7,557 g) al día 10 DE produjeron una cantidad similar de CO<sub>2</sub> (2.2%) a la alcanzada por los embriones de codorniz en un menor tiempo de incubación (8.5 DE) aún cuando el peso inicial de los huevos de las gallinas ligeras fue 40% mayor al de las codornices, lo que de acuerdo a lo mencionado por Portillo (2005)<sup>4</sup> indica una tasa metabólica acelerada en las codornices diferente a la que presentan las gallinas domésticas.

Es importante indicar que la diferencia en la producción de CO<sub>2</sub> entre codornices y aves ligeras, se debe al metabolismo de las primeras, el cual como meta de selección genética prioriza la ganancia de peso en un menor tiempo de crianza y desarrollo, que aunado a una mejor eficiencia en la conversión alimenticia durante la producción hace que estas características de selección se expresen desde el momento del desarrollo embrionario, situación ya estudiada por Janke *et al.* (2004)<sup>52</sup> al comparar aves seleccionadas de alta conformación (Ross 308, 508) con aves ligeras (Lohman), esta variable metabólica la determinaron por medio del estudio de los diferenciales de temperatura generados por los embriones durante

el proceso de incubación; estos autores mencionan un amplio diferencial de tasa metabólica entre estos dos tipos de estirpes; actualmente las codornices reproductoras que ovopositaron los huevos de codorniz utilizados en el presente estudio cuentan con más de 35 años de selección genética continua en la fijación de características de alto rendimiento, similares a las estirpes de pollo de engorda conocidas como de alta conformación utilizadas en otros estudios como el de Tona *et al.* (2007)<sup>16</sup>, quien utilizó la estirpe Coob 500 plus, que es de alta conformación. En un trabajo reciente realizado por Juárez *et al.* (2009)<sup>5</sup> con aves procesadas del mismo sitio de donde se obtuvieron los huevos fértiles incubados en el presente estudio, se determinó que los parámetros productivos y de rendimiento en canal no son diferentes con relación a cuatro de las mejores líneas de codorniz japonesa seleccionadas en Brasil y que fueron evaluadas previamente por Móri *et al.* en 2005,<sup>3</sup> lo cual indica que las codornices mexicanas estudiadas aquí y con base a los parámetros productivos y de procesamiento estudiados por Juárez *et al.* (2009)<sup>5</sup> se pueden considerar como aves de alta conformación similares a las estudiadas por Móri *et al.* (2005)<sup>3</sup> en Brasil.

Es evidente que la diferencia de metabolismo entre los embriones de codorniz y los embriones de las aves *Bovans white* sea la explicación a la gran concentración de CO<sub>2</sub> generada por los embriones de codorniz en la primera mitad de su desarrollo embrionario (8.5 días de desarrollo), a diferencia de la cantidad de CO<sub>2</sub> proporcional a la biomasa que fue producida por los embriones de las aves ligeras. En el estudio de Janke *et al.* (2004)<sup>52</sup> determinaron que el metabolismo y crecimiento embrionario en Ross 308 es mucho más acelerado que el registrado

en embriones de aves Leghorn, ya que mientras 1000 embriones de la estirpe Ross 308 producen 252 watts de calor al día 20 de DE, 1000 embriones de aves de la estirpe Lohman produjeron únicamente 130.8 Watts a la misma edad de desarrollo embrionario, lo cual indica que el metabolismo de un ave seleccionada para producción de carne como las codornices empleadas en el presente estudio es mucho más elevado que aves seleccionadas para producir únicamente huevo como la estirpe de aves tipo Leghorn empleada en el presente estudio (*Bovans white*).

Aunque la cantidad de CO<sub>2</sub> es similar entre los dos estudios efectuados en el presente trabajo, al tomar en consideración la relación existente entre unidad de peso (biomasa) y la cantidad de CO<sub>2</sub> producida, se observó que ésta afectó negativamente en mayor proporción a los embriones de codorniz que a los de aves *Bovans white*, esto se reflejó con el gran porcentaje de mortalidad embrionaria temprana observada en el grupo de ventilación limitada en codornices la cual fue mucho más alta que la observada en aves Leghorn, donde incluso la mortalidad de la etapa I y II fue menor en el grupo de ventilación limitada en comparación al grupo testigo. Lo anterior está relacionado directamente con las lecturas de CO<sub>2</sub> observadas en el grupo de ventilación limitada después del día 8.5 y hasta su eclosión, donde los embriones de guarnigón sobrevivientes en el grupo de ventilación limitada produjeron significativamente menor cantidad de CO<sub>2</sub> que el grupo de ventilación estándar, lo cual fue muy marcado a partir del día 12 DE y hasta la eclosión, situación que no se observó en el segundo estudio con los

embriones de aves Leghorn del grupo NV, donde las lecturas después del día 10 DE fueron similares al grupo testigo.

Es evidente que a pesar de que los parámetros de incubabilidad observados en las aves ligeras son menores a los registrados en otros lugares de incubación para aves fisiológicamente semejantes a las aves Leghorn empleadas aquí, (el factor que explica los bajos parámetros obtenidos, principalmente en el grupo testigo de incubación estándar, es que la incubación del presente estudio se efectuó a una gran altitud sobre el nivel del mar, 2,230 m.s.n.m., que como está documentado afecta significativamente la tasa de incubabilidad y natalidad), de forma general fueron similares tanto en el grupo de ventilación limitada como en el grupo de ventilación estándar, hallazgos diferentes a los observados por De Smit *et al.* (2006)<sup>11</sup> y Willemsen *et al.* (2008)<sup>46</sup> quienes determinaron un efecto positivo de la incubación no-ventilada con una menor concentración de CO<sub>2</sub> sobre los parámetros de incubación durante los primeros 10 días de desarrollo embrionario efectuando sus estudios en países que se encuentran a unos cuantos metros sobre el nivel del mar (Holanda y Bélgica).

Los parámetros de incubabilidad en codornices fueron diferentes a los obtenidos por Seker *et al.* (2005)<sup>53</sup> al incubar a una menor altitud huevos fértiles de codorniz similares en peso y periodo de almacenamiento a los del presente estudio. Estos obtuvieron un porcentaje de incubabilidad 25% mayor con relación a la incubabilidad observada en el grupo testigo, es factible que aunado al ambiente con poca presión parcial de O<sub>2</sub> y los efectos que muestra la alteración de la

humedad sobre la conductividad térmica ocasionados por la incubación a gran altitud del presente estudio, el factor que más afectó al grupo de ventilación limitada fue precisamente la gran concentración de CO<sub>2</sub> observada. Si bien algunos autores como Villamor *et al.* (2004)<sup>24</sup> han indicado los efectos detrimentales que muestra sobre la condición cardiovascular del embrión de pollo cuando la incubación se efectúa con concentraciones bajas (15%) de O<sub>2</sub>, en el presente estudio en el grupo de ventilación limitada la menor cantidad de O<sub>2</sub> registrada (día 8.5 DE) fue de 19.5%, lo cual aunque fue la lectura más baja de todo el periodo no difirió con respecto al 20.1% del grupo de ventilación estándar; después del día 8.5 DE no se registró ninguna alteración en los niveles porcentuales de este gas entre los grupos, aún durante la eclosión donde se mantuvo la condición de normoxia, situación similar al estudio que contempló la incubación de embriones de aves ligeras, donde la lectura más baja de O<sub>2</sub> registrada fue en el grupo de ventilación limitada el día 10 DE, sin embargo, esta lectura no fue diferente a la del grupo de ventilación estándar.

Willemsen *et al.* (2008)<sup>46</sup> determinaron que una inyección con dexametasona directamente al embrión de pollo al día 18 DE disminuye más tarde en la vida de ese mismo embrión el aumento de peso durante las dos primeras semanas de edad, Willemsen *et al.* (2008)<sup>46</sup> mencionan también que el uso de altas concentraciones de CO<sub>2</sub> durante la primera mitad del proceso de incubación de este mismo tipo de embriones incrementa el peso corporal durante estas dos primeras semanas de edad, sin embargo, al momento del procesamiento no

podieron corroborar un efecto positivo consistente sobre un mejor peso en cualquiera de los dos tratamientos anteriormente mencionados, lo que difiere con los resultados observados en el presente estudio, donde con las altas cantidades de CO<sub>2</sub> alcanzadas durante la primera mitad del periodo de incubación de las codornices el peso de los guarnigones del grupo de ventilación limitada fue menor desde del primer día de edad hasta el final de la primera semana, esto con relación al peso de los guarnigones del grupo de ventilación estándar, y aunque en esta primer semana hubo menor consumo de alimento en el grupo de ventilación limitada acompañado de una mejor conversión alimenticia en la segunda, después, y en concordancia con lo observado por Willemsen *et al.* (2008)<sup>46</sup> transcurridas estas dos semanas los parámetros productivos en ambos grupos no mostraron ningún tipo de variación hasta el momento de su procesamiento a las 5.5 semanas de edad. Es evidente que de acuerdo a lo indicado por Tona *et al.* (2007)<sup>16</sup> existe un mecanismo que afecta la energía a nivel de la vía metabólica inducida por los corticoesteroides liberados por las glándulas adrenales, la cual afecta tempranamente a los embriones sujetos a una incubación con altas concentraciones de CO<sub>2</sub>, ya que Tona *et al.* (2007)<sup>16</sup> registró a los 7 días post-eclosión las mayores concentraciones de corticoesteroides en pollitos de engorda provenientes de un grupo incubados en condiciones de no-ventilación los primeros 10 días de DE, cantidades de este grupo esteroidal (cortisol) mayores a las de su grupo de ventilación estándar, por lo cual es factible que este mecanismo detectado por Tona *et al.* (2007)<sup>16</sup>, además de otros mecanismos fisiológicos que aún se encuentran por estudiar sea uno de los principales factores involucrados

directamente en la obtención de los pesos, consumo de alimento y conversión alimenticia registrados en el presente estudio durante los primeros 7 días de vida de los guarnigones provenientes del grupo de ventilación limitada.

Un hallazgo interesante fue que aunque no existen diferencias significativas, aritméticamente el grupo de ventilación limitada fue el más pesado el día de su procesamiento, posiblemente no se detectó una diferencia estadística significativa debido al amplio grado de dispersión circunscrito estadísticamente a la gran desviación estándar que ambos grupos presentan (aunque la estirpe utilizada en el presente estudio tiene más de 35 años de selección intensiva aún no presenta los valores de homogeneidad en peso que presentan las estirpes de pollos de alta conformación comerciales presentes en México), es recomendable considerar en un futuro estudio pesar a las aves por sexos separados, ya que es posible que debido a la marcada diferencia de pesos entre los dos sexos de codornices, diferencia determinada ya por Juárez *et al.* (2009)<sup>5</sup> para esta misma línea, conduzca a tener una mayor dispersión de esta variable y por lo tanto menor precisión en el análisis estadístico.

El presente estudio muestra que restringir la ventilación evitando el ingreso de aire fresco a la máquina e impidiendo su intercambio con los gases eliminados por los embriones en incubación produce un incremento gradual en la concentración de CO<sub>2</sub> durante los primeros 8.5 días de incubación de embriones de codorniz alcanzando una concentración de 2.1% de CO<sub>2</sub>, cantidad similar a la producida por los embriones de aves ligeras (2.2%) incubadas bajo las mismas condiciones;



es evidente que existen diferencias a nivel de tasa de crecimiento o capacidad metabólica entre estos dos tipos de aves, ya que el incremento de CO<sub>2</sub> en codornices provoca un efecto que perjudica la viabilidad y crecimiento de los embriones, dando como resultado una elevada mortalidad de los embriones de codorniz, principalmente en la etapa temprana del desarrollo y un bajo peso al nacer, mientras que los embriones de aves ligeras aunque no muestran un efecto detrimental como el observado en el grupo de codornices, no muestran una diferencia con relación a la incubación estándar, esto posiblemente debido principalmente al estricto sellado del gabinete que se implementó y que hizo que la concentración de CO<sub>2</sub> fuera mayor a la que usualmente se recomienda. Sin embargo, aunque una alta concentración de CO<sub>2</sub> como la alcanzada (2.2%) en gallina ligera no es detrimental como lo menciona la mayor parte de la literatura especializada, bajo las condiciones del presente estudio tampoco se observó algún tipo de efecto benéfico, posiblemente deben evaluarse cuestiones complementarias e inherentes a la crianza de este tipo de aves, como son una buena respuesta durante el crecimiento a altas concentraciones ambientales de CO<sub>2</sub> o altas temperaturas, asumiendo la presencia de un efecto epigenético importante de este tipo de incubación sobre el equilibrio ácido-base de las aves ligeras.

De acuerdo a lo observado por Fasenko *et al.* (2001),<sup>31</sup> la producción de CO<sub>2</sub> en embriones de *Gallus gallus* es mínima durante los primeros 6-8 días DE y se incrementa progresivamente a la par que el funcionamiento de la membrana corioalantoidea lo hace, en el presente estudio se obtuvo información valiosa, ya

que como se puede observar en el monitoreo de CO<sub>2</sub> en el grupo testigo, esta producción es mínima durante el desarrollo de la vasculosa (0-4 días de DE) y se incrementa sustancialmente en cuanto la membrana corioalantoidea inicia su función de intercambio gaseoso; es importante indicar que el monitoreo de CO<sub>2</sub> es un procedimiento imprescindible para vigilar el desarrollo embrionario durante el proceso de incubación; con base a estas lecturas, en el presente estudio se pudo predecir el grado de incubabilidad a obtener en el grupo experimental, ya que, como se puede observar, la cantidad de CO<sub>2</sub> decrece significativamente en el grupo experimental después de la primera mitad del desarrollo embrionario, esto debido principalmente a una menor cantidad de embriones vivos, los cuales produjeron menor cantidad de CO<sub>2</sub>.

En contraposición a lo observado en el presente estudio, Hogg *et al.* (1997),<sup>13</sup> al utilizar una incubadora sellada con embriones de aves reproductoras pesadas (Ross 308), observaron que el CO<sub>2</sub> se incremento gradualmente de un 0.4% registrado en una incubación “normal” con ventilación estándar hasta un 1.5% al día 10 DE, lo cual permitió mejorar hasta en un 2% la incubabilidad en comparación con el grupo de incubación estándar. Gildersleve y Boeschen (1983)<sup>14</sup> al trabajar con este mismo tipo de variables sobre restricción temprana en la ventilación en embriones de pavos encontraron una mejora significativa en la incubabilidad, una disminución marcada de la mortalidad embrionaria y un menor número de malas posiciones en los embriones al momento de la eclosión, todo ello cuando se utilizan niveles crecientes de CO<sub>2</sub> los primeros 10 días de

incubación. Gildersleve y Boeschen (1983)<sup>14</sup> mencionan también una disminución de la incubabilidad, pero únicamente cuando se aplican niveles crecientes de CO<sub>2</sub> los primeros 5 días de incubación. Sadler *et al.* (1954)<sup>17</sup> reportan en sus estudios una buena respuesta en la incubabilidad y una disminución en la mortalidad embrionaria manejando niveles crecientes de CO<sub>2</sub> incluso hasta llegar a 4% en los primeros 10 días de DE y aunque ellos reportan que al aplicarlo después del día 10 no tiene ningún efecto positivo estos hallazgos se contraponen con los del presente estudio, ya que aquí con sólo 2.1% de CO<sub>2</sub> durante la primer mitad del desarrollo embrionario de las codornices se observaron efectos detrimentales sobre éste, por lo que debe efectuarse una cuidadosa interpretación de estudios tan antiguos como los de Sadler *et al.* (1954).<sup>17</sup> Sin embargo, estas investigaciones dan pauta a determinar que los efectos positivos del incremento de CO<sub>2</sub> durante la fase temprana de incubación dependen significativamente del tiempo y la cantidad de exposición de los embriones al bióxido de carbono durante su desarrollo embrionario temprano, es posible que los efectos de esta exposición temprana al CO<sub>2</sub> tengan una base epigenética a nivel cerebral del embrión durante la fase tardía de la gastrulación, entre el momento de la desaparición de la línea primitiva y la formación de la notocorda, lo cual aún requiere de más investigación.

En cuanto a la altitud del sitio de incubación donde se llevó a cabo el presente estudio (2,230 m.s.n.m.), existe gran probabilidad de tener pérdidas significativas, ya que de acuerdo a lo indicado por Ar A (1993)<sup>54</sup> e Hybro (2002)<sup>55</sup>, éstas se reflejan en forma de una caída en todos los parámetros de incubación, aunque, la

mayor afectada es la incubabilidad, debido a que la presión parcial de  $O_2$  a grandes altitudes sobre el nivel del mar es mucho menor que la existente a nivel del mar, además, la transmisión de calor al cascarón del huevo que se encuentra sujeta a la capacidad de calor que contiene el aire se ve disminuida; aunque el huevo fértil de codorniz tenga la misma conductancia de cascarón de un huevo incubado a nivel del mar, el intercambio gaseoso real disminuye, lo cual automáticamente pone en riesgo el proceso embrionario durante la incubación, ya que el embrión se enfrenta a condiciones más adversas que cuando se incubaba a una menor altitud; este efecto negativo es exacerbado por los diferenciales de presión de  $CO_2$  y  $O_2$  condicionados en la variable explicativa del presente estudio en el porcentaje de incubabilidad y mortalidad embrionaria (etapa I y II) obtenidos en el presente estudio.

La presión parcial de  $O_2$  en la parte interna del huevo durante los primera etapa de incubación (del día 1 al 15 DE) determina en gran proporción la base fisiológica del intercambio gaseoso y del equilibrio térmico a nivel del embrión (Ar, 1993 e Hybro, 2002),<sup>54,55</sup> ya que la difusión de gases necesita forzosamente un diferencial entre la presión parcial de  $CO_2$  y de  $O_2$  del interior del huevo con relación a la presión parcial de estos gases en el ambiente externo, a grandes altitudes de incubación este diferencial disminuye al igual que el equilibrio térmico, que por ende se ve afectado, al haber menor presión de  $O_2$  habrá menor presión entre las moléculas de agua, las cuales son mucho menores a las encontradas a nivel del mar, por lo cual, en un sitio como el del presente estudio al efectuar la incubación

se disminuye el efecto de humedad relativa real en el medio ambiente, la cual es la principal promotora en la transferencia de calor y se traduciría en una menor capacidad del aire de poder conducir calor y, por lo tanto, en una baja transferencia real de calor a nivel del cascarón, necesaria para regular la temperatura del embrión de aves de alta conformación que tienen un metabolismo acelerado y que producen grandes cantidades de calor, las cuales desequilibran así su intercambio térmico con el aire y provocan temperaturas desiguales en las diferentes zonas de la incubadora. Este fenómeno cobra gran importancia en los primeros días de incubación, ya que el embrión es mucho más dependiente del calor que proporciona la máquina incubadora, a diferencia de la segunda mitad del periodo de incubación donde el calor producido naturalmente por el embrión es mayor y se requiere disminuir la temperatura en la última parte de la incubación y en la nacedora, por lo cual, incubar a una gran altitud se puede considerar como unos de los factores principales de la gran mortalidad embrionaria observada dentro de la etapa I y II en el estudio realizado con huevos de codorniz. Asimismo, los resultados de muerte embrionaria observados en el estudio con la estirpe *Bovans white* muestran un aumento en la mortalidad de estas etapas (I y II) posiblemente también debido a la baja concentración de O<sub>2</sub> y, por ende, a un menor intercambio gaseoso causal de la deficiencia en su difusión por el cambio de presiones donde participa la humedad relativa como anteriormente ya se mencionó. Cuando se incuba en lugares con mayor cantidad de moléculas en el ambiente con un mismo porcentaje de humedad relativa (ejemplo: a nivel del mar) la transferencia de calor al medio ambiente es más eficiente facilitándose la

pérdida de calor excesivo que producen los embriones de alta conformación, lo que aunado a una menor altitud y acompañado con un manejo correcto del flujo de aire para movilizar el exceso de humedad relativa puede conducir a obtener buenos resultados en los parámetros de incubación.

El almacenaje del huevo en el presente estudio fue de 4 días, Petek y Dikmen (2005),<sup>33</sup> mencionan que un almacenaje corto (como el utilizado en el presente estudio) puede llegar a aumentar la tasa metabólica de los embriones a diferencia de un almacenaje largo (15 días), además de un crecimiento más acelerado como lo menciona Fassenko *et al.* (2001);<sup>31</sup> este aumento de la tasa metabólica ligado a la línea de codornices que utilizamos, la cual ha sido seleccionada por más de 35 años para una alta conformación y por ende para un metabolismo acelerado, aclara una de las principales razones que pudieron provocar tan elevado nivel de CO<sub>2</sub> (2.1%), que junto a la gran altitud, explica el gran porcentaje de mortalidad que se obtuvo en dicho estudio, ratificado además por el estudio de incubación en aves de postura donde se observaron mejores parámetros de incubación. Sin embargo, es importante tomar en cuenta que a pesar de los altos niveles de CO<sub>2</sub> (2.1%) registrados en la incubación con codornices, con una diferencia significativa ante el grupo testigo, asociado a la gran altitud del sitio de incubación y las consecuencias que esto muestra (menor incubabilidad que a nivel del mar), hubo guarnigones que al nacimiento mostraron una diferencia mayor en peso, la cual se prolongó hasta la primer semana de crianza, pero a partir de la segunda semana de cría ambos grupos mostraron un desarrollo sin diferencias

significativas tanto en peso como en conversión alimenticia, llegando hasta el momento del sacrificio de la misma forma, donde los pesos vivos y en canal no mostraron diferencias significativas entre ellos.

Es evidente que los efectos de un incremento gradual en la concentración de CO<sub>2</sub> sobre el DE, la incubabilidad, la tasa de mortalidad embrionaria y la calidad de los pollitos eclosionados puede ser muy variable; es factible también que cuando existe una alta concentración de CO<sub>2</sub> haya un efecto fisiológico óptimo, sin embargo, los niveles apropiados de CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub> de acuerdo a la edad cronológica a lo largo del DE, principalmente en la fase de blastulación y gastrulación, y más tarde durante la fase de crecimiento exponencial del embrión, aún no se conocen. Si bien las altas concentraciones de CO<sub>2</sub> durante la primera mitad del DE muestran de acuerdo a Bruggeman *et al.* (2007)<sup>21</sup> un efecto directo sobre el pH de la albúmina o bien de acuerdo a lo propuesto por Sadler *et al.* (1954)<sup>17</sup> favorece un aumento en la ruptura de las membranas chalacíferas acompañada de la pérdida de dureza de la albúmina densa y acuosa o lo indicado por Latter y Baggot (2002)<sup>56</sup> quienes atribuyeron la formación de una mayor proporción de fluido sub-embrionario en codornices a la alta concentración de CO<sub>2</sub>, lo cual es favorable para el DE, observación similar a la realizada por Deeming (1989)<sup>18</sup> en embriones de *Gallus gallus*. Es posible que el genotipo, especie de la aves, la edad de la parvada y la duración del almacenaje afecten directamente el pH de la albúmina, la ruptura de las membranas chalacíferas y la formación apropiada de fluido sub-embrionario, por lo cual, los efectos de una alta concentración de CO<sub>2</sub> sobre el DE

y la incubabilidad varían en proporción a las diferencias en la genética y especie aviar que se utiliza (Fasenko *et al*, 2001).<sup>31</sup> Debido a que el incremento gradual en las concentraciones de CO<sub>2</sub> aun no mejora la incubabilidad, las altas concentraciones de CO<sub>2</sub> durante la primera mitad de la incubación no se utilizan aún de forma práctica, por lo que se requiere efectuar más investigación que permita explicar adecuadamente cuál es el mecanismo fisiológico que se está modificando durante la trayectoria de la incubación bajo estas premisas de cambio en la concentración de gases (CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>) a lo largo del desarrollo embrionario, no únicamente en codornices, sino también en las diferentes especies aviares que se emplean para la producción de consumo humano.

Se concluye que de las concentraciones de CO<sub>2</sub> obtenidas en el interior de la incubadora (2.1%) durante el periodo temprano de incubación de huevos de codorniz, aunque ocasiona altas mortalidades en la etapa temprana, los embriones sobrevivientes no presentan problemas en su desarrollo morfológico o fisiológico hasta la eclosión, ni en su desarrollo posterior durante la crianza; sin embargo, estas altas concentraciones de CO<sub>2</sub> no aumentaron la tasa de eclosión, ni disminuyeron el tiempo de incubación, ni la amplitud de la ventana de nacimientos, por lo cual se requiere evaluar la incubación durante la primera mitad del periodo de desarrollo embrionario probando concentraciones de CO<sub>2</sub> menores a las alcanzadas en el presente estudio, pero mayores a las indicadas en la literatura con relación a cómo se realiza actualmente la incubación estándar (0.3-0.5% de CO<sub>2</sub>).



## REFERENCIAS

- 1.- **ZHEN C, WOHLGENANT MK.** Meat demand under rational habit persistence. Can J of Agr Econ 2006; 54:477-495.
- 2.- **PANDA B, SINGH RP.** Developments in processing quail meat and eggs. World's Poultry Science Journal 1990; 46:219-234.
- 3.- **MÓRI C, GARCIA EA, PAVAN AC, PICCININ A, CACHONI PC.** Desempenho e rendimento de carcaça de quatro grupos genéticos de codornas para produção de carne. R Bras Zootec 2005; 34:870-876.
- 4.- **PORTILLO LJJ.** Evaluación de la interacción genotipo-nivel de proteína en codorniz japonesa reproductora (*Coturnix coturnix japonica*) en trópico seco. Tesis (Doctorado en Ciencias Pecuarias) Colima: Universidad de Colima, 2005.
- 5.- **JUAREZ EMA, CALVO HMJ, ALTAMIRANO HR.** Caracterización de las piezas comercializadas y rendimiento de la canal de codorniz en México. XXXIV Convención Anual ANECA 2009. 12 al 15 de agosto de 2009. Acapulco de Juárez (Guerrero) México. México (DF) Asociación Nacional de Especialistas en Ciencias Avícolas, AC. 2009, Memorias en CD, 1-12 pp.
- 6.- **VÁZQUEZ JL, PRADO OF, GARCÍA LJ, JUÁREZ MA.** Efecto de la edad de la reproductora sobre la incubabilidad y tiempo de nacimiento del pollo de engorda. Avances en Investigación Agropecuaria 2006; 10(1):21-28.

- 7.- AR A, RAHN H.** Interdependence of gas conductance, incubation length, and weight of the avian egg. Pages 227-236. In: Respiratory Function in Birds, Adult and Embryonic. J. Piiper, edi. Springer Verlag, New York, NY. 1978.
- 8.- FRENCH NA.** Modeling incubation temperature: The effects of incubator design, embryonic development, and egg size. 1997 Poultry Science 76:124-133
- 9.- ELIBOL O, BRAKE J.** Effect of frequency of turning from three to eleven days of incubation on hatchability of broiler hatching eggs. Poult Sci 2003; 82:357–359.
- 10.- LOURENS A, VAN DEN BRAND H, MEIJERHOF R, KEMP B.** Effect of eggshell temperature during incubation on embryo development, hatchability and posthatch development. Poult. Sci 2005; 84:914-920.
- 11.- DE SMIT L, BRUGGEMAN V, TONA JK, DEBONNE M, ONAGBESAN O, ARCKENS L, et al.** Embryonic developmental plasticity of the chick: Increased CO<sub>2</sub> during early stages of incubation changes the developmental trajectories during prenatal growth. Comp Bioch and Physiol: Part A 2006; 145:166-175.
- 12.- HÉRNANDEZ JA.** Efecto de diferentes concentraciones de bióxido de carbono y oxígeno durante la incubación, calidad del pollito recién nacido y desempeño productivo. (Tesis de Maestría). México (D.F.) México: Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, UNAM, 2007.
- 13. - HOGG A.** Single stage incubation trails. Poult. Avian Biol. 1997; Rev. 8, 168.
- 14.- GILDERSLEVE RP, BOESCHEN DP.** The effects of incubator carbon dioxide level on turkey hatchability. Poult.Sci, 1983;62, 779-784.

**15.- ROMANOFF AL, ROMANOFF AJ.** Biochemistry and biophysics of the developing hen's egg. Influence of composition of air. Cornell University, Agricultural experiment station 1933; bulletin 150,1-36.

**16.- TONA K, ONAGBESAN O, BRUGGEMAN V, DE SMIT L, FIGUEIREDO D et al.** Non-ventilation during early incubation in combination with dexamethasone administration during late incubation: 1. Effects on physiological hormone levels, incubation duration and hatching events. *Comp Bioch and Physiol* 2007;4,150.

**17.- SADLER WW, WILGUS HS, BUSS EG.** Incubation factors affecting hatchability of poultry eggs. *Poult. Sci* 1954; 33, 1108-1115.

**18.- DEEMING DC.** Importance of sub-embryonic fluid and albumen in the embryo's response to turning of the egg during incubation. *Br. Poult.Sci* 1989; 30, 591-606.

**19.- CHRISTENSEN VL, WINELAND MJ, ORT DT, MANN KM.** Eggshell conductance and incubator ventilation as factors in embryo survival and poult quality. *Inter J of Poult Sci* 2005; 4:818-826.

**20.- SUMMET K, SHARMA S, LUATTI L, NORDMAN C, TINNEY J, KELLER B.** Impact of hypoxia on early chicken embryo growth and cardiovascular function. *Ped Res* 2006; 59:116-120.

**21.- BRUGGEMAN V, WITTERS A, DE SMIT L, DEBONNE M, EVERAERT N, KAMERS B, et al.** Acid-base balance in chicken embryos (*Gallus domesticus*)

incubated under high CO<sub>2</sub> concentrations during the first 10 days of incubation. *Resp Physiol & Neurobiol* 2007; 159:147-154.

**22.- EPPLE A, GOWER B, BUSCH T, GILL T.** Stress responses in avian embryos. *Avian Zool.* 1997; 37: 536-545.

**23.- CHAN T, BURGREN W.** Hypoxic incubation created differential morphological effects during specific developmental critical windows in the embryo of the chicken (*Gallus gallus*) *Resp physiol and Neurobiol.* 2005;145: 251-263.

**24.- VILLAMOR E, CAROLINA G, KESSELS A, VAN SUYLEN R, BELIF J, BLANCO C.** Chronic *in ovo* hypoxia decreases pulmonary arterial contractile reactivity and induces biventricular cardiac enlargement in the chicken embryo. *Physiol Regul Integr, Comp Physiol* 2004;287:642-651.

**25.- MILENE A, AZZAM J, MORTOLA P.** Organ growth in chicken embryos during hypoxia: Implications on organ “sparing” and “catch-up growth”. *Resp Physiol and Neurobiol.* 2007; 259:155-162.

**26.- MORTOLA J, BESTERMAN A.** Gaseous metabolism of the chicken embryo and hatching during post hypoxic recovery. *Resp Physiol and Neurobiol.* 2007; 156:212-219.

**27.- EVERAERT N, KAMERS B, WITTERS A, DE SMIT L, DEBONNE M, DECUYPERE E, et al.** Effect of four percent carbon dioxide during the second half of incubation on embryonic development, hatching parameters, and posthatch growth. *Poult Sci* 2007; 86:1372-1379.

- 28.- STEIGNER JW, NESTOR KE, LILBURN MS.** Growth and development of lines of Japanese quail (*Coturnix coturnix japonica*) divergently selected for body weight at 4 weeks of age. *Comp Bioch and Phisiol* 1992; 102:389-393.
- 29.- HYÁNKOVÁ L, DĚDKOVÁ L, KNÍZETOVÁ L, HORT HJ.** Heterosis in body weight related to growth performance of parenteral lines of Japanese quail and to heterosis in lay. *British Poult Sci* 2002; 42:508-517.
- 30.- HYÁNKOVÁ L, NOVOTNA B, DARRAS VM.** Divergent selection for shape of growth curve in Japanese quail. 4. Carcase composition and thyroid hormones. *British Poult Sci* 2008; 49:96-102.
- 31.- FASENKO GM, ROBINSON FE, WHELAN AI, KREMENIUK KM, WALKER JA.** Prestorage incubation of long-term stored broiler breeder eggs: 1. Effects on hatchability. *Poult Sci* 2001; 80:1406-1411.
- 32.- IPECK A, SAHAN Ü.** Effect of breeder age and breeding season on egg production and incubation in farmed ostriches. *British Poultry Science* 2004; Volume 45, 5: 643–647.
- 33.- PETEK M, DIKMEN S.** The effects of prestorage incubation of quail breeder eggs on hatchability and subsequent growth performance of progeny. *Anim Res* 2004; 53:527-534.
- 34.- BRAKE J, WALSH TJ, BENTON CE, PETITTE JN, MEIJERHOF R, PEÑALVA G.** Egg handling and storage. *Poult Sci* 1997; 76:144-151.

**35.- BRUZUAL JJ, PEAK SD, BRAKE J, PEEBLES ED.** Effects of relative humidity during incubation on hatchability and body weight of broiler chicks from young breeder flocks. *Poult Sci* 2000; 79:827-830.

**36.- SUAREZ ME, WILSON HR, MATHER FB, WILCOX CJ, MCPHERSON BN.** Effect of strain and age of the broiler breeder female on incubation time and chick weight. *Poult Sci* 1997; 76:1029-1036.

**37.- PRADO ROF, JUÁREZ EMA.** Efecto de diferentes humedades durante la incubación, sobre mortalidad embrionaria e incubabilidad. Memorias de las VIII Jornadas Médico Avícolas. 2002 febrero 20-22; Ciudad Universitaria (DF). México (DF): División de Educación Continua y Departamento de Producción Animal: Aves. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. UNAM., 2002:209-211.

**38.- VÁZQUEZ JL, PRADO ROF, GARCÍA LJ, JUÁREZ EMA.** Efecto de la edad de la reproductora sobre la incubabilidad y tiempo de nacimiento del pollo de engorda. *Avances en Investigación Agropecuaria* 2006; 10(1):21-28.

**39.- TONA K, BAMELIS F, DE KETELAERE B, BRUGGEMAN V, MORAES VM, BUYSE J, et al.** Effects of egg storage time on spread of hatch, chick quality, and chick juvenile growth. *Poult Sci* 2003;82:736-741.

**40.- TONA K, ONAGBESAN OM, JEGO Y, KAMERS B, DECUYPERE E, BRUGGEMAN V.** Comparison of embryo physiological parameters during incubation, chick quality, and growth performance of three lines of broiler breeders differing in genetic composition and growth rate. *Poult Sci* 2004; 83:507-513.

**41.- BOERJAN M.** Maximizando la uniformidad y la calidad de los pollitos. Boletín AP, Pass Reform Hatchery Technologies 2005; 23: 18-23.

**42.- LOPEZ CS, JUÁREZ EMA, PRADO ROF.** Una escala no invasiva para la clasificación de la calidad en pollitos recién nacidos permite valorar el proceso de incubación. XXXIV Convención anual ANECA 2009. 12 al 15 de agosto de 2009. Acapulco de Juárez (Guerrero); México. México D.F. Asociación Nacional de Especialistas en Ciencias Avícolas, AC.2009, Memorias en CD, 1-9 pp.

**43.- WILSON HR.** Interrelationship of egg size, chick size, posthatching growth and hatchability. World's Poultry Science Journal 1991. 47:5-20.

**44.- WOLANSKY N, RENEMA A.** Relationships between chicks. Conformation and quality measures with early growth traits in males of eight selected pure or commercial broiler breeder strains. Poult Sci 2006; 85:1490-1497.

**45.- WOLANSKI NJ, RENEMA RA, ROBINSON FE, CARNEY VL, FANCHERT BI.** Relationship among egg characteristics, chicken measurements, and early growth traits in ten broiler breeder strains. Poult Sci 2007; 86:1784-1792.

**46.- WILLEMSSEN H, EVERAERT N, WITTERS A, DE SMIT L, DEBONNE M, VERSCHUERE F, et al.** Critical Assessment of chick quality measurements as an indicator of post hatch performance. Poult Sci 2008; 87:2358-2366.

**47.- TORGES HG, WEGNER RM.** The effect of age and sex on broiler performance of heavy-strain quails (*Coturnix coturnix japonica*). Archiv für Geflügelkunde 1984;48:57-65.

- 48.- TSERVENI-GOUSHI AS, YANNAKOPOULOS AL.** Carcass characteristics of Japanese quail at 42 days of age. *British Poultry Science* 1986; 27:123-127.
- 49.- ÖZBEY O, ERISIR Z, AYSÖNDÜ MH, ÖZMEN Ö.** The effect of high temperatures on breeding and survival of Japanese quails that are bred under different temperatures. *Inter J of Poultry Science* 2004; 3:463-467.
- 50.- GILL JL.** Design and analysis of experiments in the animal and sciences. Vol. 1 Ames (Ia): The Iowa State University Press, 1978.
- 51.- MONTGOMERY DC.** Design and analysis of experiments. John Wiley & Sons, Inc. Belmont, CA, 1991: 45-81.
- 52.- JANKE O, TZSCHENTKE B, BOERJAN M.** Comparative investigations of heat production and body temperature in embryos of modern chicken breeds. *Avian and Poultry Biology Reviews* 2004; 15:191-196.
- 53.- SEKER I, KUL S, BAYRAKTAR M.** Effects of storage period and egg weight of Japanese quail eggs on hatching results (short communication). *Arch. Tierz., Dummerstorf* 48 2005; 5: 518-526.
- 54.- AR A.** Gas exchange of the avian embryo at altitude - The half-empty glass. *Funktionsanalyse biologischer Systeme* 1993; 23: 339-350.
- 55.- HYBRO B. V.** Incubación en altura. Boletín técnico Hybro, Hybro B.V., P.O. Box 30, 5830 AA Boxtmeer, The Netherlands. 2002; 1-2.



**56.- LATTER GV, BAGGOT GK.** Role of carbon dioxide and ion transport in the formation of sub-embryonic fluid by the blastoderm of the Japanese quail. *British Poultry Science* 2002;43:104-116.

## CUADROS

**Cuadro I.** Parámetros de incubación en huevos de codorniz japonesa (*Coturnix coturnix japonica*) incubados con concentraciones crecientes de CO<sub>2</sub> durante la primera mitad del desarrollo embrionario.

Concepto	Ventilación Limitada*	Ventilación Estándar
Porcentaje de Fertilidad **	85.55 ± 3.37 <sup>A</sup>	89.99 ± 1.44 <sup>A</sup>
Porcentaje de Incubabilidad **	29.43 ± 14.20 <sup>B</sup>	59.20 ± 14.10 <sup>A</sup>
Porcentaje de Natalidad **	24.44 ± 11.79 <sup>B</sup>	49.17 ± 11.71 <sup>A</sup>
Embriones muertos en etapa I ***	(12.61%) <sup>A</sup>	(9.25%) <sup>B</sup>
Embriones muertos en etapa II ***	(33.99%) <sup>A</sup>	(13.61%) <sup>B</sup>
Embriones muertos en etapa III ***	(6.12%) <sup>A</sup>	(6.41%) <sup>A</sup>
Embriones muertos en etapa IV ***	(1.99%) <sup>B</sup>	(8.07%) <sup>A</sup>

\* Se restringió la ventilación durante los primeros 8.5 días de desarrollo embrionario. \*\*Valor porcentual ± desviación estándar a partir de 120 huevos por incubadora; valores en la misma fila con diferente letra superíndice difieren significativamente entre sí, Tukey (P < 0.05) n=3 \*\*\*Valor porcentual observado a partir de 120 huevos por incubadora; valores en la misma fila con diferente letra superíndice difieren significativamente entre sí, prueba Xi<sup>2</sup> (P < 0.05), n=3

**Cuadro 2.** Peso del huevo, pérdida de peso y temperatura promedio durante la incubación de huevos de codorniz japonesa (*Coturnix coturnix japonica*) incubados con concentraciones crecientes de CO<sub>2</sub> durante la primera mitad del desarrollo embrionario.

Concepto	Ventilación Limitada *	Ventilación Estándar	Ambiente
Peso promedio inicial del huevo (g) **	12.95 ± 0.99 <sup>A</sup>	12.92 ± 0.98 <sup>A</sup>	-
Peso promedio huevo día 8.5 (g) **	11.83 ± 1.03 <sup>A</sup>	11.90 ± 1.15 <sup>A</sup>	-
Porcentaje pérdida de peso día 8.5**	10.07 ± 2.55 <sup>A</sup>	7.12 ± 1.83 <sup>B</sup>	-
Peso promedio huevo día 15 (g)**	11.44 ± 1.07 <sup>A</sup>	11.46 ± 0.97 <sup>A</sup>	-
Porcentaje pérdida de peso día 15**	12.60 ± 2.65 <sup>A</sup>	11.53 ± 3.067 <sup>B</sup>	-
Promedio T° Celsius. Días 1-15 **	37.47 ± 0.35 <sup>A</sup>	37.44 ± 0.38 <sup>A</sup>	23.3 ± 1.9
Promedio T° Celsius Días 16-17 **	37.10 ± 0.10 <sup>A</sup>	37.13 ± 0.10 <sup>A</sup>	23.6 ± 1.6
Promedio H. Relativa. Días 1-8.5 **	49.9 ± 5.11 <sup>B</sup>	60.3 ± 0.5 <sup>A</sup>	57.7 ± 7.5
Promedio H. Relativa. Días 9-15 **	55.3 ± 6.9 <sup>A</sup>	56.7 ± 3.6 <sup>A</sup>	51.5 ± 9.3
Promedio H. Relativa. Días 16-17 **	70 ± 0.9 <sup>B</sup>	72 ± 1.8 <sup>B</sup>	54.8 ± 8.8

\* Se restringió la ventilación durante los primeros 8.5 días de desarrollo embrionario.

\*\*Literales diferentes en superíndice del valor referido ± desviación estándar comparadas en la misma fila indican diferencia estadística significativa (P<0.05) entre tratamientos. n=3 por tratamiento.

**Cuadro 3.** Inicio de picaje externo (PE), término y duración de ventana de nacimientos de guarnigones provenientes de huevos incubados bajo condiciones de aumento gradual de CO<sub>2</sub> durante la primera mitad del desarrollo embrionario.

Concepto	Ventilación limitada*	Ventilación estándar
Inicio PE (Horas)**	370.5 ± 0.57 <sup>A</sup>	382.75 ± 12.99 <sup>A</sup>
Término de nacimientos (Horas)**	437.3 ± 2.97 <sup>A</sup>	421.5 ± 8.53 <sup>B</sup>
Duración ventana (Horas)**	68.75 ± 0.87 <sup>A</sup>	43.5 ± 6.93 <sup>B</sup>

\* Se restringió la ventilación durante los primeros 8.5 días de desarrollo embrionario. \*\*Literales diferentes en superíndice del valor referido ± desviación estándar comparadas en la misma fila indican diferencia estadística significativa (P<0.05) entre tratamientos. n=3

**Cuadro 4.** Calidad, peso y longitud de los guarnigones al nacimiento, provenientes de huevos incubados bajo condiciones de aumento gradual de bióxido de carbono durante la primera mitad del desarrollo embrionario.

CONCEPTO	Ventilación limitada*	Ventilación estándar
Excelente (%) ** $\Psi$	39.23 ± 47.77 <sup>A</sup>	39.58 ± 19.79 <sup>A</sup>
Bueno (%) ** $\Psi$	53.89 ± 44.33 <sup>A</sup>	57.73 ± 15.81 <sup>A</sup>
Regular (%) ** $\Psi$	4.33 ± 4.17 <sup>A</sup>	2.69 ± 4.65 <sup>A</sup>
Deficiente (%) ** $\Psi$	1.75 ± 1.38 <sup>A</sup>	0 ± 0 <sup>B</sup>
Inaceptable (%)** $\Psi$	0.77 ± 1.2 <sup>A</sup>	0 ± 0 <sup>A</sup>
Peso del guarnigón (g.) ** $\Phi$	8.91 ± 0.96 <sup>B</sup>	9.19 ± 0.76 <sup>A</sup>
Longitud del guarnigón (cm.) ** $\Phi$	10.32 ± 0.53 <sup>A</sup>	10.31 ± 0.52 <sup>A</sup>

\* Se restringió la ventilación durante los primeros 8.5 días de desarrollo embrionario.

\*\*Literales diferentes en superíndice del valor referido ± desviación estándar comparadas en la misma fila indican diferencia estadística significativa (P<0.05) entre tratamientos.

$\Psi$  n= 3 máquinas Hoba-Bator Núm. 1583 (2009) por tratamiento.  $\Phi$  n= 89 guarnigones

**Cuadro 5.** Concentración de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> registrados a partir del primer día de incubación de huevos de codorniz incubados bajo condiciones de aumento gradual de bióxido de carbono durante la primera mitad del desarrollo embrionario.

Día de incubación	Ambiente		Ventilación limitada*		Ventilación estándar	
	O <sub>2</sub> (%)**	CO <sub>2</sub> (ppm) **	O <sub>2</sub> (%)	CO <sub>2</sub> (ppm)	O <sub>2</sub> (%)	CO <sub>2</sub> (ppm)
Día 1	20.4 ± 0.05 <sup>A</sup>	1,010 ± 0 <sup>B</sup>	-	-	20.48 ± 0.12	1358.8 ± 80.6
Día 2	20.6 ± 0 <sup>A</sup>	1,050 ± 34.6 <sup>B</sup>	-	-	20.56 ± 0.13	1332.2 ± 62.8
Día 3	19.9 ± 0.4 <sup>C</sup>	1046.7 ± 130.5 <sup>B</sup>	-	-	20.45 ± 0.15	1585.5 ± 394.8
Día 4	20.5 ± 0.1 <sup>A</sup>	1373.3 ± 544.2 <sup>B</sup>	-	-	20.55 ± 0.13	1308.8 ± 72.8
Día 5	20.5 ± 0.08 <sup>A</sup>	1373.3 ± 464.9 <sup>B</sup>	-	-	20.53 ± 0.13	1248.8 ± 107.2
Día 6	20.4 ± 0.1 <sup>AB</sup>	1336.7 ± 488.5 <sup>B</sup>	-	-	20.54 ± 0.14	2700 ± 540
Día 7	20.5 ± 0.09 <sup>A</sup>	1173.3 ± 494 <sup>B</sup>	-	-	20.51 ± 0.11	3988.9 ± 1278.1
Día 8	20.4 ± 0.2 <sup>A</sup>	1066.7 ± 73.7 <sup>B</sup>	19.5 ± 0.94 <sup>A</sup>	21,141.1 ± 501.7 <sup>A</sup>	20.1 ± 0.12 <sup>A</sup>	2,933.3 ± 220.5 <sup>B</sup>
Día 9	20.4 ± 0.1 <sup>AB</sup>	1816.7 ± 896.9 <sup>AB</sup>	20.02 ± 0.04 <sup>A</sup>	3,020 ± 185.47 <sup>A</sup>	20.06 ± 0.1 <sup>A</sup>	3,161.1 ± 275.65 <sup>A</sup>
Día 10	20.1 ± 0.2 <sup>BC</sup>	1390 ± 55.6 <sup>B</sup>	20.02 ± 0.1 <sup>A</sup>	3,356 ± 350.5 <sup>B</sup>	19.96 ± 0.9 <sup>A</sup>	3,730.2 ± 163.6 <sup>A</sup>
Día 11	20.4 ± 0.1 <sup>A</sup>	5230 ± 3585.3 <sup>AB</sup>	19.98 ± 0.1 <sup>A</sup>	3,720 ± 471.6 <sup>A</sup>	19.95 ± 0.07 <sup>A</sup>	3,992.2 ± 552.5 <sup>A</sup>
Día 12	20.6 ± 0.0 <sup>A</sup>	6126.7 ± 4211.9 <sup>AB</sup>	20.1 ± 0.12 <sup>A</sup>	4,733.3 ± 623.7 <sup>B</sup>	20.05 ± 0.14 <sup>A</sup>	5,601.1 ± 591.6 <sup>A</sup>
Día 13	20.6 ± 0.05 <sup>A</sup>	5126.7 ± 3331.7 <sup>AB</sup>	20.07 ± 0.083 <sup>A</sup>	4,881.1 ± 642.3 <sup>B</sup>	20.02 ± 0.097 <sup>A</sup>	6,183.3 ± 536.7 <sup>A</sup>
Día 14	20.5 ± 0.05 <sup>A</sup>	6490 ± 4614 <sup>AB</sup>	20.06 ± 0.050 <sup>A</sup>	4,926.7 ± 574.1 <sup>B</sup>	20.03 ± 0.086 <sup>A</sup>	5,935.6 ± 691.6 <sup>A</sup>
Día 15	20.5 ± 0.05 <sup>A</sup>	6043.3 ± 4273.8 <sup>AB</sup>	20.10 ± 0.08 <sup>A</sup>	4,918.9 ± 832.8 <sup>B</sup>	20.02 ± 0.06 <sup>A</sup>	6,444.4 ± 522.2 <sup>A</sup>
Día 16	20.6 ± 0.08 <sup>A</sup>	5883.3 ± 4285.5 <sup>AB</sup>	20.10 ± 0.1 <sup>A</sup>	4,524.4 ± 1,226.1 <sup>B</sup>	20.08 ± 0.09 <sup>A</sup>	7,211.1 ± 1,305.1 <sup>A</sup>
Día 17	20.6 ± 0.08 <sup>A</sup>	8893.3 ± 890 <sup>A</sup>	20.14 ± 0.08 <sup>A</sup>	4,785.6 ± 862.6 <sup>B</sup>	20.12 ± 0.06 <sup>A</sup>	7,011.1 ± 1,615.1 <sup>A</sup>

\* Se restringió la ventilación durante los primeros 8.5 días de desarrollo embrionario.

\*\*Literales diferentes en superíndice del valor referido ± desviación estándar comparadas en la misma fila indican diferencia estadística significativa (P<0.05) entre tratamientos.

**CUADRO 6.** Peso corporal, consumo de alimento y conversión alimenticia en guarnigones provenientes de huevos incubados bajo condiciones de aumento gradual de CO<sub>2</sub> durante la primera mitad del desarrollo embrionario.

	PESO **		CONSUMO **		CONVERSIÓN ALIMENTICIA**	
	Ventilación Limitada*	Ventilación estándar	Ventilación Limitada*	Ventilación estándar	Ventilación Limitada*	Ventilación estándar
Semana 1	39.46 ± 5.34 <sup>B</sup>	43.18 ± 5.34 <sup>A</sup>	49.59 ± 1.16 <sup>B</sup>	52.79 ± 1.96 <sup>A</sup>	1.17 ± 0 <sup>B</sup>	1.25 ± 0.02 <sup>A</sup>
Semana 2	82.4 ± 9.3 <sup>A</sup>	84.7 ± 10.4 <sup>A</sup>	111.9 ± 22.6 <sup>A</sup>	97.81 ± 20.7 <sup>A</sup>	1.6 ± 0.1 <sup>A</sup>	1.4 ± 0.12 <sup>B</sup>
Semana 3	139.7 ± 11.8 <sup>A</sup>	145.8 ± 12.2 <sup>A</sup>	139.6 ± 32.9 <sup>A</sup>	141.4 ± 42.8 <sup>A</sup>	1.7 ± 0.2 <sup>A</sup>	1.6 ± 0.15 <sup>A</sup>
Semana 4	197.9 ± 15.7 <sup>A</sup>	193.9 ± 18.3 <sup>A</sup>	157.4 ± 6.5 <sup>A</sup>	145.9 ± 9.3 <sup>B</sup>	1.9 ± 0.3 <sup>A</sup>	1.95 ± 0.1 <sup>A</sup>
Semana 5	238.9 ± 26.0 <sup>A</sup>	231.9 ± 28.0 <sup>A</sup>	222.4 ± 4.8 <sup>A</sup>	213.0 ± 15.3 <sup>A</sup>	2.6 ± 0.2 <sup>A</sup>	2.5 ± 0.15 <sup>A</sup>

\* Se restringió la ventilación durante los primeros 8.5 días de desarrollo embrionario.

\*\*Literales diferentes en superíndice del valor referido ± desviación estándar comparadas en la misma fila indican diferencia estadística significativa (P<0.05) entre tratamientos.

**Cuadro 7.** Peso corporal de codornices previo a su procesamiento, peso de la canal y vísceras a las 5.5 semanas, provenientes de huevos incubados bajo condiciones de aumento gradual de CO<sub>2</sub> durante la primera mitad del desarrollo embrionario.

CONCEPTO	Ventilación limitada* <sup>ψ</sup>	Ventilación estándar <sup>ψ</sup>
Peso vivo	238.9 ± 26.04** <sup>A</sup>	231.9 ± 28.09 <sup>A</sup>
Canal	165.5 ± 17.7 <sup>A</sup>	161.0 ± 16.6 <sup>A</sup>
Vísceras	28.04 ± 7.9 <sup>A</sup>	27.9 ± 7.9 <sup>A</sup>

\* Se restringió la ventilación durante los primeros 8.5 días de desarrollo embrionario.

\*\*Literales diferentes en superíndice del valor referido ± desviación estándar comparadas en la misma fila indican diferencia estadística significativa (P<0.05) entre tratamientos.

<sup>ψ</sup> n= 115

**Cuadro 8.** Parámetros de incubación en huevos fértiles provenientes de gallinas reproductoras *Bovans white* de 52 semanas de edad incubados con concentraciones crecientes de CO<sub>2</sub> durante la primera mitad del desarrollo embrionario.

Concepto	Ventilación Limitada*	Ventilación Estándar
Porcentaje de Fertilidad **	95.23 ± 0 <sup>A</sup>	95.23 ± 0 <sup>A</sup>
Porcentaje de Incubabilidad **	65 ± 3.9 <sup>A</sup>	66.6 ± 11.03 <sup>A</sup>
Porcentaje de Natalidad **	41.6 ± 1.29 <sup>A</sup>	42.2 ± 3.7 <sup>A</sup>
Embriones muertos en etapa I ***	(39.9 %) <sup>B</sup>	(41.8 %) <sup>A</sup>
Embriones muertos en etapa II ***	(9.5 %) <sup>B</sup>	(17.8 %) <sup>A</sup>
Embriones muertos en etapa III ***	(50.5%) <sup>A</sup>	(33.5%) <sup>B</sup>
Embriones muertos en etapa IV ***	(0 %) <sup>B</sup>	(6.7 %) <sup>A</sup>

\* Se restringió la ventilación durante los primeros 10 días de desarrollo embrionario. \*\*Valor porcentual ± desviación estándar a partir de 42 huevos por incubadora; valores en la misma fila con diferente letra superíndice difieren significativamente entre sí, Tukey (P < 0.05), n=3. \*\*\*Valor porcentual observado a partir de 42 huevos por incubadora; valores en la misma fila con diferente letra superíndice difieren significativamente entre sí, prueba Xi<sup>2</sup> (P < 0.05), n=3.

**Cuadro 9.** Peso del huevo, porcentaje de pérdida de peso y temperatura promedio durante la incubación de huevos de *Bovans white* incubados con concentraciones crecientes de CO<sub>2</sub> durante la primera mitad del desarrollo embrionario.

Concepto	Ventilación Limitada *	Ventilación Estándar	Ambiente
Peso promedio inicial del huevo **	59.9 ± 3.9 <sup>A</sup>	58.9 ± 3.5 <sup>A</sup>	-
Peso promedio huevo día 10 **	54.8 ± 3.8 <sup>A</sup>	54.3 ± 3.3 <sup>A</sup>	-
Porcentaje pérdida de peso día 10 **	7.76 ± 1.26 <sup>A</sup>	7.07 ± 1.53 <sup>A</sup>	-
Peso promedio huevo día 18 **	53.5 ± 5.8 <sup>A</sup>	51.6 ± 3.6 <sup>B</sup>	-
Porcentaje pérdida de peso día 18**	12.7 ± 2.01 <sup>A</sup>	12.5 ± 2.6 <sup>A</sup>	-
Promedio T° Celsius. Días 1-18 ***	37.7 ± 0.4 <sup>A</sup>	37.6 ± 0.4 <sup>A</sup>	23.3 ± 1.9
Promedio T° Celsius Días 19-21 ***	36.4 ± 1.6 <sup>A</sup>	36.9 ± 0.3 <sup>A</sup>	23.6 ± 1.6
Promedio H. Relativa. Días 1-10 ***	49.9 ± 5.11 <sup>B</sup>	60.3 ± 0.5 <sup>A</sup>	57.7 ± 7.5
Promedio H. Relativa. Días 11-18 ***	55.3 ± 6.9 <sup>A</sup>	56.7 ± 3.6 <sup>A</sup>	51.5 ± 9.3
Promedio H. Relativa. Días 19-21 ***	70 ± 0.9 <sup>A</sup>	72 ± 1.8 <sup>A</sup>	54.8 ± 8.8

\* Se restringió la ventilación durante los primeros 10 días de desarrollo embrionario. \*\* Literales diferentes en superíndice del valor referido ± desviación estándar comparadas en la misma fila indican diferencia estadística significativa (P<0.05) entre tratamientos. n=3



**Cuadro 10.** Inicio de picaje externo (PE), término y duración de ventana de nacimientos de Bobans white provenientes de huevos incubados bajo condiciones de aumento gradual de CO<sub>2</sub> durante la primera mitad del desarrollo embrionario.

Concepto	Ventilación limitada *	Ventilación estándar
Inicio PE (Horas)**	496.7 ± 10.3 <sup>A</sup>	490 ± 0 <sup>A</sup>
Término de nacimientos (Horas)**	529.3 ± 5.16 <sup>A</sup>	522.7 ± 4.5 <sup>B</sup>
Duración ventana (Horas)**	32.7 ± 5.16 <sup>A</sup>	32.7 ± 4.5 <sup>A</sup>

\* Se restringió la ventilación durante los primeros 8.5 días de desarrollo embrionario. \*\*Literales diferentes en superíndice del valor referido ± desviación estándar comparadas en la misma fila indican diferencia estadística significativa (P<0.05) entre tratamientos. n=3

**Cuadro 11.** Calidad, peso y longitud de los pollitos al nacimiento, provenientes de huevos incubados bajo condiciones de aumento gradual de CO<sub>2</sub> durante la primera mitad del desarrollo embrionario.

CONCEPTO	Ventilación limitada*	Ventilación estándar
Excelente (%) ** $\psi$	62.2 ± 12.4 <sup>A</sup>	55.7 ± 4.4 <sup>A</sup>
Bueno (%) ** $\psi$	33.33 ± 11.9 <sup>A</sup>	38.27 ± 6.9 <sup>A</sup>
Regular (%) ** $\psi$	2.22 ± 3.43 <sup>A</sup>	3.93 ± 3.04 <sup>A</sup>
Deficiente (%) ** $\psi$	2.33 ± 3.6 <sup>A</sup>	1.93 ± 2.9 <sup>A</sup>
Inaceptable (%) ** $\psi$	0 ± 0 <sup>A</sup>	0 ± 0 <sup>A</sup>
Peso del pollito(g) ** $\Phi$	38.3 ± 2.9 <sup>A</sup>	39.0 ± 3.0 <sup>A</sup>
Longitud del pollito(cm.) ** $\Phi$	16.5 ± 0.55 <sup>A</sup>	16.6 ± 0.63 <sup>A</sup>

\* Se restringió la ventilación durante los primeros 8.5 días de desarrollo embrionario.

\*\*Literales diferentes en superíndice del valor referido ± desviación estándar comparadas en la misma fila indican diferencia estadística significativa (P<0.05) entre tratamientos.

$\psi$  n= 3  $\Phi$  n= 89

**Cuadro 12.** Concentración de O<sub>2</sub> (%) y CO<sub>2</sub> (ppm) registrados a partir del primer día de incubación de huevos fértiles de *Bovans white* incubados bajo condiciones de aumento gradual de bióxido de carbono durante la primera mitad del desarrollo embrionario.

Día de incubación	Ambiente		Ventilación limitada*		Ventilación estándar ***	
	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>
Día 1	20.4 ± 0.05 <sup>A</sup>	1,010 ± 0 <sup>B</sup>	-	-	20.26 ± 0.31 <sup>A</sup>	0 ± 0
Día 2	20.6 ± 0 <sup>A</sup>	1,050 ± 34.6 <sup>B</sup>	-	-	20.46 ± 0.07 <sup>A</sup>	0 ± 0
Día 3	19.9 ± 0.4 <sup>C</sup>	1046.7 ± 130.5 <sup>B</sup>	-	-	20.4 ± 0.06 <sup>A</sup>	0 ± 0
Día 4	20.5 ± 0.1 <sup>A</sup>	1373.3 ± 544.2 <sup>B</sup>	-	-	20.56 ± 0.1 <sup>A</sup>	0 ± 0
Día 5	20.5 ± 0.08 <sup>A</sup>	1373.3 ± 464.9 <sup>B</sup>	-	-	20.5 ± 0.12 <sup>A</sup>	0 ± 0
Día 6	20.4 ± 0.1 <sup>AB</sup>	1336.7 ± 488.5 <sup>B</sup>	-	-	20.41 ± 0.06 <sup>A</sup>	0 ± 0
Día 7	20.5 ± 0.09 <sup>A</sup>	1173.3 ± 494 <sup>B</sup>	-	-	20.5 ± 0.11 <sup>A</sup>	0 ± 0
Día 8	20.4 ± 0.2 <sup>A</sup>	1066.7 ± 73.7 <sup>B</sup>	-	-	20.43 ± 0.47 <sup>A</sup>	96.7 ± 96.8 <sup>A</sup>
Día 9	20.4 ± 0.1 <sup>AB</sup>	1816.7 ± 896.9 <sup>AB</sup>	-	-	20.2 ± 0.16 <sup>A</sup>	3922 ± 4733 <sup>A</sup>
Día 10	20.1 ± 0.2 <sup>BC</sup>	1390 ± 55.6 <sup>B</sup>	19.6 ± 0.69 <sup>A</sup>	22,073 ± 36 <sup>A</sup>	20.1 ± 0.1 <sup>A</sup>	2,613 ± 436 <sup>B</sup>
Día 11	20.4 ± 0.1 <sup>A</sup>	5230 ± 3585.3 <sup>AB</sup>	20.01 ± 0.078 <sup>A</sup>	2,906.7 ± 425.5 <sup>A</sup>	19.98 ± 0.078 <sup>A</sup>	2,898 ± 289 <sup>A</sup>
Día 12	20.6 ± 0.0 <sup>A</sup>	6126.7 ± 4211.9 <sup>AB</sup>	20.08 ± 0.06 <sup>A</sup>	3,276.7 ± 510.14 <sup>A</sup>	20.08 ± 0.06 <sup>A</sup>	3,010 ± 310 <sup>A</sup>
Día 13	20.6 ± 0.05 <sup>A</sup>	5126.7 ± 3331.7 <sup>AB</sup>	20.06 ± 0.1 <sup>A</sup>	4,123.3 ± 838.4 <sup>A</sup>	20.04 ± 0.08 <sup>A</sup>	3,810 ± 591 <sup>A</sup>
Día 14	20.5 ± 0.05 <sup>A</sup>	6490 ± 4614 <sup>AB</sup>	20.1 ± 0.1 <sup>A</sup>	4,531.8 ± 950.5 <sup>A</sup>	20.1 ± 0.08 <sup>A</sup>	4,322.2 ± 784 <sup>A</sup>
Día 15	20.5 ± 0.05 <sup>A</sup>	6043.3 ± 4273.8 <sup>AB</sup>	20.05 ± 0.11 <sup>A</sup>	5,087.8 ± 1273.06 <sup>A</sup>	20.05 ± 0.08 <sup>A</sup>	4,922.3 ± 700 <sup>A</sup>
Día 16	20.6 ± 0.08 <sup>A</sup>	5883.3 ± 4285.5 <sup>AB</sup>	20.05 ± 0.09 <sup>A</sup>	5,535.6 ± 1352.3 <sup>A</sup>	20.05 ± 0.09 <sup>A</sup>	5,506.7 ± 1,028 <sup>A</sup>
Día 17	20.6 ± 0.08 <sup>A</sup>	8893.3 ± 890 <sup>A</sup>	20.06 ± 0.1 <sup>A</sup>	5,580 ± 1305.6 <sup>A</sup>	20 ± 0 <sup>A</sup>	5,473.3 ± 2538 <sup>A</sup>
Día 18	20.5 ± 0.05 <sup>A</sup>	6043.3 ± 4273.8 <sup>AB</sup>	20.03 ± 0.1 <sup>A</sup>	4,940 ± 967.5 <sup>A</sup>	20 ± 0.08 <sup>A</sup>	4,646.7 ± 967 <sup>A</sup>
Día 19	20.6 ± 0.08 <sup>A</sup>	5883.3 ± 4285.5 <sup>AB</sup>	20.1 ± 0.15 <sup>A</sup>	4,460 ± 927.01 <sup>A</sup>	20.06 ± 0.12 <sup>A</sup>	4,436 ± 1,057 <sup>A</sup>
Día 20	20.6 ± 0.08 <sup>A</sup>	8893.3 ± 890 <sup>A</sup>	20.13 ± 0.05 <sup>A</sup>	5,186.7 ± 640.9 <sup>A</sup>	20.13 ± 0.05 <sup>A</sup>	4,783.3 ± 1,010 <sup>A</sup>

\* Se restringió la ventilación durante los primeros 8.5 días de desarrollo embrionario.

\*\*Literales diferentes en superíndice del valor referido ± desviación estándar comparadas en la misma fila indican diferencia estadística significativa (P<0.05) entre tratamientos. \*\*\*Constante porcentual de O<sub>2</sub> ambiental: 20.6%