



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN
Y SALUD ANIMAL**

**EFFECTO DE DIFERENTES CONCENTRACIONES
DE BIÓXIDO DE CARBONO Y OXÍGENO DURANTE LA
INCUBACIÓN, CALIDAD DEL POLLITO RECIÉN NACIDO
Y DESEMPEÑO PRODUCTIVO**

T E S I S

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

PRESENTA:

JOSÉ ALEJANDRO HERNÁNDEZ FLORES

TUTOR: DR. JOSÉ ANTONIO QUINTANA LÓPEZ

COMITE TUTORAL: DR. CARLOS LÓPEZ COELLO

DR. ARIEL ORTIZ MUÑIZ

MÉXICO, D.F.

2007



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.

DEDICATORIA

A mis padres por apoyarme a seguir adelante, por su cariño y educación que me forjó a ser la persona que soy. A mi papá Daniel Hernández Rolón, ejemplo de trabajo constante, inteligencia y búsqueda por una mejor vida a su familia, a mi madre Flor Flores Torres por todo el amor que me ha brindado y tenerme tan cerca de ella.

A mi hermano César, por la ayuda que me ha brindado y ser un gran respaldo en esta etapa académica. A mis hermanos Daniel y Sergio, por preocuparse por mi y apoyarme estando lejos de casa.

A mis tíos Antonio Hernández y Conchita Olicón por la gran ayuda que me dieron al tenerme como un miembro mas de su familia, por la paciencia y sus enseñanzas. A mis primos Toño, Norma y Omar por su apoyo en estos últimos años.

A un gran amigo, Jesús Reyes por brindarme su amistad desde aquella vez en la clase de animales de compañía, por todos los buenos momentos y por demostrarme ser una persona con un carácter fuerte pero a la vez con enorme corazón en el que he sabido entrar como sus mejores amigos.

A Nancy y Vianca por tantas risas y momentos agradables compartidos, por ser participe de una etapa importante en mi vida, y por la confianza que me dan.

AGRADECIMIENTOS

A mis asesores el Dr. José A. Quintana, por darme confianza desde la primera vez, por apoyarme en adquirir conocimientos y experiencias que fortalecían mis estudios; al Dr. López Coello, por los consejos y el gran aporte para la realización de este trabajo y al Dr. Ariel Ortiz, por ser parte del proyecto y culminación del trabajo.

A los miembros de mi jurado, el Dr. Ernesto Ávila y Dr. Mariano González por su disposición en la culminación de este proyecto de tesis.

A todas las personas que conforman el Departamento de Producción Animal: Aves, por el apoyo y respaldo recibido, en especial a la Dra. Casaubon, Dr. Rubén M y Dra. Charles quienes en algún momento me ayudaron en el desarrollo de esta tesis. A Elizabeth la secretaria, por ayudarme cuantas veces lo necesite.

Al Dr. Carlos Vásquez, quien me ayudo en el desarrollo del análisis estadístico de los resultados.

A CRYOINFRA por otorgar el apoyo financiero para llevar a cabo esta tesis; a los Ingenieros: José Luis Núñez, Eduardo Téllez, Cristian Téllez, Flavio Hernández y Juan Rivera quienes fueron parte importante para el funcionamiento del equipo de incubación.

Al programa de becas del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT).

A laboratorio Merial México, a los Drs: Bernardo Romero, Ramón Ochoa y Ulises Revelo por darme la disposición y facilidad de poder continuar con los trámites finales de titulación.

A todas las personas que me ayudaron en realizar el experimento de incubación y engorda de los pollos: Sonia, Ephraim, Julieta, Memo y Elena, quienes me apoyaron cuando mas lo necesite. A Iván, por apoyarme cuando estabas ocupado con lo mismo.

A los amigos del Departamento de Aves: Nancy, Jesús, Vianca, Claudia, Jessica, Margarita, Briseida, Ulises por brindarme su amistad desde el inicio de conocerlos, por todos los buenos momentos que pasamos juntos en los laboratorios, fuera de ellos y en el área de posgrado.

A todas aquellas personas que colaboraron con el desarrollo y culminación de esta maestría, gracias.

DECLARACIÓN

Doy mi consentimiento a la División de Estudios de Posgrado e Investigación de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional Autónoma de México, para que ésta tesis sea disponible para cualquier tipo de reproducción e intercambio bibliotecario.

MVZ. JOSÉ ALEJANDRO HERNÁNDEZ FLORES

CONTENIDO

DEDICATORIA	I
AGRADECIMIENTOS	II
DECLARACIÓN	IV
RESUMEN	V
ABSTRACT	VII
CONTENDIO	IX
INDÍCE DE CUADRO	XI
1. INTRODUCCIÓN	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA	2
2.1 Incubación y calidad del pollito	4
2.2 Cambio en el manejo embrionario	4
2.3 Respiración embrionaria	4
2.4 Oxígeno en el proceso de incubación	6
2.5 Bióxido de carbono en la incubación	7
2.6 Calidad del pollito recién nacido	10
3. JUSTIFICACIÓN	10
4. OBJETIVOS GENERALES	11
5. HIPOTESIS	11
6. EXPERIMENTO 1	12
6.1 Efecto de diferentes concentraciones de bióxido de carbono y oxígeno durante la incubación y calidad del pollito recién nacido	12
6.2 Objetivo	12
6.3 Material y métodos	12
6.3.1 Material biológico	13
6.3.2 Incubación	13
6.3.3 Nacimiento	14
6.3.4 Evaluación zootécnica	14
6.3.5 Análisis estadístico	15
6.4 Resultados	15
6.5 Discusión	17

7. EXPERIMENTO 2	20
7.1 Efecto de diferentes concentraciones de bióxido de carbono y oxígeno durante la incubación, calidad del pollito y desempeño productivo	20
7.2 Objetivo	20
7.3 Material y métodos	20
7.3.1 Material biológico	21
7.3.2 Incubación	21
7.3.3 Nacimiento	22
7.3.4 Evaluación zootécnica	22
7.3.5 Análisis estadístico	22
7.4 Resultados	23
7.5 Discusión	24
8. EXPERIMENTO 3	26
8.1 Efecto del aporte de 26 % de oxígeno en dos etapas de la incubación, en el pollito recién nacido y al finalizar el ciclo productivo de 45 días	26
8.2 Objetivo	26
8.3 Material y métodos	26
8.3.1 Material biológico	27
8.3.2 Incubación	27
8.3.3 Análisis estadístico	28
8.4 Resultados	28
8.5 Discusión	29
9. CONCLUSIONES	31
10. ANEXOS Y APENDICES	33
11. LITERATURA CITADA	39

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Porcentaje de incubabilidad real con tres concentraciones de O ₂ y tres concentraciones de CO ₂ .	32
Cuadro 2. Mortalidad embrionaria con diferentes concentraciones de O ₂ y CO ₂ durante el proceso de incubación.	32
Cuadro 3. Porcentaje acumulado de pollos nacidos con diferentes concentraciones de O ₂ y CO ₂ .	33
Cuadro 4. Resultados de la evaluación física de los pollitos recién nacidos con diferentes concentraciones de CO ₂ y O ₂ .	33
Cuadro 5. Efecto de tres concentraciones de CO ₂ y O ₂ en el peso corporal semanal (g).	34
Cuadro 6. Conversión alimenticia y mortalidad a las 6 semanas de edad con diferentes concentraciones de CO ₂ y O ₂ .	34
Cuadro 7. Resultados de incubabilidad real y mortalidad embrionaria por etapas de incubación.	35
Cuadro 8. Resultados de peso semanal (g) de cada tratamiento.	35
Cuadro 9. Consumo de alimento (g), conversión alimenticia (g/g) y mortalidad (%) a las 6.5 semanas de engorda.	35
Cuadro 10. Resultados de incubabilidad real de acuerdo a la concentración de O ₂ y al fin zootécnico de la gallinas.	36
Cuadro 11. Resultados de mortalidad embrionaria (%) por etapas de incubación con diferentes concentraciones de O ₂ y con diferentes estirpes de gallinas.	36

RESUMEN

EFFECTO DE DIFERENTES CONCENTRACIONES DE BIÓXIDO DE CARBONO Y OXÍGENO DURANTE LA INCUBACIÓN, CALIDAD DEL POLLITO RECIÉN NACIDO Y DESEMPEÑO PRODUCTIVO

Se realizaron 3 experimentos de incubación con diferentes concentraciones de oxígeno (O_2) y/o bióxido de carbono (CO_2), a una altitud de 2, 275 msnm. En el **experimento 1**, se evaluó el efecto de tres concentraciones de O_2 ; 21, 23.5 y 26 % y tres concentraciones de CO_2 ; 3000, 3750 y 4500 ppm en la incubación de huevo de gallina reproductora pesada, sobre la incubabilidad y mortalidad embrionaria, evaluación del pollito recién nacido y desempeño productivo a las 6 semanas de edad, utilizando 6 incubadoras marca Brinsea. Se evaluaron 5 tratamientos en tres ocasiones: A.- 21% de O_2 + 3000 ppm de CO_2 , B.- 21 % de O_2 + 4500 ppm de CO_2 , C.- 23.5 % de O_2 + 3750 ppm de CO_2 (se utilizaron en dos incubadoras de cada evento), D.- 26 % de O_2 + 3000 ppm de CO_2 y E.- 26 % de O_2 + 4500 ppm de CO_2 . Se determinó el tiempo de incubación mediante el registro de los pollos nacidos cada 6 horas a partir del día 19 de incubación. Al nacer cada pollito se identificó y se evaluó características de calidad; posteriormente los pollos se alojaron bajo condiciones similares por 6 semanas hasta finalizar el ciclo de producción. Se empleó un diseño de bloques fijos, utilizando la prueba de Tukey ($P < 0.05$) para la comparación de medias. El análisis estadístico indica que existe una mayor incubabilidad real en el tratamiento D, así como menor mortalidad embrionaria en la Etapa III. A las 492 hrs. de incubación el porcentaje acumulado de pollitos nacidos fue mayor con la concentración de 26 % de O_2 y no hubo efecto de interacción con el CO_2 . Los resultados de calidad del pollito recién nacido indican diferencias significativas en longitud del pollo, tarso y calidad, observándose menor respuesta en los tratamientos A y B. Al finalizar el ciclo productivo se obtuvo un mayor peso en los tratamientos D y E y menor mortalidad en el C. Este estudio permite concluir que el suplemento de 26 % de O_2 a la altura de 2,275 msnm incrementa la incubabilidad (27.6%), acelerando el proceso de nacimiento, mejoró las características físicas del pollo recién nacido y se obtiene un mayor peso a las 6 semanas. En el **experimento 2**, se evaluó el efecto de la adición de O_2 en dos etapas de la incubación de huevo de gallinas de raza pesada, sobre la incubabilidad y mortalidad embrionaria, así como los parámetros productivos durante la

engorda. Se hicieron tres tratamientos con dos repeticiones cada uno; A.- 26% de O₂ suministrado del 1 día hasta el onceavo día de incubación, B.- 26% de O₂ del doceavo hasta el 21 día de incubación y C.- como control, quedando bajo condiciones atmosféricas sin O₂ extra. Al nacer cada pollito se identificó y posteriormente se alojaron bajo condiciones similares por 6.5 semanas hasta finalizar el ciclo de producción. Los resultados fueron analizados con un diseño de bloques fijos, utilizando la prueba de Tukey (P<0.05) para la comparación de medias. No se encontraron diferencias significativas para incubabilidad, así como en la Etapa II y III de mortalidad embrionaria, sin embargo se obtuvieron diferencias significativas de menor mortalidad en la Etapa I del tratamiento A. Durante las primeras tres semanas de edad se observó un mayor peso en el tratamiento A, no observándose diferencias significativas en el peso de finalización. La conversión alimenticia y mortalidad total fueron numéricamente menor en el tratamiento A. Los resultados indican que la adición de O₂ durante los primeros 11 días de incubación reduce estadísticamente la mortalidad embrionaria temprana y de forma numérica la conversión alimenticia y mortalidad al finalizar el ciclo productivo y se obtiene un mayor peso a las 6.5 semanas de edad. En el **experimento 3**, se evaluó el efecto de 21 %, 23.5 % y 26 % de O₂ con huevo proveniente gallinas reproductoras ligeras (GRL) y pesadas (GRP), mediante la determinación de la incubabilidad y mortalidad embrionaria. Se hicieron 2 experimentos con 3 tratamientos en dos eventos consecutivos, empleando un diseño factorial 3x2 donde los factores fueron las tres concentraciones de O₂ (21, 23.5 y 26 %) y los fines zootécnicos de las gallinas (ligeras y pesadas). Se encontraron diferencias significativas en incubabilidad entre las concentraciones de O₂, observándose una diferencia de 34.6 % (P<0.05) a favor de 26 % de O₂. Para la mortalidad embrionaria se observan diferencias estadísticas entre los diferentes fines zootécnicos de gallinas, en la Etapa II se observa una menor mortalidad con las gallinas reproductoras ligeras y se observa menor mortalidad en la Etapa III con las gallinas reproductoras pesadas. Se concluye que 23.5 y 26 % de O₂ incrementa aproximadamente 34 % la incubabilidad y disminuye la mortalidad embrionaria en las dos últimas etapas de la incubación, además se tiene una respuesta favorable en la mortalidad embrionaria con la aplicación de 23.5 y 26 % de O₂.

Palabras clave: Incubación, Bióxido de carbono, Oxígeno, Evaluación del pollito, Parámetros Productivos

ABSTRACT

EFFECT OF DIFFERENT CARBON DIOXIDE AND OXYGEN CONCENTRATIONS DURING INCUBATION, ON NEWBORN CHICK QUALITY AND YIELD

Three incubation experiments were carried out, with different concentrations of oxygen (O₂) and/or carbon dioxide (CO₂), at an altitude of 2,275 momsl. In **experiment 1**, the effect of three O₂ concentrations, 21, 23.5 and 26 % and three concentrations of CO₂, 3000, 3750 and 4500 ppm were evaluated during incubation of broiler breeder eggs for their effect on hatchability and embryo mortality, newborn chick grade and yield at 6 weeks, using 6 Brinsea incubators. Five treatments with three repetitions were carried out: A.- 21% O₂ + 3000 ppm CO₂, B.- 21 % O₂ + 4500 ppm CO₂, C.- 23.5 % O₂ + 3750 ppm CO₂ (two incubators were used for each repetition), D.- 26 % O₂ + 3000 ppm CO₂ and E.- 26% O₂ + 4500 ppm CO₂. Incubation time was established by recording hatched chicks every 6 hours beginning on incubation day 19. Each chick that was born was identified and evaluated for quality characteristics. After that the chicks were lodged in similar conditions for 6 weeks until the end of the production cycle. Means were compared using Tukey's test, with fixed blocks design (P<0.05). The statistical analysis indicated that there is a higher true hatchability with treatment D, as well as less embryo mortality in Stage III. At 492 incubation hours, the percentage of hatched chicks was greater at 26% O₂ concentration and there wasn't an interaction effect with CO₂. Quality grade results of newborn chicks indicated significant differences in chick and tarsus length as well as quality. The worst results were in treatments A and B. At the end of the productive cycle there was higher weight in treatments D and E and less mortality in C. This study allows us to conclude that 26 % O₂ at 2,275 momsl increases hatchability (27.6%), accelerating the hatching process; physical characteristics of the newborn chick were improved and there was a higher final weight. In **experiment 2**, the effect on hatchability and embryo death, as well as the productive parameters during growth, of O₂ addition during two stages of broiler breeder eggs incubation was observed. Three treatments with two repetitions each were performed: A.- 26% O₂ supplied on incubation day 1 until day 11, B.- 26% O₂ from incubation day 11 until day 21, and C.- as control was left under environmental conditions. At birth, chicks were identified; after that the chicks were lodged

under similar conditions during 6.5 weeks until the end of the productive cycle. Results were analyzed with a design of fixed blocks, using Tukey's test ($P < 0.05$) to compare means. There were no significant differences for true hatchability, as well as Stage II and III embryo mortality. Nevertheless, there were significant differences of lower mortality in Stage I of treatment A. During the first three weeks of age a higher weight was observed in treatment A, and no significant differences were observed in the final weight. Feed conversion and total mortality were numerically lower for treatment A. The results indicate that the addition of O_2 during the first 11 incubation days statistically reduces early embryo mortality and numerically feed conversion and mortality at the end of the productive cycle. In **experiment 3**, the effect of 21 %, 23.5 % and 26 % O_2 was evaluated, with two breeds of hens (layer and broiler breeders) by determining hatchability and embryo mortality. Two experiments with 3 treatments each in two consecutive events were done, using a 3x2 factorial design where the factors were the three O_2 concentrations (21, 23.5 y 26 %) and the lines of multiplier breeders that provided the fertile eggs. There were significant differences, 34.6% higher hatchability with 26 % O_2 concentration ($P < 0.05$). Statistical differences were found for embryo mortality between breeds of hens, in Stage II there was less mortality for the layer breed and lower mortality in Stage III for the broiler breed. It is concluded that 23.5 and 26 % O_2 increases approximately 34% hatchability and reduces embryo mortality during the last two stages of incubation. Also for the broiler breed there was less embryo mortality with 23.5% and 26% more O_2 .

Key words: Incubation, Carbon dioxide, Oxygen, Chick grading, yield

1. INTRODUCCIÓN

El aire es un fluido que forma la atmósfera. Está constituido por una mezcla de gases, vapor de agua y pequeñas partículas de polvo que se pueden dividir en componentes constantes y accidentales. Cuando está limpio y seco, contiene componentes constantes: un 78% de nitrógeno, un 21% de oxígeno y el 1% restante formado por bióxido de carbono y otros gases como argón, neón, hidrógeno y helio. Los componentes accidentales son aquellos gases y vapores característicos del aire de una determinada localidad: tales como los óxidos de nitrógeno procedentes de las descargas eléctricas durante las tormentas, el óxido de carbono procedente de los gases de escape de los motores de combustión interna.¹

El aire varía en su densidad de acuerdo con la altitud sobre el nivel del mar, siendo mas denso a mayor altitud, debido a que el aire pesa menos en altas altitudes y produce menor presión barométrica. Además cuando se expande, como sucede a altas altitudes, el volumen cúbico contiene menos oxígeno. Al nivel del mar, cuando la presión atmosférica es de 760 mm Hg y el oxígeno 20.95 %, la presión parcial de oxígeno en aire seco es 159 mm Hg. A la altura de 6 000 msnm, la presión atmosférica y la presión parcial de oxígeno es a la mitad del nivel del mar, cerca de 380 mm Hg y 80 mm Hg respectivamente.²

La presión atmosférica (P_a) es la suma de las presiones parciales (p) de los gases que lo componen. En una mezcla gaseosa, la p de cada uno de los gases es directamente proporcional a la concentración en la que se encuentra. Por lo tanto, la presión total del aire inspirado y espirado dependerá de las concentraciones de O_2 y CO_2 .¹

El embrión de pollo depende de un aporte de oxígeno procedente del aire, el cual contiene 21%, ésta es la concentración óptima para el desarrollo. Las mejores condiciones para llevar a cabo la incubación ocurre sobre el nivel del mar, a medida que aumenta la altitud los resultados se afectan negativamente.³

Las mejores condiciones para llevar a cabo la incubación ocurre sobre el nivel del mar, a medida que aumenta la altitud los resultados se afectan negativamente. La suplementación de oxígeno en elevadas altitudes mejora la incubabilidad ya que se ha identificado la hipoxia como causante de la menor incubabilidad.⁴

El rango de crecimiento tanto embrionario como pos-nacimiento es determinado por el rango de bío-síntesis de tejido, el cual es dependiente de la disponibilidad de nutrientes y de oxígeno.⁵ El desarrollo óptimo del embrión se lleva a cabo cuando la temperatura dentro del huevo es la correcta. La temperatura del embrión es el resultado de la producción de calor del embrión y la transferencia de calor y del aire. Al inicio de la incubación el embrión no produce calor, en la segunda mitad de la incubación es necesario enfriar al huevo por que la producción de calor se incrementa rápidamente.⁶

Existen cuatro factores que influyen en la transferencia del calor:

- Diferencia de temperatura entre el aire y los huevos
- Velocidad del aire (flujo frío), altas velocidades de aire pueden forzar que los huevos pierdan más calor que a bajas velocidades de aire
- Evaporación
- Capacidad de calor (combinación de temperatura y humedad relativa)

La apropiada circulación del aire en una incubadora es importante para proveer de una uniforme temperatura a través del ambiente de la incubadora. La ventilación mantiene una alta concentración de oxígeno y una baja concentración de bióxido de carbono, a pesar del consumo de oxígeno y producción de bióxido de carbono del desarrollo del embrión. Además previene la acumulación de vapor de agua e incrementos indeseables de temperatura como resultado de la producción metabólica de calor del embrión.⁷

2. REVISIÓN DE LITERATURA

La incubación artificial es un proceso muy delicado que requiere un perfecto control de las condiciones para maximizar los resultados. Con el paso de los años, la

Las mejores condiciones para llevar a cabo la incubación ocurre sobre el nivel del mar, a medida que aumenta la altitud los resultados se afectan negativamente. La suplementación de oxígeno en elevadas altitudes mejora la incubabilidad ya que se ha identificado la hipoxia como causante de la menor incubabilidad.⁴

El rango de crecimiento tanto embrionario como pos-nacimiento es determinado por el rango de bío-síntesis de tejido, el cual es dependiente de la disponibilidad de nutrientes y de oxígeno.⁵ El desarrollo óptimo del embrión se lleva a cabo cuando la temperatura dentro del huevo es la correcta. La temperatura del embrión es el resultado de la producción de calor del embrión y la transferencia de calor y del aire. Al inicio de la incubación el embrión no produce calor, en la segunda mitad de la incubación es necesario enfriar al huevo por que la producción de calor se incrementa rápidamente.⁶

Existen cuatro factores que influyen en la transferencia del calor:

- Diferencia de temperatura entre el aire y los huevos
- Velocidad del aire (flujo frío), altas velocidades de aire pueden forzar que los huevos pierdan más calor que a bajas velocidades de aire
- Evaporación
- Capacidad de calor (combinación de temperatura y humedad relativa)

La apropiada circulación del aire en una incubadora es importante para proveer de una uniforme temperatura a través del ambiente de la incubadora. La ventilación mantiene una alta concentración de oxígeno y una baja concentración de bióxido de carbono, a pesar del consumo de oxígeno y producción de bióxido de carbono del desarrollo del embrión. Además previene la acumulación de vapor de agua e incrementos indeseables de temperatura como resultado de la producción metabólica de calor del embrión.⁷

2. REVISIÓN DE LITERATURA

La incubación artificial es un proceso muy delicado que requiere un perfecto control de las condiciones para maximizar los resultados. Con el paso de los años, la

tecnología y los equipos de control en la salas de incubación han mejorado significativamente.⁸

La incubación artificial data de 1000 años A.C. los primeros en utilizarla fueron los chinos y los egipcios. Los chinos incubaban entremedio de capas de estiércol o entre capas de arcilla, y la fuente de calor era fuego regulado con ventilación. Los egipcios usaron incubadoras de tierra o barro tipo ladrillo, incubaban 90.000 huevos, las incubadoras eran habitaciones, ellos fueron los que más se aproximaron al éxito porque obtenían aproximadamente un 70% de nacimientos. Esto no se consideraba una incubación artificial industrial, era un arte empírico, sin medidas.

En 1742 un físico en París, hace una caja con un termómetro y empieza a medir y posteriormente, en 1922, surge la primera incubadora en base a electricidad.

Muchos cambios han ocurrido en diferentes áreas de la incubación artificial a lo largo del siglo XX. Máquinas incubadoras y necedoras han sido transformadas en sistemas automatizados de alta tecnología. El conocimiento del proceso de incubación y sus requerimientos ha mejorado mucho a través de los años.

La investigación, el desarrollo y la innovación industrial permiten ahora disponer de máquinas incubadoras de gran capacidad, operadas por medio de sensores para controlar temperatura, humedad, volteo. Hoy en día, los tableros de control computarizados ponen al alcance de la mano los últimos avances tecnológicos para manipular con precisión y exactitud, todas las variables operativas de los equipos y ejercer un monitoreo detallado de su funcionamiento en forma constante.

En la década de los 90's la incubación artificial adquirió equipos de última generación, adoptó diseños de planta y tecnologías que facilitan y aumentan las oportunidades de ganar la lucha en contra gérmenes y la contaminación; maximizando de esta forma el número y la calidad de los pollitos producidos.⁹

2.1 La incubación y la calidad del pollito

En los años 70 los pollos pasaban 20% del tiempo de su vida considerando desde la entrada del huevo a la incubadora hasta el procesamiento en el rastro. Actualmente el 33% de su vida transcurre en el clima de la incubadora, es por eso obvio que el impacto de la incubadora en las condiciones del embrión en desarrollo y del pollito son fundamentales para el crecimiento, desempeño y tasa de conversión alimenticia del broiler moderno, por lo cual estas prácticas no pueden ser descuidadas dado que son un factor de gran importancia al momento de determinar el desempeño comercial de cada raza en particular.

La duración de la incubación del huevo de gallina es de 21 días o 504 horas, sin embargo existen varias razones por las el nacimiento de los pollos se adelanta o se retrasa. El factor mas importante es retirar de la nacedora al pollo en el tiempo preciso, se considera realizarlo cuando el 5 % de los pollos estén aún mojados en la cabeza. Los pollos confinados en la nacedora pueden calentarse y deshidratarse si se mantienen por periodos prolongados. ¹⁰

2.2 Cambio en el manejo embrionario

No sólo ha cambiado la proporción del tiempo de vida que pasa el pollito en la incubadora, con el progreso genético la diversificación en el tipo de huevos ha aumentado dramáticamente los últimos 30 años. Dentro de esta diversificación han emergido las industrias específicas para producir huevos y para la producción de carne. Mientras la alta producción de huevos es el factor que define al primer grupo o sea a los productores de huevos, el segundo demanda un rápido crecimiento acompañado de bajas tasa de conversión. Y más aún, dentro de las líneas de carne, la selección ha sido por carne de pechuga y porcentaje de grasa abdominal. ¹⁰

2.3 Respiración embrionaria

A lo largo del desarrollo embrionario, este requiere oxígeno, elimina bióxido de carbono y produce calor. Un huevo recién fertilizado está formado por 30, 000 células, su

demanda de oxígeno es pequeña y puede cumplirse por difusión del área vascular del oviducto, y el producto de desecho, bióxido de carbono, es eliminado de igual forma por difusión a través del sistema vascular de la gallina.

Durante el desarrollo embrionario, tres estructuras se encargan de hacer la función del intercambio gaseoso. En el desarrollo temprano del embrión, se lleva a cabo por medio de un área vascular que se extiende sobre el saco vitelino, además transfiere nutrientes de la yema. En el 4 día de incubación, el corion se fusiona con el alantoides para formar una sola estructura llamada corioalantoides, la cual empieza a realizar la respiración del embrión. Alrededor del sexto día, el corioalantoides hace contacto con la superficie interna del huevo, posteriormente cesa la función respiratoria del área vascular y para el doceavo día sus capilares sanguíneos cubren en su totalidad la superficie de la membrana interna del cascarón. El intercambio de gases se realiza por difusión a través de los poros del cascarón.

Alrededor del 19.5 día de incubación, el embrión comienza a picar la membrana interna del cascarón hacia la cámara de aire, inmediatamente después comienza a respirar usando los pulmones y el flujo sanguíneo del corioalantoides se reduce. Durante las próximas 25 horas, se incrementa el intercambio gaseoso por medio de los pulmones mientras que la contribución del corioalantoides continua disminuyendo. El embrión picará el cascarón cerca de 12 horas después de iniciarse la respiración pulmonar con ayuda del “diente de nacimiento”. Los movimientos más vigorosos en el proceso de nacimiento comienzan cuando el embrión hace el picaje externo del cascarón y rompe el cascarón en un anillo lateral. El consumo de oxígeno incrementa dramáticamente durante este periodo para reunir las demandas del embrión debido al cambio de posición que realiza por medio de giros dentro del cascarón utilizando sus patas y alas. El corte circular del cascarón continúa cerca de 14 horas hasta que el pollo haya roto del 70 a 80 % de la circunferencia del huevo. En este punto el pollo empuja sobre el cascarón para abrirlo y salir del huevo, dejando atrás la función del corioalantoides.

La fase de desarrollo embrionario se divide en dos etapas: periodo prenatal, caracterizado por la difusión de los gases a través de las membranas del cascarón y el corioalantoides, termina cuando pica hacia la cámara de aire (picaje interno) y periodo

perinatal, se realiza el cambio de la respiración corioalantoidea a pulmonar y termina cuando nace el pollo.^{11, 12}

2.4 Oxígeno en el proceso de incubación

El desarrollo temprano del embrión es acelerado por la exposición a concentración de oxígeno por arriba de 21 % en los primeros cinco días de incubación.¹³

La tasa del metabolismo en el embrión de pollo es el resultado de la temperatura a la cual se incuba, conforme la tasa aumenta, las células del embrión deben tener más oxígeno para metabolizar las grasas, carbohidratos y otros compuestos celulares, los cuales a cambio producen subproductos como agua y bióxido de carbono. Cuando se disminuye la tasa de metabolismo del embrión, se requieren menos oxígeno y hay menor cantidad de subproductos.¹⁴

El consumo de oxígeno del embrión aumenta considerablemente en el curso de la incubación. El incremento es gradual en los primeros 9 días, mientras que entre el día 10 y 14 de incubación el consumo de oxígeno se eleva repentinamente. El embrión es más susceptible a bajas concentraciones de oxígeno. La incubabilidad disminuye aproximadamente 5% por cada 1% de contenido de oxígeno del aire por debajo de 21%. El incremento parcial de oxígeno,¹⁵ así como la temperatura de incubación aceleran la tasa de crecimiento de los órganos del embrión.¹⁶

La capacidad, de transporte del oxígeno en el embrión también manifiesta una respuesta ante un cuadro de hipoxia,¹⁷ por ello la incubación a elevadas altitudes requiere considerar los aspectos de concentración de oxígeno, bióxido de carbono y presión de oxígeno atmosférico.

La incubabilidad se define como el evento que determina el término de la vida embrionaria e incluye una serie de eventos como son la iniciación de la respiración pulmonar, picaje del cascarón, y salida del embrión del huevo. La mortalidad embrionaria durante el picaje y la eclosión aumentan en elevadas altitudes, los embriones que se

encuentran en un ambiente de oxígeno mas concentrado están metabólicamente mejor preparados para el nacimiento.

Christensen y Bagley (1988) mencionan que un experimento a 2,000 msnm empleando 23.2 y 20.9 % de oxígeno con 37.5 y 37.7 ° C de temperatura utilizando huevos de pavo. Demostraron que la suplementación de 23.2 % de oxígeno y 37.7 ° C incrementa la incubabilidad y reduce la mortalidad embrionaria comparado con 20.9 % de oxígeno y 37.5 ° C, lo que sugiere ampliamente que cuando la incubación se realiza en elevadas altitudes será necesario suplementar con oxígeno y aumentar la temperatura de incubación.

2.5 Bióxido de carbono en la incubación

El bióxido de carbono es un subproducto natural del proceso metabólico durante el desarrollo embrionario que empieza en la gastrulación. El bióxido de carbono se libera a través del cascarón al momento en que se pone el huevo, como resultado el pH del contenido del huevo cambia a alcalino.⁵ El cascarón que tiene baja conductancia acumula bióxido de carbono causando hipercapnia e hipoxia en el embrión. La excesiva pérdida de bióxido de carbono del huevo puede disminuir la capacidad buferante de la sangre, lo cual puede cambiar el equilibrio ácido-base del embrión. Sin embargo la hipercapnia parece no afectar significativamente el consumo de oxígeno, crecimiento o incubabilidad del embrión.^{18, 19}

Las condiciones de hipercapnia e hipoxia son asociadas con el aumento de los movimientos del embrión y se considera que dirigen al embrión a un margen estrecho entre el vivir y morir en el cascarón.¹⁸

El bióxido de carbono tiene un papel importante durante la formación del fluido sub-embrionario, necesario para disolver los nutrientes de la yema, además de facilitar el desarrollo temprano del embrión. La producción de bióxido de carbono se incrementa conforme el proceso de incubación avanza y consecuentemente debería ser removido del ambiente para mantener el nivel de bióxido de carbono dentro del límite, sin embargo, en

ciertas estirpes de aves de reproductoras pesadas las altas concentraciones de bióxido de carbono en la última semana de incubación pueden mejorar la incubabilidad y calidad del pollo.²⁰

En el momento de nacimiento, el pollo primero rompe la membrana interna del cascarón de la cámara de aire y entra aire iniciándose la respiración pulmonar, reduciendo la actividad de la membrana corioalantoidea. El aire contenido en la cámara de aire de huevos incubados a nivel del mar sólo contiene de 15 a 16% de oxígeno y casi 4% más de bióxido de carbono. En un esfuerzo del ave por obtener más oxígeno y menos bióxido de carbono, pica el cascarón para obtener más aire externo, pero el pollo será capaz de estar fuera del cascarón de 10 a 20 horas después. Al cubrir la porción de la cámara de aire del huevo con parafina se acelera el tiempo de picado del cascarón, mientras que al incrementar el intercambio de oxígeno por medio de un agujero en la cámara de aire lo retrasa.¹⁸ La ruptura del cascarón al nacimiento puede ser acelerada considerablemente al inhibir el intercambio gaseoso a través cascarón por la cámara de aire durante los últimos días de incubación, el cual muestra que es un estímulo efectivo para el inicio de la respiración pulmonar.²¹ Concentraciones altas de bióxido de carbono en la cámara de aire son un mecanismo detonante para el nacimiento, además los huevos incubados con una atmósfera alta de bióxido de carbono (0.4 %) tienen una eclosión más rápida y el pollito mayor peso, incluso hasta la tercera semana de edad que los incubados en condiciones adecuadas de CO₂ (0.2%), y presentarán menor incidencia del síndrome ascítico, por ello concentraciones altas de CO₂ pueden disminuir las condiciones de hipoxia en el embrión.

El embrión de pollo consume 60% más oxígeno entre el periodo que inicia su respiración pulmonar y eclosión en comparación con los periodos previos.²²

El periodo comprendido entre la ruptura de la membrana interna y la eclosión es crítico ya que inicia la respiración pulmonar. Durante este periodo de incubación, el embrión ha alcanzado el mayor consumo de oxígeno y su máxima capacidad de oxigenación a través de la difusión por el cascarón, igualmente ha alcanzado el máximo nivel de eritropoyesis, pero existe una anemia post nacimiento en el periodo de transición de eritropoyesis fetal periférica y la eritropoyesis generada en la médula ósea.²³

La disminución de la incubabilidad es proporcional al incremento superior de 0.5 % de bióxido de carbono. El aumento de 1 % de bióxido de carbono reduce cerca del 15 % de incubabilidad, alta incidencia de anormalidades y bajo crecimiento.²⁴

El oxígeno, tanto como el vapor de agua y el bióxido de carbono atraviesan los poros del cascarón por medio de difusión.¹⁹ La difusión de los gases esta influenciada por diferentes factores como el área de superficie del huevo, porosidad del cascarón, presión barométrica, presiones parciales individuales de cada gas, y densidad de los gases.²⁵

La presión barométrica y la concentración del gas esta inversamente relacionado, ya que al aumentar alguno, el otro disminuye. Algunas teorías sugieren que la densidad atmosférica afecta la respiración del embrión, ya que ha sido demostrado que la incubabilidad se reduce si la suplementación de oxígeno no es adecuada. Sin embargo, Bagley *et al* (1990) demostraron que incubaciones realizadas a 1707 msnm con 23.5% de oxígeno no muestran diferencias en los índices hematológicos o la permeabilidad de oxígeno.

En el segundo día de incubación, se establece la circulación y las células primitivas comienzan a adquirir hemoglobina. Alrededor del 12° día la medula ósea es más aparente y funcional; incrementando gradualmente su actividad, hasta convertirse en la principal fuente de células sanguíneas en el momento del nacimiento. Las células sanguíneas en el embrión son primitivas y se reemplazan de manera gradual por células definitivas.

La hemoglobina baja particularmente durante los días 13 y 14 de incubación y en elevadas altitudes, es una de las causas principales de mortalidad embrionaria. La baja producción de hemoglobina retrasa el nacimiento. Al tiempo que hay disminución en el suplemento de oxígeno; se retrasa el crecimiento embrionario.²⁷

El contenido de eritrocitos y el paquete de volumen celular incrementan en el periodo del día 18 al 21 día de incubación. Algunos autores han demostrado que los bajos niveles de oxígeno estimulan la hematopoyesis.

2.6 Calidad del pollito recién nacido

Una forma precisa y previsible de medir la calidad del pollito es importante para comparar y evaluar el proceso de incubación entre diferentes incubadoras y evaluar los cambios en el proceso que se puedan haber hecho a lo largo del mismo. Muchos métodos han sido desarrollados para evaluar de una forma más o menos sistemática la calidad del pollito de un día.

Para pruebas de campo y en la evaluación de salas de incubación, se ha usado la longitud del pollito como indicador de su calidad. En las investigaciones hechas por Wolanski *et al*, 2003, resultados no publicados y Luiten, 2003, se encontró una correlación positiva relativamente alta entre la longitud del pollito y el crecimiento del pollo a las 6 semanas de edad. Cuando se requiere monitorear el proceso de incubación de forma más precisa, también incluye la calidad del ombligo, pero hasta el 80% de la valoración está determinada por la longitud del pollito, a menos que se busque especialmente el efecto de la nacedora.⁸

3. JUSTIFICACIÓN

La producción avícola a nivel mundial, constantemente esta llevando a cabo cambios en la búsqueda por la mejor optimización de los recursos. El incremento en la producción de pollo de primera calidad ha sido uno de los principales objetivos de una planta incubadora, actualmente en México se tiene una adecuada producción de huevo fértil para incubar pero no tiene la mejor eficiencia en producción de pollito nacido por gallina. Tomando en cuenta los antecedentes que la literatura menciona, puede ser necesario utilizar distintas concentraciones de oxígeno y bióxido de carbono para aprovechar el máximo potencial del huevo fértil, para mejorar la incubabilidad y la calidad del pollo recién nacido y que ésta se refleje en los parámetros zootécnicos en condiciones de elevadas altitudes.

2.6 Calidad del pollito recién nacido

Una forma precisa y previsible de medir la calidad del pollito es importante para comparar y evaluar el proceso de incubación entre diferentes incubadoras y evaluar los cambios en el proceso que se puedan haber hecho a lo largo del mismo. Muchos métodos han sido desarrollados para evaluar de una forma más o menos sistemática la calidad del pollito de un día.

Para pruebas de campo y en la evaluación de salas de incubación, se ha usado la longitud del pollito como indicador de su calidad. En las investigaciones hechas por Wolanski *et al*, 2003, resultados no publicados y Luiten, 2003, se encontró una correlación positiva relativamente alta entre la longitud del pollito y el crecimiento del pollo a las 6 semanas de edad. Cuando se requiere monitorear el proceso de incubación de forma más precisa, también incluye la calidad del ombligo, pero hasta el 80% de la valoración está determinada por la longitud del pollito, a menos que se busque especialmente el efecto de la nacedora.⁸

3. JUSTIFICACIÓN

La producción avícola a nivel mundial, constantemente esta llevando a cabo cambios en la búsqueda por la mejor optimización de los recursos. El incremento en la producción de pollo de primera calidad ha sido uno de los principales objetivos de una planta incubadora, actualmente en México se tiene una adecuada producción de huevo fértil para incubar pero no tiene la mejor eficiencia en producción de pollito nacido por gallina. Tomando en cuenta los antecedentes que la literatura menciona, puede ser necesario utilizar distintas concentraciones de oxígeno y bióxido de carbono para aprovechar el máximo potencial del huevo fértil, para mejorar la incubabilidad y la calidad del pollo recién nacido y que ésta se refleje en los parámetros zootécnicos en condiciones de elevadas altitudes.

4. OBJETIVOS

- Determinar el efecto de la concentración de bióxido de carbono y oxígeno óptima durante la incubación de huevos fértiles de reproductoras ligeras y pesadas, mediante la evaluación de la incubabilidad, y calidad del pollo recién nacido.
- Conocer la respuesta zootécnica en un ciclo de producción de 42 días a pollos provenientes de cada tratamiento.

5. HIPÓTESIS

La suplementación de oxígeno y bióxido de carbono generan una respuesta favorable para el desarrollo de los órganos del embrión, por lo que se tendrá un incremento en la incubabilidad y mejor calidad de pollo recién nacido, así como una mejor adaptación al ritmo de crecimiento durante la engorda.

6. EXPERIMENTO 1

6.1 EFECTO DE DIFERENTES CONCENTRACIONES DE BIÓXIDO DE CARBONO Y OXÍGENO DURANTE LA INCUBACIÓN, CALIDAD DEL POLLITO Y DESEMPEÑO PRODUCTIVO

6.2 OBJETIVO

- Evaluar el efecto de diferentes concentraciones de O₂ y CO₂ durante la incubación de huevos fértiles de gallinas reproductoras pesadas sobre la incubabilidad, evaluación del pollo recién nacido y desempeño productivo a las 6 semanas de edad.

6.3 MATERIAL Y MÉTODOS

El experimento se llevó a cabo en una unidad de aislamiento del Departamento de Producción Animal: Aves de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional Autónoma de México, ubicada a 19° 19' 45" latitud Norte y 99° 10' 37 " latitud Oeste a una altura de 2, 275 msnm.

Se utilizaron 6 incubadoras marca Brinsea ® con capacidad de 48 huevos cada una; constan de una base externa de volteo que trabaja por medio de engranes, una base que soporta la carga del huevo y la cubierta en la que se tiene la resistencia de temperatura y dos ventiladores; debajo de un ventilador se tiene el dispositivo para la distribución de la humedad. A incubadora se hizo la adaptación del sensor de celdas electrolíticas para O₂, sensor de celdas permeables para CO₂. Los cuales enviaban la información a un tablero-controlador digital para el ajuste y control de las variables de estudio y a un equipo almacenador de datos, siendo registrados y guardados cada 5 minutos para observar la tendencia de trabajo del equipo durante el día. Dentro de la unidad de aislamiento se encuentra todo el equipo para trabajar y observar el desempeño de las incubadoras, la instalación del cilindro de CO₂ y el Dewar (para O₂) fue hecha en la parte externa de la unidad, cubierta con lámina galvanizada en su totalidad para ser aislada de las personas y del medio ambiente.

Las incubadoras hacen la función de nacedoras, al suprimir el volteo y dejar el huevo en posición horizontal, aumentando la humedad relativa y disminuyendo la temperatura.

El equipo se calibró antes de iniciar un experimento para tener un control y adecuado funcionamiento, en el caso de los gases se realizó a través de una mezcla de nitrógeno, CO₂ y O₂.

6.3.1 Material biológico

Se utilizaron huevos de gallinas reproductoras pesadas de la estirpe Ross x Ross de una edad entre 40 y 44 semanas, procedentes del estado de Morelos. Los huevos se mantuvieron en almacén por 4 días a una temperatura de 20 °C y humedad relativa de 75%. Previo a la incubación, se realizó la ovoscopia de cada huevo para eliminar el huevo roto, fisurado, deforme, pequeño o muy grande, sucio, demasiado poroso y/o con cámara de aire movable, posteriormente los que cumplieron las características de huevo incubable fueron desinfectados.

6.3.2 Incubación

Se evaluaron 5 tratamientos en tres ocasiones, para lo cual se utilizó una incubadora Brinsea por tratamiento, excepto en el 3 donde se emplearon 2 incubadoras, empleando una temperatura de 37.7 °C y 55 % de humedad relativa. Las variables de estudio fueron diferentes concentraciones de oxígeno (21 %, 23.5 % y 26 %) y bióxido de carbono (3000 ppm, 3750 ppm y 4500 ppm), quedando de la siguiente manera:

- A.- 21% de O₂ + 3000 ppm de CO₂ (21 - 3000)
- B.- 21 % de O₂ + 4500 ppm de CO₂; (21 - 4500)
- C.- 23.5 % de O₂ + 3750 ppm de CO₂; (23.5 - 3750)
- D.- 26 % de O₂ + 3000 ppm de CO₂; (26 - 3000)
- E.- 26 % de O₂ + 4500 ppm de CO₂ (26 - 4500)

El proceso de transferencia se hizo a los 18 días de incubación, disminuyendo la temperatura a 37.2 °C y aumentando la humedad relativa a 65 %. Se hizo el registro del número de pollos nacidos por tratamiento cada 6 horas, durante el periodo comprendido entre los días 19.5 y 21 de incubación. Se realizó el embriodiagnóstico mediante observación macroscópica de los huevos residuales para determinar la etapa del desarrollo embrionario en la cual murieron, de acuerdo al siguiente criterio: I de 1 a 7 días, II de 8 a 14, III de 15 a 21 días de incubación.

Diariamente se tomaron los registros de la temperatura y la concentración de gases suministrados, revisando y monitoreando el funcionamiento del volteo y el humidificador.

6.3.3 Nacimiento

Los pollitos fueron retirados de la incubadora al momento en que el plumón se encontraba completamente seco. Se utilizaron 20 aves por tratamiento para ser evaluadas, las cuales fueron identificadas individualmente y se determinó: la longitud del pollo, el peso corporal, longitud de tarso, así como las medidas cualitativas de calidad: hidratación, peso, cicatrización del ombligo, apariencia, coloración de tarsos, pata-dedos y ojos, para lo cual la calificación máxima por característica es de 2 y la mínima de 0, para dar un total del 14.²⁸

6.3.4 Evaluación zootécnica

Para la evaluación de esta variable durante un ciclo de producción, los pollitos se llevaron a otra unidad de aislamiento del Departamento de Producción Animal: Aves, manteniéndolos en corrales de piso de 2m x 1.5 m de acuerdo a los tratamientos anteriormente mencionados, se tuvieron durante 6 semanas bajo condiciones similares, recibiendo un alimento comercial en presentación de migaja; el programa de alimentación comprendió tres etapas; iniciación (0-21 días), crecimiento (22-35 días) y desarrollo (36 a 42 días). Tanto el agua como el alimento se tuvieron a libre acceso durante toda la prueba biológica. Se llevaron registros de peso semanal, índice de conversión alimenticia, peso final y mortalidad.

6.3.5 Análisis estadístico

Los resultados se sometieron a un análisis de la varianza con diseño de bloques y se aplicó la prueba de Tukey a una $P < 0.05$ para la comparación de medias de los datos obtenidos, utilizando el programa Statistical Analytical System (SAS) Versión 9.

El modelo para el diseño de bloques fijos fue:

$$\check{Y}_{ij} = \mu + T_i + b_i + \epsilon_{ij}$$

Donde:

μ = es la media general

T_i = es el efecto fijo del tratamiento

b_i = es el efecto aleatorio del bloque

ϵ_{ij} = es el error experimental

6.4 RESULTADOS

En los resultados del presente estudio se observa que hubo diferencias significativas entre los tratamientos con menor concentración de O_2 , no encontrando diferencias estadísticas para los diferentes niveles de CO_2 ni en la interacción $O_2 - CO_2$ ($P < 0.05$).

En el Cuadro 1 se muestra el promedio de incubabilidad real de los 5 tratamientos. Los resultados fueron obtenidos de la cantidad de pollitos nacidos entre el total de huevos fértiles multiplicado por 100 e indican el promedio de cada tratamiento en las tres incubaciones. Se observa que debido al aumento de la concentración de O_2 se incrementa la incubabilidad, el tratamiento con 26 - 3000 muestra el mayor porcentaje de incubabilidad 92.56 ($P < 0.05$), presentando el mismo valor de significancia estadística con los tratamientos 26 - 4500 y 23.5 - 3750: 86.86 % y 82.23 % respectivamente, siendo estadísticamente diferentes con los tratamientos de 21 % O_2 .

No se observan diferencias estadísticas en las etapas I y II de mortalidad embrionaria en ninguno de los tratamientos, mientras que en la etapa III se tiene una menor mortalidad en el tratamiento 26 - 3000 ($P < 0.05$), observándose igual significancia estadística con los tratamientos 26 - 4500 y 23.5 - 3750. La mayor mortalidad embrionaria fue en los tratamientos con menor concentración de O_2 , como se puede observar en el Cuadro 2.

El porcentaje acumulado de pollitos nacidos a las 468 y 480 horas de incubación no mostraron diferencias estadísticas, sin embargo en los eclosionados a las 492 horas se observa que en el tratamiento 26 - 4500 nacieron el 99.2 % y en el tratamiento 21 - 4500 únicamente el 80.5 % ($P < 0.05$). No se muestra tendencia de incremento en el porcentaje de pollos nacidos por efecto de la concentración de los gases (O_2 y CO_2). Los resultados del porcentaje de pollos nacidos se encuentran en el Cuadro 3.

En el Cuadro 4 se pueden observar los resultados de la evaluación física de los pollitos recién nacidos, el peso al nacimiento no mostró significancia ($P > 0.05$) en los 5 tratamientos. En la longitud del pollo, se puede ver que hay diferencias significativas ($P < 0.05$) en los tratamientos 23.5 - 3750, 26 - 3000 y 26 - 4500 con respecto a los que se disminuyó el aporte de O_2 , teniendo una mejor respuesta numérica de 18.1 cm en el 26 - 3000. Para el largo del tarso se muestra que en el tratamiento 26 - 3000 existe la mayor longitud que el resto de los tratamientos, siendo estadísticamente igual con el tratamiento 23.5 - 3750 ($P < 0.05$). En la calidad del pollito se aprecia que a mayor concentración de O_2 se incrementan significativamente los resultados de esta variable, observando que el tratamiento 23.5 - 3750 se comporta de manera igual con los tratamientos de menor y mayor contenido de O_2 ($P < 0.05$). La respuesta de estos resultados se debe principalmente por el efecto de la característica ombligo y coloración de los tarsos.

Como se puede observar en el Cuadro 5, se muestran diferencias estadísticas significativas ($P < 0.05$) para el peso corporal en las semanas 1^a, 2^a y 6^a en las cuales el peso fue mayor al aumentar la cantidad de O_2 (23.5 % y 26 %), obteniendo el mayor peso de finalización en los tratamientos 26 - 3000 y 26 - 4500.

En el Cuadro 6 se presentan los resultados obtenidos para la conversión alimenticia y mortalidad al finalizar el ciclo productivo de 6 semanas. No existen diferencias estadísticas significativas para el índice de conversión alimenticia ($P > 0.05$), pero si en el caso de la mortalidad, existiendo un menor porcentaje en el tratamiento 23.5 – 3750 ($P < 0.05$).

6.5 DISCUSIÓN

La altitud ha mostrado ser un factor importante para los resultados de incubabilidad debido a la disminución de la presión parcial de oxígeno, por lo cual la disponibilidad de oxígeno en las incubadoras disminuye. Generalmente el oxígeno es suplementado a las incubadoras comerciales en alturas superiores a los 1640 msnm.^{3, 4} Además Metcalfe *et al* (1981) mencionan que el incremento de la presión parcial de oxígeno acelera el desarrollo de los órganos del embrión de pollo y en 1969 Smith *et al*, mencionaron que debido a la hipoxia observada en elevadas altitudes, se reduce el crecimiento de los órganos internos y del embrión de pollo.

Como se observo en el Cuadro 1 existe un incremento de incubabilidad de acuerdo a la concentración de O_2 , no teniendo efecto de respuesta por la variable CO_2 , el promedio del porcentaje de incubabilidad en los diferentes tratamientos mostró diferencias significativas, teniendo una media de 89.7 % con 26 % de O_2 , y 62.1 % para la concentración de 21 % de O_2 , de tal manera que el incremento de la incubabilidad fue 27.6 %. Estos resultados son similares a los reportados por Meshew, 1949, quien obtuvo una diferencia de incubabilidad de 24.6 % al adicionar 25.5 % de O_2 a una altura de 2 194 msnm, otros investigadores encontraron diferencias estadísticas menores a lo reportado en el presente estudio; Christensen y Bagley en 1988, realizaron un experimento a una altura de 2 000 msnm con 23.2 % de O_2 y un grupo control sin la aplicación de O_2 , observaron que se incremento en 8.4 % la incubabilidad. Prado 2006, encontró que al aumentar el O_2 durante la incubación mejora la incubabilidad.

En las 3 etapas de mortalidad embrionaria se observa un menor número de embriones muertos con la adición de 26 % de O_2 , no siendo significativamente diferentes en todas las etapas. Únicamente en la III etapa se observó este efecto ($P < 0.05$) entre las

concentraciones de O₂, con valores diferentes a los publicados por Prado en 2006, quien encontró que los resultados de mortalidad embrionaria son iguales con 17.5 y 25 % de O₂ en las últimas 2 etapas.

En otro estudio realizado por Bagley *et al*, 1990, se observa que la mortalidad embrionaria de pavos se disminuye en el 1°, 4° , 21° y 24° días de incubación con la suplementación de oxígeno, sin embargo el efecto no se presentó durante el picaje externo del pavipollo realizado a los 27 días.

La mortalidad embrionaria se presenta frecuentemente en la primera y tercera semana, cuando los cambios fisiológicos son relativamente más marcados. El incremento de la mortalidad temprana ocurre durante el desarrollo vascular y tardíamente por cambios en el sistema respiratorio del pollito.⁴² Buys *et al*, 1998 afirman que el embrión consume 60 % mas O₂ entre el inicio de la respiración pulmonar y el nacimiento comparado con los fases de desarrollo temprano, desencadenando una situación de hipoxia durante los periodos prenatal y perinatal, como se observó en el presente experimento se encontró una mortalidad alta en la ultima etapa de mortalidad debido a una menor concentración de O₂ durante toda la incubación.

El nacimiento de los pollos no se vio afectado por la concentración de O₂, en el cuadro 3 se nota que el número de pollos nacidos fueron significativamente iguales en 4 de los 5 tratamientos. De igual manera, se observa que no existe relación con una mayor o menor concentración de CO₂, estos resultados difieren a lo publicado por Buys *et al*, 1998 quienes indican que los huevos incubados en un ambiente alto de CO₂ (4000 ppm) nacen antes que los incubados en ambientes normales (2000 ppm).

Los resultados para la evaluación física del pollito recién nacido indican que existen diferencias en longitud del pollo, tarso y calidad entre tratamientos con distinta cantidad de O₂, no encontrándose diferencias en el peso al nacimiento, lo cual difiere con los resultados de Prado 2006, quien encontró diferencias de peso utilizando una mayor concentración de O₂, y no obtuvo diferencias significativas en la longitud del pollo. Además, el peso del pollito no concuerda con los resultados de Buys *et al*, 1998 al señalar que el incremento del peso al nacimiento se debe a una mayor concentración de CO₂, por

el adelanto del nacimiento con lo cual se reduce la pérdida de agua durante la incubación. De acuerdo a los resultados de longitud del tarso y calidad del pollito se observa que se tiene un pollito destinado a granja de mejor calidad.

Buyss *et al*, 1998 señalaron que los huevos de la incubadora mantenidos a 4 000 ppm de CO₂ produjeron pollitos más pesados en las 3 primeras semanas de edad que los incubados con 2 000 ppm (P<0.001). De acuerdo a los resultados de este estudio, no se encontraron diferencias significativas en pesos semanales por CO₂ en ninguno de los tratamientos, observándose diferencias debido a la mayor concentración de O₂. Meshew 1949, Wilgus y Sadler 1953, encontraron pequeñas diferencias de peso con 25.5 % y 23.2 % de O₂ a las 2 y 4 semana de edad respectivamente, mientras que los presentes resultados indican un mayor peso en las 2 primeras semanas y en la última semana de edad por efecto de la mayor concentración de O₂.

Los resultados obtenidos para conversión alimenticia no indican diferencias significativas entre tratamientos, por el contrario, presenta menor mortalidad al finalizar el ciclo productivo el tratamiento con el contenido intermedio de O₂ (23.5 %) de, siendo estadísticamente diferentes al resto de tratamientos.

7. EXPERIMENTO 2

7.1 EFECTO DEL APORTE DE 26 % DE OXÍGENO EN DOS ETAPAS DE LA INCUBACIÓN, SOBRE EN EL POLLITO RECIÉN NACIDO Y AL FINALIZAR EL CICLO PRODUCTIVO DE 45 DÍAS

7.2 OBJETIVO

- Evaluar el efecto de la adición de 26 % de O₂ en dos etapas de la incubación sobre los parámetros productivos durante la engorda.
- Determinar la etapa de incubación en la cual se requiere la adición de O₂, mediante la evaluación de la incubabilidad y el desempeño productivo a los 45 días de engorda.

7.3 MATERIAL Y MÉTODOS

El experimento se llevó a cabo en una unidad de aislamiento del Departamento de Producción Animal: Aves de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional Autónoma de México, ubicada a 19° 19' 45" latitud Norte y 99° 10' 37 " latitud Oeste a una altura de 2, 275 msnm.

Se utilizaron 6 incubadoras marca Brinsea ® con capacidad de 48 huevos cada una; constan de una base externa de volteo que trabaja por medio de engranes, una base que soporta la carga del huevo y la cubierta en la que se tiene la resistencia de temperatura y dos ventiladores; debajo de un ventilador se tiene el dispositivo para la distribución de la humedad. A cada incubadora se hizo la adaptación del sensor de celdas electrolíticas para O₂, sensor de celdas permeables para CO₂. Los cuales enviaban la información a un tablero-controlador digital para el ajuste y control de las variables de estudio y a un equipo almacenador de datos, siendo registrados y guardados cada 5 minutos para observar la tendencia de trabajo del equipo durante el día. Dentro de la

unidad de aislamiento se encuentra todo el equipo para trabajar y observar el desempeño de las incubadoras, la instalación del cilindro de CO₂ y el Dewar (para O₂) fue hecha en la parte externa de la unidad, cubierta con lámina galvanizada en su totalidad para ser aislada de las personas y del medio ambiente.

Las incubadoras hacen la función de nacedoras, al suprimir el volteo y dejar el huevo en posición horizontal, aumentando la humedad relativa y disminuyendo la temperatura.

El equipo se calibró antes de iniciar un experimento para tener un control y adecuado funcionamiento, en el caso de los gases se realizó a través de una mezcla de nitrógeno, CO₂ y O₂.

7.3.1 Material biológico

Se utilizaron huevos de gallinas reproductoras pesadas de la estirpe Ross x Ross de una edad entre 40 y 44 semanas, procedentes del estado de Morelos. Los huevos se mantuvieron en almacén por 4 días a una temperatura de 20 °C y humedad relativa de 75%. Previo a la incubación, se realizó la ovoscopia de cada huevo para eliminar el huevo roto, fisurado, deforme, pequeño o muy grande, sucio, demasiado poroso y/o con cámara de aire movable, posteriormente los que cumplieron las características de huevo incubable fueron desinfectados.

7.3.2 Incubación

Se utilizaron 6 incubadoras Brinsea, a una temperatura de 37.7 °C y 55 % de humedad relativa. Para el desarrollo del experimento, se dividió el periodo de incubación en dos etapas, la primera etapa; comprendida del 1 día hasta el onceavo día y la segunda etapa; desde el doceavo al 21 día de incubación, en base a esta división se hicieron tres tratamientos con dos repeticiones cada uno; 26% de O₂ del 1 día hasta el onceavo día de incubación (Tratamiento A), 26% de O₂ del doceavo hasta el 21 día de incubación (Tratamiento B) y control, bajo condiciones atmosféricas sin la aplicación de O₂ extra (Tratamiento C).

El proceso de transferencia se hizo a los 18 días de incubación, disminuyendo la temperatura a 37.2 °C y aumentando la humedad relativa a 65 %. Se realizó el embriodiagnóstico mediante observación macroscópica de los huevos residuales para determinar la etapa del desarrollo embrionario en la cual murieron, de acuerdo al siguiente criterio: I de 1 a 7 días, II de 8 a 14, III de 15 a 21 días de incubación.

Diariamente se tomaron los registros de la temperatura y la concentración de gases suministrados, revisando y monitoreando el funcionamiento del volteo y el humidificador.

7.3.3 Nacimiento

Los pollitos fueron retirados de la incubadora al momento en que el plumón se encontraba completamente seco. Se utilizaron el total de pollos nacidos por tratamiento en la fase de evaluación zootécnica.

7.3.4 Evaluación zootécnica

Para la evaluación de esta variable durante un ciclo de producción, los pollitos se llevaron a otra unidad de aislamiento del Departamento de Producción Animal: Aves, manteniéndolos en corrales de piso de 2m x 1.5 m de acuerdo a los tratamientos anteriormente mencionados, se tuvieron durante 6 semanas bajo condiciones similares, recibiendo un alimento en presentación de migaja; el programa de alimentación comprendió tres etapas; iniciación (0-21 días), crecimiento (22-35 días) y desarrollo (36 a 42 días). Tanto el agua como el alimento se tuvieron a libre acceso durante toda la prueba biológica. Se llevaron registros de peso semanal, consumo de alimento, índice de conversión alimenticia, peso final y mortalidad.

7.3.5 Análisis estadístico

Los resultados se sometieron a un análisis de la varianza con diseño de bloques y se aplicó la prueba de Tukey a una $P < 0.05$ para la comparación de medias de los datos obtenidos, utilizando el programa Statistical Analytical System (SAS) Versión 9.

El modelo para el diseño de bloques fijos fue:

$$\check{Y}_{ij} = \mu + T_i + b_j + \epsilon_{ij}$$

Donde:

μ = es la media general

T_i = es el efecto fijo del tratamiento

b_j = es el efecto aleatorio del bloque

ϵ_{ij} = es el error experimental

7.4 RESULTADOS

La incubabilidad indica un mayor porcentaje de nacimiento en el tratamiento B, sin embargo no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos. En la mortalidad embrionaria se puede observar que disminuyó en la Etapa I al aplicar 26 % de O_2 de 1 a 11 días de incubación (tratamiento A), encontrándose diferencias estadísticas significativas ($P < 0.05$). Para las Etapas II y III no se observó significancia entre tratamientos, teniendo mayor mortalidad en la Etapa III del tratamiento A. Los resultados se muestran en el Cuadro 7.

En el Cuadro 8 se observa que existen diferencias significativas de peso al final de la 1ª y 3ª semana de edad ($P < 0.05$). En ambos periodos se observa un mayor peso en el tratamiento con la adición de O_2 los primeros 11 días de incubación. Continuando con la tendencia de mayor peso en el resto de las semanas sin mostrar diferencias significativas. De igual manera, los tratamientos con la suplementación de oxígeno en los diferentes periodos de incubación no mostraron ser diferentes estadísticamente en los periodos evaluados.

Los resultados de consumo de alimento, conversión alimenticia y mortalidad al finalizar el ciclo productivo, indican que existen diferencias numéricas entre los tratamientos, se observa que el tratamiento con O₂ durante los primeros 11 días de incubación obtuvo menor mortalidad y conversión alimenticia al final de la engorda. No hubo repetición de estos resultados por lo que no se pudieron analizar los resultados estadísticamente. Como se puede observar en el Cuadro 9.

7.5 DISCUSIÓN

En el estudio realizado por Bagley y Christensen 1991, mencionan que la primera y cuarta semana de incubación son críticas para la sobrevivencia del embrión de pavo por que experimentan dificultades en la respiración vía difusión a través del cascarón. En la última etapa de respiración, el embrión pasa por un periodo de hipoxia. Cuando ellos agregaron 23.5% de O₂ en la primera o cuarta semana de incubación, la incubabilidad mejoró comparada con los tratamientos sin agregar O₂. Observaron diferencias estadísticas al adicionar 23.5 % de O₂ en la primera, y cuarta semana de incubación de huevos de pavos con diferencia de 6.3 y 6.2 % de incubabilidad respectivamente. Concluyen que la adición de O₂ en una altitud elevada es mas complejo que la dominancia de un estado critico de hipoxia en la respiración.

En el presente trabajo, se observó que el efecto de la adición de oxígeno durante la incubación incrementó el número de pollos nacidos aunque no se observaron diferencias significativas; ya que en el tratamiento con O₂ de los 12 días a los 21 días de incubación se observa mayor incubabilidad comparada con el resto de los tratamientos, mientras que en el tratamiento con O₂ durante los primeros 11 días de incubación se observa menor mortalidad embrionaria significativa en la Etapa I por efecto de adicionar O₂ durante la primera mitad de la incubación, posteriormente en la ultima etapa hay un incremento numérico de mortalidad embrionaria debido a que no se continuo adicionando O₂ en la segunda periodo de la incubación.

En otro estudio realizado por Christensen y Donaldson en 1992, con suplementación de oxígeno durante el periodo perinatal, incrementaron la incubabilidad de huevos de pavos debido a que mejoró la respiración embrionaria, en el presente

estudio se observa un incremento de incubabilidad estadísticamente no significativo al adicionar 26 % O₂ durante los últimos 11 días de incubación, no encontrando relación con la disminución de la mortalidad embrionaria en el periodo perinatal.

Los pesos semanales de los pollos en la primera y tercera semana, indican una mejor respuesta al O₂ cuando se adiciona durante los primeros 11 días de incubación, de igual forma se observa menor conversión alimenticia y mortalidad durante el ciclo productivo, sin embargo en los pesos finales no se presentaron diferencias estadísticas. De acuerdo a estos resultados se menciona que la adición de O₂ en la primera mitad de incubación se ve reflejada principalmente en los parámetros productivos. Meshew 1949, Wilgus y Sadler 1953, encontraron pequeñas diferencias de peso con 25.5 % y 23.2 % de O₂ en toda la incubación, a las 2 y 4 semana de edad respectivamente, mientras que los resultados indican un mayor peso en las 2 primeras semanas de edad y en la última semana de edad por efecto de la mayor concentración de O₂.

8. EXPERIMENTO 3

8.1 EFECTO DE TRES CONCENTRACIONES DE OXÍGENO DURANTE LA INCUBACIÓN DE HUEVOS DE GALLINA REPRODUCTORA PESADA Y LIGERA SOBRE LA INCUBABILIDAD Y LA MORTALIDAD EMBRIONARIA

8.2 OBJETIVO

- Evaluar el efecto de 21 %, 23.5 % y 26 % de O₂ en la incubación de huevos de gallinas reproductoras ligeras y pesadas, mediante la determinación de la incubabilidad y mortalidad embrionaria.

8.3 MATERIAL Y MÉTODOS

Los experimentos se llevaron a cabo en una unidad de aislamiento del Departamento de Producción Animal: Aves de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional Autónoma de México, ubicada a 19° 19' 45" latitud Norte y 99° 10' 37" latitud Oeste a una altura de 2, 275 msnm.

Se utilizaron 5 incubadoras marca Brinsea ® con capacidad de 48 huevos cada una; constan de una base externa de volteo que trabaja por medio de engranes, una base que soporta la carga del huevo y la cubierta en la que se tiene la resistencia de temperatura y dos ventiladores; debajo de un ventilador se tiene el dispositivo para la distribución de la humedad. A cada incubadora se hizo la adaptación del sensor de celdas electrolíticas para O₂, sensor de celdas permeables para CO₂. Los cuales enviaban la información a un tablero-controlador digital para el ajuste y control de las variables de estudio y a un equipo almacenador de datos, siendo registrados y guardados cada 5 minutos para observar la tendencia de trabajo del equipo durante el día. Dentro de la unidad de aislamiento se encuentra todo el equipo para trabajar y observar el desempeño de las incubadoras, la instalación del cilindro de CO₂ y el Dewar (para O₂) fue hecha en la parte externa de la unidad, cubierta con lámina galvanizada en su totalidad para ser aislada de las personas y del medio ambiente.

Las incubadoras hacen la función de nacedoras, al suprimir el volteo y dejar el huevo en posición horizontal, aumentando la humedad relativa y disminuyendo la temperatura.

El equipo se calibró antes de iniciar un experimento para tener un control y adecuado funcionamiento, en el caso de los gases se realizó a través de una mezcla de nitrógeno, CO₂ y O₂.

8.3.1 Material biológico

En el primer experimento se utilizaron huevos de gallinas reproductoras pesadas (GRP), procedentes del estado de Morelos. En el segundo experimento se utilizaron huevos de gallinas reproductoras ligeras (GRL), procedente del Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Producción Avícola (CEIEPA).

Los huevos se mantuvieron en almacén por 4 días a una temperatura de 20 °C y humedad relativa de 75%. Previo a la incubación, se realizó la ovoscopia de cada huevo para eliminar el huevo roto, fisurado, deforme, pequeño o muy grande, sucio, demasiado poroso y/o con cámara de aire movable, posteriormente los que cumplieron las características de huevo incubable fueron desinfectados.

8.3.2 Incubación

Se realizó un arreglo de tratamientos en dos periodos experimentales; utilizando huevos de GRP y huevos de GRL. Primero se realizó el experimento con huevo de GRP, para lo cual se utilizaron 5 incubadoras a una temperatura de 37.7 °C y humedad relativa de 55 %. Se incorporó el O₂ desde el primer día hasta el término de la incubación de la siguiente manera: Incubadora 1). 21 % de O₂, Incubadora 2 y 4). 23.5 % de O₂, Incubadora 3 y 5). 26 % de O₂. Para el análisis y expresión de los resultados se obtuvo el promedio en su caso de las repeticiones, teniendo tres tratamientos. Posteriormente, se siguió el mismo procedimiento de experimentación con huevo de GRL.

El proceso de transferencia se hizo a los 18 días de incubación, disminuyendo la temperatura a 37.2 °C y aumentando la humedad relativa a 65 %. Se realizó el embriodiagnóstico mediante observación macroscópica de los huevos residuales para determinar la etapa del desarrollo embrionario en la cual murieron, de acuerdo al siguiente criterio: I de 1 a 7 días, II de 8 a 14, III de 15 a 21 días de incubación.

Diariamente se tomaron los registros de la temperatura y la concentración de gases suministrados, revisando y monitoreando el funcionamiento del volteo y el humidificador.

8.3.3 Análisis estadístico

En el estudio estadístico de los resultados se realizó un diseño factorial 3x2 donde los factores fueron las tres concentraciones de O₂ (21, 23.5 y 26 %) y los fines zootécnicos de las gallinas reproductoras de la cual proviene el huevo incubable (GRP y GRL). Se utilizó el programa Statistical Analytical System (SAS) Versión 9.

El modelo para el arreglo factorial de 2 factores fue:

$$\check{Y}_{\alpha\beta\gamma} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

Donde:

$\check{Y}_{\alpha\beta\gamma}$ = valor observado de la variable de respuesta \check{Y}

μ = es la media general

α_i = es el efecto del *i*ésimo nivel del factor A

β_j = es el efecto del *j*ésimo nivel del factor B

$(\alpha\beta)_{ij}$ = efecto de la interacción de la combinación de tratamientos de α_i y β_j

ϵ_{ij} = es el error experimental de la variable

8.4 RESULTADOS

En el Cuadro 10, se pueden observar que los resultados de incubabilidad real del presente estudio muestran diferencias significativas estadística entre el factor oxígeno, observándose que la incubabilidad se incrementa directamente con la concentración de O₂, la mayor respuesta se vio en la concentración alta (26 % de O₂) siendo estadísticamente igual con 23.5 % de O₂ (P<0.05), aunque no existe significancia estadística con el factor del fin zootécnico de las gallinas, muestra una tendencia numérica a ser mayor con las GRP.

Los resultados del porcentaje de mortalidad embrionaria fueron analizados mediante la transformación para proporciones utilizando la raíz arco seno. Como se puede observar en el Cuadro 11, en la etapa I no hubo diferencias de mortalidad embrionaria entre las GRP y GRL ni en concentración de O₂ (P>0.05). En la etapa II hubo menor mortalidad embrionaria en los huevos GRL, y en la etapa III hubo menor mortalidad embrionaria en los huevos de GRP (P<0.05).

La mortalidad embrionaria muestra una tendencia no significativa a incrementar con una menor concentración de O₂ y generalmente muestra menor mortalidad por respuesta de la estirpe pesada. Se observó una mayor mortalidad con la concentración de 21 % proveniente de la GRL en la Etapa III.

8.5 DISCUSIÓN

En un ambiente hipoxico debido a una elevada altitud el embrión de pollo puede disminuir el desarrollo, hasta morir y en consecuencia menor nacimientos, a causa de la reducción de la presión parcial de oxígeno. ⁴³ Metcalfe *et al* 1981, mencionan que normalmente el O₂ favorece el crecimiento del embrión de pollo por el hecho de que el crecimiento embrionario puede ser acelerado por el suplemento de oxígeno.

Como se mencionó en el Cuadro 10, existe un incremento de la incubabilidad de acuerdo a la concentración de O₂, no observándose efecto por la variable función zootécnica de la gallina, el porcentaje de incubabilidad en los diferentes tratamientos mostró diferencias significativas, observándose el valor mas alto de 79.5 % con 26 % de

O₂, y el menor de 44.9 % para la concentración de 21 % de O₂, existiendo una diferencia de 34.5%.

De acuerdo a esta información y a los resultados obtenidos en el experimento 1, se puede observar que el porcentaje de incubabilidad fue menor independientemente del segundo factor dentro cada experimento, notando una diferencia considerable entre concentraciones de O₂. Los anteriores datos no se relacionan con lo expresado por Christensen y Bagley, quienes realizaron dos estudios con similares condiciones de experimentación para el caso del oxígeno en diferentes años. En 1984 suministraron 26.8 y 23.2 % de O₂ en huevos de pavos a una altura de 2,000 msnm, encontraron una diferencia a favor de 6.2 % en la mayor concentración de O₂. Posteriormente, en 1988 realizaron otro experimento utilizando 23.2 % de O₂ y un control sin oxígeno extra en huevos de pavos a una altura de 2,000 msnm, obteniendo una diferencia de incubabilidad superior en 8.4 %. Teniendo en cuenta que las condiciones de experimentación fueron las mismas se puede tomar como referencia ambos estudios como comparativos en este experimento, obteniendo un incremento de 11.9 % de incubabilidad entre el tratamiento de 26.8 % O₂ y el control sin O₂.

La mortalidad embrionaria en la Etapa I no muestra diferencias significativas en ninguno de los dos factores a evaluar. Sin embargo, se encontró significancia estadística en las Etapas II y III con una mayor concentración de O₂.

Los resultados de este experimento respaldan los valores encontrados en el primer experimento; que a menor concentración de O₂ se aumenta la mortalidad embrionaria en las etapas II o III de incubación.

9. CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos en los experimentos realizados se puede inferir lo siguiente:

La incubabilidad de huevo de gallina reproductora pesada se incrementa aproximadamente 28 % por el efecto de mantener 26 % de O₂ durante todo el proceso de incubación en una altura de 2,275 msnm.

Con la adición de 26 % de O₂ durante la incubación de huevo de gallinas reproductoras pesadas, nacieron el 99 % de los pollitos a las 492 hrs (20.5 días).

La calidad del pollo recién nacido y longitud de tarso; son superiores con el suministro de 23.5 y 26 % de O₂, en comparación con 21 % de O₂.

No hay diferencias en incubabilidad, duración de la incubación, evaluación del pollito recién nacido y parámetros productivos con las concentraciones de 3000, 3750 y 4500 ppm de CO₂, sin encontrar interacción por el efecto del O₂ - CO₂.

El peso de los pollos a los 42 días de edad se ve favorecido por la concentración de 26 % de O₂ durante la incubación.

El efecto de las concentraciones de 23.5 y 26 % de O₂ en los resultados de incubabilidad, longitud de tarso, calidad del pollito recién nacido y mortalidad a las 6 semanas de edad no muestra significancia estadística (P>0.05).

Cuando se suplementa 23.5 y 26 % de oxígeno durante la incubación disminuye la mortalidad embrionaria.

La incubabilidad se incrementa aproximadamente 34 % por el efecto de mantener durante la incubación 23.5 y 26 % de O₂ utilizando huevos de gallinas reproductoras ligeras y pesadas en una altura de 2,275 msnm.

No hay diferencia de incubabilidad entre huevos de gallinas reproductoras ligera o pesadas al aplicar oxígeno durante todo el proceso de incubación.

10. ANEXOS Y APENDICES

RESULTADOS DEL EXPERIMENTO 1

Cuadro 1. Porcentaje de incubabilidad real con tres concentraciones de O₂ y tres concentraciones de CO₂.

Tratamiento % O ₂ – ppm CO ₂	Porcentaje de Incubabilidad real	
	Media	DE
21 - 3000	63.89 ^b	± 24
21 - 4500	60.37 ^b	± 20.2
23.5 - 3750	83.23 ^a	± 8.6
26 - 3000	92.56 ^a	± 4.4
26 - 4500	86.87 ^a	± 4.5

^{a,b} Los valores con diferente literal en la misma columna son estadísticamente diferentes (P<0.05)

Cuadro 2. Mortalidad embrionaria con diferentes concentraciones de O₂ y CO₂ durante el proceso de incubación.

Tratamiento % O ₂ – ppm CO ₂	Porcentaje de Mortalidad		
	Etapa I	Etapa II	Etapa III
21 – 3000	11.3 ^a	4.4 ^a	20.2 ^b
21 – 4500	10.2 ^a	4.1 ^a	25.1 ^b
23.5 – 3750	3.6 ^a	1 ^a	12 ^{ab}
26 – 3000	3.3 ^a	0 ^a	4 ^a
26 – 4500	4.8 ^a	1.8 ^a	6.4 ^a

^{a,b} Los valores con diferente literal en la misma columna son estadísticamente diferentes (P<0.05)

Cuadro 3. Porcentaje acumulado de pollos nacidos con diferentes concentraciones de O₂ y CO₂.

Tratamiento % O ₂ – ppm CO ₂	19.5 días / 468 hrs	20 días / 480 hrs	20.5 días / 492 hrs
21 - 3000	8.9 ^a	55 ^a	95.5 ^{ab}
21 - 4500	11.4 ^a	43.1 ^a	80.5 ^b
23.5 - 3750	22.3 ^a	59.6 ^a	88.6 ^{ab}
26 - 3000	22.8 ^a	72.8 ^a	98.7 ^{ab}
26 - 4500	20.7 ^a	73.4 ^a	99.2 ^a

^{a b} Los valores con diferente literal en la misma columna son estadísticamente diferentes (P<0.05)

Cuadro 4. Resultados de la evaluación física de los pollitos recién nacidos con diferentes concentraciones de CO₂ y O₂.

Tratamiento % O ₂ – ppm CO ₂	Peso (g)	Longitud del pollo (cm)	Tarso (mm)	Calidad
21 - 3000	44.7 ^a	17.6 ^b	24.6 ^c	11.85 ^b
21 - 4500	45.9 ^a	17.6 ^b	24.7 ^{bc}	11.91 ^b
23.5 - 3750	45.9 ^a	17.9 ^a	25.1 ^{ab}	12.25 ^{ab}
26 - 3000	45.9 ^a	18.1 ^a	25.4 ^a	12.41 ^a
26 - 4500	45.4 ^a	18 ^a	24.9 ^{bc}	12.31 ^a

^{a b} Los valores con diferente literal en la misma columna son estadísticamente diferentes (P<0.05)

Cuadro 5. Efecto de tres concentraciones de CO₂ y O₂ en el peso corporal semanal (g).

Tratamiento % O ₂ – ppm CO ₂	Pesos semanales					
	1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a	5 ^a	6 ^a
21 - 3000	149.8 ^b	380.1 ^b	766.3 ^a	1239 ^a	1815 ^a	2222 ^b
21 - 4500	148.1 ^b	378.9 ^b	763.3 ^a	1211 ^a	1695 ^a	2159 ^b
23.5 - 3750	164.9 ^a	397.9 ^{ab}	762.2 ^a	1277 ^a	1795 ^a	2249 ^b
26 - 3000	158 ^a	403.5 ^a	776.8 ^a	1265 ^a	1831 ^a	2349 ^a
26 - 4500	162.9 ^a	407.9 ^a	789.4 ^a	1280 ^a	1830 ^a	2304 ^a

^{a,b} Los valores con diferente literal en la misma columna son estadísticamente diferentes (P<0.05)

Cuadro 6. Conversión alimenticia y mortalidad a las 6 semanas de edad con diferentes concentraciones de CO₂ y O₂.

Tratamiento % O ₂ – ppm CO ₂	Conversión alimenticia	Mortalidad
21 - 3000	1.71 ^a	72 ^b
21 - 4500	1.6 ^a	45 ^{ab}
23.5 - 3750	1.7 ^a	30 ^a
26 - 3000	1.74 ^a	42 ^{ab}
26 - 4500	1.7 ^a	42 ^{ab}

^{a,b} Los valores con diferente literal en la misma columna son estadísticamente diferentes (P<0.05)

RESULTADOS DEL EXPERIMENTO 2

Cuadro 7. Resultados de incubabilidad real y mortalidad embrionaria por etapas de incubación.

Tratamiento	Incubabilidad real	Mortalidad embrionaria		
		Etapas I	Etapas II	Etapas III
26 % O₂ 1-11 días	43.9 ^a	10.4 ^a	4.4 ^a	41.1 ^a
26 % O₂ 12-21 días	47.1 ^a	27.2 ^b	1.5 ^a	24 ^a
Sin O₂ extra	42.1 ^a	34.4 ^b	7.8 ^a	15.5 ^a

^{a,b} Los valores con diferente literal en la misma columna son estadísticamente diferentes (P<0.05)

Cuadro 8. Resultados de peso semanal (g) de cada tratamiento.

Tratamiento	Pesos semanales						
	1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a	5 ^a	6 ^a	6.5 ^a
26 % O₂ 1-11 días	143.9 ^a	301.6 ^a	617.3 ^a	1079.8 ^a	1599.1 ^a	2191.7 ^a	2306.6 ^a
26 % O₂ 12-21 días	134.2 ^{ab}	288.5 ^a	583 ^{ab}	1036.4 ^a	1556.1 ^a	2123.8 ^a	2247 ^a
Sin O₂ extra	124.7 ^b	270.4 ^a	560 ^b	1020.5 ^a	1532.3 ^a	2152.7 ^a	2287.5 ^a

^{a,b} Los valores con diferente literal en la misma columna son estadísticamente diferentes (P<0.05)

Cuadro 9. Consumo de alimento (g), conversión alimenticia (g/g) y mortalidad (%) a las 6.5 semanas de engorda.

Tratamiento	Consumo de alimento	Conversión alimenticia	Mortalidad
26 % O₂ 1-11 días	4450	1.93	6.6
26 % O₂ 12-21 días	4484	1.99	13.8
Sin O₂ extra	5077	2.21	33.3

RESULTADOS DEL EXPERIMENTO 3

Cuadro 10. Resultados de incubabilidad real de acuerdo a la concentración de O₂ y al fin zootécnico de las gallinas.

Tratamiento	Incubabilidad real		Promedio
	GRP	GRL	
21 % O ₂	48.1	41.6	44.9 ^b
23.5% O ₂	96.6	61.3	78.9 ^a
26 % O ₂	86	73	79.5 ^a
Promedio	76.9 ^a	58.6 ^a	

^{a b} Los valores con diferente literal en la misma columna son estadísticamente diferentes (P<0.05)

GRP= Gallinas reproductoras pesadas

GRL= Gallinas reproductoras ligeras

Cuadro 11. Resultados de mortalidad embrionaria (%) por etapas de incubación con diferentes concentraciones de O₂ y con diferentes estirpes de gallinas.

Etapas I

Tratamiento	Etapas I		Promedio
	GRP	GRL	
21 % O ₂	0	11.2	5.6 ^a
23.5 % O ₂	3.3	11.4	7.3 ^a
26 % O ₂	5.1	3.8	4.4 ^a
Promedio	2.8 ^a	8.8 ^a	

^a (P>0.05)

Etapa II

Tratamiento	Etapa II		Promedio
	GRP	GRL	
21 % O ₂	37	2.7	19.8 ^b
23.5 % O ₂	0	1.4	0.7 ^a
26 % O ₂	1.7	2.8	2.2 ^a
Promedio	13 ^b	2.3 ^a	

^{ab} Los valores con diferente literal en la misma columna son estadísticamente diferentes (P<0.05)

Etapa III

Tratamiento	Etapa III		Promedio
	GRP	GRL	
21 % O ₂	14.8	44.4	29.6 ^b
23.5 % O ₂	0	25.7	12.8 ^a
26 % O ₂	7	20.3	13.6 ^a
Promedio	7.2 ^a	30.1 ^b	

^{a b} Los valores con diferente literal en la misma columna son estadísticamente diferentes (P<0.05)

11. LITERATURA CITADA

1. Falta de Oxígeno. Disponible: URL: http://www.monografias.com/trabajos_14/falta-oxigeno/falta-oxígeno.shtml. Febrero 2007.
2. Knut S. Animal physiology. Adaptation and environment. Part Oxygen. Fifth edition. Editorial Cambridge University Press 1997.
3. Christensen V, Bagley L. Improved hatchability of turkey eggs at high altitudes due to added oxygen and increased incubation temperature. Poultry Science 1988; 67: 956-960.
4. Ells J, Morris L. Factors involved in hatching chicken and turkey eggs at high elevations. Poultry Science 1947; 26: 635-638.
5. Boerjan M. CO₂ controlled setting and hatching: benefits and drawbacks. World's Poultry Science 2001; 17: 18-19.
6. French NA. Effect of short periods of high incubation temperature on hatchability and incident on embryo pathology of turkey eggs. British Poultry Science 2000; 41: 377-382.
7. Meijerhof R, Lourens S. Embryo temperature is the key factor in incubation. World Poultry 1999; 15: 42-43.
8. Influencia de la incubación en la calidad del pollito de un día. Meijerhof R. Disponible: URL: <http://www.midiotecavipec.com/manejo/manejo030705.htm> Febrero 2007.
9. La incubación. Disponible: URL: <http://www.agronet.com.mx/cgi/articles> Febrero 2007.

10. El progreso genético requiere de cambios en la tecnología de la incubación. Boerjan M. Disponible: URL: [//www.pasreform.com/downloads/spanish/articles/El_progreso_genetico_requiere_de_cambios_en_la_tecnologia_de_incubacion.pdf](http://www.pasreform.com/downloads/spanish/articles/El_progreso_genetico_requiere_de_cambios_en_la_tecnologia_de_incubacion.pdf) Febrero 2007.
11. Etches R. Reproduction in poultry. Chapter Embryonic Development. United Kindom: CAB International, 1996.
12. Ar A, Visschedijk A, Rahn H, Piiper J. Carbon dioxide in the chick embryo towards end of development: effects of He and SF₆ in breathing mixture. *Respiration Physiology* 1980; 40: 293-307.
13. Cruz S, Romanoff A. Effect of oxygen concentration on the development of the chick embryo. *Physiology Zoology* 1944; 17:184-187.
14. Bell D, Weaver W. Commercial chicken meat and egg production. Editorial Kluwer Academic Publishers. Fifth Edition. 2001
15. Metcalfe J, McCutcheon I, Metzenberg A, Ettinger T. Oxygen availability and growth of the chick embryo. *Respiration Physiology* 1981; 46: 81-88.
16. Romanoff, A, Smith L, Sullivan R. Biochemistry and biophysics of the developing hen's egg. III. Influence of temperature. *Cornell Agric. Exp. Stn. Mem.* 216. Cornell Agric. Exp. Stn., Ithaca, NY. 1938
17. Jalavisto E, Kuorinka I, Kyllastinen M. Responsiveness of the erythron to variations of oxygen tension in the chick embryo and young chicken. *Acta Physiol. Scand.* 1965; 63:479-486.
18. Taylor L, Kreuziger O, Abercrombie G. The gaseous environment of the chick embryo in relation to its development and hatchability. Effect of carbon dioxide and oxygen levels during the terminal days of incubation. *Poultry Science* 1971; 50: 66-77.

19. Van Schalkwyk S, Brown C, Cloete S. Gas exchange of the ostrich embryo during peak metabolism in relation to incubator design. *South African Journal of American Science* 2002; 32: 122-129.
20. Feast M, Noble R, Speake B, Sparks N, Ferguson W. Effect of temporary reduction in incubation temperature on growth characteristics and lipid utilization in the chick embryo. *British Poultry Science* 1997; 38: 18-20.
21. Visschedijk A. The air space and embryonic respiration. 3. The balance between oxygen and carbon dioxide in the air space of the incubating chicken egg and its role in stimulating pipping. *British Poultry Science* 1968; 9: 197-210.
22. Buys N, Dewil E, Gonzales E, Decuypere E. Different CO₂ levels during incubation interact with hatching time and ascites susceptibility in two broiler lines selected for different growth rate. *Avian Pathology* 1998; 605-612.
23. Gildersleeve R, Boeschen D. The effects of incubators carbon dioxide level on turkey hatchability. *Poultry Science* 1983; 62: 779-784.
24. Meshew M. The use of oxygen in the hatching of chicken and turkey eggs at high altitudes. *Poultry Science* 1949; 28: 87-97.
25. Ar A, Paganelli C, Reeves R, Green D, Rabn H. The avian egg. Water vapor conductance, shell thickness, and functional pore, area. *Condor* 1974; 76:153-158.
26. Bagley L, Christensen V, Bagley R. Effect of altering eggshell permeability on hatchability of turkey eggs at high altitude. *Poultry Science* 1990; 69:451-456.
27. Baumann R, Padeken S, Haller E, Brilmayer T. Effects of hypoxia on oxygen affinity, hemoglobin pattern, and blood volume of early chicken embryos. *Animal Journal Physiol* 1983; 244:733-741.

28. Quintana JA. Avitecnia. Manejo de las aves doméstica más comunes. 3ª ed. 1ª reimpresión. México DF: Trillas, 2003.
29. Wilgus H, Sadler W. Incubation factors affecting hatchability of poultry eggs. 1. Levels of oxygen and carbon dioxide at high altitude. Poultry Science 1954; 33: 460-471.
30. Stephens B, Ploog H. Incubation of chickens eggs at high altitudes, 10 500 ft (3200m). World's Poultry Science Journal 1967; 23: 346-352.
31. Moreng R. Incubation and growth of fowls and turkeys in high altitude environments. World's Poultry Science 1983; 39: 47-51.
32. Christensen V, Bagley L. Vital gas exchange and hatchability of turkey eggs at high altitude. Poultry Science 1984; 63: 1350-1356.
33. Visschedijk A. Physics and physiology of incubation. British Poultry Science 1991; 32: 3-20.
34. Dagher NJ. Poultry Production in hot climates. United Kingdom: CAB International, 1995.
35. Smith A, Burton R, Besch E. Development of the chick embryo at high altitude. Fed. Proc. 1969; 28: 1092-1098.
36. Hernandez A, Quintana J, Núñez J. Supply of 25.5 % oxygen during broiler breeder egg incubation and its impact on newborn chicks and at 45 days during finishing at 2,240 m above sea level. Abstracts International Poultry Scientific Forum; 2006 January 23-24; Atlanta Georgia. Southern Poultry Science Society, Southern Conference on Avian Diseases and U.S. Poultry & Egg Association, 2006: 66.

37. Bagley L, Christensen L. Hatchability, hematological indices and growth of turkey embryos incubated at high altitude with supplemental oxygen during first and fourth weeks of incubation. *Poultry Science* 1991; 70: 358-365.
38. Prado R. Efecto de diferentes concentraciones de oxígeno y bióxido de carbono durante la incubación sobre los valores fisiológicos del pollo (tesis de doctorado). Tecomán (Colima) México: Universidad de Colima, 2006.
39. Taylor L, Kreuziger O. The gaseous environment of the chick embryo in relation to its development and hatchability. Effect of carbon dioxide and oxygen levels during the period of the fifth through the eighth days of incubation. *Poultry Science* 1965; 44: 98-106.
40. SAS Institute Inc. SAS/STAT User's Guide for Personal Computers (Version 9).
41. Kuurman W, Bailey B, Koops W, Grossman M. Effect of hatch on the distribution for failure of an embryo to survive incubation. *Poultry Science* 2001; 80: 710-717.
42. Christensen V, Donaldson W. Effect of oxygen and maternal dietary iodine on embryonic carbohydrate metabolism and hatchability of turkey eggs. *Poultry Science* 1992; 71: 747-753.
43. Monge C, León-Velarde F, Carey C. Oxygen transport system of high altitude bird embryos. *News Physiology Science* 1997; 12:121-125