

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

DESARROLLO EMBRIONARIO DURANTE LA INCUBACIÓN CON  
INCREMENTO GRADUAL DE CO<sub>2</sub> EN HUEVOS FÉRTILES DE  
GALLINA DOMÉSTICA (*Gallus gallus*).

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

PRESENTA:

ERICK IRAIM LÓPEZ RUIZ

Asesores:

MVZ MC Marco Antonio Juárez Estrada

MVZ Sonia López Córdova

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.

**CONTENIDO**

	Página
RESUMEN.....	3
INTRODUCCIÓN.....	4
HIPOTESIS.....	10
OBJETIVOS.....	11
MATERIAL Y MÉTODOS.....	13
RESULTADOS.....	20
DISCUSIÓN.....	31
REFERENCIAS.....	53
CUADROS.....	62

## RESUMEN

LÓPEZ RUIZ ERICK IRAIM. Desarrollo embrionario durante la incubación con incremento gradual de CO<sub>2</sub> en huevos fértiles de gallina doméstica (*Gallus gallus*). (bajo la dirección de: MVZ MC Marco Antonio Juárez Estrada y MVZ Sonia López Córdova)

Se evaluó el efecto de la ventilación limitada o no ventilación (NV) durante la primera mitad de la incubación sobre el desarrollo embrionario (DE) y parámetros de incubación en huevos fértiles de gallinas reproductoras (*Gallus gallus*), con la finalidad de obtener un incremento gradual natural de CO<sub>2</sub>; en un primer estudio se utilizaron embriones de reproductoras ligeras de 36 semanas de edad y se realizaron dos tipos de sellado en las incubadoras, el primer grupo con cinta Micropore® (M) y el segundo con cinta de Polietileno (P), el grupo testigo fue de ventilación estándar (V). En el segundo estudio se utilizaron embriones de reproductoras pesadas de 37 semanas, en el grupo NV se utilizó el sellado cinta P, y el testigo fue de tipo V. Después de los 10 días de DE todas las incubadoras cambiaron a condiciones de ventilación estándar hasta la eclosión de los pollitos. El grupo M del primer estudio obtuvo una concentración de 1.4% de CO<sub>2</sub>, sin diferir con el 1.2% determinado en el grupo P, estas concentraciones fueron mayores ( $P < 0.05$ ) al 0.19% del grupo V. En el grupo M el porcentaje de incubabilidad fue 38.65%, menor ( $P < 0.05$ ) al 55.74% del grupo P y al 52.63% del grupo V, los cuales no difirieron entre ellos; el grupo M mostró una natalidad del 36.18%, menor ( $P < 0.05$ ) al 53.82% del grupo P y al 50.88% del grupo V. El grupo P mostró un mayor crecimiento embrionario ( $P < 0.05$ ) del día 10 al 18 DE, que el resto de los grupos; la calidad del pollito fue inferior ( $P < 0.05$ ) en el grupo M. En el segundo estudio, el tratamiento P alcanzó una concentración de CO<sub>2</sub> de 0.87%, mayor ( $P < 0.05$ ) al 0.13% registrado en el grupo V, el tratamiento P mostró una incubabilidad de 66.9% mayor ( $P < 0.05$ ) al 56.7% del grupo V; y una natalidad del 57.9% mayor ( $P < 0.05$ ) al 53.2% del grupo testigo. La mortalidad embrionaria en el tratamiento P presentó una disminución paulatina de 16.32%, 9.33%, 7.43% y 0% para las etapas I, II, III y IV evaluadas respectivamente, cantidades menores ( $P < 0.05$ ) al 17.62%, 17.09%, 17.35% y 1.20% observadas en el grupo V para las mismas etapas. Las condiciones de hipoxia e hipercapnia transitorias evaluadas en los tratamientos NV aceleran el metabolismo basal embrionario, se obtuvo una mejor tasa de crecimiento embrionario reflejada como mayor ( $P < 0.05$ ) peso absoluto del embrión y menor peso ( $P < 0.05$ ) del saco vitelino, en comparación con el grupo testigo. La calidad del pollito fue mejor en el grupo P, con 28.9% de pollitos buenos y 47.9% de regulares en comparación con el grupo testigo (24.3% y 20.4%, respectivamente). La concentración mayor a 1.4% de CO<sub>2</sub> durante la primera mitad del periodo de incubación en embriones de gallinas reproductoras ligeras ocasiona efectos detrimentales sobre el DE, los parámetros de incubabilidad y la calidad del pollito a la eclosión, una concentración 0.2% menor muestra una tendencia positiva de la hipercapnia e hipoxia relativas inducidas en la primera mitad del DE. Las condiciones de hipoxia e hipercapnia tempranas en embriones de reproductoras pesadas, durante los primeros 10 días de incubación favorecen el desarrollo del embrión, disminuyen la mortalidad embrionaria, la ventana de nacimientos y mejoran los parámetros de incubación y la calidad del pollito. Los efectos del incremento de CO<sub>2</sub> en la etapa temprana de incubación varían con el genotipo aviar y edad de la parvada evaluada. El ambiente de las incubadoras con al menos 0.9% de CO<sub>2</sub> es un factor que puede contribuir a mejorar el desarrollo embrionario, sobre todo a grandes altitudes sobre el nivel del mar.

## INTRODUCCIÓN

La industria avícola es la actividad pecuaria más importante de México, de cada 10 kilogramos de productos pecuarios que se consumen en nuestro país, un poco más de 6 kg son de origen avícola (UNA, 2008).<sup>1</sup> La avicultura actual debe parte de su éxito como industria generadora de alimentos de alta calidad a la incubación artificial, la cual es uno de los puntos clave de esta productividad. Con la finalidad de optimizar el proceso de incubación, esta actividad ha tenido diversas adaptaciones técnicas a lo largo del tiempo lo cual ha permitido que técnicamente la incubación artificial se haya perfeccionado cada vez más. Sin embargo, también es imprescindible estudiar las condiciones fisiológicas idóneas que permitan un óptimo desarrollo embrionario con el objetivo de aprovechar este adelanto, lo cual es crucial en la avicultura moderna, ya que se ha observado que año tras año las empresas genetistas propietarias de las estirpes aviares ofrecen un nuevo tipo de embrión desde el punto de vista genético, el cual paulatinamente también muestra una variación en sus requerimientos fisiológicos, por lo cual requiere un ajuste progresivo en las condiciones físicas que proporcionan las máquinas incubadoras y el régimen óptimo de incubación (Janke *et al*, 2004).<sup>2</sup>

Es evidente que este cambio en el panorama de la incubación a la par del avance que se ha logrado en la mejora genética de las estirpes de aves actuales, ha conducido a una reducción en el ciclo de producción, aumento en la eficiencia alimenticia, disminución en el riesgo de transmisión de enfermedades y en el abatimiento de los costos de producción (Havenstein *et al*, 2003).<sup>3</sup> La búsqueda de eficiencia en la avicultura ha generado más conocimientos de cada una de las áreas involucradas en el proceso productivo, lo cual conduce a proponer nuevas

tecnologías y alternativas que permitan mantener esta tasa de avance en el ramo avícola (Peebles *et al*, 1987; Berry, 2003; Tona *et al*, 2003).<sup>4,5,6</sup>

En México se requiere optimizar el manejo del huevo fértil desde la granja hasta la planta de incubación; con énfasis especial al proceso mismo de incubación, esto con la finalidad de aumentar el número de pollitos de primera calidad eclosionados por cada gallina reproductora alojada en las granjas. En México, el número de pollitos por hembra es menor en 20 a 30 pollitos con relación a la cantidad óptima recomendada en los manuales de manejo de las tres estirpes de pollo de engorda con participación en el mercado mexicano (Ross 308®, 2005; Cobb 500 Plus®, 2006, Hubbard JV, 2008).<sup>7</sup> Adicionalmente con base en los resultados de las empresas más importantes de México que reportan sus parámetros de producción en la base de información conocida como AgriStat y en los reportes del *National Agricultural Statistics Service (NASS), Agricultural Statistics Board, U.S.D.A.* y *Economic Research Service (ERS), U.S.D.A.* de los Estados Unidos de Norteamérica (Hofacre 2002)<sup>8</sup>, en las granjas de aves reproductoras mexicanas se obtiene mayor cantidad de huevos fértiles que los obtenidos por cada ave reproductora alojada en granjas de U.S.A.; sin embargo, al final del ciclo de incubación se obtiene hasta 30-40% menos pollitos vivos de primera calidad que los obtenidos por su contraparte en U.S.A. (Suarez *et al*, 1997; Vázquez *et al*, 2006;).<sup>9,10</sup>

En Estados Unidos de Norteamérica las empresas avícolas han determinado que a pesar de todos los adelantos que se han obtenido en los últimos años en los rubros de selección genética, nutrición y manejo, estos no han logrado

necesariamente un aumento en la eficiencia en la incubabilidad, lo que representó en el año 2005 una pérdida económica ligada a esta falta de mejora superior a los 500 millones de dólares (AgriStat, 2005; NASS 2005), cifra que no se ha cuantificado en México. La falta de mejoramiento en la incubación ha conducido a prestar atención especial a todas las condiciones físicas y ambientales bajo las cuales se efectúa el desarrollo embrionario (DE) de las estirpes modernas durante el proceso de incubación.

Con base en los cambios genéticos y fisiológicos del embrión de aves de alto desempeño, en los últimos 15 años se han efectuado diversos estudios que han abordado los principales requerimientos de temperatura, humedad y volteo para el óptimo desarrollo embrionario de los huevos incubables durante el periodo de almacenaje previo a la incubación y durante el mismo proceso (Janke *et al*, 2004)<sup>2</sup>; sin embargo, existen pocos estudios que toman en consideración los aspectos fisiológicos relacionados con los requerimientos ambientales puntuales en la tasa de recambio y en las concentraciones de oxígeno y anhídrido carbónico a lo largo de todo el proceso de incubación y su efecto sobre la incubabilidad obtenida de huevos fértiles incubables provenientes de reproductoras pesadas y ligeras de diferente estirpe y edad (Elibol *et al*, 2003; De Smit *et al*, 2006; Tona *et al*, 2007; Fassenko, 2007; Sbond y Dzialowsky 2007).<sup>11,12,13,14,15</sup> Por lo cual un aspecto importante a estudiar y comprender es el efecto que tiene la ventilación, la composición del aire y su relación con las variables físicas de la incubación (temperatura, humedad relativa y volteo) sobre la tasa de natalidad, incubabilidad, calidad del producto y su desempeño productivo posterior (French, 1997; Elibol *et al*, 2003; Christensen *et al*, 2005; Lourens *et al*, 2005; De Smit *et al*, 2006;

Fasenko, 2007; Hernández 2007).<sup>16,11,17,18,12,14,19</sup> Un factor que tiene influencia directa sobre estas variables, y al que se le ha dado poca importancia en la mayor parte de los estudios recientes, es la cantidad de CO<sub>2</sub> requerida por el embrión para lograr un desarrollo óptimo y consecuentemente lograr un mayor porcentaje de pollitos de primera calidad.

De acuerdo con estudios realizados anteriormente (Whittow, 1999; De Smit *et al*, 2006),<sup>20,12</sup> se conoce que la respiración durante el desarrollo embrionario es un proceso dinámico entre el interior del huevo y el ambiente de la incubadora. Durante la fase temprana, el intercambio gaseoso en el huevo recién fertilizado se realiza por difusión del área vascular del oviducto y el CO<sub>2</sub> es eliminado de igual forma a través del sistema vascular de la gallina. Posteriormente, en la etapa inicial de la incubación el área extraembrionaria de la vasculosa es importante en el intercambio gaseoso; alrededor del cuarto día del DE, el corion se fusiona con el alantoides para formar una sola estructura que corresponde a la membrana corio-alantoidea (MCA), la cual se encarga de realizar el intercambio gaseoso eficientemente a partir de las 150 horas de incubación. Al día 6-7 del DE, la MCA hace contacto completo con la superficie interna del huevo, posteriormente la vasculosa cesa su función y al día 12 del DE, la red de capilares de la MCA cubre por completo la membrana interna del cascarón. En esta etapa del DE la respiración se realiza por difusión a través de los poros del cascarón. Al día 19 del DE, el embrión comienza a picar la cámara de aire e inicia la respiración pulmonar y, por lo tanto, disminuye el flujo y funcionalidad de la MCA, este proceso dura aproximadamente 6 horas, durante el cual se acelera el intercambio gaseoso pulmonar y si no logra concretarse en tiempo constituye un punto crítico para la



supervivencia del embrión, 12 horas después de establecida la respiración pulmonar inicia el picaje externo del cascarón; la función de la MCA termina cuando el pollito eclosiona (Whittow, 1999).<sup>20</sup>

Al incrementar la concentración ambiental de CO<sub>2</sub> dentro de la incubadora durante la primera mitad del DE, De Smit *et al* (2006)<sup>12</sup>, obtuvieron una ventana de nacimientos más estrecha, mayor tasa de incubabilidad y mayor natalidad, lo cual posiblemente está correlacionado con la maduración más temprana y eficiente del sistema surfactante de los capilares aéreos del pulmón, lo cual contribuye a disminuir la mortalidad durante la etapa crítica del cambio de respiración corioalantoidea a pulmonar, y posiblemente también favorece una mayor vitalidad del embrión desde una fase temprana del DE, esto al aumentar la tasa de crecimiento en comparación con el grupo testigo de ventilación estándar (De Smit *et al*, 2006).<sup>12</sup> Aunque en los estudios realizados por otros autores se ha mencionado que al incrementar la concentración de CO<sub>2</sub> se pueden producir efectos nocivos para el embrión, como hipertrofia cardíaca y disminución del diámetro de la aorta, los cuales pueden tener un efecto detrimental durante la etapa productiva de las aves e incluso predisponer a un aumento en la presentación de síndrome ascítico, debe considerarse que en la mayor parte de estas investigaciones no se han contemplado concentraciones puntuales y proporcionales de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> durante los periodos tempranos y críticos del DE, y se han enfocado a todo el proceso de incubación o en la parte final del mismo (Rowet *et al*, 2002; Villamor *et al*, 2004, Sahan *et al*, 2006).<sup>21,22,23</sup> Por lo tanto, es importante determinar el efecto que tiene el aumento gradual natural de CO<sub>2</sub> durante la primera etapa de incubación (primeros 10 días del DE) por medio de

ventilación limitada, así como el efecto que ocasiona la probable hipoxia inducida por este sistema de ventilación (Epple *et al*, 1997; Chan y Burggren, 2005; De Smit *et al*, 2006; Fassenko, 2007; Milene *et al*, 2007; Everaert *et al*, 2007).<sup>24,25,12,14</sup>

26,27

En el presente estudio se evalúa el efecto de dos condiciones de ventilación (limitada y estándar) durante la incubación de los huevos fértiles de aves reproductoras ligeras y pesadas, sobre la tasa de crecimiento embrionario, la incubabilidad y la calidad del pollito recién eclosionado.

## **HIPOTESIS**

Si se aumenta la concentración de CO<sub>2</sub> en el interior de la máquina incubadora por medio de la restricción en la ventilación al limitar el ingreso de aire fresco hacia el interior de la incubadora durante la primera mitad de la incubación, el desarrollo embrionario no se ve perjudicado.

## **OBJETIVO GENERAL**

Evaluar el efecto del aumento gradual de CO<sub>2</sub> a través de ventilación limitada o no-ventilación durante la primera mitad del periodo de incubación sobre el desarrollo embrionario y parámetros de incubación en huevos fértiles provenientes de aves reproductoras ligeras y pesadas.

## OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar el crecimiento de los embriones del día 10 al 21 de desarrollo, provenientes de aves reproductoras ligeras incubados bajo condiciones de ventilación limitada (0.04 a 1.4% de CO<sub>2</sub>) con relación a los embriones que durante la primera etapa de incubación reciben condiciones estándar de ventilación (<0.4 % de CO<sub>2</sub>).
- Verificar el crecimiento de los embriones del día 10 al 21 de desarrollo, provenientes de aves reproductoras pesadas incubados bajo condiciones de ventilación limitada (0.04 a 1.4% de CO<sub>2</sub>) con relación a los embriones que durante la primera etapa de incubación reciben condiciones estándar de ventilación (<0.4 % de CO<sub>2</sub>).
- Obtener el porcentaje de incubabilidad y natalidad en embriones provenientes de aves reproductoras ligeras y pesadas incubados bajo condiciones de ventilación limitada (0.04 a 1.4% de CO<sub>2</sub>) con relación a los embriones que durante la primera etapa de incubación reciben condiciones estándar de ventilación (<0.4 % de CO<sub>2</sub>).
- Evaluar la ventana de nacimientos en los pollitos provenientes de una incubación bajo condiciones con alta concentración ambiental de CO<sub>2</sub> durante la primera mitad de la incubación y en los pollitos incubados bajo condiciones estándar.

- Calificar la calidad en los pollitos eclosionados que fueron incubados bajo condiciones de ventilación limitada y los pollitos incubados bajo condiciones estándar.
  
- Determinar las causas de mortalidad embrionaria en los huevos fértiles incubados bajo condiciones de ventilación limitada y estándar durante la primera mitad de la incubación por medio de un embriodiagnóstico.

## MATERIAL Y METODOS

**Huevos para incubación.-** Los huevos fértiles seleccionados para la incubación se obtuvieron de aves reproductoras ligeras tipo *Leghorn* de la estirpe *Bovans White* de 36 semanas de edad, alojadas en las instalaciones de una empresa comercial ubicada en una zona aledaña a la ciudad de Tehuacán, Puebla. Todos los huevos fueron identificados individualmente y se pesaron inmediatamente después de su arribo al sitio de incubación, posteriormente se asignaron aleatoriamente a cada uno de los tratamientos, este mismo procedimiento se aplicó a los huevos fértiles de aves reproductoras pesadas de la estirpe *Ross 308*, los cuales provenían de aves reproductoras de 37 semanas de una empresa comercial ubicada en Jiutepec, Morelos, México.

**Diseño experimental.-** Se realizaron dos experimentos, en cada uno de estos se formaron dos grupos experimentales, cada uno de ellos utilizó el mismo tipo de máquina incubadora (Hova-Bator® Mod. #1583 del año 2009, con capacidad para incubar 42 huevos), el primer grupo fue de ventilación limitada y el segundo grupo de ventilación estándar.

En el primer experimento se utilizaron huevos fértiles de aves reproductoras ligeras, el primer grupo fue de no ventilación (NV) o ventilación limitada con cinta Micropore® (M), este tipo de ventilación se logró por medio de un sellado completo de las aperturas de exhausto o salida de aire (dos en la parte superior de este modelo de incubadora) y de un sello completo de las entradas de aire (*Damper* consistente en doce aperturas ubicadas en la parte inferior de este modelo). El sello se efectuó durante un lapso de 10 días con cinta Micropore®, lo cual permitió un incremento natural de la concentración de CO<sub>2</sub> en el interior del gabinete de incubación; el segundo grupo NV o de ventilación limitada se efectuó

con cinta de Polietileno (P), el sellado de las aperturas de la máquina fue idéntico al efectuado para la ventilación limitada M, el tercer grupo fue el testigo o de ventilación estándar (V), este grupo se mantuvo bajo condiciones de incubación estándar de acuerdo con lo recomendado por el fabricante de las máquinas de incubación (G.Q.F. Manufacturing Company Inc. Savannah, Georgia, U.S.A.) para efectuar incubaciones en sitios por arriba de los 900 msnm (0.5% de CO<sub>2</sub> y 21% de O<sub>2</sub>), cada tratamiento constó de tres repeticiones (Total 12 máquinas).

En el segundo experimento se utilizaron huevos fértiles de aves reproductoras pesadas, se usaron dos grupos experimentales, el grupo NV se restringió por medio de un sellado parcial con cinta de polietileno (P), se sellaron únicamente ocho de las doce aperturas de entrada de aire (*Damper*) y las dos salidas de aire (exhaucio) en este modelo de incubadora, el segundo grupo fue el V o de incubación estándar con las condiciones ambientales similares al mismo grupo del primer experimento; el segundo experimento contó con tres repeticiones por tratamiento (Total= 8 máquinas).

En ambos experimentos, al finalizar el día 10 de incubación, los tratamientos de ventilación limitada y estándar continuaron bajo condiciones de incubación estándar de acuerdo con las recomendaciones del fabricante, los huevos previamente identificados y mezclados aleatoriamente fueron la base para la selección de muestras y evaluación de la pérdida de humedad al día 10 del DE y hasta el momento de la transferencia, a las 444 horas del DE.

**Condiciones de incubación.-** En el primer experimento la temperatura del bulbo seco del día 1 al 18 del DE fue de 99.8°F y la del bulbo húmedo de 84°F, los huevos incubados en todos los tratamientos recibieron un movimiento lateral a su

eje vertical de 45° cada hora. De las 444 horas hasta la eclosión no tuvieron movimiento y se les proporcionó una temperatura en el bulbo seco de 99.0°F y en el bulbo húmedo de 90°F (De Smit *et al*, 2006).<sup>12</sup> En la incubación de embriones de alta conformación (Ross 308)<sup>7</sup> del segundo experimento, las temperaturas del bulbo seco y húmedo para ambos grupos experimentales, se establecieron a partir de una adaptación de diversos trabajos de investigación y estudios previos efectuados a gran altitud (2,230 msnm); por lo cual la temperatura del bulbo seco del día 1 al 2 del DE fue de 100.0°F, del día 3 al 7 fue de 99.9°F, del día 8 al de 10 fue de 99.7°F, del día 11 al 13 fue de 99.5°F, del día 14 al 15 fue de 99.3°F, del día 16 al 17 fue de 99.0°F, y del día 18 al 21 fue de 98.4°F; la temperatura del bulbo húmedo en ambos grupos experimentales del día 1 al 18 del DE se mantuvo en 84.5°F, los huevos incubados en todos los tratamientos recibieron un movimiento lateral a su eje vertical de 45° cada hora. De las 444 horas hasta la eclosión no tuvieron movimiento y se les proporcionó una temperatura del bulbo húmedo de 90°F (Janke *et al*, 2004, Lourens *et al*, 2005; Vázquez *et al*, 2006, López *et al*, 2009).<sup>2,18,10,28</sup> La temperatura y humedad relativa del ambiente y de las máquinas incubadoras se verificó diariamente, la temperatura en grados centígrados (°C) se registró con un termómetro de columna mercurial (Brannan®), verificado previamente con un patrón certificado por la entidad mexicana de acreditación (E.M.A.), la humedad relativa (%) se determinó con un higrómetro de cabello de tensión variable (Taylor®); la medición de oxígeno (%) se realizó con una celda galvánica (Analox®), el CO<sub>2</sub> (ppm) se determinó por medio de un sensor infrarrojo (Analox®); las lecturas de estos dos gases se efectuaron directamente del ambiente y de las máquinas de incubación estándar, mientras que las máquinas del tratamiento experimental, debido a la variable explicativa



(cierre hermético) que considera un estado de sellado completo o parcial del gabinete de incubación, solo se pudieron verificar a partir del cambio de las condiciones de incubación a tipo estándar (día 10 del DE). Todas las variables se verificaron y registraron cuatro veces al día.

**Parámetros de incubación.-** En ambos experimentos se determinó la pérdida de humedad de los huevos de cada máquina al día 10 y 18 del DE. Adicional a la determinación de la fertilidad de cada uno de los lotes de huevos fértiles asignados aleatoriamente a cada uno de los tratamientos, se evaluó el porcentaje de incubabilidad, para su cálculo se utilizó la siguiente fórmula:

$(\text{total de pollitos nacidos} \div \text{total de huevos fértiles}) \times 100 = \text{Porcentaje de nacidos de huevos fértiles (incubabilidad)}$ .

El porcentaje de natalidad fue calculado con la siguiente fórmula:

$(\text{total de pollitos nacidos} \div \text{total de huevos incubados}) \times 100 = \text{Porcentaje de nacidos del total de huevos incubados (natalidad)}$ .

**Ventana de nacimientos.-** Posterior a la transferencia del huevo embrionado y a partir de las 468 horas, la ventana de nacimientos se evaluó cada dos horas mediante el registro en horas de incubación del primero hasta el último pollito eclosionado, considerando para ello el máximo retiro de pollitos hasta un margen de dispersión de una a dos desviaciones estándar (67% - 95% del total de observaciones respectivamente) alrededor del promedio máximo de eclosiones obtenido en cada máquina incubadora.

**Calificación de la calidad de los pollitos recién nacidos.-** Se evaluaron diez parámetros integrales de calidad de los pollitos eclosionados, los cuales están relacionados directamente con procesos productivos de importancia y que han

sido descritos por Boerjan *et al*, (2005)<sup>29</sup>; Tona *et al*, (2004)<sup>30</sup>; Wolanski *et al*, (2006)<sup>31</sup> y López *et al*, (2009).<sup>28</sup> La metodología de evaluación se basó en una escala de 100 puntos como máxima puntuación, en donde cada uno de los parámetros de calidad se calificó de acuerdo con la importancia de la característica evaluada con relación a la calidad del pollito a la eclosión y el efecto de esta sobre la etapa productiva de las aves (López *et al*, 2009).<sup>28</sup> Se obtuvo un promedio de calificación en puntos por cada tratamiento de ventilación. De acuerdo con la calificación promedio obtenida en los pollitos eclosionados de cada máquina incubadora, se adjudicó la siguiente categorización: 100 puntos = Excelente; 85 a 99 = Primera; 75 a 84 = Segunda; 60 a 74 = Deficiente y menor a 60 = inaceptable; los resultados se expresaron como porcentaje parcial del total de pollitos evaluados por tratamiento (López *et al*, 2009).<sup>28</sup>

***Medición de los pollitos nacidos.***- Al día uno de eclosión y después de evaluar la calidad de cada pollito, se midió su longitud total (cm) y se obtuvo el peso en gramos del pollito y de la canal sin órganos ni yema residual. El hígado, el corazón y la yema residual se pesaron por separado (Tona *et al*, 2004; Wolanski *et al*, 2007, Willemsen *et al*, 2008; Mauldin *et al*, 2008, Petek *et al*, 2008).<sup>30,32,33,34,35</sup>

***Evaluación de la mortalidad embrionaria por etapas.***- En ambos experimentos, una vez realizado el ovoscopiado para efectuar la transferencia de los embriones vivos al día 18 de incubación, y después de las 510 horas de incubación, se registró la mortalidad embrionaria por grupo experimental de incubación, esta se clasificó por etapas, las cuales fueron: I (día 1 al 7), II (día 8 al 17), III (día 18 al 21) y IV (Picados no nacidos); en todos los tratamientos se realizaron registros de

mortalidad, así como grado de desarrollo embrionario macroscópico (López *et al*, 2009, Juárez *et al*, 2010).<sup>28,36</sup>

**Peso de los embriones y estructuras anexas.**- En el experimento uno, durante los días 10, 12, 14, 16, 18 del DE y al nacimiento, 5 embriones de cada máquina incubadora fueron seleccionados al azar y se les aplicó un procedimiento de eutanasia (IACUC, 2009)<sup>37</sup>; después de 24 horas de almacenarlos a 4°C, se diseccionaron para obtener el saco vitelino sin ninguna estructura extra embrionaria, posteriormente se determinó el peso en base húmeda de la canal y el saco vitelino por separado. El corazón y el hígado se extrajeron por separado con el fin de obtener el peso absoluto en base húmeda. Posteriormente, la canal y el saco vitelino de cada embrión se desecaron en una cámara a 60°C durante 72 horas, al término de este periodo se determinó su peso individual en base seca. Este mismo tipo de procedimiento se efectuó para cada uno de los tratamientos durante la realización del segundo experimento. En el caso de la canal se excluyeron los órganos internos, la piel y las estructuras extraembrionarias.

**Análisis estadístico.**- Las variables explicativas fueron la condición de ventilación estándar y la ventilación limitada o de no-ventilación durante los primeros 10 días de incubación, mientras que las variables de respuesta fueron el peso del embrión y sus estructuras, los parámetros de incubación y la calidad del pollito. Estas variables se sujetaron a una prueba de normalidad, las variables con comportamiento paramétrico se analizaron a través de la descomposición cuadrática de la varianza, cuando se detectó una diferencia significativa entre alguno de los tratamientos, la diferencia entre medias de grupo se determinó por

medio de la técnica de comparación múltiple de medias de Tukey con una significancia de  $\alpha$  igual o menor al 5% con relación a la unidad.

Los datos relativos y proporcionales en cada grupo de incubación, previo a su análisis estadístico, se transformaron a través de obtener el arcoseno de la raíz cuadrada de la proporción. Para determinar las probables diferencias entre los datos se sometieron a un análisis de varianza de un solo factor (GLM); las diferencias significativas entre tratamientos fueron discernidas por medio de la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey ( $P < 0.05$ ) (Gill, 1978).<sup>38</sup>

Los datos porcentuales de la mortalidad por etapas registrada durante el embriodiagnóstico, se evaluaron por medio de la prueba  $\chi^2$ , lo cual se realizó a una significancia de  $P < 0.05$  (Gill, 1978).<sup>38</sup>

## RESULTADOS

### PRIMER ESTUDIO (*BOVANS WHITE*)

El grupo de ventilación limitada con sello de Polietileno mostró un total de 55% de pollitos nacidos de los huevos fértiles, superior en 3 puntos porcentuales al grupo testigo, sin diferencia estadística significativa entre ambos; estos dos grupos a su vez fueron diferentes ( $P < 0.05$ ) al 38% de nacidos de fértiles registrados en el grupo de ventilación limitada con sello Micropore® (Cuadro 1).

El grupo de ventilación limitada M, mostró 12.85% de mortalidad embrionaria temprana, mayor ( $P < 0.05$ ) al 12.43% del grupo P, a su vez este porcentaje fue mayor ( $P < 0.05$ ) al observado en el grupo testigo. La mortalidad embrionaria de la etapa II del grupo M fue 21.28%, mayor ( $P < 0.05$ ) al 13.2% observado en el grupo P, que a su vez fue mayor ( $P < 0.05$ ) al 11.67% registrado en el grupo testigo. La mortalidad embrionaria en la etapa III, en el grupo de ventilación limitada M fue de 5.75%, que no difirió con el 5.87% observado en el grupo P, sin embargo, ambos fueron estadísticamente diferentes ( $P < 0.05$ ) al 10.82% observado en el grupo testigo. La mortalidad embrionaria en la etapa IV del grupo P fue 12.76%, sin diferir con el 12.78% del grupo testigo, pero ambos difirieron ( $P < 0.05$ ) con el 21.48% del grupo M (Cuadro 1).

El porcentaje de pérdida de peso al día 10 DE en el grupo M fue 4.02% y 4.45% para el grupo P, ambos menores ( $P < 0.05$ ) al 5.79% observado en el grupo de ventilación estándar (Cuadro 2). La pérdida de peso al día 18 del DE en ambos grupos de ventilación limitada fue aproximadamente de 10.6%, sin embargo no fueron diferentes al 11.36% observado en el grupo de ventilación estándar.

El picaje externo del cascarón en el grupo P y el grupo testigo inició a las 493 horas, periodo menor ( $P < 0.05$ ) a las 502 horas de inicio del picaje observado en el grupo M (Cuadro 3). La ventana de nacimientos en el grupo P fue de 37 horas y de 36.2 horas en el estándar, al cerrarse la ventana estos periodos difirieron ( $P < 0.05$ ) con las 27 horas registradas en el grupo M (Cuadro 3).

La calidad evaluada de los pollitos a la eclosión no presentó diferencias estadísticas entre tratamientos en la categoría de bueno; en regular, el grupo P fue diferente ( $P < 0.05$ ) a los otros dos grupos; mientras que en la deficiente, el grupo P (19.8%) fue menor ( $P < 0.05$ ) al observado (39.3%) en el grupo M; el grupo testigo no difirió con los grupos de ventilación limitada. En la categoría de pollitos con calidad inaceptable únicamente el grupo testigo presentó 4.16% (Cuadro 4).

Con relación al peso de los pollitos a la eclosión no hubo diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Cuadro 4). La longitud promedio de los pollitos a la eclosión en el grupo P fue 16.65 cm, mayor ( $P < 0.05$ ) a los 16.32 cm del grupo M; el grupo testigo no difirió con relación a los otros dos grupos (Cuadro 4).

La concentración de  $O_2$  en el día 10 de incubación en el grupo P fue de 19.05% y en el grupo M fue 18.82%, ambos fueron diferentes ( $P < 0.05$ ) al 19.60% de  $O_2$  observado en el grupo testigo, el resto de los días de incubación no hubo diferencia estadística significativa entre grupos (Cuadro 5).

La concentración de CO<sub>2</sub> en el día 10 de incubación en el grupo P fue 12,007 ppm, y en el grupo M fue 14,172 ppm, ambas concentraciones fueron mayores ( $P<0.05$ ) a las 1,981 ppm de CO<sub>2</sub> observadas en el grupo testigo (Cuadro 6).

La concentración de CO<sub>2</sub> a partir del día 11 y hasta el día 17 de incubación no difirió significativamente entre el grupo M y el testigo, sin embargo, ambos fueron menores ( $P<0.05$ ) al tratamiento con ventilación limitada P (Cuadro 6); al día 18 del DE el grupo testigo no fue diferente a los grupos de ventilación limitada aún cuando estos si lo fueron entre ellos. Los días 19 y 20 del DE no hubo diferencia entre tratamientos. La concentración de CO<sub>2</sub> en el grupo M al día 21 de incubación (2,367 ppm) fue menor ( $P<0.05$ ) a las 3,365 ppm de CO<sub>2</sub> registradas en el grupo P, mientras que las 2,861 ppm de CO<sub>2</sub> en el grupo testigo no difirieron con ninguno de los dos grupos de ventilación limitada (Cuadro 6).

El promedio de la concentración de gases ambientales en la sala durante la incubación fue 19.88% de O<sub>2</sub> y 1,213.17 ppm de CO<sub>2</sub>, asimismo se registró una temperatura promedio de 23.98 °C y 45.65% de HR (Cuadro 7).

El peso promedio del embrión en base húmeda al día 10 del DE del grupo de P fue 2.54 g, mayor ( $P<0.05$ ) a los 2.20 g observados en el grupo testigo; los 2.38 g del grupo M, no difirió con relación a los otros dos grupos. El peso del SV en base húmeda del grupo P fue 17.12 g, el cual no fue diferente a los 18.01 g del grupo M, sin embargo, ambos fueron menores ( $P<0.05$ ) a los 19.53 g del grupo testigo (Cuadro 8). El peso promedio del embrión en base seca al día 10 del DE del grupo M fue 0.20 g, mayor ( $P<0.05$ ) a los 0.15 g observados en el grupo testigo;

los 0.19 g del grupo P, no difirió con los otros dos grupos. El peso promedio del SV en base seca del grupo P fue 6.35 g, menor ( $P<0.05$ ) a los 6.92 g del grupo testigo; los 6.47 g del grupo M, no difirieron a los otros dos grupos (Cuadro 8).

El peso promedio del embrión al día 12 del DE en base húmeda del grupo P, fue 4.64 g, mayor ( $P<0.05$ ) a los 3.93 g observados en el grupo M y a los 3.71 g del grupo testigo (Cuadro 9). El peso promedio del SV en base húmeda del grupo M, fue 13.41 g, menor ( $P<0.05$ ) a los 15.81 g del grupo testigo; los 15.17 g del grupo P no difirieron a los otros dos grupos (Cuadro 9). El peso promedio del embrión en base seca al día 12 del DE del grupo P fue 0.34 g, mayor ( $P<0.05$ ) a los 0.28 g observados del grupo M; los 0.30 g del grupo testigo no fueron diferentes con relación a los grupos de ventilación limitada (Cuadro 9). El peso promedio del SV en base seca del grupo M fue 5.26 g, diferente ( $P<0.05$ ) a los 6.38 g observados en el grupo testigo; los 5.93 g del grupo P, no difirió con relación a los otros dos grupos (Cuadro 9).

El peso promedio del embrión al día 14 del DE en base húmeda del grupo P fue 9.37 g, mayor ( $P<0.05$ ) a los 7.99 g observados en el grupo testigo, los 8.43 g del grupo M no difirió con relación a los otros dos grupos. El peso promedio del SV en base húmeda del grupo M, fue 14.49 g, menor ( $P<0.05$ ) a los 16.05 g del grupo P; mientras que los 15.64 g registrados en el grupo testigo no difirieron al resto de los grupos. El peso promedio del embrión en base seca al día 14 del DE en el grupo P, fue 1.02 g, mayor ( $P<0.05$ ) a los 0.86 g observados en el grupo testigo; los 0.91 g del grupo M no difirió con los otros grupos. El peso promedio del SV en base seca en el grupo P, fue 7.11 g, los cuales no difirieron con los 7.01 g



observados en el grupo testigo; sin embargo, fue mayor ( $P<0.05$ ) a los 6.39 g del grupo M (Cuadro 10). El peso promedio del corazón en base húmeda al día 14 del DE del grupo P fue 0.12 g, mayor ( $P<0.05$ ) a los 0.06 g observados en el grupo testigo, los 0.09 g del grupo M no difirieron con los otros grupos (Cuadro 10). El peso promedio del hígado en base húmeda del grupo P no fue diferente a los 0.16 g observados en grupo M, sin embargo, ambos pesos fueron mayores ( $P<0.05$ ) a los 0.11 g registrados en el grupo testigo (Cuadro 10).

Al día 16 del DE, el promedio del peso del embrión en base húmeda del grupo P fue 14.72 g, mayor ( $P<0.05$ ) a los 12.83 g del grupo testigo, los 13.04 g del grupo M no difirieron con los otros grupos. El peso promedio del SV en base húmeda del grupo P fue 14.18 g, mayor ( $P<0.05$ ) a los 13.02 g del grupo testigo; los 13.56 g registrados en el grupo M no difirió con los otros dos grupos (Cuadro 11). El peso promedio del embrión al día 16 del DE en base seca del grupo P fue 2.33 g mayor ( $P<0.05$ ) a los 1.93 g registrados en el grupo M y a los 1.71 g observados en el grupo testigo, los cuales no difirieron entre ellos. El peso promedio del SV en base seca del grupo P fue 6.66 g, mayor ( $P<0.05$ ) a los 6.11 g del grupo testigo, que no difirió con los 6.42 g del grupo M, el cual a su vez difirió con el grupo P (Cuadro 11). El peso promedio del corazón al día 16 del DE en base húmeda en los tres grupos fue 0.14 g, sin diferencia entre tratamientos. El peso promedio del hígado en base húmeda del grupo P fue 0.35 g, mayor ( $P<0.05$ ) a los 0.30 g observados en el grupo testigo, mientras que los 0.33 g del grupo M no fue diferente a los otros dos grupos (Cuadro 11).

El peso promedio del embrión al día 18 del DE en base húmeda del grupo P fue 22.54 g, mayor ( $P < 0.05$ ) a los 20.36 g observados en el grupo M y a los 19.52 g del grupo testigo (Cuadro 12). El peso del SV en base húmeda no fue diferente entre cualquiera de los grupos, este osciló de 11.54 a 11.78 g (Cuadro 12). El peso promedio del embrión al día 18 del DE en base seca del grupo de P, fue 3.82 g mayor ( $P < 0.05$ ) a los 3.49 g del grupo M y a los 3.42 g del grupo testigo (Cuadro 12). El peso del SV en base seca no difirió entre grupos (Cuadro 12). El peso promedio del corazón al día 18 del DE en base húmeda en cada uno de los grupos M y P fue 0.21 g, mayores ( $P < 0.05$ ) a los 0.18 g observados en el grupo de ventilación estándar (Cuadro 12). El peso promedio del hígado en base húmeda del grupo P fue 0.49 g, y no difirió con los 0.46 g del grupo M, ambos fueron diferentes ( $P < 0.05$ ) a los 0.38 g del grupo testigo (Cuadro 12).

El peso promedio de la canal de los pollitos eclosionados en base húmeda del grupo P fue 13.16 g, no difirió con los 12.92 g observados en el grupo M, ni con los 13.06 g del grupo testigo (Cuadro 13). El peso promedio del SV residual en base húmeda de los pollitos eclosionados del grupo P fue 2.91 g y no difirió con los 2.94 g del grupo M, ni con los 2.81 g del grupo testigo (Cuadro 13). El peso promedio de la canal de los pollitos eclosionados en base seca del grupo P fue 2.91 g, no difirió con los 2.94 g del grupo M, ni con los 2.81 g del grupo testigo (Cuadro 13). El peso del SV residual de los pollitos eclosionados en base seca mostró un promedio de 2.95 g en el grupo P, menor ( $P < 0.05$ ) a los 3.40 g y 3.29 g observados en el grupo M y en el grupo testigo respectivamente (Cuadro 11). El peso promedio del corazón de los pollitos eclosionados en base húmeda en el grupo M fue 0.27 g mayor ( $P < 0.05$ ) a los 0.24 g del grupo testigo, los 0.25 g

verificados en el grupo P no difirió con los dos grupos anteriores (Cuadro 13). El peso promedio del hígado en base húmeda de los pollitos eclosionados no fue diferente entre cualquiera de los grupos (Cuadro 13).

### **SEGUNDO ESTUDIO (ROSS 308)**

El grupo de ventilación limitada con sellado de polietileno (P), mostró un porcentaje de natalidad (57.9%) mayor ( $P<0.05$ ) al 53.2% observado en el grupo de ventilación estándar. El porcentaje de nacidos de fértiles en el grupo P (66.9%) fue mayor ( $P<0.05$ ) al 56.7% del grupo testigo (Cuadro 14).

La mortalidad embrionaria del grupo de ventilación limitada fue menor ( $P<0.05$ ) durante todas las etapas. (Cuadro 14).

El peso promedio del huevo fértil al inicio de la incubación fue similar en ambos grupos. El porcentaje de pérdida en el grupo P a los 10 y 18 días del DE fue menor ( $P<0.05$ ) al del grupo testigo 6.29%. No hubo diferencia en la temperatura promedio de incubación; los últimos tres días de incubación ambos tratamientos tuvieron una temperatura de 36.8 °C (Cuadro 15).

El inicio del picaje externo de los pollitos del grupo P (492 horas) fue diferente ( $P<0.05$ ) a las 503.5 horas de inicio en el grupo testigo. Sin embargo; la ventana de nacimientos en el grupo de P no difirió estadísticamente del grupo estándar (Cuadro 16).

La calidad de los pollitos a la eclosión no presentó diferencias estadísticas significativas entre tratamientos en las categorías bueno e inaceptable. En la

calificación de regular el grupo P mostró un 47.9%, mayor ( $P < 0.05$ ) al 20.8% del grupo testigo. Con respecto a la calificación de deficiente el grupo P mostró un 20.6%, menor ( $P < 0.05$ ) al 48.6% registrado en el grupo de ventilación estándar. (Cuadro 17). Con relación al peso del pollito a la eclosión en el grupo P se obtuvo un promedio de 43.4 g, mayor ( $P < 0.05$ ) a los 41.5 g registrados en el grupo de ventilación estándar. Con respecto a la longitud del pollito a la eclosión los pollitos del grupo P obtuvieron un promedio de 17.48 cm, medición que no difirió a los 17.20 cm observados en el grupo testigo (Cuadro 17).

La concentración de  $O_2$  en el día 10 del DE en el grupo P fue 19.55%, menor ( $P < 0.05$ ) al 19.85% de  $O_2$  observado en el grupo control, el resto de los días de incubación no hubo diferencia estadística entre grupos (Cuadro 18).

La concentración de  $CO_2$  en el día 10 de incubación en el grupo P fue 8,780 ppm, mayor ( $P < 0.05$ ) a las 1,339 ppm de  $CO_2$  registradas en el grupo de ventilación estándar (Cuadro 6). Las concentraciones de  $CO_2$  del día 11 y hasta el día 21 de incubación únicamente difirieron en los días 13, 14 y 21 del DE, en las que fueron mayores ( $P < 0.05$ ) en el tratamiento con ventilación limitada (Cuadro 19).

El promedio de la concentración de gases ambientales en la sala durante la incubación fue 19.88% de  $O_2$  y de 1,039.82 ppm de  $CO_2$ , la temperatura fue de 24.36 °C y 53.27% de HR (Cuadro 20).

El peso promedio del embrión en base húmeda del grupo de P al día 10 del DE fue 2.75 g, mayor ( $P < 0.05$ ) a los 2.44 g del grupo testigo. El peso promedio en

base húmeda del SV el grupo P fue 18.49 g, el cual fue menor ( $P<0.05$ ) a los 20.26 g observados en el segundo grupo (Cuadro 21). El peso promedio del embrión en base seca al día 10 del DE del grupo P fue 0.25 g, y no difirió estadísticamente con los 0.23 g observados en el grupo con ventilación estándar. El peso promedio del SV en base seca del grupo P fue 6.92 g, menor ( $P<0.05$ ) a los 7.20 g observados en el grupo testigo (Cuadro 21).

El peso promedio del embrión en base húmeda al día 12 del DE del grupo P, fue 5.82 g, mayor ( $P<0.05$ ) a los 4.61 g observados en el grupo de ventilación estándar. Mientras que el peso promedio del SV en base húmeda del grupo P, fue 15.90 g, y no mostró diferencia significativa con los 16.47 g observados en el grupo testigo (Cuadro 22). Con respecto al peso del embrión al día 12 del DE en base seca del grupo P se obtuvo un promedio de 0.51 g, mayor ( $P<0.05$ ) a los 0.42 g observados en el segundo grupo. El peso promedio en base seca del grupo P, fue 7.81 g, y no difirió con los 8.58 g observados en el grupo testigo (Cuadro 22). El peso promedio del corazón en base húmeda al día 12 del DE en el grupo P, fue 0.067 g, mayor ( $P<0.05$ ) a los 0.054 g del grupo con ventilación estándar. El peso promedio del hígado del grupo P en base húmeda al día 12 del DE fue 0.107 g, mayor ( $P<0.05$ ) a los 0.089 g del grupo testigo (Cuadro 22).

El peso promedio del embrión al día 14 del DE en base húmeda del grupo P fue 9.90 g, mayor ( $P<0.05$ ) a los 9.48 g del grupo testigo. El peso promedio del SV en base húmeda del grupo P, fue 17.60 g, menor ( $P<0.05$ ) a los 18.01 g observados en el grupo de ventilación estándar (Cuadro 23). Con respecto al peso del embrión en base seca al día 14 del DE en el grupo de ventilación limitada se

obtuvo un promedio de 0.93 g, diferente ( $P < 0.05$ ) a los 0.89 g observados en el grupo testigo. El peso promedio del SV en base seca en el grupo P fue 7.93 g, menor ( $P < 0.05$ ) a los 8.14 g observados en el grupo de ventilación estándar (Cuadro 23). El peso promedio del corazón en base húmeda en el grupo P fue 0.125 g, mayor ( $P < 0.05$ ) a los 0.91 g del grupo de ventilación estándar; mientras que el peso promedio del hígado en base húmeda del grupo P fue 0.22 g, mayor ( $P < 0.05$ ) a los 0.194 g del grupo testigo (Cuadro 23).

Al día 16 del DE el promedio del peso del embrión en base húmeda del grupo P fue 17.76 g, mayor ( $P < 0.05$ ) a los 16.39 g observados en el grupo testigo. El peso promedio del SV en base húmeda del grupo P fue 14.11 g, y no difirió con los 14.76 g observados en el grupo de ventilación estándar (Cuadro 24). El peso promedio del embrión al día 16 del DE en base seca del grupo P fue 2.51 g mayor ( $P < 0.05$ ) a los 2.14 g del grupo de ventilación estándar. El peso del SV en base seca del grupo P registró un promedio de 6.71 g, y no difirió con los 7.03 g del grupo testigo (Cuadro 24). El peso promedio del corazón en base húmeda al día 16 del DE en el grupo P fue 0.14 g, mayor ( $P < 0.05$ ) a los 0.12 g observados en el grupo estándar. El peso promedio del hígado en base húmeda del grupo de ventilación P fue 0.32 g, mayor ( $P < 0.05$ ) a los 0.30 g observados en el grupo control (Cuadro 24).

El peso promedio del embrión al día 18 del DE en base húmeda del grupo P, fue 24.46 g mayor ( $P < 0.05$ ) a los 22.10 g registrados en el grupo testigo. En tanto que el SV en base húmeda del grupo P fue 15.02 g, menor ( $P < 0.05$ ) a los 16.53 g del grupo control (Cuadro 25). El peso promedio del embrión al día 18 del DE en base

seca del grupo P fue 4.25 g, mayor ( $P<0.05$ ) a los 3.75 g del testigo. Mientras que el peso promedio en base seca del SV del grupo P fue 6.68 g, menor ( $P<0.05$ ) a los 7.35 g del grupo testigo (Cuadro 25). El peso promedio del corazón en base húmeda al día 18 del DE en los dos tratamientos fue 0.24 g; mientras que el peso promedio del hígado al día en el grupo P fue 0.53 g mayor ( $P<0.05$ ) a los 0.42 g del grupo testigo (Cuadro 25).

El peso promedio de la canal de los pollitos eclosionados en base húmeda del grupo P fue 18.45 g mayor ( $P<0.05$ ) a los 17.15 g registrados en el grupo testigo. Mientras que el peso promedio del SV residual en base húmeda de los pollitos eclosionados del grupo P fue 7.17 g, menor ( $P<0.05$ ) a los 7.86 g del grupo testigo (Cuadro 26). El peso de la canal en base seca de los pollitos eclosionados del grupo P fue 3.72 g, mayor ( $P<0.05$ ) a los 3.53 g del grupo testigo. El peso del SV residual en base seca de los pollitos eclosionados del grupo P fue 3.68 g, menor ( $P<0.05$ ) a los 4.19 g del grupo estándar (Cuadro 26). El peso promedio del corazón de los pollitos eclosionados en el grupo P fue 0.35 g, mayor ( $P<0.05$ ) a los 0.32 g registrados en el grupo testigo (Cuadro 26). El peso promedio del hígado de los pollitos eclosionados en el grupo P fue 0.95 g, mayor ( $P<0.05$ ) a los 0.90 g observados en el grupo testigo (Cuadro 26).

## DISCUSIÓN

La concentración de CO<sub>2</sub> alcanzada en el grupo M de ventilación limitada (sellado con cinta Micropore®) del primer estudio fue 0.2% mayor a la del grupo de ventilación limitada P (cinta de Polietileno), sin embargo, esta diferencia ocasionó muy baja incubabilidad, la cual se debió principalmente a la alta mortalidad embrionaria en la etapa II y a un gran número de embriones picados no nacidos. El sellado con la cinta M resultó ser más impermeable a los gases durante la etapa temprana de la incubación, lo cual favoreció un mayor incremento en la concentración de CO<sub>2</sub> (1.4%) y un decremento en el O<sub>2</sub> ambiental más allá de los límites benéficos que la hipoxia muestra sobre el DE (Bahadoran *et al*, 2010).<sup>39</sup> Es posible que la mortalidad en la segunda etapa del grupo M y el mayor porcentaje de embriones picados no nacidos, se debe a un mayor número de embriones afectados por la hipercapnia e hipoxia en las cuales se incubaron durante la primera mitad del DE. Aunque en el grupo P hubo mayor mortalidad embrionaria en la etapa II que en el grupo testigo, ésta en las etapas subsiguientes fue mucho menor, lo cual posiblemente se explica porque los embriones alcanzaron tempranamente un mejor estado morfo-fisiológico en comparación al grupo estándar.

Con base en la concentraciones de CO<sub>2</sub> al día 10 del DE del primer estudio, para el segundo trabajo se obliteraron únicamente 8 orificios de entrada de aire ubicados en la base de la incubadora, así como los dos agujeros de salida de aire que se encuentran en la superficie, con esta preparación se registró 0.87% de CO<sub>2</sub>, la cual fue mayor a la recomendada para una ventilación estándar. La concentración de CO<sub>2</sub> observada en el grupo P del primer y segundo estudio, no perjudicó el desarrollo del embrión ni los parámetros de incubación. Estas



concentraciones de CO<sub>2</sub> aparentemente favorecen la tolerancia fisiológica temprana a concentraciones crecientes de este gas.

Bajo las condiciones estándar de incubación utilizadas en el presente estudio, las concentraciones de CO<sub>2</sub> no se incrementaron por arriba de los niveles de tolerancia (0.3-0.5%) previamente indicados por diversos investigadores; sin embargo, varios estudios recientes han mostrado que el incremento gradual de la concentración de CO<sub>2</sub> en un margen entre 0.8 a 1.5% durante los primeros 10 días de incubación aceleran el DE y mejoran la incubabilidad (De Smit *et al*, 2006, 2008; Tona *et al*, 2007; Bruggeman *et al*, 2007);<sup>12,13,41</sup> adicionalmente Willemsen *et al*, (2008)<sup>40</sup> al utilizar estas mismas condiciones de NV (1% de CO<sub>2</sub> durante los primeros 10 días) en un grupo análogo al grupo P del segundo estudio, determinaron una disminución de la mortalidad embrionaria, atribuida principalmente a una reducción en el número de embriones en mala posición, con un consecuente incremento en la incubabilidad de este grupo, hallazgo que coincide plenamente con los resultados del presente estudio. Bruggeman *et al* (2007)<sup>41</sup> observaron un efecto positivo sobre el DE temprano al utilizar el mismo sistema de NV, sin embargo, no observaron una mejora sobre los parámetros de incubación, lo cual posiblemente se debió a que utilizaron CO<sub>2</sub> exógeno. Los resultados del primer trabajo del presente estudio permitieron determinar una situación análoga a la indicada por Bruggeman *et al* (2007)<sup>41</sup>, donde observaron un efecto positivo sobre el aumento de tamaño del embrión, el peso de los órganos internos, el saco vitelino y una mejor calidad de los pollitos eclosionados, sin embargo, no hubo una mejora sobre los parámetros de incubabilidad o en la tasa de mortalidad embrionaria, mientras que los resultados del segundo estudio

son más acordes con lo observado por De Smit *et al* (2006, 2008)<sup>12,54</sup>, Tona *et al* (2007)<sup>13</sup> y Willemsen *et al* (2008).<sup>40</sup> Es importante mantener las respectivas distancias de extrapolación atribuidas principalmente a la altitud del sitio de incubación del presente estudio, esto con relación al resto de trabajos que han evaluado este incremento temprano de CO<sub>2</sub> durante la incubación, la diferencia porcentual en la incubabilidad entre el grupo NV y V del segundo estudio fue de ~10.22%; mientras que De Smit *et al* (2006)<sup>12</sup> obtuvieron 89.25% en un grupo NV y 85.35% en el V; en 2008 el mismo autor registró 92% en el grupo NV y 91.5% en el V; Tona *et al* (2007)<sup>13</sup>, observaron 91.5% en el grupo NV y 90% en el V; Willemsen *et al* (2008)<sup>40</sup> obtuvo 98% en el NV y 92% en el V, la mayor parte de estos estudios indican una diferencia estadística entre los dos tipos de grupos de ventilación (NV vs V); en todos estos estudios al incubar al nivel del mar (países bajos) se obtuvieron parámetros de incubabilidad más altos que los del presente estudio, sin embargo, la mayor distancia porcentual entre el grupo NV y V se registra en el segundo estudio del presente trabajo, lo que indica que el efecto de NV es más eficiente cuando la incubación se efectúa a una gran altitud de msnm que cuando ésta se realiza a nivel del mar, sin embargo, aunque existe diferencia estadística del porcentaje de incubabilidad entre el grupo NV y V, esta mejora en algunos casos no es mayor al 1%. La razón de por qué un incremento en la concentración de CO<sub>2</sub> durante la incubación no mejora de forma consistente los parámetros de incubabilidad aún no se puede dilucidar con un apropiado nivel de certidumbre, de acuerdo con los resultados obtenidos en el presente estudio y los de algunos autores que han analizado esta problemática (De Smit *et al*, 2006; De Smit *et al*, 2008; Witters, 2009),<sup>12,54,58</sup> es probable que los efectos sobre la incubabilidad dependan más de diferencias en el genotipo y edad de las aves

reproductoras empleadas que a la concentración de CO<sub>2</sub> alcanzada durante esta etapa de la incubación (De Smit *et al*, 2006; Tona *et al*, 2007; Willemsen *et al*, 2008; Everaert, 2008).<sup>12,13,40,59</sup> Las dos variables (genotipo y edad) afectan directamente la tasa metabólica del embrión y por lo tanto su respuesta a niveles crecientes de CO<sub>2</sub> durante la incubación temprana, esto se encuentra estrechamente relacionado con los hallazgos efectuados por De Smit *et al* (2008)<sup>54</sup>, quienes al comparar una estirpe con baja predisposición a la ascitis (Cobb) con una estirpe de alta predisposición a la misma (SAS), observaron que no hubo diferencias de incubabilidad entre los grupos NV y V de la estirpe Cobb, mientras que el grupo NV de la estirpe SAS presentó una incubabilidad de 88.0%, mayor al 76.84% del grupo V de la misma estirpe.

En un estudio efectuado por Bahadoran *et al* (2010)<sup>39</sup> con la misma estirpe utilizada en el presente trabajo (Ross 308), verificaron que el efecto de hipoxia prenatal temprana (primeros 10 DE), inducida al incubar a grandes altitudes (1,800 msnm) fue benéfica, ya que al analizar el comportamiento de estos embriones incubados a gran altitud con respecto a otros incubados a baja altitud (nivel del mar), determinaron que la función endocrina de los embriones se modifica (cortiscosterona, T3 y T4), aumenta el tamaño embrionario, se acorta la ventana de nacimientos y la mortalidad por ascitis en los pollos eclosionados a gran altitud y que fueron criados a una mayor altitud (2,100 msnm) disminuye significativamente con relación a los embriones incubados a baja altitud y que fueron criados junto con ellos a la misma altitud (2,100 msnm), por lo tanto la diferencia en edad, genotipo, altitud del sitio de incubación, concentración de O<sub>2</sub>, de CO<sub>2</sub> y el periodo de almacenaje del huevo muestran efectos específicos sobre el metabolismo embrionario y la incubabilidad.

Los resultados obtenidos en el grupo P del primer estudio sugieren que una concentración de 1.2% de CO<sub>2</sub>, aumenta la tasa del DE, lo cual da la idea de un punto de corte en el nivel benéfico de este gas, ya que cuando se compara con los resultados del grupo M en el mismo estudio (1.4% CO<sub>2</sub>), se observa un efecto detrimental, principalmente sobre la incubabilidad, el DE y la calidad de los pollitos eclosionados, lo cual está en contraposición directa con una concentración similar obtenida por De Smit *et al* (2006)<sup>12</sup> en embriones de reproductoras pesadas de 45 semanas de edad (1.5% de CO<sub>2</sub>), donde observaron mejores parámetros de incubación, además de una aceleración de la tasa de DE y un mayor peso absoluto y relativo de los embriones del grupo NV; los resultados del grupo M fueron diferentes a su vez con los resultados del segundo estudio, donde el grupo P con embriones de alta conformación (Ross 308) incubados con concentraciones de hasta 0.87% obtuvieron mejores parámetros incluso que el grupo testigo del segundo experimento; a diferencia de los embriones provenientes de aves ligeras utilizados en el primer estudio del presente trabajo, los embriones provenientes de reproductoras pesadas son menos susceptibles a la hipercapnia ocasionada por una ventilación limitada, y a pesar de que en primer estudio se pudo evidenciar un crecimiento embrionario en los grupos de NV mayor al grupo de ventilación testigo, los embriones de la estirpe ligera presentaron menor eficiencia para alcanzar un estado homeocinético que les permitiera adaptarse a las condiciones medioambientales del interior de la incubadora. Es evidente que la misma concentración de CO<sub>2</sub> que en embriones de alta conformación es benéfica en embriones de aves ligeras puede mostrar otro efecto.

En el segundo estudio, la mayor mortalidad embrionaria se registró en el grupo estándar, mientras que el grupo P mostró menor mortalidad embrionaria y consecuentemente mayor incubabilidad, hallazgos que concuerdan con lo observado por Willemsen *et al* (2008)<sup>40</sup> en un grupo NV similar al grupo P; la mayor proporción de la mortalidad en éste grupo (P) se ubicó en la etapa I, lo cual posiblemente estuvo vinculado al manejo previo del huevo, o bien, a la susceptibilidad de algunos de los embriones a esta edad, al 0.87% de CO<sub>2</sub> registrado en este grupo; sin embargo, de acuerdo con Willemsen *et al* (2008),<sup>40</sup> es posible que los embriones sobrevivientes muestren mayor fortaleza fisiológica, y por lo tanto un aceleramiento en su DE, efecto que se pudo constatar en el presente estudio al verificar el peso absoluto de los embriones a los 10 días del DE. Bruggeman *et al* (2007)<sup>41</sup> también detectaron esta diferencia de pesos en un grupo NV en comparación al testigo. El peso de los embriones del grupo P del presente trabajo fue mayor al del grupo testigo a lo largo de toda la incubación; el peso en base húmeda y en base seca mostró la misma tendencia durante la mayor parte del estudio, tanto en aves ligeras como pesadas; bajo el tratamiento de NV hubo mayor crecimiento embrionario y una mejor utilización de las principales reservas energéticas del embrión (saco vitelino). Desde el día 10 del DE, a mayor peso húmedo y seco del embrión, el peso del saco vitelino en los muestreos subsiguientes disminuyó gradualmente; de acuerdo con Wolanski *et al* (2006)<sup>31</sup> la correlación entre el peso húmedo y el peso seco es mucho mayor para el saco vitelino que para el embrión, lo cual coincide con mayor exactitud para el grupo P en los dos estudios efectuados. El aceleramiento en el DE logrado en el grupo P muestra la capacidad de los embriones para crecer más rápido bajo

condiciones de hipercapnia e hipoxia relativas durante esta primera mitad del desarrollo embrionario.

El peso del embrión determinado del día 10 al 18 del DE en el grupo P del primer estudio, fue menor al observado por De Smit *et al* (2006)<sup>12</sup>, esto debido principalmente a la diferencia en las estirpes utilizadas, ya que en el primer estudio los embriones fueron de aves ligeras mientras que en el estudio de De Smit *et al* (2006)<sup>12</sup> los embriones pertenecían a una estirpe de alta conformación (Cobb); aunado a estas diferencias verificadas previamente por Janke *et al* (2004)<sup>2</sup> y Druyan (2010)<sup>42</sup>, el otro factor que influye sobre la diferencia en el peso de los embriones es la edad de las aves reproductoras, por ejemplo, De Smit *et al* (2006)<sup>12</sup> utilizaron embriones provenientes de una parvada de 45 y 60 semanas de edad, mientras que los embriones del primer estudio provenían de una parvada ligera de 36 semanas de edad, donde el peso promedio del huevo fértil fue menor a los empleados por De Smit *et al* (2006).<sup>12</sup> En el segundo estudio se utilizaron embriones provenientes de una estirpe de alta conformación (Ross 308) de 37 semanas de edad, el peso embrionario absoluto evaluados del día 10 al 18 del DE fue menor al registrado por De Smit *et al* (2006), posiblemente la edad de la reproductora y el peso inicial del huevo fértil son las principales razones de esta diferencia, aunque no debe descartarse una posible variación atribuida a un metabolismo y DE diferente entre estas dos estirpes (Druyan, 2010).<sup>42</sup>

En el primer estudio los embriones provenientes de las aves ligeras del grupo P (1.2% de CO<sub>2</sub>), mostraron mayor peso (3 g) que el grupo estándar, mientras que en el segundo estudio el grupo P (0.87% de CO<sub>2</sub>), fue 2.5 g mayor que el grupo testigo, este mayor peso de los embriones en los tratamientos NV se observó durante toda la incubación hasta el momento de la eclosión; de acuerdo con

Willemsen *et al* (2008)<sup>40</sup> este peso muestra un mejor valor predictivo sobre el rendimiento post-nacimiento que la longitud del pollito por sí misma, la cual no mostró diferencia entre los grupos NV y V en cualquiera de los dos estudios.

Al analizar individualmente la producción de CO<sub>2</sub> durante la incubación artificial de embriones *Gallus gallus*, que provenían de huevos fértiles almacenados durante 4 ó 14 días, Fassenko *et al* (2003)<sup>43</sup> determinaron que el área de la vasculosa y de la MCA se desarrollan a un ritmo diferente, a lo cual atribuyeron las diferentes tasas de apoptosis y necrosis que muestran los embriones de uno u otro periodo de almacenamiento, estos eventos celulares hacen que el embrión capte de manera distinta la cantidad disponible de O<sub>2</sub>; con base en la metodología del presente estudio, estos órganos respiratorios primarios posiblemente sufren una modificación estructural al limitar la tasa de ventilación, lo cual contribuye al aceleramiento del DE acompañado del incremento en la concentración de CO<sub>2</sub> y la disminución progresiva del O<sub>2</sub> ambiental, lo cual se reflejó adicionalmente con un mayor peso absoluto de los embriones en el grupo P; una explicación de este aceleramiento fue propuesta por Chan y Burggren (2005)<sup>44</sup> quienes determinaron que la masa de la MCA no disminuye al exponer a embriones en desarrollo a condiciones de hipoxia severa (15% de O<sub>2</sub>), al contrario, al día 18 del DE ésta presentó una mayor masa volumétrica (40-60%) en comparación con los embriones testigo, lo cual indica que bajo condiciones de hipoxia, la MCA aumenta su eficiencia para la captación de oxígeno.

Chan y Burggren (2005)<sup>44</sup> determinaron que la exposición a la hipoxia dentro de un tiempo específico de la ventana fisiológica del DE (21 días) induce diferentes efectos sobre el crecimiento de los órganos del embrión; sin embargo, el grado de

la hipoxia inducida es importante, ya que Villamor *et al* (2004)<sup>22</sup> observaron un efecto nocivo sobre la arteria pulmonar y los ventrículos cardiacos del embrión al incubar con niveles similares de O<sub>2</sub> (15%); por otra parte, y de acuerdo con los resultados del presente estudio y lo observado por Bahadoran *et al* (2010)<sup>39</sup>, es evidente que la inducción de hipoxia moderada (>17% O<sub>2</sub>) durante los primeros 10 días, junto con el aumento en la presión de CO<sub>2</sub> ambiental (dentro de la incubadora) muestran un efecto benéfico sobre el DE. La hipoxia temprana observada en el grupo P, podría contribuir a optimizar el crecimiento y la funcionalidad de la MCA (Chan y Burggren, 2005; Bruggeman *et al*, 2007),<sup>44,41</sup> esta estimulación en el desarrollo y funcionamiento de la MCA permitiría una mejor captación de O<sub>2</sub> en la fase del DE exponencial después del día 10 del DE, y explicaría los efectos benéficos que la hipercapnia e hipoxia relativas muestran sobre el DE posterior. Esta hipótesis debe probarse, ya que no existe ningún trabajo que las considere de forma conjunta y a diferentes niveles o bien en una etapa específica del DE. Adicionalmente, Hassanzadeh *et al* (2004)<sup>49</sup> determinaron que la hipoxia estimula una maduración más temprana del sistema surfactante pulmonar durante la fase temprana del DE.

Bajo condiciones de incubación natural se ha observado que conforme se da el DE, la concentración de CO<sub>2</sub> se incrementa de 0.04 a 0.5%, aunado a este incremento, Walsberg (1980)<sup>45</sup>, observó que la concentración de O<sub>2</sub> decrece de 20.9% a 20.3%, lo cual muestra un comportamiento análogo al primer trabajo del presente estudio durante los primeros 10 días de incubación, en el cual la cantidad de O<sub>2</sub> disminuyó de 19.8% a 18.8% en el grupo M, y de 19.8 a 19.0% en el grupo P, mientras que el grupo testigo solo mostró una disminución de 0.2%. En el segundo estudio, la caída de O<sub>2</sub> en el grupo P fue de tan solo 0.25%; lo cual



indica que la hipoxia transitoria aunada a la hipercapnia progresiva da diferentes resultados, donde a menor tasa de utilización de  $O_2$  se registra menor producción de  $CO_2$ . Algunos autores han indicado que durante el DE temprano el  $O_2$  se utiliza en mayor cantidad para la síntesis de los tejidos y se produce menor cantidad de  $CO_2$  (Fasenko *et al*, 2003; De Smit *et al*, 2006; Bahadoran *et al*, 2010).<sup>43,12,39</sup> La diferencia observada entre los dos estudios, no solo se debe a la diferente concentración de gases logrados con los dos tipos de sellado, sino también a las estirpes utilizadas (Bovans White *versus* Ross 308). Es importante determinar el punto crítico en el equilibrio entre hipercapnia e hipoxia que sea óptimo para el DE en cada estirpe, a una edad específica de las aves reproductoras.

De acuerdo con lo investigado por Rahn *et al* (1977)<sup>46</sup>, durante la incubación natural en un nido los niveles de gas nunca son fijos a lo largo de todo el proceso de incubación, usualmente estos varían de acuerdo con el avance del DE. Las madres verifican directamente la temperatura de los huevos que están incubando, los cuales mantienen estrecho contacto con sus principales zonas de aptérilo; con base en la generación progresiva de calor por parte de los embriones, las madres tienden a salir cada vez más del nido después de la fase endotérmica de los embriones (1-10 DE), por lo tanto favorecen una mejor ventilación al aumentar la tasa de remoción de  $CO_2$  producido y favorecen una mayor concentración de  $O_2$ , el cual aumenta en disponibilidad hasta el momento de la eclosión.

Decupeyre y Bruggeman (2007)<sup>47</sup>, determinaron que los principales eventos que favorecen la eclosión son la reducción en la presión de  $O_2$ , aumento de la presión de  $CO_2$  en la cámara de aire del huevo, lo que aunado al incremento de corticosterona durante este estrés severo, contribuyen a explicar la mejor incubabilidad, menor mortalidad embrionaria y nacimientos más tempranos con

una ventana de nacimientos más estrecha en embriones con un mayor DE. Por otra parte, Gildersleeve y Boeschen (1983)<sup>48</sup> mostraron que en la incubación artificial multi-etápica la concentración promedio de CO<sub>2</sub> en todo el proceso de incubación es de 0.3%; de acuerdo con Fassenko *et al* (2003)<sup>43</sup> y De Smit *et al* (2006)<sup>12</sup>, la concentración de CO<sub>2</sub> al arranque del proceso de incubación unietápica es de 0.05%, el cual se incrementa gradualmente durante el proceso debido a la producción de CO<sub>2</sub> por parte del embrión; Fassenko *et al* (2003)<sup>43</sup> observaron que los primeros 6 días del DE la producción de CO<sub>2</sub> no es significativa, después de este día y hasta el día 10 DE, este incremento es lineal, posterior al día 11 DE el incremento de CO<sub>2</sub> es de forma aguda hasta la etapa conocida como meseta (*Plateau*) la cual coincide con la transición de respiración difusa (MCA) a convectiva (pulmonar); por lo cual, la máxima concentración de CO<sub>2</sub> dentro de una incubadora unietápica depende principalmente de la cantidad de huevos fértiles incubados y de la tasa de ventilación.

En el presente estudio, hubo progresivamente menor cantidad de O<sub>2</sub> disponible con el sistema de ventilación implementado; aunque el O<sub>2</sub> no rebasó el límite mínimo indicado por diversos autores para una óptima incubación a nivel del mar (19.6% por Willemsen *et al* en 2008; y 19.5% por De Smit *et al* en 2006)<sup>40,12</sup> para grupos NV similares al P, si disminuyó la disponibilidad total de este gas, debido a la altitud del sitio de incubación.

La sensibilidad de los embriones al CO<sub>2</sub>, cambia de acuerdo con el desarrollo embrionario; Taylor *et al* (1956)<sup>50</sup> encontró que durante los primeros cuatro días de incubación, la concentración de CO<sub>2</sub> puede incrementarse hasta 1% sin afectar la incubabilidad; Taylor y Kreutzinger (1965)<sup>51</sup> mostraron que los embriones entre

el día 5 y 8 del DE pueden sobrevivir hasta concentraciones de 3%; sin embargo, con la concentración de CO<sub>2</sub> (1.4%) observada en el primer estudio en el tratamiento M de NV, no se observaron mejoras en la tasa de incubabilidad a diferencia de la concentración de CO<sub>2</sub> de 1.2% en el grupo P, por lo cual de forma práctica la incubación con concentración de 3% de CO<sub>2</sub> no es óptima y debe tenerse cuidado al extrapolar la información vertida por estos investigadores. El incremento en la tolerancia del embrión a altas concentraciones de CO<sub>2</sub> después del día 4 del DE puede deberse a la velocidad con la que este logra establecer y utilizar su sistema de respiración temprana, de acuerdo con De Smit *et al* (2006)<sup>12</sup>, existe una etapa crítica de producción de CO<sub>2</sub> natural, la cual es un indicativo de la actividad metabólica del embrión, ya que con un modelo de NV entre las 100 y las 150 horas de incubación ellos determinaron una fase de *Plateau*, durante la cual a las 100 horas de DE, la producción de CO<sub>2</sub> cae ligeramente y alrededor de las 144 horas muestra un incremento agudo, lo cual está vinculado principalmente con el cambio en la captación de O<sub>2</sub> y remoción de CO<sub>2</sub> por parte de la vasculosa, acción que se efectúa por difusión y que se ve limitada alrededor de las 100 horas de DE; al cierre del contacto directo de la MCA con la membrana albuminífera (144 horas DE), esta estructura asume la función respiratoria del embrión, acción que coincide con el incremento agudo de CO<sub>2</sub> observado por De Smit *et al* (2006)<sup>12</sup> al final de esta *Plateau* temprana y que coincide con el aumento de CO<sub>2</sub> observado en el grupo NV del presente estudio, además del incremento en el peso del embrión en la evaluación posterior al día 10 DE.

En los tratamientos con ventilación limitada se obtuvieron embriones con mayor peso absoluto, se observó a sí mismo que el SV presentó un menor peso, lo cual

de acuerdo a Christensen *et al* (2005)<sup>17</sup>, Uni *et al* (2005)<sup>52</sup>, Lourens *et al* (2005)<sup>18</sup>, Wolanski *et al* (2006)<sup>31</sup>, Sato *et al*, (2006)<sup>53</sup>, Bruggeman *et al* (2007)<sup>41</sup>, Willemsen *et al* (2008)<sup>40</sup> y De Smit *et al* (2008)<sup>54</sup>, se debe a una mayor actividad metabólica temprana del embrión en la síntesis de tejidos y en la satisfacción de las demandas energéticas de su desarrollo. De acuerdo a Moran (2007)<sup>55</sup> después del día 12 del DE, el aumento de peso del embrión muestra una correlación inversamente negativa con el peso absoluto del saco vitelino; por ejemplo, De Smit *et al* (2006, 2008)<sup>12,54</sup> al verificar el efecto de la ventilación limitada sobre el DE, encontró que los embriones provenientes de tratamientos con aumento gradual de CO<sub>2</sub> mostraban niveles significativos en la proporción de T3/T4 en el plasma, lo que indica un aumento en la tasa metabólica del embrión atribuida principalmente a un mecanismo epigenético que aún no ha sido determinado (Vaiserman, 2008);<sup>56</sup> aunque Bahadoran *et al* (2010)<sup>39</sup> atribuye este incremento en la proporción de T3/T4 a un mecanismo de disparo fisiológico debido a un incremento previo de corticosterona, la cual es requerida para la conversión periférica de T3 a partir de T4, lo que induce un aumento de triyodotironina; este incremento de corticosterona probablemente se debe al estrés inducido por el aumento de la presión de CO<sub>2</sub> interna y a la caída de la presión de O<sub>2</sub> en la cámara de aire (hipoxia a los 12-14

en plasma, los cuales se pueden transformar en glucógeno y a partir de este carbohidrato sintetizar glucosa, o bien de acuerdo a lo descrito por Moran (2007)<sup>55</sup> favorecer la glucólisis al término de la función de la MCA y principio de la respiración pulmonar. De Smit *et al* (2006)<sup>12</sup> determinaron que una probable significancia en la proporcionalidad de los niveles de T3 sobre T4, estarían indicando una mayor actividad de la glándula tiroides, ya que estas hormonas contribuyen a aumentar la glucólisis y la captación de glucosa por parte de las células, además T3 influye en la oxidación de ácidos grasos en el interior de la célula y aumenta gradualmente el metabolismo basal del embrión, indicando posiblemente que un aumento de la presión de CO<sub>2</sub> optimiza un mejor aprovechamiento del O<sub>2</sub> disponible sobre todo en la etapa temprana del DE.

Fasenko *et al* (2003)<sup>43</sup>, mostraron que los huevos almacenados por cuatro días tienen una tasa metabólica superior a los huevos almacenados durante 14 días; ya que en estos últimos se observó una producción menor y tardía de CO<sub>2</sub> natural, por lo que un tratamiento de ventilación limitada combinado con una mayor temperatura de incubación aceleraría el metabolismo y podría beneficiar el desarrollo embrionario en huevos almacenados durante largos periodos de tiempo de acuerdo a lo investigado por Christensen *et al* (2005)<sup>17</sup> en embriones de pavo. Druyan (2010)<sup>42</sup> determinó que los patrones del DE entre aves ligeras y pesadas, difieren sustancialmente; bajo un régimen de incubación único, determinó que las aves ligeras nacen un día después y su peso al nacer es menor al de las pesadas, sin embargo, precisó que el peso relativo de la yema con relación al peso de la canal es similar. Druyan (2010)<sup>42</sup> determinó que existen diferencias marcadas entre el DE de la línea Cobb y Ross, indicando que el consumo de O<sub>2</sub>

del día 16 al 19 del DE; la proporción de peso corporal:corazón, y la concentración plasmática de T3 al día 14 y 16 del DE y a la eclosión, fue ligeramente mayor en los embriones Ross que en los embriones de Cobb. Estas diferencias sugieren que la selección genética para rápido crecimiento en estas dos líneas no ha causado diferencias entre sus patrones de crecimiento embrionario, sin embargo, si ha afectado su tasa metabólica, lo cual podría explicar en parte las diferencias entre los hallazgos del presente estudio (Ross 308) y los de los investigadores que han utilizado la línea Cobb (De Smit, *et al*, 2006, 2008; Everaert *et al*, 2007; Bruggeman *et al*, 2007; Tona *et al*, 2007).<sup>12,54,27,41,13</sup>

En el presente estudio los embriones obtenidos a partir de los tratamientos con ventilación limitada muestran un mayor peso total, así como de corazón e hígado, lo cual de acuerdo a lo planteado por Druyan, (2010) es un indicador de un mayor desarrollo general del embrión;<sup>42</sup> este aumento hepático y muscular de los embriones provenientes del tratamiento con ventilación limitada sugiere a su vez un mayor almacenamiento de glucógeno, el cual puede ser utilizado como fuente de energía durante la eclosión hasta el momento en que el pollito tenga acceso a alimento sólido (Uni y Ferket, 2004; Lourens *et al*, 2005).<sup>57,18</sup>

En la incubación óptima se busca obtener excelentes parámetros de incubabilidad y pollitos de excelente calidad a la eclosión, con mayor peso y longitud, ya que estos indicadores presentan una apropiada correlación positiva con un mejor rendimiento en la vida productiva del ave (Wolanski *et al*, 2003; Tona *et al*, 2004; Willemsen *et al*, 2008 ; Mauldin *et al*, 2008; López *et al*, 2009);<sup>60,30,33,34,28</sup> aunque

en el primer estudio no se encontró diferencia en cuanto al peso y longitud de los pollitos al nacimiento, en el tratamiento de ventilación limitada P se observó una mejor calidad del pollito, lo cual muestra que la concentración de CO<sub>2</sub> no mayor a 1.2% en el interior del gabinete de incubación puede ser benéfica para el desarrollo de embriones de aves ligeras de la estirpe *Bovans White* con una buena calidad de las aves eclosionadas; esta mejora en calidad fue consistente en el segundo trabajo, donde la calificación del grupo P fue mayor al grupo testigo. Un estudio previo que contribuye a explicar esta diferencia entre las dos estirpes empleadas, fue el efectuado por Janke *et al* (2004)<sup>2</sup>, donde al evaluar el DE de una estirpe de pollo de engorda seleccionada para alto rendimiento corporal análoga a la estudiada en el presente estudio (Ross 308); determinaron que el metabolismo y crecimiento embrionario en esta estirpe bajo las mismas condiciones de incubación (temperatura, humedad relativa, concentración de CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>) fue más acelerado que el registrado en embriones de aves Leghorn, este incremento en la tasa del DE se acompañó de un aumento del metabolismo basal, ya que en la estirpe Ross 308 hubo una producción de 252 watts/1000 embriones de energía calórica al día 20 del DE, mientras que los embriones de aves Leghorn a la misma edad, produjeron tan solo 130.8 Watts/1000 embriones. Lo cual indica que el metabolismo de un ave seleccionada genéticamente para producción de carne o de alta conformación es mucho más elevado que el metabolismo de aves seleccionadas para producir únicamente huevo, lo cual contribuye a explicar las diferencias observadas entre las dos estirpes utilizadas en el presente estudio.

En el grupo NV del segundo trabajo se obtuvieron mejores parámetros de incubabilidad, natalidad y menor mortalidad embrionaria, además de mayor número de pollitos de excelente calidad, estos resultados concuerdan con Tona *et*

*al* (2004)<sup>30</sup>, quienes obtuvieron mejores parámetros de incubabilidad y menor mortalidad embrionaria en huevos de aves reproductoras pesadas Cobb 500, al efectuar una incubación de NV durante la primera mitad del período con una concentración de 1% de CO<sub>2</sub>; y De Smit *et al* (2006)<sup>12</sup>, en cuyos estudios alcanzaron también 1% de CO<sub>2</sub> en aves Cobb 500 de 60 semanas de edad. Lo cual muestra que los efectos ambientales que generan las condiciones de hipoxia e hipercapnia en esta etapa temprana del DE tienen una fuerte influencia sobre el mismo, de acuerdo a lo propuesto por Bahadoran *et al* (2010),<sup>39</sup> la respuesta a una mejor adaptación epigenética puede ser un DE acelerado, lo cual de acuerdo a lo propuesto por Vaiserman (2008),<sup>56</sup> le podría conferir al embrión una manera alternativa de expresión genómica sin cambiar la secuencia del ADN; consecuentemente una exposición única a un ambiente específico durante la vida temprana puede mostrar consecuencias a largo plazo en la vida de los seres vivos, de forma análoga a los mecanismos que permiten obtener respuestas específicas generadas por las “células de memoria” del sistema inmune, lo cual en el presente caso contribuye a optimizar el desarrollo posterior de los embriones expuestos tempranamente a un ambiente específico de CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>.

La humedad relativa debió seleccionarse cuidadosamente, ya que al tener una tasa de ventilación diferente los primeros 10 días de DE, su efecto sobre la pérdida de peso fue trascendental, lo que se pudo constatar en el primer estudio donde hubo una menor pérdida de humedad al día 10 del DE en los grupos NV (M y P) en comparación al grupo estándar, aunque al día 18 del DE no hubo diferencia en la pérdida de agua entre ambos tipos de grupo.

En el segundo estudio se modificó el sistema de control de humedad relativa, y aunque en el grupo P se observó menor pérdida de humedad en los huevos



incubados al día 18 del DE, esta se encontró dentro del rango (8.5% a 12.5%) recomendado para una óptima incubación (Ar y Rahn, 1980);<sup>63</sup> a pesar de que esta pérdida de peso fue menor a la del grupo estándar, no es determinante para explicar los mejores resultados obtenidos al final en el grupo NV del segundo estudio, ya que por ejemplo, Bruggeman *et al* (2007)<sup>41</sup> al incubar con altas concentraciones de CO<sub>2</sub> durante los primeros 10 días del DE, reportaron una pérdida de humedad al día 18 DE para el grupo NV de 6.8% y de 7.2% para el grupo V, las cuales están completamente fuera de rango (Davis *et al*, 1988),<sup>64</sup> sin embargo, Bruggeman *et al* (2007)<sup>41</sup> mencionan una incubabilidad del 96% para ambos grupos.

El embrión debe mantener un adecuado equilibrio hídrico durante todo el proceso de incubación, en el primer estudio, la menor pérdida de peso al día 10 del DE en los tratamientos de NV muestra la dificultad que tienen los embriones para eliminar el agua metabólica en forma de vapor de agua, esto se debe a que al estar casi completamente cerrado el gabinete de incubación al ambiente externo, el intercambio gaseoso es mínimo, sin embargo, al día 18 del DE se observa la misma pérdida de humedad en los tres tratamientos, posiblemente los embriones sometidos a ventilación limitada después de restablecer las condiciones estándar de incubación a partir del día 10 del DE, y debido a un mayor DE y mayor disponibilidad de O<sub>2</sub>, permiten que la tasa metabólica del embrión sea más acelerada que en el grupo testigo, concomitantemente aumenta el intercambio gaseoso a través del cascarón facilitando la eliminación de H<sub>2</sub>O a partir del interior del huevo, todo ello antes de que la respiración corioalantoidea cese su función e inicie la respiración pulmonar, lo cual explicaría de cierta manera los mejores resultados de incubabilidad observados en el grupo P del segundo estudio, en

contraposición a los parámetros observados en los embriones provenientes del grupo de ventilación estándar, lo cual está respaldado con los porcentajes de mortalidad observados. Sahan *et al* (2006)<sup>23</sup> mencionan dos fases críticas para el incremento de la mortalidad embrionaria, la primera es durante los primeros días de la incubación y la segunda en la última semana del DE, ésta puede ser ocasionada por el incremento significativo en la demanda de O<sub>2</sub>; en contraparte, en el grupo P del segundo estudio fue precisamente en la última semana en donde se registró menor mortalidad embrionaria, lo cual factiblemente se debió a un desarrollo más eficiente del sistema respiratorio que el logrado en los embriones del grupo testigo, así mismo, el picaje externo inició nueve horas antes en los embriones del tratamiento NV, lo que indicaría que la respiración pulmonar también inició antes que en los embriones del grupo testigo; posiblemente este efecto fue inducido por la hipoxia temprana la cual contribuye a acelerar el proceso de desarrollo del embrión de pollo debido a una maduración más temprana del sistema surfactante de los capilares pulmonares, acompañado por un mayor desarrollo vascular (De Smit *et al*, 2006, 2008; Bahadoran *et al*, 2010).<sup>12,54,39</sup>

Dentro de las condiciones de incubación NV, además de alcanzar los perfiles óptimos de CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>, también se logra una mejor estabilidad de la temperatura a nivel del cascarón de los huevos fértiles, situación básica para obtener un desarrollo embrionario óptimo de acuerdo a lo indicado ya previamente por Lourens *et al* (2005);<sup>18</sup> por lo cual al restringir el sistema de ventilación las posibles oscilaciones de temperatura generadas por el obligado recambio de aire fresco del exterior (regularmente más frío) disminuyen, con lo cual se favorece el DE, ya que precisamente este mecanismo de restricción de la ventilación se

aplica durante la fase endotérmica del embrión (1-10 DE), etapa crítica del DE donde se requiere un suministro constante y estable de calor a nivel del cascarón; de acuerdo a Joseph *et al* (2006),<sup>65</sup> si no se logra una temperatura estable en este periodo, la incubabilidad y el rendimiento posterior pueden verse muy afectados.

El aire húmedo dentro de la incubadora transfiere el calor de mejor manera que el aire seco, de esta forma al limitar la ventilación durante los primeros 10 días del DE se crea un ambiente más uniforme y confortable desde el inicio de la incubación, al no haber un recambio continuo de aire a través de la ventilación la temperatura se controla más eficientemente durante este periodo crítico del DE (1-10 DE), lo cual es crucial, sobre todo si la incubación se efectúa a grandes altitudes sobre el nivel del mar, como es el caso del presente estudio. Cuando se cierran los *Dampers* como en el grupo NV, el CO<sub>2</sub> incrementa gradualmente a la par que lo hace la humedad relativa ambiental (~80%), la cual proviene de la pérdida de agua de los huevos incubados. Debido a que la transferencia de calor es mucho más alta y eficiente a través del aire húmedo que del aire seco, existe menor variación de la temperatura a nivel del cascarón en esta etapa crítica del DE (1-10 DE), por lo tanto se evitan variaciones. Es evidente que la modificación de la humedad relativa de la incubadora no solo afecta la pérdida de peso del huevo, sino que también afecta la capacidad de transferencia calórica del aire, la temperatura a nivel del cascarón y por lo tanto del metabolismo del embrión.

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 ha sido diferente en cada estudio que ha abordado esta hipótesis; aparentemente el incremento en la concentración de CO<sub>2</sub> actúa como un interruptor (apagado/encendido) con efectos específicos sobre algunos sistemas

fisiológicos relacionados con el DE temprano, estos efectos persisten a lo largo de todo el proceso de DE; sin embargo, aún se desconocen las razones de por qué un incremento en las concentraciones de CO<sub>2</sub> no siempre mejoran de forma consistente la incubabilidad. Para tratar de explicar estos efectos se ha propuesto que la alta concentración de CO<sub>2</sub> durante la primera mitad del DE, muestra una acción directa sobre el pH de la albúmina (Bruggeman *et al*, 2007)<sup>41</sup> determinado por un aumento temprano en la expresión de enzimas pH-dependientes tales como la anhidrasa carbónica, la cual se encuentra involucrada en los primeros estados del DE; se favorece además la aceleración de la ruptura de las membranas chalacíferas, rápida pérdida de dureza de la albúmina densa y acuosa (Sadler *et al*, 1954),<sup>66</sup> y también se menciona que existe formación de una mayor proporción de fluido sub-embrionario durante el DE temprano (Latter y Baggot, 2002);<sup>67</sup> sin embargo, es posible que el genotipo de la aves, la edad de la parvada y la duración del almacenaje estén afectando directamente este pH albuminario, la ruptura de las membranas chalacíferas y la óptima formación de fluido sub-embrionario, lo cual explica posiblemente la variabilidad observada.

En el presente estudio se valida la hipótesis originalmente propuesta, ya que se determinó un efecto positivo del sistema de incubación tipo NV sobre el crecimiento embrionario sin efectos detrimentales del DE, consecuentemente se obtuvo un mayor peso absoluto de los embriones (sin SV) incubados bajo este sistema (NV), aún cuando en este mismo grupo P se registraron grandes diferencias en las concentraciones de CO<sub>2</sub>, durante el primer y segundo estudio, atribuido al grado de sellado de la máquina incubadora y a la estirpe de origen de los huevos (Bovans White *versus* Ross 308).

Las altas concentraciones de CO<sub>2</sub> durante la primera mitad de la incubación no se utilizan aún de forma práctica, se requiere efectuar más investigación que permita conocer precisamente cuál es o cuáles son los mecanismos fisiológicos por medio de los cuales el CO<sub>2</sub> modifica la trayectoria del DE durante la incubación, con la finalidad de desarrollar protocolos que consideren las concentraciones óptimas de cada uno de los gases involucrados durante cada una de las etapas del DE temprano.

Con base a los resultados, es posible concluir que la modificación del medio ambiente al limitar la ventilación de la incubadora favorece el incremento natural y paulatino en la concentración de CO<sub>2</sub>, lo cual contribuye directamente a mejorar el DE; el cual a grandes altitudes (~2,300 m.s.n.m.) se ve favorecido. Con la finalidad de efectuar una adecuada incubación es recomendable utilizar un sistema de ventilación restringida durante los primeros 10 días de incubación, lo cual debe permitir un incremento en la concentración de CO<sub>2</sub> en el interior de la incubadora hasta un nivel de ~0.87%, lo cual repercute en una mejora significativa de los parámetros de incubabilidad, una eclosión más temprana, una ventana de nacimientos más estrecha, con mejor calidad del pollito eclosionado, mayor peso del mismo y una disminución de la mortalidad embrionaria general.

## LITERATURA CITADA

1. - **UNIÓN NACIONAL DE AVICULTORES**. Indicadores económicos. Producción pecuaria 2008, participación porcentual. (Serie *online*) 2008. (Consultado el 16 de marzo del 2010); (una página) Disponible en URL: [http://www.una.org.mx/index.php?option=com\\_content&view=article&id=180&Itemid=138](http://www.una.org.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=180&Itemid=138)
- 2.- **JANKE O, TZSCHENTKE B, BOERJAN M**. Comparative investigations of heat production and body temperature in embryos of modern chicken breeds. *Avian and Poult Biol Rev* 2004;15:191-196.
- 3.- **HAVENSTEIN GB, FERKET PR, QURESHI MA**. Growth, livability, and feed Conversion of 1957 versus 2001 broilers when fed representative 1957 and 2001 broiler diets. *Poult Sci* 2003;82:1500-1508.
- 4.- **PEEBLES E, BRAKE J**. Eggshell quality and hatchability in broiler breeders eggs *Poult Sci* 1987; 66: 596-604.
- 5.- **BERRY JG**. Artificial Incubation. Extensión facts from Oklahoma. Cooperative extension service, Division of agricultural sciences and natural resources. 2003; F-800 1-F8100-2.
- 6.- **TONA K, BAMELIS F, DE KETELEARE, BRUGGERMAN V, MORAES V, BUYSE**. Effects of egg storage time on spread of hatch, chick quality and chick juvenile growth. *Poult Sci* 2003;82:736-741.
- 7.- **ROSS 308 MANAGEMENT GUIDE**. Roos 308. Aviagen Incorporated. 439 Marlborough Road Glastonbury, CT. U.S.A. 2005.

- 8.- HOFACRE C.** Ed. The Poultry Informed Professional. Published by the Department of Avian Medicine of the University of Georgia College of Veterinary Medicine. Athens, Georgia. U.S.A. Issue 64, August 2002.
- 9.- 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.
- 10.- 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. *Av en Inv Agropec* 2006;10:21-28.
- 11.- ELIBOL O, PEAK SD, 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.
- 12.- DE SMIT L, BRUGGEMAN V, TONA JK, DEBONNE M, ONAGBESAN O, ARCKENS L.** 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.
- 13.- TONA K, ONAGBESAN O, BRUGGEMAN V, DE SMIT L, FIGUEIREDO D.** 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 Physiol* 2007;4,150-175.
- 14.- FASENKO GM.** Egg storage and the embryo. *Poult Sci* 2007;86:1020-1024.
- 15.- SBONG S, DZIALOWSKY E.** Respiratory and cardiovascular responses to acute hypoxia and hiperoxia in internal pipped chicken embryos. *Comp Biol and Physiol.* 2007;148:761-768.

- 16.- FRENCH NA.** Modeling incubation temperature: The effects of incubator design, embryonic development, and egg size. 1997 Poult Sci 76:124-133.
- 17.- 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.
- 18.- 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.
- 19.- 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.
- 20.- WHITTOW GC.** Sturkie's Avian Physiology. Fifth Ed. Academic Press. A Harcourt Science and Technology Company 525 B Street, Suite 19900. San Diego, California 92101-4495, USA. Oct 1999. 704 pp.
- 21.- ROWET EV, TINTU AN, SCHELLINGS MWM, VAN BILSEN M, LUTGENS E, HOFSTRA L.** Hipoxia induces aortic hypertrophic growth left ventricular dysfunction, and sympathetic hyperinnervation of peripheral arteries in the chick embryo circulation. Circulation 2002;105:2791-2796.
- 22.- 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.



- 23.- SAHAN U, IPEK A, ALTAN O, YILMAZ-DIKMEN B.** Effects of oxygen supplementation during the last stage of incubation on broiler performance, ascites susceptibility and some physiological traits. *Anim Res* 2006;55:145-152.
- 24.- EPPLE A, GOWER B, BUSCH T, GILL T.** Stress responses in avian embryos. *Avian Zool.* 1997; 37: 536-545.
- 25.- CHAN T, BURGGREN 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.
- 26.- 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.
- 27.- EVERAERT N, KAMERS B, WITTERS A, DE SMIT L, DEBONNE M, DECUYPERE E.** 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.- LÓPEZ 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 ANECA 2009. Acapulco de Juárez (Guerrero); México. A.N.E.C.A., AC. 1-9pp.
- 29.- BOERJAN M.** Maximizando la uniformidad y la calidad de los pollitos. *Boletín AP, Pass Reform Hatchery Technologies* 2005;23:18-23.
- 30.- 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.

**31.- 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.

**32.- 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.

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

**34.- MAULDIN JM, MASOERO S, SANTOS J, FAIRCHILD BD.** Predicting chick quality: Which is best - chick length or hatch day body weight? The University of Georgia, College of Agricultural and Environmental Sciences, Cooperative Extension Service, *Poult Fact Sheet*. Sept. 2008. 4pp.

**35.- PETEK M, ORMAN A, DIKMEN S, ALPAY F.** Relations between day-old chick length and body weight in broiler, quail and layer. *Uludag Univ J Fac Vet Med* 2008;27:25-28.

**36.- JUÁREZ EMA, LÓPEZ CS, LEDESMA MN.** El embriodiagnóstico como herramienta imprescindible para la evaluación del proceso de incubación en aves domésticas. XIX Congreso Nacional de Patología Veterinaria 2010. Villahermosa (Tabasco) México. S.M.P.V., A.C. 525-535.

**37.- INSTITUTIONAL ANIMAL CARE AND USE COMMITTEE (IACUC)** of the Northwestern University. Evanston, Illinois, U.S.A. 2009.

- 38.- GILL JL.** Design and analysis of experiments in the animal and sciences. Vol. 1 Ames (Io): The Iowa State University Press, 1978.
- 39.- BAHADORAN S, HASSANZADEH M, ZAMANIMOGHADDAM AK.** Effect of chronic hypoxia during the early stage of incubation on prenatal and postnatal parameters related to ascites syndrome in broiler chickens. Iranian J of Vet Res 2010;11(1,):64-71.
- 40.- WILLEMSSEN H, TONA K, BRUGGEMAN V, ONAGBESAN O, DECUYPERE E.** Effects of high CO<sub>2</sub> level during early incubation and late incubation in ovo dexamethasone injection on perinatal embryonic parameters and post-hatch growth of broilers. British Poult Sci 2008;49:22-231.
- 41.- BRUGGEMAN V, WITTERS A, DE SMIT L, DEBONNE M, EVERAERT N, KAMERS B.** 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.
- 42.- DRUYAN S.** The effects of genetic line (broilers vs. layers) on embryo development. Poult Sci 2010;89:1457-1467.
- 43.- FASENKO GM, ROBINSON FE, FEDDES JJR, SEGURA J.** Examining the Embryonic Metabolism of Short and Long Term Stored Eggs. Editors, Frank Robinson, Rob Renema and Gaylene Fassenko, New Developments in Reproduction and Incubation of Broiler Chickens. Spotted Cow Press, Edmonton, Canada, 2003. Pp 287-292.
- 44.- CHAN T, BURGGREN W.** Hypoxic incubation creates differential morphological effects during specific developmental critical windows in the embryo of the chicken (*Gallus gallus*). Resp Physiol & Neurobiol 2005;145:251-263.

- 45.- WALSBURG GE.** The gaseous microclimate of the avian nest during incubation. *American Zoologist* 1980;20:363-372.
- 46.- RAHN H, ACKERMAN A, PAGANELLI CV.** Humidity in the avian nest and egg water loss during incubation. *Physiol. Zool.* 50:269-283.
- 47.- DECUYPERE E, BRUGGEMAN V.** The endocrine interface of environmental and egg factors affecting chick quality. *Poult Sci* 2007;86:1037-1042.
- 48.- GILDERSLEVE RP, BOESCHEN DP.** The effects of incubator carbon dioxide level on turkey hatchability. *Poult.Sci*, 1983;62,779-784.
- 49.- HASSANZADEH M, BOZORGMEHRI FMH, BUYSE J, BRUGGEMAN V, DECUYPERE E.** Effect of chronic hypoxia during the embryonic development on the physiological functioning and on hatching and posthatching parameters related to ascites syndrome in broiler chickens. *Avian Pathol* 2004;33:558-564.
- 50.- TAYLOR LW, SJODIN RA, GUNNS CA.** The gaseous environment of the chick embryo in relation to its development and hatchability. 1. Effect of carbon dioxide and oxygen levels during the first four days of incubation upon hatchability. *Poult Sci* 1956;35:1206-1215.
- 51.- TAYLOR LW, KREUTZIGER GO.** The gaseous environment of the chick embryo in relation to its development and hatchability. 2. Effect of carbon dioxide and oxygen levels during the period of the fifth through the eight days of incubation. *Poult Sci* 1965;44:98-106.
- 52.- UNI Z, FERKET PR, TAKO E, KEDAR O.** In ovo feeding improves energy status of late-term chicken embryos. *Poult Sci* 2005;84:764-770.

- 53.- SATO M, TACHIBANA T, FURUSE M.** Heat production and lipid metabolism in broiler and layer chickens during embryonic development. *Comp Biochem and Physiol Part A.* 2006; 143:382-388.
- 54.- DE SMIT L, BRUGGEMAN V, DEBONNE M, TONA JK, KAMERS B, EVERAERT N.** The effect of nonventilation during early incubation on embryonic development of chicks of two commercial broiler strains differing in ascites susceptibility. *Poult Sci* 2008;87:551-560.
- 55.- MORAN ET.** Nutrition of the developing embryo and hatchling. *Poult Sci* 2007; 86:1043-1049.
- 56.- VAISERMAN AM.** Epigenetic engineering and its possible role in anti-aging intervention. *Rejuvenation Res* 2008;11(1):39-42.
- 57.- UNI Z, FERKET RP.** Methods for early nutrition and their potential. *World's Poult Sci Journal* 2004;60:101-111.
- 58.- WITTERS A.** Factors affecting the impact of hypercapnia during early egg incubation and its effects on pre- and postnatal physiological parameters of broilers. *Dissertationes de Agricultura, PhD Thesis.* Katholieke Universiteit Leuven;2009.
- 59.- EVERAERT N.** Effects of hypercapnia during late incubation on the physiology and performance of different chicken lines. *Dissertationes de Agricultura, Doctor in de Bio-ingenieurswetenschappen.* PhD Thesis (no. 831). Katholieke Univ. Leuven, Belgium. 2008.
- 60.- WOLANSKI NJ, LUITEN EJ, MEIJERHOF R, VEREIJKEN AL.** Yolk utilisation and chick length as parameters for embryo development. *Avian Poult Biol Rev* 2003;15:233-234.

- 61.- YAHAV S, COLLIN A, SHINDER D, PICARD M.** Thermal manipulations during broiler chick embryogenesis: Effects of timing and temperature. *Poult Sci* 2004; 83:1959-1963.
- 62.- PIESTUN Y, HAREL M, BARAK M, YAHAV S, HALEVY O.** Thermal manipulations in late-term chick embryos have immediate and longer term effects on myoblast proliferation and skeletal muscle hypertrophy. *J Appl Physiol* 2009; 106:233-240.
- 63.- AR A, RAHN H.** Water in the avian egg: overall budget of incubation. *Am Zool* 1980;20:373-384.
- 64.- DAVIS TA, SHEN SS, ACKERMAN RA.** Embryonic osmoregulation: consequences of high and low water loss during incubation of the chicken egg. *J Exp Zool* 1988;245:144-156.
- 65.- JOSEPH NS, LOURENS A, MORAN ET.** The effects of suboptimal eggshell temperature during incubation on broiler chick quality, live performance, and further processing yield. *Poult Sci* 2006;85:932-938.
- 66.- SADLER WW, WILGUS HS, BUSS EG.** Incubation factors affecting hatchability of poultry eggs. *Poult. Sci* 1954; 33, 1108-1115.
- 67.- 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.

**Cuadro 1.** Parámetros de incubación en huevos de la estirpe Bovans White (*Gallus gallus*) incubados con concentraciones crecientes de CO<sub>2</sub> durante la primera mitad del desarrollo embrionario.

Parámetros	Ventilación M* (%)	Ventilación P* (%)	Ventilación estándar (%)
Fertilidad**	95.24 ± 2.75 <sup>A</sup>	93.45 ± 3.58 <sup>A</sup>	97.02 ± 1.19 <sup>A</sup>
Incubabilidad**	38.65 ± 15.93 <sup>B</sup>	55.74 ± 11.86 <sup>A</sup>	52.63 ± 8.63 <sup>A</sup>
Natalidad**	36.18 ± 16.26 <sup>B</sup>	53.82 ± 11.23 <sup>A</sup>	50.88 ± 8.17 <sup>A</sup>
Mortalidad etapa I***	(12.85) <sup>A</sup>	(12.43) <sup>B</sup>	(12.09) <sup>C</sup>
Mortalidad etapa II***	(21.28) <sup>A</sup>	(13.20) <sup>B</sup>	(11.67) <sup>C</sup>
Mortalidad etapa III***	(5.75) <sup>B</sup>	(5.87) <sup>B</sup>	(10.82) <sup>A</sup>
Mortalidad etapa IV***	(21.46) <sup>A</sup>	(12.76) <sup>B</sup>	(12.78) <sup>B</sup>

\* Se restringió la ventilación durante los primeros 10 días del desarrollo embrionario. M= Sellado de Micropore®, P= Sellado con Polietileno. N= 4 máquinas Hova Bator Mod. 1583.

\*\*Valor porcentual ± desviación estándar a partir de 42 huevos por incubadora; valores en la misma fila con diferente letra superíndice difieren significativamente, Tukey (P < 0.05),

\*\*\*Valor porcentual promedio de mortalidad embrionaria; valores en la misma fila con diferente letra superíndice difieren significativamente, prueba Xi<sup>2</sup> (P < 0.05).

**Cuadro 2.** Peso del huevo, pérdida de peso y temperatura promedio durante la incubación de huevos de gallina ligera estirpe Bovans White (*Gallus gallus*) incubados con ventilación restringida durante la primera mitad del desarrollo embrionario.

Parámetro	Ventilación M* (%)	Ventilación P* (%)	Ventilación estándar (%)
Peso promedio inicial del huevo (g) **	56.44 ± 1.50 <sup>A</sup>	56.50 ± 1.47 <sup>A</sup>	57.01 ± 1.39 <sup>A</sup>
Peso promedio huevo día 10 (g) **	54.31 ± 1.44 <sup>A</sup>	53.85 ± 1.64 <sup>A</sup>	53.83 ± 1.50 <sup>A</sup>
Porcentaje pérdida de peso día 10 **	4.02 ± 1.10 <sup>B</sup>	4.45 ± 1.43 <sup>B</sup>	5.79 ± 1.20 <sup>A</sup>
Peso promedio huevo día 18 (g) **	50.36 ± 1.53 <sup>A</sup>	50.56 ± 1.63 <sup>A</sup>	50.60 ± 1.83 <sup>A</sup>
Porcentaje pérdida de peso día 18**	10.66 ± 1.45 <sup>A</sup>	10.55 ± 1.36 <sup>A</sup>	11.36 ± 2.22 <sup>A</sup>
Tº Celsius. Días 1-18 ***	37.51 ± 0.29 <sup>A</sup>	37.55 ± 0.25 <sup>A</sup>	37.57 ± 0.28 <sup>A</sup>
Tº Celsius Días 19-21 ***	36.86 ± 0.58 <sup>A</sup>	36.99 ± 0.22 <sup>A</sup>	36.86 ± 0.37 <sup>A</sup>

\* Se restringió la ventilación durante los primeros 10 días del 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.

\*\*\*Promedio de temperatura en grados centígrados por periodo. N= 4 máquinas HB 1583.

**Cuadro 3.** Inicio de picaje externo, término y duración de ventana de nacimientos de pollitos provenientes de huevos de gallina ligera (*Gallus gallus*) incubados con ventilación restringida durante la primera mitad del desarrollo embrionario.

Parámetro	Ventilación M* (Horas)	Ventilación P* (Horas)	Ventilación estándar (Horas)
Inicio PE**	502.0 ± 7.56 <sup>A</sup>	493.0 ± 1.07 <sup>B</sup>	493.5 ± 2.78 <sup>B</sup>
Término nacimientos**	529.75 ± 0.50 <sup>A</sup>	530.0 ± 0.0 <sup>A</sup>	529.75 ± 0.50 <sup>A</sup>
Duración ventana**	27.75 ± 7.34 <sup>B</sup>	37.0 ± 1.07 <sup>A</sup>	36.25 ± 3.24 <sup>A</sup>

\* Se restringió la ventilación durante los primeros 10 días del 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= 4 máquinas

**Cuadro 4.** Calidad, peso y longitud de los pollitos provenientes de huevos de gallina ligera (*Gallus gallus*) de la estirpe *Bovans White* incubados con ventilación restringida durante la primera mitad del desarrollo embrionario.

Parámetro	Ventilación M*	Ventilación P*	Ventilación estándar
Excelente (%)** <sup>ψ</sup>	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0
Bueno (%)** <sup>ψ</sup>	26.78 ± 20.51 <sup>A</sup>	30.20 ± 9.23 <sup>A</sup>	21.78 ± 14.88 <sup>A</sup>
Regular (%)** <sup>ψ</sup>	33.92 ± 22.86 <sup>B</sup>	50.0 ± 13.60 <sup>A</sup>	37.20 ± 19.42 <sup>B</sup>
Deficiente (%)** <sup>ψ</sup>	39.28 ± 11.45 <sup>A</sup>	19.79 ± 15.22 <sup>B</sup>	36.90 ± 15.74 <sup>AB</sup>
Inaceptable (%)** <sup>ψ</sup>	0 ± 0	0 ± 0	4.16 ± 7.71 <sup>A</sup>
Peso del pollito (g)** <sup>φ</sup>	39.15 ± 1.27 <sup>A</sup>	39.83 ± 1.81 <sup>A</sup>	39.67 ± 1.72 <sup>A</sup>
Longitud del pollito (cm)** <sup>φ</sup>	16.32 ± 0.48 <sup>B</sup>	16.65 ± 0.33 <sup>A</sup>	16.54 ± 0.33 <sup>AB</sup>

\* Se restringió la ventilación durante los primeros 10 días del desarrollo embrionario.

\*\*Literales diferentes colocadas 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= 20 <sup>φ</sup> N= 128



**Cuadro 5.** Concentración de O<sub>2</sub> registrado a partir del primer día de incubación de huevos de gallina ligera (*Gallus gallus*) de la estirpe *Bovans White* incubados con ventilación restringida durante la primera mitad del desarrollo embrionario.

Día de incubación	Ventilación M* (%)	Ventilación P* (%)	Ventilación estándar (%)
Día 1	0 ± 0 <sup>ND**</sup>	0 ± 0 <sup>ND</sup>	19.77 ± 0.10
Día 2	0 ± 0 <sup>ND</sup>	0 ± 0 <sup>ND</sup>	19.70 ± 0.11
Día 3	0 ± 0 <sup>ND</sup>	0 ± 0 <sup>ND</sup>	19.78 ± 0.07
Día 4	0 ± 0 <sup>ND</sup>	0 ± 0 <sup>ND</sup>	19.75 ± 0.06
Día 5	0 ± 0 <sup>ND</sup>	0 ± 0 <sup>ND</sup>	19.67 ± 0.08
Día 6	0 ± 0 <sup>ND</sup>	0 ± 0 <sup>ND</sup>	19.79 ± 0.06
Día 7	0 ± 0 <sup>ND</sup>	0 ± 0 <sup>ND</sup>	19.71 ± 0.11
Día 8	0 ± 0 <sup>ND</sup>	0 ± 0 <sup>ND</sup>	19.59 ± 0.09
Día 9	0 ± 0 <sup>ND</sup>	0 ± 0 <sup>ND</sup>	19.71 ± 0.11
Día 10	18.82 ± 0.32 <sup>B</sup>	19.05 ± 0.13 <sup>B</sup>	19.60 ± 0.14 <sup>A</sup>
Día 11	19.63 ± 0.08 <sup>A</sup>	19.59 ± 0.09 <sup>A</sup>	18.90 ± 2.62 <sup>A</sup>
Día 12	19.50 ± 0.21 <sup>A</sup>	19.44 ± 0.19 <sup>A</sup>	19.51 ± 0.19 <sup>A</sup>
Día 13	19.69 ± 0.12 <sup>A</sup>	19.61 ± 0.11 <sup>A</sup>	19.67 ± 0.11 <sup>A</sup>
Día 14	19.50 ± 0.10 <sup>A</sup>	19.45 ± 0.10 <sup>A</sup>	19.45 ± 0.10 <sup>A</sup>
Día 15	19.51 ± 0.09 <sup>A</sup>	19.49 ± 0.12 <sup>A</sup>	19.50 ± 0.10 <sup>A</sup>
Día 16	19.51 ± 0.13 <sup>A</sup>	19.49 ± 0.11 <sup>A</sup>	19.49 ± 0.19 <sup>A</sup>
Día 17	19.51 ± 0.08 <sup>A</sup>	19.51 ± 0.08 <sup>A</sup>	19.56 ± 0.10 <sup>A</sup>
Día 18	19.57 ± 0.07 <sup>A</sup>	19.58 ± 0.11 <sup>A</sup>	19.53 ± 0.13 <sup>A</sup>
Día 19	19.75 ± 0.16 <sup>A</sup>	19.77 ± 0.29 <sup>A</sup>	19.75 ± 0.38 <sup>A</sup>
Día 20	19.65 ± 0.19 <sup>A</sup>	19.72 ± 0.19 <sup>A</sup>	19.71 ± 0.18 <sup>A</sup>
Día 21	19.62 ± 0.16 <sup>A</sup>	19.64 ± 0.19 <sup>A</sup>	19.64 ± 0.21 <sup>A</sup>

\* Se restringió la ventilación durante los primeros 10 días de desarrollo embrionario.

\*\*Literales diferentes en superíndice al valor referido ± desviación estándar comparadas entre grupos en cada una de las filas correspondientes a cada día del periodo de incubación indican diferencia estadística significativa (P<0.05). N=4 máquinas Hova Bator núm 1583.

ND= no se registró la concentración de O<sub>2</sub> debido al sistema de ventilación utilizado.

**Cuadro 6.** Concentración de CO<sub>2</sub> registrado a partir del primer día de incubación de huevos de gallina ligera (*Gallus gallus*) de la estirpe *Bovans White* incubados con ventilación restringida durante la primera mitad del desarrollo embrionario.

Día de incubación	Ventilación M* (%)	Ventilación P* (%)	Ventilación estándar (%)
Día 1**	0 ± 0 <sup>ND**</sup>	0 ± 0 <sup>ND</sup>	1,282.5 ± 54.62
Día 2	0 ± 0 <sup>ND</sup>	0 ± 0 <sup>ND</sup>	1,577.5 ± 387.44
Día 3	0 ± 0 <sup>ND</sup>	0 ± 0 <sup>ND</sup>	1,330.0 ± 107.02
Día 4	0 ± 0 <sup>ND</sup>	0 ± 0 <sup>ND</sup>	1,345.0 ± 30.89
Día 5	0 ± 0 <sup>ND</sup>	0 ± 0 <sup>ND</sup>	1,306.67 ± 1015.63
Día 6	0 ± 0 <sup>ND</sup>	0 ± 0 <sup>ND</sup>	1,215.83 ± 148.35
Día 7	0 ± 0 <sup>ND</sup>	0 ± 0 <sup>ND</sup>	1,499.17 ± 55.99
Día 8	0 ± 0 <sup>ND</sup>	0 ± 0 <sup>ND</sup>	1,531.67 ± 97.96
Día 9	0 ± 0 <sup>ND</sup>	0 ± 0 <sup>ND</sup>	1,639.17 ± 80.95
Día 10	14,172.5 ± 4,487.5 <sup>A</sup>	12,007.5 ± 1436 <sup>A</sup>	1,981.67 ± 414.33 <sup>B</sup>
Día 11	1,924.17 ± 147.86 <sup>B</sup>	2,150 ± 121.95 <sup>A</sup>	1,985.83 ± 154.18 <sup>B</sup>
Día 12	2,030.83 ± 147.67 <sup>B</sup>	2,382.5 ± 501.5 <sup>A</sup>	2,066.67 ± 131.58 <sup>B</sup>
Día 13	2,171.67 ± 130.23 <sup>B</sup>	2,777.5 ± 815.36 <sup>A</sup>	2,250.83 ± 199.56 <sup>B</sup>
Día 14	2,739.17 ± 243.25 <sup>B</sup>	3,525.83 ± 769.71 <sup>A</sup>	2,797.5 ± 242.34 <sup>B</sup>
Día 15	2,740.83 ± 143.36 <sup>B</sup>	3,520.83 ± 480.04 <sup>A</sup>	2,941.67 ± 303.22 <sup>B</sup>
Día 16	2,965 ± 181.18 <sup>B</sup>	3,615 ± 614.33 <sup>A</sup>	3,155.83 ± 302.43 <sup>B</sup>
Día 17	3,039.17 ± 139.70 <sup>B</sup>	3,694.17 ± 538.25 <sup>A</sup>	3,230 ± 218.92 <sup>B</sup>
Día 18	3,117.5 ± 249.65 <sup>B</sup>	3,967.5 ± 1,112.12 <sup>A</sup>	3,375 ± 166.65 <sup>AB</sup>
Día 19	2,338.33 ± 296.97 <sup>A</sup>	2,323.33 ± 434.74 <sup>A</sup>	2,373.33 ± 346.52 <sup>A</sup>
Día 20	2,385.83 ± 292.43 <sup>A</sup>	2,855 ± 881.81 <sup>A</sup>	2,512.5 ± 362.26 <sup>A</sup>
Día 21	2,367.5 ± 449.93 <sup>B</sup>	3,365.83 ± 1,173.17 <sup>A</sup>	2,861.67 ± 187.60 <sup>AB</sup>

\* Se restringió la ventilación durante los primeros 10 días del desarrollo embrionario.

\*\*Literales diferentes en superíndice al valor referido ± desviación estándar comparadas entre grupos en cada una de las filas correspondientes en cada día del periodo de incubación indican diferencia estadística significativa (P<0.05). N=4 máquinas Hova Bator núm 1583.

ND= no se registró la concentración de CO<sub>2</sub> debido al sistema de ventilación utilizado.

**Cuadro 7.** Condiciones ambientales registradas en la sala a partir del primer día de incubación de huevos de gallina ligera de la estirpe *Bovans White* incubados con ventilación restringida durante la primera mitad del desarrollo embrionario.

<b>CONDICIONES AMBIENTALES</b>				
<b>Día de incubación</b>	<b>O<sub>2</sub> (%)</b>	<b>CO<sub>2</sub> (ppm)</b>	<b>Humedad Relativa (%)</b>	<b>Temperatura (°C)</b>
Día 1	20 ± 0.1 <sup>ABC *</sup>	1,016.67 ± 13.66 <sup>DEFG</sup>	44.66 ± 2.51 <sup>BCDE</sup>	24.83 ± 0.76 <sup>A</sup>
Día 2	19.76 ± 0.05 <sup>ABC</sup>	1,643.33 ± 477.19 <sup>AB</sup>	48.83 ± 2.75 <sup>ABCD</sup>	24.3 ± 0.6 <sup>A</sup>
Día 3	19.9 ± 0.1 <sup>ABC</sup>	1,070 ± 32.25 <sup>DEFG</sup>	52.66 ± 3.05 <sup>AB</sup>	23.96 ± 0.05 <sup>AB</sup>
Día 4	19.86 ± 0.05 <sup>ABC</sup>	1,070 ± 38.99 <sup>DEFG</sup>	53.66 ± 1.52 <sup>A</sup>	23.63 ± 0.47 <sup>AB</sup>
Día 5	19.93 ± 0.25 <sup>ABC</sup>	1,030 ± 240.5 <sup>DEFG</sup>	47 ± 2.64 <sup>ABCDE</sup>	24.06 ± 0.11 <sup>AB</sup>
Día 6	20.2 ± 0 <sup>A</sup>	1,073.33 ± 20.65 <sup>DEFG</sup>	46 ± 2 <sup>ABCDE</sup>	24.06 ± 0.4 <sup>AB</sup>
Día 7	19.9 ± 0.1 <sup>ABC</sup>	986.66 ± 60.88 <sup>DEFG</sup>	52 ± 1 <sup>AB</sup>	24.13 ± 0.32 <sup>AB</sup>
Día 8	19.7 ± 0.17 <sup>ABC</sup>	1,096.67 ± 42.27 <sup>DEFG</sup>	48 ± 6.55 <sup>ABCDE</sup>	23.6 ± 0.69 <sup>AB</sup>
Día 9	19.96 ± 0.11 <sup>ABC</sup>	1,206.67 ± 80.66 <sup>BCDEFG</sup>	45 ± 1 <sup>ABCDE</sup>	23.4 ± 0.79 <sup>AB</sup>
Día 10	19.96 ± 0.11 <sup>ABC</sup>	1,206.67 ± 80.66 <sup>BCDEFG</sup>	45.33 ± 2.51 <sup>ABCDE</sup>	23.83 ± 0.76 <sup>AB</sup>
Día 11	19.90 ± 0.1 <sup>ABC</sup>	1,273.33 ± 197.04 <sup>BCDEF</sup>	42.66 ± 2.08 <sup>CDE</sup>	23.16 ± 0.76 <sup>AB</sup>
Día 12	19.63 ± 0.38 <sup>C</sup>	1,366.67 ± 289.73 <sup>BCDE</sup>	51 ± 4.35 <sup>ABC</sup>	21.33 ± 0.57 <sup>B</sup>
Día 13	20.1 ± 0 <sup>ABC</sup>	900 ± 193.7 <sup>EFG</sup>	51 ± 4.35 <sup>ABC</sup>	21.33 ± 0.57 <sup>B</sup>
Día 14	19.8 ± 0.17 <sup>ABC</sup>	1,460 ± 233.92 <sup>BCD</sup>	45.66 ± 2.52 <sup>DE</sup>	23.53 ± 0.89 <sup>A</sup>
Día 15	19.7 ± 0.26 <sup>BC</sup>	1,676.67 ± 371.08 <sup>AB</sup>	41.33 ± 2.52 <sup>DE</sup>	24.1 ± 1.38 <sup>AB</sup>
Día 16	19.63 ± 0.23 <sup>C</sup>	2,066.67 ± 443.11 <sup>A</sup>	40 ± 1.73 <sup>E</sup>	24.73 ± 2.02 <sup>A</sup>
Día 17	19.86 ± 0.15 <sup>ABC</sup>	1,156.67 ± 10.32 <sup>CDEFG</sup>	42 ± 1 <sup>DE</sup>	24.53 ± 0.89 <sup>A</sup>
Día 18	19.86 ± 0.05 <sup>ABC</sup>	1,596.67 ± 423.54 <sup>ABC</sup>	42 ± 2 <sup>DE</sup>	24.66 ± 1.15 <sup>A</sup>
Día 19	20 ± 0 <sup>ABC</sup>	793.33 ± 177.61 <sup>FG</sup>	39.66 ± 1.15 <sup>E</sup>	25.33 ± 0.58 <sup>A</sup>
Día 20	20.16 ± 0.11 <sup>AB</sup>	723.33 ± 80.16 <sup>G</sup>	39.33 ± 0.58 <sup>E</sup>	25.66 ± 0.58 <sup>A</sup>
Día 21	19.83 ± 0.15 <sup>ABC</sup>	1,063.33 ± 152.4 <sup>DEFG</sup>	40 ± 3.6 <sup>E</sup>	25.46 ± 2.08 <sup>A</sup>

\*Literales diferentes en superíndice al valor referido ± desviación estándar comparadas entre cada día del periodo de incubación por columna indican diferencia estadística significativa (P<0.05). N=4 máquinas Hova Bator núm 1583.

**Cuadro 8.** Peso de embriones y órganos de huevos de gallina ligera (*Gallus gallus*) de la estirpe *Bovans White* de 10 días de desarrollo embrionario, incubados con ventilación restringida durante la primera mitad del proceso.

<b>Embriones 10 DE</b>	<b>Ventilación M* (g)</b>	<b>Ventilación P* (g)</b>	<b>Ventilación estándar (g)</b>
Embrión en base húmeda	2.38 ± 0.60 <sup>AB **</sup>	2.54 ± 0.31 <sup>A</sup>	2.20 ± 0.29 <sup>B</sup>
Embrión en base seca	0.2 ± 0.08 <sup>A</sup>	0.19 ± 0.07 <sup>A</sup>	0.15 ± 0.05 <sup>B</sup>
SV en base húmeda	18.01 ± 1.80 <sup>B</sup>	17.12 ± 2.19 <sup>B</sup>	19.53 ± 1.49 <sup>A</sup>
SV en base seca	6.47 ± 0.93 <sup>AB</sup>	6.35 ± 0.69 <sup>B</sup>	6.92 ± 1.06 <sup>A</sup>

\* Se restringió la ventilación durante los primeros 10 días de desarrollo embrionario.

\*\*Literales diferentes en superíndice al valor referido ± desviación estándar comparadas entre grupos en cada una de las filas indican diferencia estadística significativa (P<0.05).

N=20 embriones por tratamiento

**Cuadro 9.** Peso de embriones y órganos de huevos de gallina ligera (*Gallus gallus*) de la estirpe *Bovans White* de 12 días de desarrollo embrionario incubados con ventilación restringida durante la primera mitad del periodo de incubación.

<b>Embriones 12 DE</b>	<b>Ventilación M* (g)</b>	<b>Ventilación P* (g)</b>	<b>Ventilación estándar (g)</b>
Embrión en base húmeda	3.93 ± 0.70 <sup>B **</sup>	4.64 ± 0.46 <sup>A</sup>	3.71 ± 0.84 <sup>B</sup>
Embrión en base seca	0.28 ± 0.10 <sup>B</sup>	0.34 ± 0.10 <sup>A</sup>	0.30 ± 0.12 <sup>AB</sup>
SV en base húmeda	13.41 ± 2.24 <sup>B</sup>	15.17 ± 2.83 <sup>AB</sup>	15.81 ± 3.97 <sup>A</sup>
SV en base seca	5.26 ± 0.77 <sup>B</sup>	5.93 ± 1.36 <sup>AB</sup>	6.38 ± 1.35 <sup>A</sup>

\* Se restringió la ventilación durante los primeros 10 días de desarrollo embrionario.

\*\*Literales diferentes en superíndice al valor referido ± desviación estándar comparadas entre grupos en cada una de las filas indican diferencia estadística significativa (P<0.05).

N=20 embriones por tratamiento

**Cuadro 10.** Peso de embriones y órganos de huevos fértiles de gallina ligera (*Gallus gallus*) de la estirpe *Bovans White* de 14 días de desarrollo embrionario incubados con ventilación restringida durante la primera mitad del proceso de incubación.

<b>Embriones 14 DE</b>	<b>Ventilación M*</b> <b>(g)</b>	<b>Ventilación P*</b> <b>(g)</b>	<b>Ventilación estándar (g)</b>
Embrión en base húmeda	8.43 ± 1.10 <sup>AB **</sup>	9.37 ± 1.41 <sup>A</sup>	7.99 ± 1.50 <sup>B</sup>
Embrión en base seca	0.91 ± 0.22 <sup>AB</sup>	1.02 ± 0.33 <sup>A</sup>	0.86 ± 0.19 <sup>B</sup>
SV en base húmeda	14.49 ± 1.85 <sup>B</sup>	16.05 ± 1.84 <sup>A</sup>	15.64 ± 1.14 <sup>AB</sup>
SV en base seca	6.39 ± 0.65 <sup>B</sup>	7.11 ± 0.54 <sup>A</sup>	7.01 ± 0.83 <sup>AB</sup>
Peso del corazón	0.09 ± 0.01 <sup>AB</sup>	0.12 ± 0.01 <sup>A</sup>	0.06 ± 0.01 <sup>B</sup>
Peso del hígado	0.16 ± 0.04 <sup>A</sup>	0.17 ± 0.05 <sup>A</sup>	0.11 ± 0.03 <sup>B</sup>

\* Se restringió la ventilación durante los primeros 10 días de desarrollo embrionario.

\*\*Literales diferentes en superíndice al valor referido ± desviación estándar comparadas entre grupos en cada una de las filas indican diferencia estadística significativa (P<0.05).

N=20 embriones por tratamiento

**Cuadro 11.** Peso de embriones y órganos de huevos fértiles de gallina ligera (*Gallus gallus*) de la estirpe *Bovans White* de 16 días de desarrollo embrionario incubados con ventilación restringida durante la primera mitad de la incubación.

<b>Embriones 16 DE</b>	<b>Ventilación M*</b> <b>(g)</b>	<b>Ventilación P*</b> <b>(g)</b>	<b>Ventilación estándar (g)</b>
Embrión en base húmeda	13.04 ± 3.29 <sup>AB **</sup>	14.72 ± 1.29 <sup>A</sup>	12.83 ± 1.71 <sup>B</sup>
Embrión en base seca	1.93 ± 0.64 <sup>B</sup>	2.33 ± 0.43 <sup>A</sup>	1.71 ± 0.38 <sup>B</sup>
SV en base húmeda	13.56 ± 2.31 <sup>AB</sup>	14.18 ± 1.17 <sup>A</sup>	13.02 ± 2.32 <sup>B</sup>
SV en base seca	6.42 ± 1.74 <sup>AB</sup>	6.66 ± 1.12 <sup>A</sup>	6.11 ± 1.03 <sup>B</sup>
Peso del corazón	0.14 ± 0.03 <sup>A</sup>	0.14 ± 0.02 <sup>A</sup>	0.14 ± 0.02 <sup>A</sup>
Peso del hígado	0.33 ± 0.09 <sup>AB</sup>	0.35 ± 0.08 <sup>A</sup>	0.30 ± 0.05 <sup>B</sup>

\* Se restringió la ventilación durante los primeros 10 días de desarrollo embrionario.

\*\*Literales diferentes en superíndice al valor referido ± desviación estándar comparadas entre grupos en cada una de las filas indican diferencia estadística significativa (P<0.05).

N=20 embriones por tratamiento

**Cuadro 12.** Peso de embriones y órganos de huevos de gallina ligera (*Gallus gallus*) de la estirpe *Bovans White* de 18 días de desarrollo embrionario incubados con ventilación restringida durante la primera mitad del proceso.

<b>Embriones 18 DE</b>	<b>Ventilación M*</b> <b>(g)</b>	<b>Ventilación P*</b> <b>(g)</b>	<b>Ventilación estándar (g)</b>
Embrión en base húmeda	20.36 ± 2.68 <sup>B**</sup>	22.54 ± 1.53 <sup>A</sup>	19.52 ± 3.04 <sup>B</sup>
Embrión en base seca	3.49 ± 0.77 <sup>B</sup>	3.82 ± 0.31 <sup>A</sup>	3.42 ± 0.67 <sup>B</sup>
SV en base húmeda	11.78 ± 2.12 <sup>A</sup>	11.57 ± 1.79 <sup>A</sup>	11.54 ± 1.49 <sup>A</sup>
SV en base seca	5.76 ± 2.01 <sup>A</sup>	5.46 ± 1.30 <sup>A</sup>	5.44 ± 0.73 <sup>A</sup>
Peso del corazón	0.21 ± 0.03 <sup>A</sup>	0.21 ± 0.02 <sup>A</sup>	0.18 ± 0.02 <sup>B</sup>
Peso del hígado	0.46 ± 0.11 <sup>A</sup>	0.49 ± 0.10 <sup>A</sup>	0.38 ± 0.09 <sup>B</sup>

\* Se restringió la ventilación durante los primeros 10 días de desarrollo embrionario.

\*\*Literales diferentes en superíndice al valor referido ± desviación estándar comparadas entre grupos en cada una de las filas indican diferencia estadística significativa (P<0.05).

N=20 embriones por tratamiento.

**Cuadro 13.** Peso de canales y órganos de pollitos eclosionados de gallina ligera (*Gallus gallus*) de la estirpe *Bovans White* incubados con ventilación restringida durante la primera mitad del desarrollo embrionario.

<b>Pollitos eclosionados</b>	<b>Ventilación M*</b> <b>(g)</b>	<b>Ventilación P*</b> <b>(g)</b>	<b>Ventilación estándar (g)</b>
Canal en base húmeda	12.92 ± 1.49 <sup>A**</sup>	13.16 ± 0.99 <sup>A</sup>	13.06 ± 0.72 <sup>A</sup>
Canal en base seca	2.94 ± 0.35 <sup>A</sup>	2.91 ± 0.27 <sup>A</sup>	2.81 ± 0.24 <sup>A</sup>
SV residual base húmeda	5.94 ± 1.35 <sup>A</sup>	5.56 ± 1.17 <sup>A</sup>	6.01 ± 1.24 <sup>A</sup>
SV residual base seca	3.40 ± 0.86 <sup>A</sup>	2.95 ± 0.62 <sup>B</sup>	3.29 ± 0.66 <sup>A</sup>
Peso del corazón	0.27 ± 0.04 <sup>A</sup>	0.25 ± 0.05 <sup>AB</sup>	0.24 ± 0.05 <sup>B</sup>
Peso del hígado	0.78 ± 0.07 <sup>A</sup>	0.76 ± 0.05 <sup>A</sup>	0.75 ± 0.05 <sup>A</sup>

\* Se restringió la ventilación durante los primeros 10 días de desarrollo embrionario.

\*\*Literales diferentes en superíndice al valor referido ± desviación estándar comparadas entre grupos en cada una de las filas indican diferencia estadística significativa (P<0.05).

N=20 pollitos por tratamiento

**Cuadro 14.** Parámetros de incubación en huevos de gallina reproductora pesada de la estirpe Ross 308 (*Gallus gallus*) incubados con ventilación restringida durante la primera mitad del desarrollo embrionario.

Parámetro	Ventilación P* (%)	Ventilación estándar (%)
Fertilidad**	92.26 ± 7.87 <sup>A</sup>	92.26 ± 4.91 <sup>A</sup>
Incubabilidad**	66.93 ± 12.96 <sup>A</sup>	56.71 ± 10.19 <sup>B</sup>
Natalidad**	57.95 ± 9.33 <sup>A</sup>	53.18 ± 10.01 <sup>B</sup>
Mortalidad etapa I***	(16.32%) <sup>B</sup>	(17.62%) <sup>A</sup>
Mortalidad etapa II***	(9.33%) <sup>B</sup>	(17.09%) <sup>A</sup>
Mortalidad etapa III***	(7.43%) <sup>B</sup>	(17.35%) <sup>A</sup>
Mortalidad etapa IV***	(0%) <sup>B</sup>	(1.20%) <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)

\*\*\*Valor porcentual promedio de mortalidad embrionaria; valores en la misma fila con diferente letra superíndice son diferentes entre sí, prueba  $\chi^2$  (P < 0.05). N=4 máquinas HB 1583.

**Cuadro 15.** Peso del huevo, pérdida de peso y temperatura promedio durante la incubación de huevos de reproductoras pesadas Ross 308 (*Gallus gallus*) con ventilación restringida de CO<sub>2</sub> durante la primera mitad del DE.

Parámetro	Ventilación P*	Ventilación estándar
Peso promedio inicial del huevo (g)**	61.94 ± 3.59 <sup>A</sup>	61.43 ± 4.07 <sup>A</sup>
Peso promedio huevo día 10 (g)**	58.87 ± 3.75 <sup>A</sup>	58.23 ± 3.93 <sup>A</sup>
Pérdida de peso día 10 (%)**	5.57 ± 1.40 <sup>B</sup>	6.29 ± 1.29 <sup>A</sup>
Peso promedio huevo día 18 (g)**	55.29 ± 3.77 <sup>A</sup>	54.37 ± 3.94 <sup>A</sup>
Pérdida de peso día 18 (%)**	10.56 ± 1.97 <sup>B</sup>	11.45 ± 2.13 <sup>A</sup>
T <sup>o</sup> Celsius. Días 1-18 ***	37.27 ± 0.85 <sup>A</sup>	37.31 ± 0.84 <sup>A</sup>
T <sup>o</sup> Celsius Días 19-21 ***	36.88 ± 0.02 <sup>A</sup>	36.87 ± 0.05 <sup>A</sup>

\* 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= 4

\*\*\*Promedio de temperatura en grados centígrados por periodo

**Cuadro 16.** Inicio de picaje externo, término y duración de ventana de nacimientos de pollitos provenientes de huevos de la estirpe de gallina Ross 308 (*Gallus gallus*) incubados con ventilación restringida durante la primera mitad del desarrollo embrionario.

Parámetro	Ventilación P*	Ventilación estándar
Inicio PE (Horas)**	492.0 ± 0.0 <sup>B</sup>	503.5 ± 9.84 <sup>A</sup>
Término de nacimientos (Horas)**	541.0 ± 8.71 <sup>A</sup>	544.5 ± 4.43 <sup>A</sup>
Duración ventana (Horas)**	49.0 ± 8.07 <sup>A</sup>	41.0 ± 6.85 <sup>A</sup>

\* 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= 4 máquinas incubadoras HB 1583

**Cuadro 17.** Calidad, peso y longitud de los pollitos provenientes de huevos de gallina reproductora pesada de la estirpe Ross 308 (*Gallus gallus*) incubados con ventilación restringida durante la primera mitad del desarrollo embrionario.

Parámetro	Ventilación P*	Ventilación estándar
Excelente (%)** $\Psi$	0 ± 0	0 ± 0
Bueno (%)** $\Psi$	28.96 ± 11.22 <sup>A</sup>	24.30 ± 10.30 <sup>A</sup>
Regular (%)** $\Psi$	47.89 ± 13.71 <sup>A</sup>	20.83 ± 14.43 <sup>B</sup>
Deficiente (%)** $\Psi$	20.63 ± 13.89 <sup>B</sup>	48.61 ± 17.89 <sup>A</sup>
Inaceptable (%)** $\Psi$	2.50 ± 5.0 <sup>A</sup>	6.25 ± 7.21 <sup>A</sup>
Peso del pollito (g)** $\Phi$	43.41 ± 1.84 <sup>A</sup>	41.51 ± 1.58 <sup>B</sup>
Longitud del pollito (cm)** $\Phi$	17.48 ± 0.96 <sup>A</sup>	17.20 ± 0.60 <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= 4     $\Phi$  N= 32



**Cuadro 18.** Concentración de O<sub>2</sub> registrado a partir del primer día de incubación de huevos de gallina reproductora pesada (*Gallus gallus*) incubados con ventilación restringida durante la primera mitad del desarrollo embrionario.

Día de incubación	Ventilación P* (%)	Ventilación Estándar (%)
Día 1	0 ± 0 <sup>ND**</sup>	19.78 ± 0.14 <sup>***</sup>
Día 2	0 ± 0 <sup>ND</sup>	19.95 ± 0.12
Día 3	0 ± 0 <sup>ND</sup>	19.84 ± 0.13
Día 4	0 ± 0 <sup>ND</sup>	19.72 ± 0.14
Día 5	0 ± 0 <sup>ND</sup>	19.75 ± 0.06
Día 6	0 ± 0 <sup>ND</sup>	19.74 ± 0.06
Día 7	0 ± 0 <sup>ND</sup>	19.71 ± 0.08
Día 8	0 ± 0 <sup>ND</sup>	19.70 ± 0.05
Día 9	0 ± 0 <sup>ND</sup>	19.70 ± 0.18
Día 10	19.55 ± 0.20 <sup>B</sup>	19.85 ± 0.09 <sup>A</sup>
Día 11	19.60 ± 0.07 <sup>A</sup>	19.63 ± 0.08 <sup>A</sup>
Día 12	19.64 ± 0.11 <sup>A</sup>	19.73 ± 0.04 <sup>A</sup>
Día 13	19.50 ± 0.21 <sup>A</sup>	19.65 ± 0.16 <sup>A</sup>
Día 14	19.59 ± 0.09 <sup>A</sup>	19.61 ± 0.10 <sup>A</sup>
Día 15	19.71 ± 0.07 <sup>A</sup>	19.67 ± 0.06 <sup>A</sup>
Día 16	19.78 ± 0.10 <sup>A</sup>	19.80 ± 0.12 <sup>A</sup>
Día 17	19.75 ± 0.25 <sup>A</sup>	19.82 ± 0.04 <sup>A</sup>
Día 18	19.47 ± 0.22 <sup>A</sup>	19.51 ± 0.22 <sup>A</sup>
Día 19	19.35 ± 0.14 <sup>A</sup>	19.41 ± 0.17 <sup>A</sup>
Día 20	19.55 ± 0.11 <sup>A</sup>	19.48 ± 0.09 <sup>A</sup>
Día 21	19.45 ± 0.13 <sup>A</sup>	19.46 ± 0.07 <sup>A</sup>

\* Se restringió la ventilación durante los primeros 10 días de desarrollo embrionario.

\*\*ND= no se registró la concentración de O<sub>2</sub> debido a restricciones en la ventilación

\*\*\*Literales diferentes en superíndice al valor referido ± desviación estándar comparadas entre grupos en cada una de las filas indican diferencia estadística (P<0.05).

N=4 máquinas Hova Bator núm 1583.

**Cuadro 19.** Concentración de CO<sub>2</sub> en las máquinas incubadoras a partir del primer día de incubación de huevos de gallina de la estirpe Ross 308 (*Gallus gallus*) incubados con ventilación restringida durante la primera mitad del desarrollo embrionario.

Día de incubación	Ventilación P* (%)	Ventilación Estándar (%)
Día 1	0 ± 0 <sup>ND **</sup>	1,125.83 ± 87.32 <sup>***</sup>
Día 2	0 ± 0 <sup>ND</sup>	1,058.33 ± 184.87
Día 3	0 ± 0 <sup>ND</sup>	760.83 ± 62.01
Día 4	0 ± 0 <sup>ND</sup>	1,025.0 ± 198.78
Día 5	0 ± 0 <sup>ND</sup>	1,193.33 ± 58.51
Día 6	0 ± 0 <sup>ND</sup>	1,278.33 ± 229.74
Día 7	0 ± 0 <sup>ND</sup>	1,307.50 ± 232.85
Día 8	0 ± 0 <sup>ND</sup>	1,387.50 ± 81.47
Día 9	0 ± 0 <sup>ND</sup>	1,240.0 ± 93.71
Día 10	8,780.0 ± 1615.53 <sup>A</sup>	1,339.17 ± 159.85 <sup>B</sup>
Día 11	1,954.1 ± 140.4 <sup>A</sup>	1,901.67 ± 87.16 <sup>A</sup>
Día 12	2,025.83 ± 356.43 <sup>A</sup>	1,852.50 ± 235.99 <sup>A</sup>
Día 13	2,615.83 ± 243.02 <sup>A</sup>	2,345.83 ± 87.0 <sup>B</sup>
Día 14	3,447.50 ± 313.08 <sup>A</sup>	3,164.17 ± 212.23 <sup>B</sup>
Día 15	3,562.50 ± 265.26 <sup>A</sup>	3,338.33 ± 274.32 <sup>A</sup>
Día 16	3,886.67 ± 403.92 <sup>A</sup>	3,605.0 ± 332.79 <sup>A</sup>
Día 17	3,535.0 ± 257.13 <sup>A</sup>	3,333.33 ± 460.65 <sup>A</sup>
Día 18	3,956.67 ± 551.74 <sup>A</sup>	3,825.56 ± 568.22 <sup>A</sup>
Día 19	3,240.8 ± 311.78 <sup>A</sup>	3,107.78 ± 259.26 <sup>A</sup>
Día 20	3,130.0 ± 300.18 <sup>A</sup>	2,941.11 ± 528.85 <sup>A</sup>
Día 21	3,490.0 ± 267.61 <sup>A</sup>	2,934.44 ± 207.19 <sup>B</sup>

\* Se restringió la ventilación durante los primeros 10 días de desarrollo embrionario.

\*\*ND= no se determinó la concentración de CO<sub>2</sub> debido a ventilación limitada

\*\*\*Literales diferentes en superíndice al valor referido ± desviación estándar comparadas entre grupos en cada una de las filas indican diferencia estadística (P<0.05).

N=4 máquinas Hova Bator núm 1583.

**Cuadro 20.** Condiciones ambientales en la sala durante la incubación de huevos de gallina reproductora pesada de la estirpe Ross 308 (*Gallus gallus*) incubados con ventilación restringida durante la primera mitad del desarrollo embrionario.

<b>CONDICIONES AMBIENTALES</b>				
<b>Día de incubación</b>	<b>O<sub>2</sub> (%)</b>	<b>CO<sub>2</sub> (ppm)</b>	<b>Humedad Relativa (%)</b>	<b>Temperatura (°C)</b>
Día 1	19.90 ± 0.2 <sup>A *</sup>	993.3 ± 85.04 <sup>ABCD</sup>	44.00 ± 3.46 <sup>FGH</sup>	25.63 ± 1.33 <sup>AB</sup>
Día 2	20.06 ± 0.05 <sup>A</sup>	1,473.3 ± 340.78 <sup>A</sup>	42.73 ± 3.90 <sup>GH</sup>	23.83 ± 2.56 <sup>AB</sup>
Día 3	20.0 ± 0 <sup>A</sup>	533.3 ± 46.18 <sup>D</sup>	40.33 ± 1.52 <sup>H</sup>	26.73 ± 0.40 <sup>A</sup>
Día 4	19.80 ± 0.1 <sup>A</sup>	900.0 ± 70.0 <sup>BCD</sup>	43.0 ± 2.64 <sup>GH</sup>	25.86 ± 1.26 <sup>AB</sup>
Día 5	19.83 ± 0.11 <sup>A</sup>	950.0 ± 98.48 <sup>BCD</sup>	46.33 ± 1.52 <sup>FGH</sup>	25.83 ± 1.25 <sup>AB</sup>
Día 6	19.86 ± 0.05 <sup>A</sup>	963.33 ± 35.11 <sup>BCD</sup>	46.0 ± 4.58 <sup>FGH</sup>	25.40 ± 1.21 <sup>AB</sup>
Día 7	19.83 ± 0.05 <sup>A</sup>	940.0 ± 165.22 <sup>BCD</sup>	51.33 ± 5.77 <sup>CDEFG</sup>	25.20 ± 1.08 <sup>AB</sup>
Día 8	19.86 ± 0.05 <sup>A</sup>	953.14 ± 15.17 <sup>BCD</sup>	53.66 ± 2.08 <sup>BCDEF</sup>	24.46 ± 0.45 <sup>AB</sup>
Día 9	19.90 ± 0.10 <sup>A</sup>	1,473.33 ± 340.78 <sup>A</sup>	50.0 ± 0.0 <sup>DEFGH</sup>	24.63 ± 0.64 <sup>AB</sup>
Día 10	19.96 ± 0.11 <sup>A</sup>	1,206.67 ± 90.18 <sup>ABC</sup>	49.0 ± 2.0 <sup>EFGH</sup>	25.73 ± 1.41 <sup>AB</sup>
Día 11	19.86 ± 0.05 <sup>A</sup>	1,003.33 ± 35.11 <sup>ABCD</sup>	50.0 ± 3.60 <sup>DEFGH</sup>	24.30 ± 1.12 <sup>AB</sup>
Día 12	19.90 ± 0 <sup>A</sup>	1,000.0 ± 36.05 <sup>ABCD</sup>	56.66 ± 4.16 <sup>ABCDE</sup>	23.66 ± 1.52 <sup>AB</sup>
Día 13	19.86 ± 0.11 <sup>A</sup>	1,056.67 ± 40.41 <sup>ABC</sup>	66.0 ± 2.64 <sup>A</sup>	22.83 ± 0.76 <sup>B</sup>
Día 14	19.80 ± 0 <sup>A</sup>	1,260.0 ± 121.65 <sup>AB</sup>	63.66 ± 1.52 <sup>A</sup>	23.50 ± 1.32 <sup>AB</sup>
Día 15	19.83 ± 0.20 <sup>A</sup>	1,206.67 ± 95.04 <sup>ABC</sup>	62.66 ± 1.52 <sup>AB</sup>	23.23 ± 0.25 <sup>B</sup>
Día 16	20.0 ± 0 <sup>A</sup>	770.0 ± 43.58 <sup>CD</sup>	57.33 ± 5.13 <sup>ABCDE</sup>	23.46 ± 0.45 <sup>AB</sup>
Día 17	19.86 ± 0.11 <sup>A</sup>	890.0 ± 268.88 <sup>BCD</sup>	57.66 ± 0.57 <sup>ABCDE</sup>	23.33 ± 0.57 <sup>AB</sup>
Día 18	19.83 ± 0.05 <sup>A</sup>	1,240.0 ± 233.88 <sup>ABC</sup>	59.0 ± 2.64 <sup>ABCD</sup>	24.23 ± 0.75 <sup>AB</sup>
Día 19	19.96 ± 0.05 <sup>A</sup>	920.0 ± 225.23 <sup>BCD</sup>	61.33 ± 1.52 <sup>AB</sup>	24.03 ± 0.05 <sup>AB</sup>
Día 20	19.86 ± 0.05 <sup>A</sup>	1,040.0 ± 65.57 <sup>ABCD</sup>	60.66 ± 2.30 <sup>ABC</sup>	23.03 ± 0.95 <sup>B</sup>
Día 21	19.83 ± 0.05 <sup>A</sup>	1,063.33 ± 152.4 <sup>DEFG</sup>	57.33 ± 4.72 <sup>ABCDE</sup>	22.83 ± 0.57 <sup>B</sup>

\*Literales diferentes en superíndice al valor referido ± desviación estándar comparadas entre cada día del periodo de incubación por columna indican diferencia estadística significativa (P<0.05). N=4 máquinas Hova Bator núm 1583.

**Cuadro 21.** Peso de embriones y órganos al día 10 del desarrollo embrionario de huevos de gallina reproductora pesada de la estirpe Ross 308 (*Gallus gallus*) incubados con ventilación restringida durante la primera mitad de la incubación.

Embriones 10 DE	Ventilación P* (g)	Ventilación estándar (g)
Embrión en base húmeda	2.75 ± 0.23 <sup>A **</sup>	2.44 ± 0.42 <sup>B</sup>
Embrión en base seca	0.25 ± 0.05 <sup>A</sup>	0.23 ± 0.04 <sup>A</sup>
SV en base húmeda	18.49 ± 3.38 <sup>B</sup>	20.26 ± 1.96 <sup>A</sup>
SV en base seca	6.92 ± 0.43 <sup>B</sup>	7.20 ± 0.45 <sup>A</sup>

\* Se restringió la ventilación durante los primeros 10 días de desarrollo embrionario.

\*\*Literales diferentes en superíndice al valor referido ± desviación estándar comparadas entre grupos en cada una de las filas indican diferencia estadística significativa (P<0.05).

N=20 embriones por tratamiento

**Cuadro 22.** Pesos de embriones y órganos al día 12 del desarrollo embrionario de huevos de gallina reproductora pesada de la estirpe Ross 308 (*Gallus gallus*) incubados con ventilación restringida durante la primera mitad de la incubación.

Embriones 12 DE	Ventilación P* (g)	Ventilación estándar (g)
Embrión en base húmeda	5.82 ± 0.49 <sup>A **</sup>	4.61 ± 1.05 <sup>B</sup>
Embrión en base seca	0.51 ± 0.07 <sup>A</sup>	0.42 ± 0.09 <sup>B</sup>
SV en base húmeda	17.60 ± 1.06 <sup>A</sup>	18.01 ± 1.04 <sup>A</sup>
SV en base seca	7.93 ± 0.86 <sup>A</sup>	8.58 ± 1.24 <sup>A</sup>
Peso del corazón	0.067 ± 0.01 <sup>A</sup>	0.054 ± 0.01 <sup>B</sup>
Peso del hígado	0.107 ± 0.01 <sup>A</sup>	0.089 ± 0.02 <sup>B</sup>

\* Se restringió la ventilación durante los primeros 10 días de desarrollo embrionario.

\*\*Literales diferentes en superíndice al valor referido ± desviación estándar comparadas entre grupos en cada una de las filas indican diferencia estadística significativa (P<0.05).

N=20 embriones por tratamiento

**Cuadro 23.** Pesos de embriones y órganos al día 14 del desarrollo embrionario de huevos de gallina reproductora pesada de la estirpe Ross 308 (*Gallus gallus*) incubados con ventilación restringida durante la primera mitad de la incubación.

<b>Embriones 14 DE</b>	<b>Ventilación P* (g)</b>	<b>Ventilación estándar (g)</b>
Embrión en base húmeda	9.90 ± 1.14 <sup>A **</sup>	9.48 ± 1.92 <sup>B</sup>
Embrión en base seca	0.93 ± 0.30 <sup>A</sup>	0.89 ± 0.30 <sup>B</sup>
SV en base húmeda	15.90 ± 2.68 <sup>B</sup>	16.47 ± 1.78 <sup>A</sup>
SV en base seca	7.81 ± 1.0 <sup>B</sup>	8.14 ± 0.71 <sup>A</sup>
Peso del corazón	0.125 ± 0.02 <sup>A</sup>	0.091 ± 0.02 <sup>B</sup>
Peso del hígado	0.220 ± 0.04 <sup>A</sup>	0.194 ± 0.02 <sup>B</sup>

\* Se restringió la ventilación durante los primeros 10 días de desarrollo embrionario.

\*\*Literales diferentes en superíndice al valor referido ± desviación estándar comparadas entre grupos en cada una de las filas indican diferencia estadística significativa (P<0.05).

N=20 embriones por tratamiento

**Cuadro 24.** Peso de embriones y órganos al día 16 del desarrollo embrionario de huevos de gallina reproductora pesada de la estirpe Ross 308 (*Gallus gallus*) incubados con ventilación restringida durante la primera mitad de la incubación.

<b>Embriones 16 DE</b>	<b>Ventilación P* (g)</b>	<b>Ventilación estándar (g)</b>
Embrión en base húmeda	17.76 ± 1.95 <sup>A **</sup>	16.39 ± 2.43 <sup>B</sup>
Embrión en base seca	2.51 ± 0.40 <sup>A</sup>	2.14 ± 0.47 <sup>B</sup>
SV en base húmeda	15.02 ± 1.69 <sup>B</sup>	16.53 ± 2.28 <sup>A</sup>
SV en base seca	6.71 ± 0.89 <sup>A</sup>	7.03 ± 0.99 <sup>A</sup>
Peso del corazón	0.14 ± 0.02 <sup>A</sup>	0.12 ± 0.02 <sup>B</sup>
Peso del hígado	0.32 ± 0.05 <sup>A</sup>	0.30 ± 0.06 <sup>B</sup>

\* Se restringió la ventilación durante los primeros 10 días de desarrollo embrionario.

\*\*Literales diferentes en superíndice al valor referido ± desviación estándar comparadas entre grupos en cada una de las filas indican diferencia estadística significativa (P<0.05).

N=20 embriones por tratamiento

**Cuadro 25.** Peso de embriones y órganos al día 18 del desarrollo embrionario de huevos de gallina reproductora pesada de la estirpe Ross 308 (*Gallus gallus*) incubados con ventilación restringida durante la primera mitad del proceso incubatorio.

<b>Embriones 18 DE</b>	<b>Ventilación P* (g)</b>	<b>Ventilación estándar (g)</b>
Embrión en base húmeda	24.46 ± 2.34 <sup>A **</sup>	22.10 ± 3.60 <sup>B</sup>
Embrión en base seca	4.25 ± 0.50 <sup>A</sup>	3.75 ± 0.77 <sup>B</sup>
SV en base húmeda	14.11 ± 1.96 <sup>B</sup>	14.76 ± 2.11 <sup>A</sup>
SV en base seca	6.68 ± 1.01 <sup>B</sup>	7.35 ± 1.01 <sup>A</sup>
Peso del corazón	0.24 ± 0.03 <sup>A</sup>	0.24 ± 0.02 <sup>A</sup>
Peso del hígado	0.53 ± 0.11 <sup>A</sup>	0.42 ± 0.10 <sup>B</sup>

\* Se restringió la ventilación durante los primeros 10 días de desarrollo embrionario.

\*\*Literales diferentes en superíndice al valor referido ± desviación estándar comparadas entre grupos en cada una de las filas indican diferencia estadística significativa (P<0.05).

N=20 embriones por tratamiento

**Cuadro 26.** Peso de canales y órganos de pollitos eclosionados de gallina reproductora pesada de la estirpe Ross 308 (*Gallus gallus*) incubados con ventilación restringida durante la primera mitad del desarrollo embrionario.

<b>Pollitos eclosionados</b>	<b>Ventilación P* (g)</b>	<b>Ventilación Estándar (g)</b>
Canal en base húmeda	18.45 ± 2.15 <sup>A **</sup>	17.15 ± 1.53 <sup>B</sup>
Canal en base seca	3.72 ± 0.44 <sup>A</sup>	3.53 ± 0.34 <sup>B</sup>
SV residual en base húmeda	7.17 ± 1.13 <sup>B</sup>	7.86 ± 1.06 <sup>A</sup>
SV residual en base seca	3.68 ± 0.55 <sup>B</sup>	4.19 ± 0.81 <sup>A</sup>
Peso del corazón	0.35 ± 0.04 <sup>A</sup>	0.32 ± 0.04 <sup>B</sup>
Peso del hígado	0.95 ± 0.09 <sup>A</sup>	0.90 ± 0.11 <sup>B</sup>

\* Se restringió la ventilación durante los primeros 10 días de desarrollo embrionario.

\*\*Literales diferentes en superíndice al valor referido ± desviación estándar comparadas entre grupos en cada una de las filas indican diferencia estadística significativa (P<0.05).

N=20 pollitos por tratamiento