





UNIVERSIDAD DE COSTA RICA  
FACULTAD DE CIENCIAS AGROALIMENTARIAS

ESCUELA DE ZOOTECNIA

**Identificación de los factores que afectan la incubabilidad, mortalidad embrionaria y la calidad de pollito en una planta de incubación de pollo de engorde.**

María José Soto Granados

Proyecto de graduación presentado para optar por el título en el grado académico de Licenciatura en Ingeniería Agronómica con énfasis en Zootecnia

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio

2019

## HOJA DE APROBACIÓN

Este proyecto de graduación fue aceptado por la Comisión de Trabajos Finales de Graduación de la Escuela de Zootecnia de la Universidad de Costa Rica, como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Agronómica con énfasis en Zootecnia.

\_\_\_\_\_ Director de proyecto

M.Sc. Sebastián Dorado Montenegro

\_\_\_\_\_ Miembro del tribunal

M.Sc. Rebeca Zamora Sanabria.

\_\_\_\_\_ Miembro del tribunal

Ph.D. Jorge Camacho Sandoval.

\_\_\_\_\_ Miembro del tribunal

M.Sc. Héctor Santos Montoya

\_\_\_\_\_ Subdirectora de Escuela

Ph.D. Catalina Salas Durán

\_\_\_\_\_ Sustentante

María José Soto Granados

## DEDICATORIA

A Dios, luz y forjador de mi camino.

A mis padres, Bernal y Grettel.

A mi futuro esposo, Walter.

## AGRADECIMIENTOS

A Dios, por darme la vocación y el amor por esta carrera, por cada victoria, y por guiar cada paso de mi vida.

A mis padres, por el apoyo incondicional y el esfuerzo de tantos años.

A mi hermano Alejandro, por estar ahí siempre.

A Walter, por vivir cada etapa conmigo, por creer en mí, por su apoyo incansable y por su amor que siempre me ha dado luz.

A mis amigos y colegas, mis compañeros de carrera, por compartir el camino recorrido todos estos años.

A la doctora Rebeca Zamora, por el ejemplo, el acompañamiento durante estos años, la guía, el tiempo dedicado, los conocimientos compartidos, y por impulsar siempre nuestro crecimiento profesional.

A mi profesor tutor, Sebastián Dorado por el apoyo, el seguimiento y la colaboración en este proyecto.

Al señor Héctor Santos, por depositar su confianza en mí, por el apoyo y las enseñanzas, y por la gran amistad que forjamos en el proceso.

A la empresa Cargill Meats Centroamérica, por la oportunidad al abrirme sus puertas para desarrollar el proyecto.

A la división de incubación, sus supervisores, operarios y personal que colaboraron en el proyecto, e hicieron del proceso una experiencia inolvidable.

## ÍNDICE

PORTADA.....	i
HOJA DE APROBACIÓN.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTOS .....	iv
ÍNDICE .....	v
ÍNDICE DE CUADROS .....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	ix
RESUMEN .....	x
1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. ESTADO DEL CONOCIMIENTO .....	3
2.1. Calidad de pollito de un día de edad, mortalidad embrionaria e incubabilidad .....	4
2.1.1. Incubabilidad .....	4
2.1.2. Calidad de pollito .....	14
2.1.3. Mortalidad Embrionaria .....	17
2.2. Recolección y análisis de datos en la industria avícola .....	20
3. OBJETIVOS .....	22
3.1. General.....	22
3.2. Específicos .....	22
4. MATERIALES Y MÉTODOS .....	23

4.1. Procedimiento general.....	23
4.2. Recolección de datos .....	26
4.3. Análisis exploratorio de los datos .....	30
4.3.1. Descriptivos de los datos univariados .....	30
4.3.2. Descriptivos de los datos bivariados .....	30
4.4. Análisis inferencial de los datos .....	31
4.4.1. Análisis de regresiones múltiples (Stepwise).....	31
4.4.2. Diagnóstico del modelo.....	32
4.4.3. Análisis de residuos.....	33
4.4.4. Modelos gráficos .....	33
4.4.5. Pruebas de comparación de promedios y prueba Tukey.....	33
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	34
5.1. Resultados estadísticos de análisis descriptivo de datos... ..	34
5.2. Resultados estadísticos de análisis inferencial de datos... ..	40
5.2.1. Incubabilidad .....	41
5.2.2. Mortalidad Embrionaria .....	46
5.2.3. Calidad de pollito .....	54
5.3. Resultados estadísticos comparación de promedios y prueba Tukey.....	61
CONCLUSIONES.....	68
RECOMENDACIONES .....	69
LITERATURA	
CITADA .....	71



## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro</b>	<b>Título</b>	<b>Página</b>
1	Efecto del tamaño y peso de huevo sobre la incubabilidad del pollo de engorde.....	7
2	Clasificación de variables independientes.....	27
3	Análisis descriptivo de los datos recolectados en incubadora por granja de procedencia de variables dependientes.....	38
4	Análisis descriptivo de los datos recolectados en incubadora por granja de procedencia de variables independientes.....	39
5	Modelos de regresión múltiple seleccionados para variables dependientes.....	41
6	Análisis de regresión múltiple para variable incubabilidad.....	42
7	Análisis de regresión múltiple para variable mortalidad embrionaria temprana.....	46
8	Análisis de regresión múltiple para variable mortalidad embrionaria media.....	48
9	Análisis de regresión múltiple para variable mortalidad embrionaria tardía.....	49
10	Efecto de diferentes pesos de huevo sobre la mortalidad embrionaria.....	53
11	Análisis de regresión múltiple para variable pollito de primera calidad.....	55
12	Análisis de regresión múltiple para variable pollito de segunda calidad.....	56
13	Distribución de variables independientes cualitativas.	62

14	Diferencia de promedios para las diferentes variables dependientes respecto al factor granja de procedencia.	64
15	Diferencia de promedios para las diferentes variables dependientes respecto al factor sala.	66

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Título</b>	<b>Página</b>
1	Representación de cámara de aire por pérdida de humedad en el huevo fértil.....	11
2	Comportamiento de mortalidad embrionaria en lotes de distintas edades.....	18
3	Diagrama de flujo de proceso de incubación de huevo fértil.....	25
4	Efecto del tiempo de almacenamiento sobre la mortalidad embrionaria.....	52

## RESUMEN

Se identificaron los principales factores que afectan la incubabilidad, la mortalidad embrionaria y la calidad de pollito de un día de nacido en una planta incubadora de pollo de engorde, a través de métodos estadísticos descriptivos e inferenciales. El estudio se realizó en una incubadora de pollo de engorde, entre los meses de marzo y noviembre del año 2018. El procedimiento de la investigación se dividió en tres etapas: recolección de datos productivos, análisis exploratorio de los datos y análisis inferencial. Durante la primera etapa se recolectaron los datos productivos correspondientes a un año, de un total de siete lotes distintos de reproductoras pesadas, que comprende fechas productivas desde enero a diciembre del 2017. La segunda etapa de análisis exploratorio se realizó a través de la estadística descriptiva con el objetivo de conocer la estructura de los datos (errores, asociaciones, tendencias, características distributivas y criterios de inclusión o exclusión). Por último, en la tercera etapa de análisis inferencial se realizó la estimación de las características o propiedades de una población a partir de una muestra, se modelaron patrones en los datos y se extrajeron inferencias acerca de la población en estudio. Para las variables dependientes cuantitativas se realizó un análisis de regresión múltiple por pasos, se evaluó la multicolinealidad de las variables y se realizó un análisis de residuales. Por otro lado, para las variables cualitativas se realizó un análisis de la varianza no paramétrico para la comparación de promedios con una prueba de Tukey-Kramer. Para las variables independientes cuantitativas se obtuvieron como resultado seis modelos de regresión múltiple. Se determinó la variabilidad de incubabilidad, la cual se explica en un 88,1% por las variables fertilidad, días de almacenamiento y número de huevos cargados. De igual manera se determinó la variabilidad de la mortalidad embrionaria en sus tres etapas, explicada en 55,8%, 26,2% y 77,2% para la etapa temprana, media y tardía respectivamente, por variables como porcentaje de fertilidad, peso de huevo, días de almacenamiento, número de huevos cargados y transferidos y edad del ave reproductora. La variabilidad en la calidad de pollito se explica en un 86% y 57,2% para los porcentajes de pollito de primera calidad y segunda calidad respectivamente, por variables como fertilidad, días de almacenamiento, porcentaje

de pérdida de humedad y número de huevos transferidos. Para las variables cualitativas, se obtuvo como resultado de la prueba de comparación de promedios que las variables granja (procedencia de los huevos) y sala de máquinas incubadoras y nacedoras resultaron significativas ( $p < 0,0001$ ) para todas las variables dependientes. Las variables de clasificación: máquina incubadora y máquina nacedora no mostraron ser estadísticamente significativas ( $p > 0,0001$ ). Se determinó que los mejores resultados de incubabilidad y porcentaje de pollito de primera calidad fueron obtenidos en las granjas de Procedencia 1, y en las Salas A, de igual manera se vieron los porcentajes de mortalidad embrionaria más bajas en sus tres etapas. Esta investigación determinó los principales factores que pueden afectar los parámetros que miden el rendimiento en la planta incubadora de pollo de engorde en estudio, como lo fueron los días de almacenamiento, porcentaje de fertilidad, peso de huevo, número de huevos cargados, pérdida de humedad, condiciones de sala de proceso, y origen de la granja. Por medio de la identificación de estos factores es posible establecer puntos críticos en el proceso de incubación que permitan generar una guía de decisión para la corrección de resultados no esperados. La realización de investigaciones posteriores en este campo es necesaria para optimizar la producción de pollitos de primera calidad con los mejores resultados de incubabilidad y menores mortalidades embrionarias en el proceso.

## 1. INTRODUCCIÓN

La producción avícola mundial se ha incrementado rápidamente, de la mano de características propias del desempeño de la economía de cada país. En este sentido, el crecimiento de la avicultura en Costa Rica ha sido sostenido y exponencial en los últimos años, estimándose un consumo per cápita de carne de pollo de 27kg/persona/ año. Productos de origen avícola como la carne de pollo y el huevo comercial, representan el 50% del consumo de proteína de origen animal en la dieta del costarricense (CANAVI 2016).

Según FAO (2014), se proyecta un crecimiento anual en el mercado de carne de pollo de un 9,7% en Centroamérica, por lo tanto para satisfacer la demanda de esta proyección, el sector productivo de pollo de engorde tiene la responsabilidad de eficientizar la producción de sus sistemas, tanto en cantidad como en calidad.

Tras el crecimiento proyectado, resulta crítico mejorar el rendimiento de los sistemas productivos de pollo de engorde. Uno de los pasos principales se debe realizar durante el proceso de incubación, buscando el mejor impacto de la calidad del pollito que sale de la planta de incubación sobre el desarrollo de la vida productiva del pollo de engorde que se comercializa (Bastidas et al. 2015). Dentro del flujo de producción avícola, la planta de incubación es un componente esencial en la cadena, que sumada a la producción de huevo fértil, son los que determinan la calidad y vitalidad del pollito de un día. Ambos procesos determinan la calidad y el desempeño del producto final (Boerjan 2004).

La incubabilidad, la calidad de pollito y la mortalidad embrionaria, son parámetros que determinan el desempeño general del sistema de incubación de huevo fértil. Diariamente se genera una gran cantidad de datos productivos en todas las áreas del proceso de producción de la carne de pollo. En la planta de incubación también se obtiene una gran cantidad de datos, que requieren de un adecuado análisis para que se convierta en una herramienta que contribuya a la toma de decisiones para mejorar el desempeño de los sistemas de producción.

Sin embargo, a pesar de la importancia de los datos recolectados, muchas veces estos no son recolectados de la mejor manera, o son registrados en una base de datos sin ser utilizados o analizados apropiadamente. El análisis de los datos recolectados permite generar indicadores que a su vez, facilitan la planificación de un modelo de acción y la toma de decisiones estratégicas sobre las oportunidades de mejora dentro de un sistema productivo.

Debido a la gran cantidad de datos productivos generados diariamente en un sistema industrializado de incubación de pollo de engorde, y a la importancia de lograr el mejor desempeño del sistema de incubación, surge la necesidad de aprovechar los datos de la mejor manera posible con el fin de desarrollar un protocolo de diagnóstico multifactorial. Este diagnóstico permitirá identificar aquellos factores que ejercen un impacto sobre el producto final y su calidad.

El presente proyecto, pretende identificar los principales factores involucrados en una planta incubadora de pollo de engorde, que ejercen un efecto sobre la incubabilidad, la mortalidad embrionaria y la calidad de pollito de un día de nacido. A partir de esta investigación se busca mejorar la estrategia de evaluación de calidad de pollito de un día, así como demás parámetros que evalúen el desempeño general de la planta incubadora. Con esto se procura alcanzar el objetivo de satisfacer la demanda del mercado de carne de pollo para los próximos años, optimizar los procesos y mejorar los ingresos de las empresas avícolas.

## 2. ESTADO DEL CONOCIMIENTO

La incubación natural es el proceso por medio del cual las aves proveen las condiciones de temperatura, aireación y humedad adecuadas para el correcto desarrollo de los embriones en el huevo. Esto lo logran colocándose sobre ellos por un período aproximado de veintiún días. La gallina tiene una temperatura corporal de 40,5°C proporcionando una temperatura en el centro del huevo de 37,8°C aproximadamente. Cuando el ave se levanta para alimentarse, voltea el huevo para lograr la aireación que evita que las membranas embrionarias se adhieran a la cáscara (FAO 2004).

Por otro lado, la incubación artificial fue desarrollada con los objetivos principales de recrear las condiciones de temperatura y humedad relativa que proporcionaría el ave en condiciones naturales. Tras la demanda de un alto volumen de producción de pollitos, la incubación artificial ha contribuido enormemente a la rápida expansión de la industria avícola. Además, también ha mantenido el ritmo del progreso técnico (CEVA 2005).

La incubación artificial de los huevos avícolas es una práctica muy antigua y los principios de la incubación fueron establecidos hace siglos. En ese momento, el calor, la humedad y la renovación del aire del entorno de incubación, así como el volteo del huevo, ya habían sido considerados dentro del proceso. Basados en registros históricos, Paniago (2005) y Van der Sluis (2011) mencionan que en el antiguo Egipto, los huevos se incubaron en edificios de adobe divididos en cámaras de incubación, similares a hornos separados por un pasillo central y accesible a través de pozos. En la parte superior de las cámaras de huevos, había estantes para quemar paja, estiércol o carbón para calentar los huevos de abajo. Los respiraderos en el techo permitieron que el humo de los incendios escapara y proporcionara luz. En este sistema de incubación primitivo, la temperatura dentro de las cámaras de incubación se manejaba controlando la intensidad del fuego abriendo los pozos, respiraderos y el pasillo. Por otro lado, la humedad se controló colocando yute humedecido en los huevos, que se giraban manualmente dos veces al día. La incubación mecánica se inventó en el año 1749 por Reamur en París,



Francia, y la primera incubadora comercial fue fabricada por Hearson en 1881 (Boleli *et al.* 2016).

Como se mencionó anteriormente, el período de incubación del huevo de gallina tiene una duración de veintiún días en promedio, dieciocho de los cuales deben transcurrir en la máquina incubadora y los restantes tres en la máquina nacedora, a una temperatura 1°C menor que durante el proceso previo. La incubación constituye una etapa fundamental de la vida de las aves, ya que durante este periodo se desarrollan y maduran órganos y sistemas fisiológicos, por lo tanto las condiciones ambientales existentes durante el desarrollo embrionario serán determinantes para el crecimiento y desarrollo del polluelo, pudiendo también influir en el rendimiento productivo y la salud en la edad adulta (Ruiz *et al.* 2016).

En la actualidad, la fase de incubación representa más del 40% del período de la producción total. Si consideramos el período total de la producción desde el inicio de la incubación hasta que son enviados al matadero, este periodo de incubación está fuertemente relacionado con el éxito o fracaso de los resultados productivos del lote de engorde. Por lo tanto, producir un pollito de buena calidad es cada vez más importante. La calidad de los pollitos se verá afectada por muchos factores desde el estado sanitario de los progenitores y la transmisión de nutrientes a los embriones al manejo de los huevos fértiles (Abad y García 2013).

## 2.1. Incubabilidad, calidad de pollito de un día de edad y mortalidad embrionaria.

### 2.1.1. Incubabilidad

En una planta incubadora de pollo de engorde, el desempeño de la misma se mide por el número de pollitos de primera calidad producidos. Este número expresado como un porcentaje de todos los huevos incubados se refiere a la incubabilidad, la cual está influenciada por diversos factores. Estos factores pueden ser originados desde las granjas de reproducción, o de la planta de incubación (Cobb Vantress

2013). Cuando los factores que afectan dicho parámetro están relacionados a la etapa de incubación, la incubabilidad, la calidad de pollito y otros parámetros, pueden verse influenciados por elementos de infraestructura y equipo de maquinaria del sistema de incubación y/o a parámetros técnicos-productivos de la planta incubadora. Por lo tanto, las condiciones del proceso de incubación ejercen resultados en una mejor incubabilidad y en una mejor calidad de pollito.

Principales factores que afectan la incubabilidad:

#### Tiempo de almacenamiento de huevo fértil

El almacenamiento de huevo fértil es una práctica normal que se realiza después de la recolección de los mismos, y constituye una necesidad logística para la industria avícola cuando los volúmenes de producción son altos, generando un impacto económico muy importante en la industria. Sin embargo, es una práctica que influye de manera negativa sobre la calidad del huevo ya que se requiere un mayor tiempo de incubación de los huevos, afectando negativamente la calidad del pollito y su desempeño productivo durante la primera semana de vida (Tona *et al.* 2003).

El almacenamiento durante más de siete días, o condiciones de almacenamiento inadecuadas, da como resultado una mortalidad embrionaria y una baja incubabilidad de los lotes. La mortalidad embrionaria, retraso en el inicio del desarrollo y la embriogénesis anormal son consecuencia de un almacenamiento prolongado de los huevos fértiles (Fasenko *et al.* 2007).

La investigación inicial realizada por Edwards (1902) encontró que 21°C es la temperatura mínima para el desarrollo embrionario, denominando a este punto como cero fisiológico, punto en el que el embrión deja de desarrollarse. Esto se confirmó en investigaciones posteriores, principalmente en huevos de raza White Leghorn, que estudiaron el efecto de la temperatura de almacenamiento entre 12°C y 20°C. De acuerdo con las guías de manejo de las diferentes líneas genéticas

actuales, la temperatura de almacenamiento recomendada es de 20–23°C hasta 3 días y de 12–18°C durante períodos de almacenamiento más prolongados.

Tanto en la granja de reproductores como en la incubadora, los huevos fértiles se almacenan a temperaturas inferiores a 21°C. Una de las razones para almacenar a bajas temperaturas es prevenir el crecimiento de bacterias. La razón principal es detener el desarrollo del embrión (Fasenko et al. 2007).

Según Nicholson (2012), un almacenamiento prolongado de los huevos fértiles provoca alteración en la estructura de la proteína del huevo, ocasionando viscosidad del albumen, la cual se presenta debido al aumento del pH a partir del día siete del desarrollo embrionario, además la membrana vitelina pierde grosor y se debilita, ya que el agua pasa del albumen al vitelo por ósmosis, provocando cambios en la yema. También se evidencia una variación del número de células embrionarias, en el día diecisiete se obtendrá un 70% de muerte celular embrionaria.

En promedio, un día de almacenamiento adiciona una hora de tiempo de incubación. Tiempos prolongados de almacenamiento afectan la incubabilidad. Este efecto aumenta con el tiempo de almacenamiento después del período de seis días, resultado en una pérdida de 0,5 a 1,5% por día, con mayores pérdidas si se extiende el almacenamiento (Cobb Vantress 2013).

### Peso del huevo

La producción de huevos en reproductoras, se encuentra relacionada a la edad, el peso corporal de las gallinas reproductoras y el tipo de alimentación del ave. Para la producción de pollo de engorde se requieren huevos de tamaño medio y alto, con pesos arriba de 50 gramos. Huevos con pesos en un rango de 45 a 56 gramos presentan una mejor incubabilidad que los pequeños huevos, ya que el tamaño del huevo afecta principalmente en el retardo de la absorción del saco vitelino en los pollitos recién nacidos. Por otro lado, huevos con peso entre 52 a 69 gramos presentan mayor duración de la incubación, cáscara fina con mayor pérdida de humedad, y además no encajan bien en las bandejas aumentando las probabilidades de fisuras (Abiola et al. 2008).

En un estudio realizado por Gandarillas (2017), se evaluó el efecto del tamaño y el peso del huevo sobre la incubabilidad del pollo de engorde. Se determinó que huevos de tamaño mediano (50,98-57,39 g) obtuvieron mejores resultados con relación a huevos de tamaño pequeño (41,09-50,97 g) y tamaño grande (57,40-69,64 g).

Cuadro 1. Efecto del tamaño y peso de huevo sobre la incubabilidad del pollo de engorde.

Tamaño	Peso (g)	Pérdida Humedad (%)	Incubabilidad (%)	Mortalidad (%)
Grande	57,40-69,64	10,7	82,88	12,42
Mediano	50,98-57,39	12,6	96,65	2,56
Pequeño	41,09-50,97	11,3	91,33	8,32

Fuente: Gandarillas (2008).

Según Gandarillas (2008), en su estudio realizado acerca del efecto del tamaño y peso de huevo sobre la incubabilidad, se determinó sobre el porcentaje de incubabilidad valores entre 82,88% a 96,65%, siendo el mayor encontrado en huevos de tamaño mediano y menor en huevos de tamaño grande. Estos resultados demuestran que los huevos de tamaño mediano obtuvieron mejores resultados con relación a huevos de tamaño pequeño y grande.

#### Equipo de incubación

Existen muchos tipos de incubadoras que utilizan dos diferentes sistemas para lograr el balance dentro de la incubadora: la carga múltiple y la carga única. En términos de incubación, la carga se refiere a la colocación de huevos incubables en máquinas incubadoras.

En las máquinas de carga única, la colocación de huevos se realiza de una sola vez con huevos del mismo tipo o lote, obteniendo huevos en la misma fase embrionaria. En estas máquinas se realiza un manejo específico de las condiciones óptimas de temperatura, humedad y ventilación para cada fase del desarrollo. Unas de las

ventajas de este equipo es poder determinar con mayor precisión el momento de la eclosión y la uniformidad del nacimiento de los pollitos, así como facilitar la limpieza y desinfección del equipo después de cada incubación. Sin embargo este tipo de máquinas requieren una mayor inversión económica.

Por otro lado, en las máquinas de carga múltiple la colocación de huevos se realiza varias veces y de forma continuada en el tiempo, por lo que en la misma máquina se van a encontrar huevos con embriones en diferente estadio de desarrollo. Son máquinas de gran capacidad cargadas con huevos de diferentes lotes. Este tipo de máquinas representa una menor inversión económica, sin embargo no es posible crear las condiciones ambientales óptimas específicas para cada etapa del desarrollo embrionario, además de dificultar la limpieza y desinfección del equipo.

Las incubadoras multi-etapa requieren una constante cantidad de aire. Esta debe ser ajustada para que los niveles de dióxido de carbono dentro de la máquina no excedan 0,4%, donde la mayoría realizan este ajuste entre 0,2%-0,3%. En una máquina multi-etapa, la temperatura debe permanecer constante.

La temperatura óptima para incubabilidad y calidad del pollito dependerá del tipo de incubadora. Temperaturas más altas o más bajas de las que recomiendan los fabricantes conllevarán a desarrollos más rápidos o más lentos y consecuentemente a la reducción en incubabilidad. Mientras que en máquinas incubadoras de una etapa o carga única, la temperatura puede ser alterada para el crecimiento del embrión y para la producción de calor, comenzando con una temperatura más alta y reduciéndola en diferentes etapas hasta la transferencia.

El balance incorrecto al cargar máquinas de multi-etapa puede crear variaciones significantes de temperatura. Máquinas parcialmente llenas no podrán alcanzar temperaturas correctas y prolongan el tiempo de incubación, mientras que sobrecargar puede crear problemas de sobrecalentamiento. Ambas condiciones afectarán adversamente la incubabilidad y la calidad del pollito (Rodríguez y Cruz 2017).

## Temperatura

La transferencia de calor se produce cuando hay una diferencia de temperatura entre dos regiones o medios, y siempre en el gradiente térmico. Los huevos presentan cuatro mecanismos para la transferencia de calor: conducción, radiación, convección y evaporación. Sin embargo, los huevos ganan o pierden calor solo cuando hay una diferencia de temperatura entre el ambiente y la cáscara del huevo, y esto está influenciado por varios factores asociados con la calidad del huevo (edad del reproductor, tamaño, composición, forma del huevo y características de la cáscara), pérdida de humedad y condiciones de incubación (Boleli *et al.* 2016).

La temperatura de incubación puede tener un efecto significativo sobre la incubabilidad, la calidad del pollito y el rendimiento posterior en aves de producción y se considera que es el factor ambiental más importante durante el proceso de incubación de huevos fértiles (Walstra *et al.* 2010).

Los embriones de las aves son poiquiloterms, es decir, que dependen de una fuente externa (gallina o incubadora) que les proporcione calor para desarrollarse y mantener las funciones metabólicas normales. En consecuencia, es importante incubar los huevos a una temperatura que optimice la eclosión, definida entre 37,5 a 37,8°C en las máquinas incubadoras, y 36,1°C y 37,2°C en las máquinas necedoras. La temperatura durante el proceso de incubación incide en el peso de los órganos, el desarrollo del sistema cardíaco, los músculos y tendones (Joseph *et al.* 2006). Cualquier cambio en la temperatura durante la incubación puede afectar el tamaño del embrión, el crecimiento de sus órganos, la tasa metabólica, el desarrollo fisiológico y el éxito de la eclosión (Ruiz *et al.* 2016).

Diferencias en las características propias del huevo, como el grosor y porosidad de la cáscara de las diferentes líneas genéticas, esto a su vez podría influir sobre la conductibilidad del calor y la deshidratación del huevo en el proceso de incubación. Las características estructurales de la cáscara del huevo influyen en la facilidad que tendría el vapor de agua, el O<sub>2</sub> y el CO<sub>2</sub> para atravesar los poros hacia y/o desde el

embrión en desarrollo, presentando huevos de cáscara delgada mayor propensión a la deshidratación del embrión durante la incubación (Ruiz *et al.* 2016).

Las temperaturas superiores a los parámetros normales de incubación, afectan más que las temperaturas más bajas que estos parámetros, ya que provocan la muerte del embrión, así como fuerte deshidratación, nacimientos prematuros y alta mortalidad de los pollitos al nacer y durante los primeros días de vida. Por otro lado, una temperatura de incubación por debajo del ideal prolonga la duración de la misma, así como pollitos inmaduros y de aspecto débil (Rodríguez y Cruz 2017)

En un estudio realizado por Ruiz (2016), se determinó que hay una relación entre el aumento de la temperatura de incubación y la mortalidad embrionaria, así como una disminución en la capacidad de eclosión. También se determinó que a mayor temperatura de incubación se presentan menores tasas de desarrollo y reducción de peso al nacimiento, así como un mayor tamaño del saco vitelino.

### Humedad

Uno de los subproductos del metabolismo que ocurre durante el proceso de incubación es el agua; el embrión debe eliminar el exceso de agua para poder eclosionar. Durante el proceso de incubación, el huevo fértil pierde una cierta cantidad de peso debido a la evaporación de agua. Esta pérdida de peso es esencial para crear una suficiente cámara de aire que permita la ventilación pulmonar embrionaria, después del picado interno y una exitosa eclosión (Prado y Juárez 2017).

La mayor eclosión en huevos fértiles y nacimientos se alcanza cuando la pérdida de agua difusiva total es del 12% al 14% del peso del huevo fresco a los 18 días del proceso de incubación. La mortalidad embrionaria aumenta cuando la pérdida de agua es inferior al 9,1% o superior al 18,5% (Ricaurte 2006).

La evaporación del agua del huevo puede manipularse cambiando la humedad relativa dentro de la incubadora, ya que el déficit de vapor de agua dirige el intercambio de H<sub>2</sub>O. Una disminución de la humedad relativa en la incubadora

conduce a un aumento en la evaporación del agua del huevo. Según Van der Pol (2016), se puede especular que la humedad relativa en la incubadora influye sobre la temperatura del embrión, ya que la energía requerida para evaporar el agua de la cáscara del huevo es tomada del huevo. Esto significa que la pérdida de calor podría incrementarse en los huevos incubados con una humedad relativa baja en comparación con una humedad relativa alta. Por lo tanto, huevos incubados a una humedad relativa baja pueden requerir una temperatura de máquina diferente a los huevos incubados a una humedad relativa alta para mantener la misma temperatura embrionaria.

Uno de los métodos comunes para determinar la pérdida de humedad correcta es colocar a contraluz los huevos en diferentes etapas de la incubación. Se muestra el tamaño normal de la celda de aire después de 7, 14 y 18 días de incubación de un huevo de gallina (Figura 1). Pueden hacerse ajustes necesarios de humedad como resultado de la inspección con la vela.

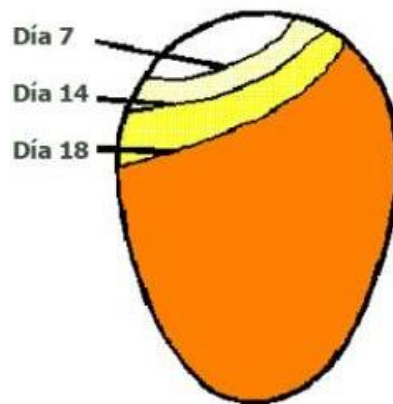


Figura 1. Representación de cámara de aire por pérdida de humedad en el huevo fértil.

Burh (1995) realizó un estudio donde evaluó el efecto de diferentes humedades relativas en incubación sobre la incubabilidad, volumen de fluido alantoideo y peso del embrión; en este ensayo no se encontraron diferencias estadísticamente



significativas en la incubabilidad en las diferentes humedades empleadas, y la pérdida de peso de los huevos se incrementó al elevar la humedad en incubación, el volumen del fluido alantoideo se incrementó conforme aumentaba la humedad. Por otro lado, está bien documentado que conforme aumenta la edad de la reproductora, el cascarón se vuelve más poroso, por lo que incrementa la pérdida de peso del huevo, afectando el intercambio gaseoso del embrión.

### Edad del ave reproductora

La edad del ave reproductora influye fuertemente sobre parámetros como peso del huevo, así como en la calidad y composición del huevo. Aves reproductoras jóvenes tienden a producir huevos más livianos y, en consecuencia, pollitos de un día más livianos (Dalanezi *et al.* 2003).

El peso del huevo aumenta con la edad del reproductor debido al aumento en el tamaño de la yema. En contraparte la variación en el peso de los huevos producidos por los reproductores de la misma edad se debe a un aumento en la proporción de albúmina (Bautista *et al.* 2013). Cabe mencionar que los huevos con el mismo peso, independientemente de la edad del reproductor, producen pollitos de un día con el mismo peso y calidad.

Los huevos producidos por aves reproductoras de diferentes edades requieren el mismo tiempo de incubación, pero no la misma temperatura, ya que los huevos de los criadores más viejos tienden a producir más calor durante la incubación que los de los criadores más jóvenes. Además, a medida que se desarrolla el embrión, aumenta su producción de calor metabólico, lo que exige reducir la temperatura suministrada por la incubadora. Resulta importante considerar que el sobrecalentamiento de los embriones afecta negativamente a la eclosión, así como al desarrollo de los sistemas digestivo e inmunológico del polluelo (Valle 2008).

### Fertilidad

Debido a que las incubadoras no tienen influencia sobre la fertilidad, es muy importante considerar el nacimiento de los fértiles además de la incubabilidad. El

nacimiento de los fértiles (%) es una medida de la eficiencia de la maquinaria en la incubadora. Este parámetro toma en consideración la fertilidad del lote y la incubabilidad, esto es porcentaje total de pollitos nacidos dividido entre el porcentaje total de huevos fértiles por cien (Cobb Vantress, 2013).

La fertilidad es la capacidad de producir descendencia y esta depende de factores endógenos de las aves reproductores (hembras y machos), además de otros factores como la genética, la edad, el medio ambiente, y el estado de salud. El pico de fertilidad es la semana en que más huevos fecundados o fértiles se obtienen, este se da entre las 8 y las 10 semanas de producción y se mantiene constante durante 5 a 6 meses (Ramírez 2011).

Los machos son una parte principal de la fertilidad en una parvada, ya que de ellos depende en gran parte que los huevos sean fértiles. Por ello es conveniente seleccionar a los machos, eliminando aquellos que se muestren inactivos, que no copulen, o que al montar a la hembra no se obtengan huevos fértiles.

Cabe mencionar que existen otros factores que pueden presentar un efecto directo sobre la fertilidad de las aves reproductoras, como el manejo, la nutrición y el manejo del huevo fértil.

La fertilidad de los huevos se puede determinar de manera práctica por medio del método de ovoscopia (Vásquez 2008). Se recomienda realizarla después del día doce del proceso de incubación, los huevos claros que se obtienen de la ovoscopia, deben abrirse para determinar el porcentaje que corresponde a infértiles y a mortalidad embrionaria (Aviagen 2010).

### Contaminación del huevo

Las bacterias y hongos que pueden afectar a los huevos fértiles se encuentran en todas partes del ambiente de las galeras, el suelo, las excretas, o en partículas del aire. La manera más común de que los huevos fértiles se contaminen es al ser puestos sobre la cama sucia. La capa de proteína ubicada sobre la superficie la cáscara se denomina cutícula, la cual ayuda a ocluir o tapar algunos de los poros

abiertos para minimizar la penetración bacteriana, sin embargo algunas prácticas de lavado de los huevos pueden remover esta protección natural, facilitando la entrada de agentes patógenos (Yáñez 2012).

El principal problema de la contaminación superficial del huevo es que algunas de las bacterias atraviesen las diferentes capas de la cáscara a través de los poros y contaminen el interior del huevo. Esta contaminación interna dependerá de diferentes factores, algunos asociados al ambiente y otros a la cepa bacteriana, pero fundamentalmente estará asociada a la integridad de los componentes de la cáscara (García de la Peña 2015).

Cuando hay un gran número de bacterias sobre la superficie de la cáscara, se aumentan las posibilidades de que las bacterias penetren al interior del huevo, utilizando los nutrientes para multiplicarse, quitándole nutrientes al embrión para su desarrollo, o produciendo toxinas que lo afecten. Sin embargo, si el embrión lograra sobrevivir y sea capaz de nacer pese a la contaminación del huevo, el pollito no desarrollará un crecimiento adecuado en la etapa de crianza (Yáñez 2012).

La consecuencia de la contaminación es la mortalidad embrionaria. Las bacterias se multiplican en el albumen y el vitelo y se produce la muerte del embrión. Según el tipo de contaminación, pueden acumularse gases en el interior del huevo pudiendo llegar a producirse “huevos explosivos”. Estos huevos suponen un gran riesgo ya que produciría la contaminación del ambiente de las máquinas de incubación y de la superficie de huevos cercanos (García de la Peña 2015).

### 2.1.2. Calidad de pollito

Para las plantas incubadoras, no sólo es importante tener un alto nivel de incubabilidad, sino que la calidad de los pollitos proporcionados también tiene que ser buena, ya que los productores de pollos de engorde buscan pollos con un uniforme y alto potencial de crecimiento. La incubabilidad de un huevo no necesariamente se correlaciona con la calidad del pollo (Tona *et al.* 2005).

La calidad de pollito puede ser influenciada por muchos factores. Algunos como por ejemplo la duración del almacenamiento de los huevos, la edad del lote reproductor y la línea genética del reproductor, los cuales tienen un efecto sobre el desarrollo embrionario y también en las características de los pollitos de un día de edad (Willemsen *et al.* 2008).

Dentro del manejo integral de una planta incubadora, la calidad de pollito de un día de edad suele basarse en criterios cualitativos, como la presencia de anomalías o evidencia de contaminación. La calidad de pollito puede estar relacionada a una serie de factores tales como la calidad e infraestructura de la máquina incubadora, las condiciones ambientales de incubación y a las características propias del huevo (Tona *et al.* 2003).

Según Oviedo (2014), a pesar de la subjetividad del criterio de calidad de pollito, existen parámetros que se consideran como los más importantes y donde no existe discordia para evitar clasificar pollitos de mala calidad, los cuales corresponden a:

- Observación del promedio y distribución del peso de los pollitos, que debe corresponder a un 67% a 70% del peso del huevo incubado.
- Evaluaciones de las características físicas de los pollitos, como que estén secos pero con plumón mullido, correcto desarrollo de las plumas del ala, ojos redondos brillantes, vivos y activos, ombligos completamente cerrados, ausencia de tarsos rojos o picos con marcas rojas, lo cual indica que los pollos no sufrieron en el momento de la eclosión.
- Comprobación de una temperatura rectal entre 39,5°C y 40°C al momento de la sacada de las máquinas nacedoras, la actividad de los pollitos y ausencia o poco meconio en los huevos dentro de la bandeja.
- La ventana de nacimiento del lote es útil para detectar y evitar que parte del lote eclosione muy temprano y sufra por temperaturas elevadas, falta de contacto con agua y alimento y falta de espacio.

## Métodos para determinar la calidad de pollito

Según Abad y García (2013), se han desarrollado varios sistemas de puntuación para evaluar la calidad de pollitos de un día. Algunos de estos sistemas de puntuación son:

1. Sistema de Tona y Pasgar, depende de la subjetividad de la persona que toma las medidas y representa las características morfológicas y actividad del pollito.
2. Sistema Cervantes, el cual incluye evaluaciones morfológicas y una evaluación de la contaminación bacteriana del pollito.
3. La longitud del pollito no tiene un coeficiente de correlación muy alto (0,33) con el peso final del pollo. Es muy subjetivo y estudios han demostrado que los diferentes operadores pueden medir y registrar longitudes diferentes para el mismo pollito.
4. El peso del saco vitelino residual puede expresarse en términos de reservas que se utilizarán para el desarrollo del embrión y se pensaba que podría relacionarse con el peso del pollito como un buen indicador del crecimiento. Sin embargo, el peso de pollitos de un día, estadísticamente se correlaciona con el resultado productivo que la proporción de saco vitelino residual.
5. Las temperaturas rectales en pollitos al nacimiento se han tomado como una medida de estrés. La idea con esta evaluación es que debemos mantener en todo momento al pollito dentro de su zona termo-neutral y una temperatura rectal baja (o alta) es un indicador de estrés para el pollito que puede inhibir su futuro rendimiento productivo.
6. En North Carolina State University, los ensayos mostraron que los pollitos que nacieron de los huevos con mayores temperaturas de incubación tuvieron un mayor porcentaje de saco vitelino y menor peso de los órganos (como el corazón) y esto dio lugar a una mayor susceptibilidad a ascitis y muerte súbita durante el período de engorde.

7. Al final del periodo de incubación hay una alta concentración de ácidos grasos poliinsaturados (AGPI) en los tejidos embrionarios que ha sido asociados con mayor consumo de oxígeno, acompañado de un aumento de las enzimas antioxidantes para proteger a los pollitos de la oxidación de los AGPI. Un aumento de antioxidantes potenciales en los pollitos se ha asociado con aumento de la resistencia a las infecciones y, por tanto, un pollo de mejor calidad.

En el caso de la incubadora en estudio, la evaluación de la calidad de los pollitos nacidos y posterior clasificación de estos se realiza a través de la evaluación de características físicas de los pollitos. Se evalúa la actividad, cicatrización del ombligo, presencia de deformidades, picos cruzados, deficiente emplumaje, enrojecimiento de los tarsos; según la guía de evaluación de la línea genética utilizada.

### 2.1.3. Mortalidad Embrionaria

En las aves, debido a que la mayoría del desarrollo embrionario se da fuera del cuerpo materno, todos los componentes nutricionales del embrión deben incluirse en el óvulo en el momento de la oviposición. Como resultado de la gran cantidad de reservas nutricionales en la yema, el citoplasma activo que contiene los cromosomas maternos se concentra en una pequeña área de la yema llamada blastodisco. El blastodisco se identifica como una pequeña área blanquecina de aproximadamente 2mm a 3mm de diámetro. Si ocurre la fecundación, durante las siguientes 26 horas, el blastodisco, mientras que la formación de huevos ocurre dentro del tracto reproductivo de la gallina, sufre una serie de cambios morfogénicos que incluyen la división celular (meiosis y mitosis) y la diferenciación y organización celular (Fasenko et al. 2007).

Durante el proceso de incubación de huevo fértil, hay un porcentaje de embriones no viables que no logran eclosionar. La mortalidad embrionaria es causada por factores relacionados con el proceso de incubación así como con factores relacionados a las aves reproductoras que produjeron los huevos y con las prácticas de manejo estos huevos experimentan después de la postura (Salazar 2015).

La velocidad del desarrollo embrionario varía en función de muchos factores. Entre ellos el origen del huevo, edad de las aves reproductoras, su almacén y manejo en granjas o en la planta incubadora, la temperatura promedio de incubación, su uniformidad y constancia, tipo de sistema de incubación utilizado, tasa de ventilación en salas y máquinas, frecuencia de volteo, entre otros factores (Cobb Vantress 2013).

Las mortalidades que se presentan en el proceso de desarrollo embrionario son clasificadas según el momento en que estas se presentan. La mortalidad embrionaria temprana ocurre entre 1–7 días de incubación y es uno de los dos picos de mortalidad típicamente observados en cualquier análisis (Figura 2). El otro pico se presente en el período de mortalidad tardía de 15–21 días (Salazar 2015).

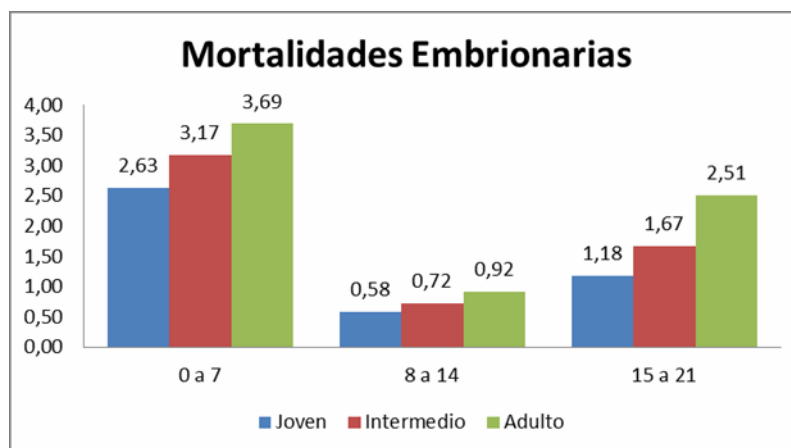


Figura 2. Comportamiento del porcentaje de mortalidad embrionaria en lotes de distintas edades en Incubadora Puntarenas.

En un muestreo realizado en la planta incubadora en estudio (Figura 2), se observó que el principal pico de mortalidad embrionaria se presenta en la fase más temprana del desarrollo del embrión, siendo aún mayor la mortalidad en esta etapa cuando el lote reproductor es adulto (de 45 a 65 semanas de edad).

La cantidad de embriones muertos en los diferentes períodos de incubación conforman una curva de mortalidad que atendiendo a sus causas, presenta

diferentes configuraciones. En el desarrollo embrionario se aprecian algunos momentos durante los cuales los embriones presentan un estado de menor resistencia a los cambios ambientales del exterior o hacia otros cambios que pudiera presentar el propio huevo. Estos son los llamados momentos críticos del desarrollo embrionario, y se enmarcan en la primera y última semana de incubación.

#### Mortalidad Embrionaria Temprana

La formación de estructuras como la red de vasos sanguíneos es uno de los sucesos más importantes que ocurren durante la primera parte del desarrollo embrionario. Al finalizar esta primera etapa, se da la desaparición de la membrana vitelina, lo que hace que al embrión muy sensible a los golpes. Las causas que producen la muerte durante este período están relacionadas con el mal manejo del huevo fértil, transporte deficiente, almacenamiento inapropiado, temperatura de preincubación inadecuada y fumigación incorrecta. La mortalidad durante este período alcanza el 30% aproximadamente de las muertes totales (Ricaurte 2005).

Adicionalmente, se pueden presentar otras causas como la acumulación de residuos tóxicos del metabolismo (amoníaco, ácido láctico), retraso en los procesos de formación y crecimiento de las membranas embrionarias, alteraciones en los mecanismos de respiración, falta de sincronización entre el crecimiento del embrión y el desarrollo de membranas (Jova y Vidal 2005).

#### Mortalidad Embrionaria Intermedia

Según Jova y Vidal (2005), la muerte de embriones durante el período intermedio del desarrollo embrionario se encuentra relacionada a una baja calidad de los huevos incubados. Sin embargo, la muerte embrionaria durante esta etapa también puede estar relacionada a la presencia de enfermedades de tipo infecciosas. Adicionalmente, alteraciones en el metabolismo del agua, de los minerales y de las proteínas pueden estar relacionados a la muerte embrionaria en esta etapa de desarrollo, esto debido a que esta alteración afecta el funcionamiento del sistema excretor, específicamente del riñón secundario (cuerpos de Wolff), lo que contribuye a la acumulación de sustancias nocivas ocasionando muertes por intoxicación.



## Mortalidad Embrionaria Adulta

La última etapa del desarrollo embrionario es el período más crítico, ya que es en esta etapa cuando se da el cambio en el tipo de respiración del embrión, la cual pasa de ser corioalantoidea a pulmonar. El tiempo que transcurre desde que el embrión cesa de respirar a través de la membrana para comenzar a hacerlo por medio de sus pulmones tarda cerca de seis horas, de no ocurrir en este tiempo se produce la muerte embrionaria. Adicionalmente, la mortalidad embrionaria en esta etapa puede estar relacionada a otras causas como, problemas ocurridos en la transferencia a nacedoras, desinfección incompleta, falta de oxígeno o humedad, temperatura incorrecta, posición inadecuada o se retrasa o adelanta la extracción de los pollitos en la incubadora (Galindo 2005). También durante este período se produce el picaje de la cáscara y la eclosión, lo que representa momentos de estrés para los pollitos (Jova y Vidal 2005).

### 2.2. Recolección y análisis de datos en la industria avícola

La actividad avícola debe estar orientada a la obtención de productos que generen ganancias al sistema. Para ello resulta necesaria la implementación de registros que permitan medir los resultados y compararlos con las metas planteadas, a fin de corregir cualquier desviación, y realizar los cambios oportunos de estrategia productiva. Los parámetros de producción tienen la finalidad de presentar un panorama general del desempeño productivo de un lote.

Según SENASA (2014), los registros que se consignan en una planta incubadora tienen tres propósitos, los cuales corresponden a ser una ayuda para la toma de decisiones sobre el manejo diario o semanal, monitorear y controlar el flujo de huevos y pollitos dentro de la planta, y representar un soporte en la toma de decisiones sobre las políticas de la empresa.

Los sistemas de registros incluyen todos y cada uno de los elementos que integran el proceso de producción, en el cual los lotes de animales desempeñan un papel importante que en obtención de los productos, como es el caso de los huevo fértiles.

A pesar de la importancia de la implementación de registros en los sistemas de producción pecuarios, existe la problemática de cómo recolectarlos y analizarlos en la forma correcta y las ventajas que éstos representan a la hora que se presente la necesidad de tomar decisiones para alcanzar las metas propuestas de la empresa, las cuales deben ser basadas en registros confiables y oportunos (SENASA 2014).

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 General:**

- Identificar los principales factores que afectan la incubabilidad, la mortalidad embrionaria y la calidad de pollito de un día de nacido en una planta incubadora de pollo de engorde.

#### **3.2 Específicos:**

- Identificar y evaluar los factores del proceso de incubación que afectan la incubabilidad y la mortalidad embrionaria de los huevos fértiles.
- Identificar y evaluar los principales factores que afectan la calidad de pollito de un día de edad.
- Identificar oportunidades de mejora y realizar recomendaciones para mejorar los rendimientos analizados.

## **4. MATERIALES Y MÉTODOS**

La presente investigación corresponde a un estudio observacional de datos, retrospectivo, transversal, descriptivo y correlacional, no experimental.

### **4.1. Procedimiento general**

El estudio se realizó en la división de incubación, de una empresa integrada para la producción de pollo de engorde, entre los meses de marzo y noviembre del año 2018. El edificio cuenta con tres salas de incubación, y tres salas de nacimiento, en donde se incuban huevos fértiles provenientes de diferentes granjas de reproductoras pesadas de la misma empresa, de la línea genética Cobb 500. La planta incubadora se ubica en la provincia de Puntarenas y se incuban aproximadamente ocho lotes de diferentes edades de reproductoras simultáneamente en un año. El proyecto se llevó a cabo en tres etapas: recolección de datos históricos de un año productivo (enero 2017 a diciembre 2017), análisis exploratorio de los datos y el análisis inferencial de la base de datos generada. El propósito de la etapa de análisis exploratorio fue la detección de errores, identificación de asociaciones, patrones y tendencias de las variables implicadas. Por otro lado, en el análisis inferencial, el propósito fue la construcción de modelos parsimoniosos que describieron la relación entre variables dependientes y variables independientes que ser utilizados con fines pronósticos

El análisis estadístico de los datos se realizó con los paquetes estadísticos IBM SPSS y SAS, utilizando métodos y modelos que se describen más adelante.

#### **Descripción del módulo de incubación Puntarenas**

La planta de incubación es un componente esencial en la cadena de producción avícola que, sumada a la producción de huevo fértil, son los que determinan la calidad y vitalidad del pollito de un día de edad. Ambos procesos determinan la calidad y el desempeño del producto final (Boerjan 2004).

El módulo de incubación de huevo fértil en el que se realizó la presente investigación, se encuentra ubicado en Sardinal de Puntarenas, Costa Rica. En este módulo se incuban huevos fértiles provenientes de las granjas de reproductoras pesadas de la misma empresa, las cuales se encuentran ubicadas en Sardinal de Puntarenas, y en Poás de Alajuela. Se utilizan las líneas genéticas Cobb 500 mayoritariamente, y Ross 308 en menor proporción. El sistema productivo de esta planta incubadora es dividido en tres líneas de trabajo: incubación, transferencia y nacimientos (Figura 3).

La línea de incubación cuenta con un área para el recibo de huevo fértil, un cuarto frío dividido en tres áreas, el cual es utilizado para almacenar los huevos recibidos a una temperatura que va de los 19°C a los 21°C. También cuentan con dos cuartos de atemperado que son utilizados para preparar el huevo que va a ser incubado alcanzando temperaturas de 31°C. Para el proceso de incubación poseen tres salas de máquinas incubadoras de carga múltiple que alcanzan temperaturas de 37,5°C. En estas se cargan huevos según las edades de los lotes reproductores clasificándolos en jóvenes (de 25 a 37 semanas), intermedios (de 37 a 46 semanas) y adultos (47 a 65 semanas), esto con el fin de evitar la contaminación de lotes adultos a los más jóvenes y mantener una correcta uniformidad del proceso de incubación.

Cada máquina incubadora de carga múltiple tiene capacidad para contener 89 100 huevos aproximadamente, donde se utilizan señalizaciones con seis colores distintos para identificar los lotes cargados. Las máquinas cuentan con un control automatizado para la ventilación, temperatura a 99,5°F y 81% de humedad relativa, así como de un volteo de 45° cada hora.

Durante la transferencia, la cual se realiza a los dieciocho días y medio del proceso de incubación, se procede al traslado de los huevos en bandejas de las máquinas incubadoras a bandejas nacedoras, previamente lavadas y secas. Este manejo se realiza para optimizar las condiciones del nacimiento.

La línea de nacimientos cuenta con tres salas nacedoras, en las que de igual manera que las máquinas incubadoras, son cargadas según la edad del lote reproductor, con una capacidad de 14 850 huevos por máquina. Las nacedoras cuentan con un sistema de aspersion con formalina, en descargas de 50ml cada tres horas, además de un sistema automatizado del control de la ventilación, temperatura de 98,5°F y 80% humedad relativa.

Los pollitos son cosechados de las máquinas al cumplir el día veintiuno del proceso de incubación, y son seleccionados como de primera calidad o descarte. Pollitos de primera calidad son colocados en canastas con capacidad para cien pollitos, donde son vacunados por aspersion, y finalmente son cargados en los camiones y despachados a granja. Los camiones que transportan pollitos cuentan con ventilación tipo túnel. Los pollitos de descarte y otros desechos son enviados a una empresa privada cerca de la zona, en donde se encargan del manejo de desechos sólidos.

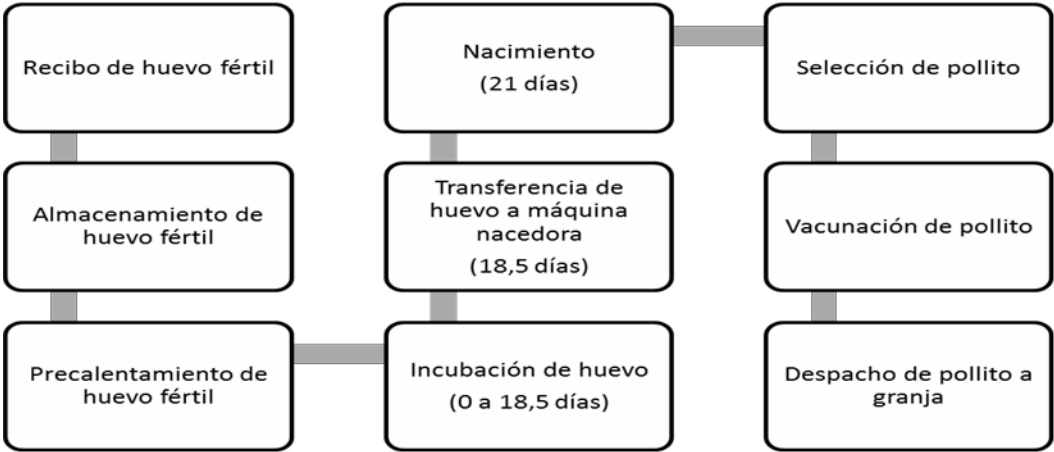


Figura 3. Diagrama de flujo proceso de incubación de huevo fértil

Al finalizar la labor de selección, vacunación y despacho (Figura 3), se procede a la limpieza, lavado y desinfección de las áreas sucias y equipo de nacedoras. Para este procedimiento de limpieza se utilizan desinfectantes cuyos principios activos

sean a base de peróxido, glutaraldehídos o amonios cuaternarios, haciendo rotación de los productos según la estación del año. El mismo procedimiento se realiza para los camiones que transportan los pollitos.

#### **4.2. Recolección de datos**

Por un período de cuatro meses se realizaron visitas semanales a la planta incubadora, en donde se recolectó y se diseñó la base de datos históricos correspondientes a un año productivo (2017), conteniendo los datos cuantitativos y cualitativos generados en el proceso de incubación de huevo fértil. Las variables fueron divididas en dependientes e independientes. Dentro de las variables dependientes se obtuvieron datos de: porcentaje de incubabilidad, mortalidad embrionaria temprana, media y tardía, y calidad de pollito de un día de nacido (calidad clasificada en A y B, respectivamente). Por otro lado, las variables independientes se clasificaron en cuatro categorías relacionadas con: infraestructura, equipo, manejo, origen de los huevos (Cuadro 2): sala de incubación, sala de nacimiento, tipo de máquina incubadora, tipo de máquina nacedora, días de almacenamiento, número de huevos cargados, número de pollitos nacidos de primera calidad (tipo A), número de pollitos nacidos de segunda calidad/descarte (tipo B), número de pollitos no nacidos, porcentaje de pérdida de humedad, porcentaje de huevos contaminados, edad de la reproductora, peso del huevo, peso de pollito nacido, porcentaje de fertilidad, procedencia de los huevos (granja).

Cuadro 2. Clasificación de variables independientes.

Categoría	Variables independientes
Infraestructura	Sala de incubación, sala de nacimiento
Equipo	Tipo de máquina incubadora, tipo de máquina nacedora
Manejo	Días de almacenamiento, número de huevos cargados, número de huevos transferidos, porcentaje de pérdida de humedad, peso de huevo cargado, peso de huevo transferido, número de pollitos nacidos de primera calidad, número de pollito nacidos de segunda calidad, porcentaje de fertilidad.
Origen de los huevos	Granja (procedencia de los huevos), edad ave reproductora

Todas las variables anteriores, son medidas rutinariamente en la planta incubadora de pollo de engorde, como se describe a continuación:

#### Variables Dependientes

Incubabilidad: se calculó a partir de cantidad total de pollitos nacidos por lote de huevos incubados totales en términos porcentuales.

Pollito de primera calidad (tipo A): Se calculó a partir de la diferencia del total de pollitos nacidos con la cantidad de pollitos descartados. Para evaluar la calidad de pollito se midieron características como: rendimiento de pollito, porcentaje de pollito de descarte, temperatura cloacal, porcentaje de ombligos mal cicatrizados, pollitos con defectos físicos.



Mortalidad embrionaria (ME): se midió a partir de un embriodiagnóstico, en donde se revisó cada huevo que no nació y se determinó la etapa embrionaria en la que murió el embrión. La mortalidad embrionaria se dividió en cuatro partes: embriones que murieron de 0 a 7 días, mortalidad embrionaria de 8 a 14 días, mortalidad embrionaria de 15 a 21 días.

#### Variables Independientes

Peso de huevo cargado: se realizó el pesaje individual de los huevos fértiles en una balanza granataria, utilizando una muestra de 90 huevos por lote.

Peso de huevo transferido: se realizó el pesaje individual de los huevos fértiles en una balanza granataria, utilizando una muestra de 90 huevos por lote, previo al proceso de la transferencia.

Huevos explotados: El análisis se realizó a partir de una muestra de 90 huevos. Se consideraron los huevos que presentaron contaminación bacteriana o por hongos y que fueron descartados durante el proceso de transferencia de las máquinas incubadoras a máquinas nacedoras.

Pérdida de humedad: Se midió a partir de la diferencia del peso inicial del huevo al ser cargado en la incubadora, con el peso del huevo el día de la transferencia. Se calculó en términos porcentuales.

Días de almacenamiento: Este dato se obtuvo a partir de la diferencia entre las fechas de recibo de huevo en la planta de incubación, y las fechas de carga de los huevos en las máquinas incubadoras.

Edad aves reproductoras: Este dato se obtuvo a partir de la información suministrada por las granjas reproductoras, las edades comprenden entre las 25 y 65 semanas.

Porcentaje de fertilidad: Se determinó a partir del proceso de ovoscopía, en una muestra de 90 huevos por lote. Los huevos fueron evaluados a contra luz para identificar la presencia o ausencia de embrión. Se obtuvo el porcentaje de huevos

que no presentó embrión del total de huevos cargados en las máquinas incubadoras.

Pollito segunda calidad (tipo B/descarte): Se calculó la diferencia entre la cantidad total de pollitos nacidos, y la cantidad de pollitos de primera calidad obtenidos.

Rendimiento de pollito: Se calculó al dividir el peso de pollito entre el peso de huevo, y se multiplicó por cien.

Temperatura cloacal: Se midió con un termómetro electrónico a una muestra de cien pollitos por cada lote.

Contaminación: Se calculó en términos porcentuales en muestras de 90 huevos por lote. El dato se obtuvo a partir de la diferencia entre la cantidad total de huevos por bandeja y la cantidad de huevos contaminados descartados.

Número de huevos cargados: Cantidad de huevos que fueron colocados de manera inicial en el proceso en la máquina incubadora.

Números de huevos transferidos: Cantidad de huevos que fueron colocados tras el proceso de transferencia en la máquina nacedora.

Sala de incubación: Este dato fue obtenido de la distribución de salas de incubación en la planta incubadora en estudio, las cuales se encuentran distribuidas en sala A, B y C.

Sala de nacimiento: Este dato fue obtenido de la distribución de salas de nacimiento en la planta incubadora en estudio, las cuales se encuentran distribuidas en sala A, B y C.

Granja Procedencia: Corresponde a una de las tres granjas evaluadas en la presente investigación. Se diferencian con los dígitos 1, 2 y 3 correspondiendo a cada una de las tres granjas en estudio.

Tipo de máquina incubadora: Este dato fue obtenido de la distribución de máquinas en planta incubadora en estudio, en donde se cuenta con siete tipos distintos modelos de máquina.

Tipo de máquina nacedora: Este dato fue obtenido de la distribución de máquinas en planta incubadora en estudio, en donde se cuenta con siete tipos distintos modelos de máquina.

### **4.3. Análisis exploratorio de los datos**

Se efectuó la revisión de datos históricos que establecen un modelo de identificación de aquellos factores que interfieren en los rendimientos esperados de las variables dependientes, mediante un análisis estadístico descriptivo de la base de datos generada, tanto para variables cuantitativas como cualitativas. El análisis exploratorio fue utilizado para detectar errores en los datos (valores anómalos), establecer la estructura de la base de datos, y estudiar la distribución de probabilidad de las principales variables, tendencias y patrones. Además, el análisis exploratorio se realizó con el fin de organizar los datos y determinar cuántos individuos existen para cada variable y cómo se consiguieron.

#### **4.3.1. Análisis descriptivos de los datos univariados**

Se utilizó estadística descriptiva para determinar el comportamiento de los datos recolectados, así como para identificar patrones, características o tendencias en las variables. Durante esta etapa se evaluaron parámetros estadísticos descriptivos de posición central y no central, dispersión y forma como: media, mediana, desviación estándar, valor máximo, valor mínimo y moda.

#### **4.3.2. Análisis descriptivos de los datos bivariados**

Se realizó un análisis de correlación simple, utilizando el coeficiente de correlación de Pearson y Spearman, para identificar aquellas variables independientes

cuantitativas que de acuerdo al valor de su coeficiente de correlación, presentan una correlación parcial más fuerte con las variables dependientes de la investigación.

#### **4.4. . Análisis inferencial de los datos**

Para llevar a cabo el análisis inferencial, se efectuaron dos diferentes análisis según el tipo de variable independiente. Se implementó un análisis de regresiones múltiples por pasos (Stepwise) para las variables independientes de tipo cuantitativas, y un análisis de varianza y prueba de comparación de promedios, prueba de Tukey-Kramer para las variables independientes de tipo cualitativas que demostraron diferencias significativas ( $p < 0,0001$ ).

##### **4.4.1. Análisis de Regresiones Múltiples (Stepwise)**

El análisis de regresión lineal múltiple es utilizado para explicar el comportamiento de una determinada variable dependiente (criterio), en función de otras variables independientes o explicativas (predictoras).

Este análisis se realizó utilizando un procedimiento automatizado de selección de variables independientes por pasos (stepwise) para identificar modelos parsimoniosos, que explique la mayor proporción posible de la variable dependiente con el menor número de variables independientes en el modelo. El análisis consiste en incorporar al modelo una variable independiente a la vez y verificar si alguna de las variables ya introducidas al modelo pierde valor informativo, en cuyo caso se extrae del modelo. Caso contrario se introduce una nueva variable independiente y se repite el ciclo hasta que se satisface un criterio de finalización, asociado con el valor explicativo del modelo.

Para establecer el modelo definitivo, se realiza una continua reevaluación de los predictores incluidos en el modelo, de forma que si algún predictor queda explicado por los restantes (en el sentido de que carece de contribución específica propia)

queda eliminado. Una vez obtenido el modelo definitivo, se procede a un análisis de residuos con el fin de identificar valores influyentes que pueden afectar los coeficientes de regresión o su precisión.

El modelo de regresión múltiple genera una ecuación del tipo:

$$y = a + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_9x_9 + e$$

Donde:

$y$ : variable criterio

$a$ : intercepto

$x_1$ : variable predictora

$b_2$ : coeficiente de regresión parcial asociado a  $x_1$

$e$ : error de predicción del modelo

Los coeficientes correspondientes representan el cambio previsto en “ $y$ ” por cada unidad de cambio en cada “ $x$ ”, manteniendo las otras variables predictoras constantes.

#### 4.4.2. Diagnóstico del modelo

Una vez definido el modelo se realiza un diagnóstico del mismo. Esto comprende la comprobación de los supuestos del modelo (normalidad de la variable dependiente, linealidad de la relación entre la variable dependiente y las independientes, homocedasticidad de la varianza de la variable dependiente, independencia de los errores); presencia de multicolinealidad y de valores influyentes, para lo cual se usan los residuos (estandarizados). Si es necesario se eliminan los casos con valores influyentes y se vuelve a ajustar el modelo.

## Multicolinealidad

En el modelo estadístico se evaluó la multicolinealidad dentro de las variables independientes, utilizando este indicador de multicolinealidad como criterio de exclusión de variables independientes en los modelos de regresión previos.

Se eliminaron del modelo las variables independientes con índices de inflación de la varianza (VIF) mayor a 10. La evaluación de multicolinealidad se realiza cuando en el modelo existen variables independientes muy correlacionadas entre sí, aportando información “repetida”, que reduce la precisión de los coeficientes.

### 4.4.3. Análisis de residuos

Dentro del modelo, se realizó un análisis de residuos con el fin de eliminar o descartar datos con valores fuera de rango o “influyente”. Se le llama residuos a las diferencias entre los valores de la variable dependiente observados y los valores que se predicen a partir del modelo de regresión.

Se utilizaron los residuos estandarizados para identificar las observaciones o datos que mostraron residuos estandarizados con valores por encima de 3, los cuales fueron eliminados del modelo.

### 4.4.4. Modelos gráficos

Se realizaron modelos gráficos de los resultados obtenidos para comprobar criterios de distribución normal, homogeneidad de la varianza y linealidad de las variables.

### 4.4.5. Análisis de la varianza y Prueba de comparación de promedio por prueba de Tukey-Kramer.

Para el análisis de las variables independientes cualitativas, se realizó un análisis de la varianza y una prueba de comparación de promedios con prueba de Tukey-Kramer. El objetivo de dicha prueba es establecer si existen diferencias en el valor promedio de la variable dependiente entre las distintas categorías independientes cualitativas. La prueba de Tukey-Kramer se utilizó para determinar si las diferencias entre los promedios se deben al azar.

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1. Resultados estadísticos de análisis descriptivo de los datos.

En el Cuadro 3 y Cuadro 4, se presentan los análisis descriptivos de las variables dependientes e independientes en estudio, respecto al número de muestras en las tres granjas de la investigación. Se realizaron los siguientes cálculos estadísticos: promedio, desviación estándar, valor mínimo, valor máximo y moda. En el caso de valores anómalos, como los que se encontraron en variables como número de huevos cargados, edad de reproductora, y porcentaje de pérdida de humedad fueron eliminados de la base de datos, ya que los valores registrados no tenían justificación biológica. El mal registro de valores en las bases de datos puede involucrar error humano.

Para las granjas de Procedencia 1 se contó con una muestra de 397 datos, para Procedencia 2 fueron 169 datos y para Procedencia 3 fueron 2489 datos para cada una de las variables de tipo dependientes e independientes. Se exceptúa la variable de “días de almacenamiento” en el caso de la granja Procedencia 2, ya que este dato no se encontraba registrado.

Se excluyeron del análisis de variables la contaminación y la temperatura cloacal, debido a que el registro de estos datos no era continuo y esta situación podría alterar el resultado estadístico final. Sin embargo, estas variables son muy importantes pues afectan la calidad del pollito. Los agentes microbiológicos bacterianos que se pueden encontrar en los huevos incubados pueden distribuirse fácilmente a través de la incubadora mediante movimientos de aire durante la incubación, y por lo tanto contaminar otros huevos o a los pollitos ya nacidos en la incubadora (Kim et al., 2010). Por otro lado, la temperatura cloacal del pollito de un día es un factor que puede indicar el manejo realizado en la planta incubadora. A pesar de que los pollitos de un día tienen posibilidades muy limitadas para regular la producción de calor, pueden influir en su pérdida de calor. Cuando las temperaturas corporales se vuelven demasiado altas, comenzarán a jadear el aire para enfriarse por la evaporación del agua. A bajas temperaturas corporales, los pollitos se apilan unos

contra otros para minimizar su superficie total a fin de evitar la pérdida excesiva de calor. Si las temperaturas corporales se encuentran fuera de sus límites de tolerancia, los pollitos de un día no tendrán su mejor rendimiento al llegar a la granja (Hamissou et al. 2019).

Se observaron tendencias en los datos como el caso de la variable mortalidad embrionaria media, en la que para las tres granjas de procedencia los valores son más bajos, y más altos en la mortalidad embrionaria temprana. También se observó que para la mayoría de las variables evaluadas, los valores promedios corresponden a los valores esperados, sin embargo variables como días de almacenamiento, rendimiento de pollito, peso de huevo cargado en máquina, peso de huevo transferido, peso de pollito, porcentaje de pérdida de humedad se salen de los rangos mínimos y máximos esperados (Cuadro 4). Además, en la planta incubadora en estudio, la capacidad máxima de carga puede variar según cada máquina, ya que cuentan con distintos modelos de máquinas con capacidades de 14 850 en su gran mayoría, y máquinas con capacidades de 15 840 huevos en menor proporción. Es por esta razón que se pueden observar tendencias de valores de carga máxima que podrían representar una sobrecarga en la mayoría de las máquinas.

De igual manera, se observó que en las diferentes variables dependientes se muestran valores que se salen de los rangos mínimos y máximos esperados, pese a presentar promedios que sí se encuentran dentro de los valores esperados por la línea genética (Cuadro 3).

Se utilizó el parámetro estadístico moda para determinar si el dato que más se repite para la distribución de cada variable corresponde a alguno de los valores observados en los mínimos y máximos. Se observó que la moda presenta los valores esperados en las diferentes variables dependientes para las granjas de Procedencia 1 y Procedencia 3, indicando que los valores reportados en los rangos mínimos y máximos pueden corresponder a casos aislados en el proceso. Sin embargo, para la granja de Procedencia 2, la moda obtenida para variables como



incubabilidad, y porcentaje de pollito de primera calidad no se encuentran dentro de los valores recomendados por la literatura, alcanzado valores de hasta 78,6% y 79,46% respectivamente. (Cuadro 3). Según Cobb Vantress (2013), en su máxima producción los lotes deben alcanzar un 94% de nacimiento de huevo fértil, sin embargo esto va a estar determinado por la edad de las reproductoras. Se esperan porcentajes mayores a 90,2% en aves jóvenes (25 a 33 semanas), mayores a 91,8% en aves de edad media (34 a 50 semanas), y mayores a 88,6% en aves de 51 a 68 semanas de edad.

Por otro lado, se observó que la moda dentro de la distribución de variables independientes como porcentaje de fertilidad, edad de reproductores, número de huevos cargados, pesos de huevos cargados y transferidos, y peso de pollito presentan valores técnicos esperados para las tres granjas de procedencia, indicando que aquellos valores reportados en los rangos mínimos y máximos pueden deberse a casos aislados del proceso (Cuadro 4). Sin embargo, variables como rendimiento de pollito sobrepasan los valores esperados por la línea genética en las granjas de Procedencia 1 y Procedencia 3 obteniendo rendimientos superiores al 67-68% recomendado por la línea genética. Esto indica que el pollito estará activo, listo para comer y beber cuando se aloje en la granja. Porcentajes de rendimientos mayores a 68% indican que el pollito será perezoso y no estará listo para comer y beber en la granja. Algunos factores que podrían estar relacionados con un rendimiento alto de pollito pueden ser un tiempo de incubación muy corto (consecuencia de almacenamiento prolongado de los huevos, o huevos provenientes de lotes de aves muy jóvenes o muy viejas), bajas temperaturas de incubación o alta humedad en la incubadora (Aviagen 2013).

De igual manera para la variable pérdida de humedad se observó que el porcentaje reportado en la moda fue mayor de lo recomendado por las guías de manejo de la línea genética para las granjas de Procedencia 2 y 3. El rango óptimo de pérdida de humedad durante el proceso de incubación de los huevos fértiles se encuentra entre 0,60% a 0,65% del peso total de los huevos por día, sin embargo pérdidas excesivas de humedad pueden resultar perjudiciales para el embrión en desarrollo (Bell y

Weaver 2002). Según Ohi et al (2010), un aumento excesivo de la pérdida de agua durante la incubación da como resultado una reducción de la incubabilidad de los huevos, además indica que la pérdida de agua genera cambios en el desarrollo de los contenidos de los lípidos y el sistema osmorregulador de los huevos indicando que la evaporación del agua podría afectar el metabolismo de los embriones en desarrollo.

Cuadro 3. Análisis descriptivo de los datos recolectados en incubadora por granja de procedencia de variables dependientes.

Granja de Procedencia	Procedencia 1					Procedencia 2					Procedencia 3				
	$\bar{x}$	DE	Máx	Mín	Moda	$\bar{x}$	DE	Máx	Mín	Moda	$\bar{x}$	DE	Máx	Mín	Moda
Incubabilidad (%)	87,3	4,74	94,8	57,1	87,30	79,3	8,4	91,8	57,8	78,59	87,5	6,42	97,2	54,3	92,15
Mortalidad Embrionaria Temprana	4,12	1,54	11,8	1,36	2,75	7,77	3,85	24,3	2,76	3,81	3,91	1,43	19,7	0,46	2,96
Mortalidad Embrionaria Media	0,414	0,317	1,83	0	0,00	0,874	0,560	3,05	0	0,0	0,543	0,60	7,92	0	0
Mortalidad Embrionaria Tardía	1,95	1,01	6,58	0,05	2,01	3,45	2,27	11,4	0,47	1,34	2,31	1,52	13,5	0	0,11
Pollito Primera Calidad (A)	86,3	5,05	93,6	51,5	91,58	77,5	9,11	90,9	45,9	79,46	86,4	7,13	96,3	50,5	90,91
Pollito Segunda Calidad (B)	1,04	0,694	7,89	0,17	0,77	1,82	0,99	6,03	0,34	1,11	1,17	0,94	10,4	0,21	0,70

Cuadro 4. Análisis descriptivo de los datos recolectados en incubadora por granja de procedencia de variables independientes

Granja de Procedencia	Procedencia 1					Procedencia 2					Procedencia 3				
	$\bar{x}$	DE	Máx	Mín	Moda	$\bar{x}$	DE	Máx	Mín	Moda	$\bar{x}$	DE	Máx	Mín	Moda
Fertilidad (%)	94,4	3,49	99	70,3	96,46	93,1	4,57	99,4	69,2	94,55	95,3	3,80	99,7	73,5	97,98
Rendimiento Pollito (%)	69,6	1,52	75,1	65,3	69,73	70	2,74	73,4	62,4	68,66	69,7	1,69	90,7	58,7	70
Días de almacenamiento	5,32	1,66	10,9	1,63	5	6,45	1,79	13,7	3	6	5,61	1,71	13,3	1,13	5
Edad reproductora (semanas)	43,5	12,9	65	25	27	-	-	-	-	-	43,3	10,5	66	25	38
Número de huevos cargados (unidad)	12735	4020	15840	1088	14850	11506	4424	15840	1530	14850	14613	1652	15840	1431	14850
Peso de huevo cargado (g)	63,6	7,46	73,2	49,8	69,30	64,9	5,2	71	50,5	69,67	63,4	5,3	73,3	49,9	67,64
Peso de huevo transferido (g)	55,7	6,58	64,6	43	63,27	56,1	4,27	61,7	43,2	58,45	55,3	4,62	65,8	43,4	58,59
Peso pollito nacido (g)	44,2	4,83	52	33,9	48,32	45,4	3,44	54,8	36,1	46,22	44,1	3,66	55,9	33,9	47,96
Pérdida de humedad (%)	12,3	1,08	24	2,86	11,89	13,6	1,57	23,4	6,68	14,32	12,7	0,97	21,5	5,6	14,19

## 5.2. Resultados estadísticos de análisis inferencial.

Por medio del análisis estadístico de regresión múltiple (Stepwise), se escogió uno de los modelos propuestos por el análisis, para cada una de las variables dependientes.

En cada uno de los modelos seleccionados para las seis variables dependientes en estudio, hay participación de la variable independiente fertilidad, indicando que esta variable ejerce un efecto sobre todas las variables dependientes de la investigación. Sin embargo, la aparición de esta variable en todos los modelos es incorrecta desde el punto de vista práctico, ya que esta carece de justificación biológica. La participación de la variable independiente fertilidad corresponde a que en la incubadora en estudio se realiza la evaluación del porcentaje de fertilidad mediante un muestreo, sin embargo el total de los huevos infértiles no son retirados de las máquinas.

Cuadro 5. Modelos de regresión múltiple seleccionados para variables dependientes.

Factor del Modelo	R	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Ajustado	Error estándar	Significancia
Incubabilidad	,938 <sup>c</sup>	0,881	0,881	1,98562	0,001
Mortalidad Embrionaria Temprana	,747 <sup>d</sup>	0,559	0,558	0,84649	0,0002
Mortalidad Embrionaria Media	,513 <sup>e</sup>	0,263	0,262	0,34328	0,001
Mortalidad Embrionaria Tardía	,879 <sup>e</sup>	0,772	0,772	0,61897	0,0005
Pollito Primera Calidad	,927 <sup>d</sup>	0,860	0,860	2,48606	0,025
Pollito Segunda Calidad	,757 <sup>d</sup>	0,572	0,572	0,49944	0,005

### 5.2.1. Incubabilidad

Para la variable de incubabilidad el análisis propone cuatro modelos, de los cuales se escogió el modelo número tres. El modelo seleccionado determinó que la fertilidad, días de almacenamiento y número de huevos cargados son las variables independientes cuantitativas que más información aportan al modelo sobre la variable incubabilidad.

Se eligió el modelo de regresión número tres, debido a que explica un 88,1% la variación en la variable dependiente “incubabilidad” con el menor número de variables predictoras, respecto a los otros modelos (Cuadro 5).

Cuadro 6. Análisis de regresión múltiple para variable incubabilidad.

Variables	Estimador B	Beta	Error estándar	Valor de P (Sig.)
(Intercepto)	-45,013		1,613	0,000
% Fertilidad	1,486	0,932	0,011	0,000
Días de almacenamiento	-0,253	-0,074	0,023	0,000
Número de huevos cargados	0,00049	-0,040	0,000	0,000

Del modelo seleccionado se obtiene la siguiente ecuación:

$$y = (-45,013) + 1,486 (\% \text{fertilidad}) - 0,253 (\text{días de almacenamiento}) + 0,00049 (\text{número de huevos cargados})$$

De la ecuación generada por el modelo, se concluye que por cada incremento de una unidad en el porcentaje de fertilidad, el incremento de la variable dependiente incubabilidad es de 1,486 manteniendo las demás variables independientes igual cero. Este resultado indica que a mayor porcentaje de fertilidad en un lote, mayor será el porcentaje de incubabilidad, es decir un mayor número de nacimientos totales. Sin embargo, si un huevo no se encuentra fertilizado no habrá nacimiento.

La fertilidad va a depender de factores endógenos de reproductores hembra y macho, además de la genética, la edad, el medio ambiente, el estado de salud y la etapa productiva. Según Salas (2013), otros factores como el peso y composición corporal, y la madurez sexual también pueden afectar el rendimiento de las aves a nivel reproductivo.

Algunos factores que se encuentran relacionados a la fertilidad del macho son la calidad espermática, el manejo durante la etapa de crianza y desarrollo, el tiempo de llegada a la madurez sexual, adecuada selección y descarte de machos durante

la transferencia a la etapa de producción, sistema de alimentación, proporción de machos y hembras, y comportamientos como la agresividad del macho. El macho es el mayor contribuyente de la fertilidad de la parvada y esta se puede afectar de forma permanente por un mal manejo en las etapas iniciales e impactar la fertilidad e incubabilidad final (Mejía 2016).

Por otro lado, alguno de los factores relacionados a la fertilidad de la hembra incluyen la heredabilidad, calidad del huevo, la edad productiva, y factores fisiológicos como la prevalencia de los túbulos de almacenamiento de espermatozoides (Wolc *et al.* 2009).

Se puede determinar por la ecuación generada que por cada incremento de un día de almacenamiento de los huevos, el porcentaje de incubabilidad se ve reducido en 0,253 manteniendo las demás variables independientes igual a cero. El resultado obtenido coincide con lo establecido en la guía de manejo de la línea genética Cobb 500 utilizada en la planta incubadora en estudio, en donde se indica que tiempos prolongados de almacenamiento afectan la incubabilidad. Este efecto negativo sobre la incubabilidad aumenta con el tiempo de almacenamiento mayor a un período de seis días, resultando en una pérdida de 0,5 a 1,5% por día en la incubabilidad, con mayores pérdidas si se extiende el almacenamiento (Cobb Vantress 2013). En esta planta de incubación se observan promedios de almacenamiento de seis días, pero con máximos de diez y trece días.

En una investigación realizada por Beltrán *et al.* (2016), se determinó el efecto del tiempo de almacenamiento de huevo fértil de aves domésticas sobre el porcentaje de nacimientos. Los resultados mostraron que para un período de 0-8 días de almacenamiento no hubo una diferencia significativa en los porcentajes de nacimientos, no así para un período de 9-19 días donde hubo una asociación negativa del 76%. El mayor porcentaje de almacenamiento se encontró en el cuarto día de almacenamiento, mostrando una caída constante a partir de ahí, evidenciando un efecto dañino a partir del día 8 de almacenamiento.



Según Goliomytis et al. (2015), el almacenamiento de huevos más allá de los 7 días se asocia con una disminución en la incubabilidad, un aumento en la duración de la incubación, una disminución en la calidad de los pollitos y un deterioro en el rendimiento después de la eclosión. Estos efectos negativos del almacenamiento de huevo fértil se podrían dar por la disminución en la calidad del huevo, y especialmente en la calidad de la albúmina. El blastodermo se coloca entre la yema y la albúmina, por lo tanto los cambios en la yema y la albúmina influyen en el desarrollo temprano del embrión. Los huevos almacenados tienen un pH de albúmina más alto y unidades de Haugh o altura de albúmina menores en comparación con los huevos frescos. Como consecuencia, el blastodermo se encuentra con un ambiente más alcalino, y las primeras etapas del desarrollo del embrión tienen lugar en la albúmina con viscosidad reducida.

En la ovoposición, el huevo contiene una alta concentración de dióxido de carbono que empieza a escapar después de la puesta y durante el almacenamiento, dando lugar a un aumento en el pH de la albúmina. Esto es importante porque la actividad inicial de desarrollo es controlada por el pH enzima dependiente. El exceso de pérdida de dióxido de carbono hace que la albúmina tenga un pH excesivamente alto y esto afecta negativamente la iniciación del desarrollo embrionario. Si la pérdida de dióxido de carbono es demasiado baja, el pH de la albúmina también será demasiado bajo y dará como resultado que los huevos sean “demasiado frescos” y no empollarán como los almacenados durante 3-4 días (Beltrán *et al.* 2016).

Por otra parte, por cada incremento en el número de huevos cargados, el porcentaje de incubabilidad se incrementa en 0,00049, manteniendo las demás variables independientes igual a cero. El promedio de carga de huevos en la presente investigación es de 12 951 huevos, con una carga aproximada del 86% de capacidad de las máquinas. En el caso de la planta incubadora en estudio, al momento de la investigación se utilizaron máquinas incubadoras tipo multi-etapa, en donde la cantidad cargada de huevos se encuentra en función de la demanda de producto por parte del área comercial de la empresa. La capacidad indicada por el

fabricante de cada máquina no puede ser excedida. Sin embargo, los máximos de huevos cargados sobrepasaron la capacidad de carga de las máquinas estudiadas lo que puede tener un efecto negativo en los rendimientos y en la capacidad del pollito debido a que las máquinas sobrecargadas no pueden regular bien la temperatura y la humedad de los huevos. Es por esta razón que la ecuación de regresión es positiva hasta cierto punto, pues no se puede exceder la capacidad mecánica de los huevos.

Según Bramwell (2013), para lograr unos niveles óptimos de temperatura, ventilación y humedad en toda la incubadora, idealmente solo se deberían cargar en las incubadoras huevos fértiles de un solo lote, los cuales hayan sido almacenados durante el mismo período. Huevos con el mismo tamaño generarán aproximadamente la misma cantidad de calor al mismo tiempo aproximadamente. Sin embargo en la práctica, la carga de la incubadora con huevos de un solo lote no siempre es posible, por lo que resulta necesario cargar huevos de distintos lotes en una máquina. La incubación de distintos lotes de huevos podría generar condiciones distintas de incubación en los diferentes lotes. Algunos lotes de huevos requerirán menos tiempo para calentarse y producirán calor más rápido, y algunos lotes de huevos se calentarán más despacio, y empezarán a desarrollarse y generar calor más tarde, generando diferencias de temperatura. Estas diferencias aumentarán peligrosamente al final del ciclo de incubación, cuando los huevos generan más calor y se aumentan la ventilación y la refrigeración. Ello producirá una ventana de nacimiento amplia, posibles daños por calor y poca uniformidad en los pollitos (Bramwell 2013).

Para realizar una correcta carga equilibrada dentro de las máquinas incubadoras, resulta fundamental seguir las recomendaciones indicadas del fabricante de la incubadora como primera pauta. Sin embargo, cuando se deba incubar huevos de diferentes orígenes, siempre se deben incubar huevos de lotes con edades similares y con niveles similares de fertilidad. Por otro lado, cuando no pueda cargar la incubadora en capacidad total, los huevos deben colocarse siguiendo un patrón en el que no se afecte el flujo normal de aire o que no cause interrupciones del flujo de

aire en la máquina, además se recomienda llenar todos los espacios vacíos con bandejas o carritos (Aviagen 2018). La incubación de huevos de diferentes orígenes, edades y días de almacenamiento, así como la sobrecarga de las máquinas, puede estar afectando los rendimientos de la incubadora en estudio.

### 5.2.2. Mortalidad Embrionaria

#### Mortalidad Embrionaria Temprana (0-7 días)

Para la variable de mortalidad embrionaria temprana, el análisis propone cinco modelos, de los cuales se escogió el modelo número 4. Este modelo determinó que la fertilidad, edad del lote reproductor y días de almacenamiento son las variables que más información aportan sobre la variable de mortalidad embrionaria temprana (Cuadro 7).

El modelo de regresión 4 explica un 55,8% la variación en la variable dependiente “mortalidad embrionaria temprana” con el menor número de variables predictoras, respecto a los otros modelos (Cuadro 5).

Cuadro 7. Análisis de regresión múltiple para variable mortalidad embrionaria temprana.

Variables	Estimador B	Beta	Error estándar	Valor de P (Sig.)
(Intercepto)	10,102		0,703	0,000
%Fertilidad	0,207	0,584	0,012	0,000
Edad lote reproductor	-0,033	-0,275	0,002	0,000
Días de almacenamiento	0,085	0,112	0,010	0,000

Del modelo seleccionado se obtiene la siguiente ecuación:

$$y = (10,102) + 0,207 (\% \text{ fertilidad}) - 0,033 (\text{edad lote reproductor}) + 0,085 (\text{días de almacenamiento})$$

De la ecuación dada por el modelo de regresión múltiple se determina que por cada incremento de una unidad en el porcentaje de fertilidad, la mortalidad embrionaria temprana aumenta en 0,207, manteniendo las demás variables independientes igual a cero. Se extrae de la ecuación que por cada incremento de una semana de edad del lote reproductor, la mortalidad embrionaria temprana aumenta en 0,033, manteniendo las demás variables independientes igual a cero. Se obtuvo como resultado también que por cada incremento de un día de almacenamiento, la mortalidad embrionaria temprana incrementa en 0,085.

#### Mortalidad Embrionaria Media (8-14 días)

Para la variable de mortalidad embrionaria media, el análisis propone cinco modelos, de los cuales se escogió el modelo número 5. Este modelo determinó que la fertilidad, peso de huevo, días de almacenamiento y número de huevos transferidos son las variables que más información aportan sobre la variable de mortalidad embrionaria media (Cuadro 8).

El modelo de regresión número cinco explica un 26,2% la variación en la variable independiente “mortalidad embrionaria media” con el menor número de variables predictoras, respecto a los otros modelos (Cuadro 5).

Cuadro 8. Análisis de regresión múltiple para variable mortalidad embrionaria media.

Variables	Estimador	Beta	Error estándar	Valor de P (Sig.)
(Intercepto)	-1,590		0,283	0,000
%Fertilidad	0,091	0,834	0,005	0,000
Peso de huevo transferido	-0,009	-0,107	0,002	0,000
Días de almacenamiento	-0,019	-0,082	0,004	0,000
Número de huevos transferidos	5,722E-05	0,113	0,000	0,000

Del modelo seleccionado se obtiene la siguiente ecuación de regresión múltiple:

$$y = (-1,590) + 0,091 (\%fertilidad) - 0,009 (\text{peso de huevo transferido}) + 5,722E-05 (\text{número de huevos transferidos})$$

De la ecuación dada por el modelo de regresión múltiple se determina que por cada incremento de una unidad en el porcentaje de fertilidad, se incrementa en 0,091 la mortalidad embrionaria media. En cuanto al peso de huevo, se determinó que por cada incremento de un gramo en este, la mortalidad embrionaria media decrece en 0,009. Finalmente, se determinó que por cada incremento en una unidad de número de huevos cargados, la mortalidad embrionaria media aumenta en 5,722E-05, manteniendo las otras variables independientes igual a cero. Incrementos tan pequeños afectan poco sobre la variable dependiente, siendo esta una razón del porqué el modelo solo explica un 26,2% de la variación sobre la mortalidad embrionaria media.

### Mortalidad Embrionaria Tardía (15-21 días)

Para la variable de mortalidad embrionaria tardía, el análisis propone cinco modelos, de los cuales se escogió el modelo número 5. Este modelo determinó que la fertilidad, peso de huevo, días de almacenamiento y número de huevos cargados son las variables que más información aportan sobre la variable de mortalidad embrionaria tardía (Cuadro 9).

El modelo de regresión número tres explica un 77,2% la variación en la variable independiente “mortalidad embrionaria tardía” con el menor número de variables predictoras, respecto a los otros modelos (Cuadro 5).

Cuadro 9. Análisis de regresión múltiple para variable mortalidad embrionaria tardía.

Variablen	Estimador	Beta	Error estándar	Valor de P (Sig.)
(Intercepto)	-10,181		0,612	0,000
%Fertilidad	0,406	1,120	0,008	0,000
Peso de huevo	0,064	0,240	0,003	0,000
Días de almacenamiento	0,052	-0,067	0,007	0,000
Número de huevos cargados	0,00016	0,059	0,000	0,000

Del modelo seleccionado se obtiene la siguiente ecuación:

$$y = (-10,181) + 0,406 (\%fertilidad) + 0,064 (\text{peso de huevo transferido}) - 0,052 (\text{días de almacenamiento}) + 0,00016 (\text{número de huevos cargados})$$

De la ecuación dada por el modelo de regresión múltiple se determina que por cada incremento en una unidad en el porcentaje de fertilidad, la mortalidad embrionaria tardía aumenta en 0,406. Se determinó también que por cada gramo de más del peso de huevo, la mortalidad embrionaria tardía va a aumentar en 0,064. Por otro

lado, por cada día de almacenamiento de más, la mortalidad embrionaria tardía se incrementa en 0,052. Finalmente, por cada huevo de más que haya sido cargado en la máquina incubadora, la mortalidad embrionaria tardía va a incrementar 0,00016.

Se determinó que para los tres modelos de regresión múltiple seleccionados para cada una de las categorías de mortalidad embrionaria, se presenta la participación de la variable independiente porcentaje de fertilidad. La participación de esta variable en los modelos se puede deber a posibles causas como errores durante la evaluación y clasificación en la embriodiagnos, ya que muertes embrionarias tempranas se pueden confundir con casos de infertilidad. De igual manera se determinó que para los tres modelos de regresión múltiple seleccionados para cada una de las categorías de mortalidad embrionaria, se presenta la participación de la variable independiente días de almacenamiento. La participación de esta variable en los modelo indica que la mortalidad embrionaria en la planta incubadora de pollo de engorde se ve influenciada por la cantidad de días que se almacenen los huevos fértiles. Según Pas Reform (2014), los mejores resultados de incubabilidad y calidad de pollito se obtienen de huevos de uno a dos días después de la postura, ya que en este período el dióxido de carbono es liberado del huevo. Un almacenamiento de más de dos días conlleva a la pérdida de incubabilidad, y menor calidad del pollito que nace. Por cada día adicional de almacenamiento puede presentarse una reducción de hasta 0,2% de incubabilidad, y de 0,5% después del séptimo día.

Además, se obtuvo como resultado que las variables independientes peso de huevo y número de huevos cargados, participan en los modelos de regresión para mortalidad embrionaria media y tardía. Finalmente, la variable edad de la reproductora participa del modelo de mortalidad embrionaria tardía.

Las causas de mortalidad embrionaria en sus distintas etapas pueden encontrarse relacionadas a factores como temperatura del embrión y cantidad de huevos cargados, contaminación bacteriana, deficiencias nutricionales o enfermedades de tipo infeccioso en el caso de la mortalidad intermedia. Factores como peso de

huevo, cantidad de huevos cargados en las máquinas, mal manejo de condiciones ambientales (temperatura y humedad), temperatura de la cáscara, insuficiente pérdida de humedad, daños al embrión durante el proceso de transferencia, huevos invertidos, procesos inadecuados de desinfección y problemas de ventilación pueden encontrarse relacionados a la mortalidad embrionaria tardía (Bell y Weaver 2002).

Según la ecuación generada por el modelo de regresión, se determinó que al prolongarse el período de almacenamiento respecto al promedio, la mortalidad embrionaria en sus tres etapas se ve afectada de manera negativa, aumentando los porcentajes de este parámetro. Según Sardá y Vidal (2005), las causas directas de la muerte de embriones durante el proceso de incubación son la acumulación de residuos nocivos del metabolismo como amoníaco o ácido láctico, retraso en la formación y crecimiento de membranas embrionarias, alteraciones en el mecanismo de respiración, falta de sincronización entre el crecimiento del embrión y el desarrollo de las membranas. Un intercambio de gases puede ocurrir por medio de los poros de la cáscara durante el almacenaje. Según Cobb Vantress (2013), el dióxido de carbono sale y su concentración se reduce rápidamente durante las primeras 12 horas después de la ovoposición, además los huevos también pierden vapor de agua durante el almacenamiento. Las pérdidas tanto de dióxido de carbono como de vapor de agua, contribuyen a la reducción del nacimiento y de la calidad del pollito. Por lo tanto, las condiciones de almacenamiento deben ser diseñadas para minimizar estas pérdidas.

En un estudio realizado por Schmidt et al. (2009) se evaluó el efecto del tiempo de almacenamiento y el peso del huevo sobre el desarrollo embrionario. Se logró determinar por esta investigación que el tiempo de almacenamiento genera una disminución de la incubabilidad en un 1,17% y un aumento de 1,15% en la mortalidad embrionaria general, por cada día adicional del almacenamiento promedio en el estudio (cuatro días). Los valores más altos de mortalidad se presentaron en la primera y última etapa del desarrollo embrionario (Figura 4).



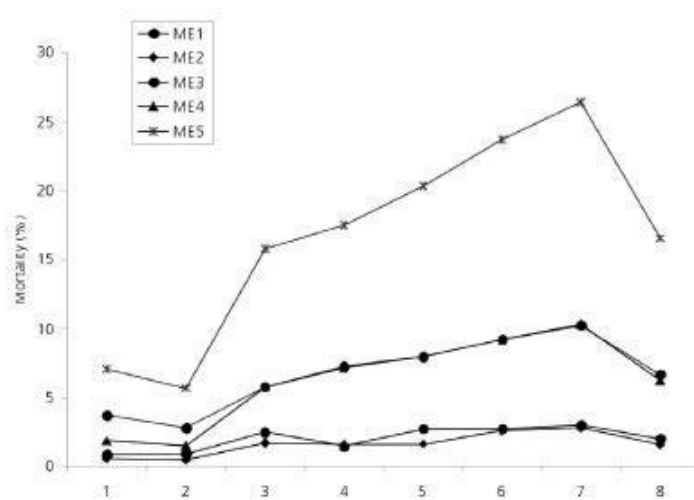


Figura 4. Efecto del tiempo de almacenamiento sobre la mortalidad embrionaria (Schmidt 2009).

El huevo es un sistema biológico que está destinado a asegurar el bienestar del embrión así como una eclosión exitosa con un pollito completamente desarrollado. Las características fisiológicas del huevo fértil, como la cáscara, el tamaño o forma del huevo y peso del huevo influyen de manera importante en el proceso de incubación. Cualquier interacción en estas características puede resultar en la muerte del embrión, en las distintas etapas del desarrollo (Kopectý 2015).

En un estudio realizado por Kopectý (2015), se evaluó el efecto de las características del huevo fértil y el tiempo de su almacenamiento sobre la mortalidad embrionaria en el proceso de incubación. Se encontró que el mayor porcentaje de mortalidad embrionaria se dio en huevos en el rango de peso entre 70g y 75g, mientras que las mortalidades embrionarias más bajas se presentaron en huevos cuyo rango de peso se encuentra entre los 55g y 60g. Esta información sugiere que el peso del huevo podría tener una influencia sobre el porcentaje de mortalidad embrionaria (Cuadro 10). Por otro lado, los resultados obtenidos en la presente

investigación coinciden con lo obtenido por Kopectý, en donde para las tres etapas del desarrollo embrionario se vio un incremento de la mortalidad de manera paralela al incremento de peso de los huevos incubados.

Cuadro 10. Efecto de diferentes pesos de huevo sobre el porcentaje de mortalidad embrionaria (Kopectý 2015).

Grupo por peso de huevo (g)	Media Mortalidad Embrionaria (%)
50-55g	11,92 ± 1,38
55-60g	9,71 ± 0,67
60-65g	9,95 ± 2,43
65-70g	11,99 ± 1,59
70-75g	16,74 ± 3,91

Un aspecto que contribuye a la variabilidad de la mortalidad embrionaria es la edad del lote reproductor. Líneas genéticas como Cobb y Ross, entran en la fase de producción de huevos alrededor de la semana veinticinco de edad, y se espera que el ciclo finalice cerca de la semana sesenta y cinco, cuando los niveles productivos llegan por debajo del nivel ideal. Las características de producción cambian debido a la edad del lote reproductor, ya que a medida que pasa el tiempo, los valores de mortalidad embrionaria esperados cambian (Peñuela y Hernández 2018).

Según Peñuela (2018), tras realizar una investigación sobre la caracterización de la mortalidad embrionaria en pollos de engorde, encontró que los porcentajes de mortalidad embrionaria más altos se obtuvieron de los lotes de aves reproductoras más viejos. Se observó que el porcentaje de mortalidad embrionaria fue de 27,66% para los huevos de reproductoras entre las sesenta y sesenta y cuatro semanas. El menor porcentaje de mortalidad fue de 8,84%, el cual se obtuvo en lotes con edades entre las cuarenta, y cuarenta y siete semanas. En la primera semana de incubación murió el 57,53% de los embriones y se presentó el pico de muerte entre los días

uno y tres; la segunda semana murió el 38,42%, con un máximo de muertes entre el día diecinueve y veintiuno.

Los resultados obtenidos por Peñuela y Hernández (2018) coinciden con lo obtenido en la presente investigación, en donde la edad del lote reproductor tiene un efecto sobre la mortalidad embrionaria en su primera etapa. Se obtuvo que al aumentar la edad de lote, la mortalidad embrionaria temprana también aumenta. Durante el desarrollo embrionario existen desafíos que ocurren en los primeros días del desarrollo en donde se da la diferenciación celular siendo esta una etapa crítica del proceso. Es en las edades más adultas donde el porcentaje de nacimientos fértiles disminuye en las aves reproductoras ya que la fertilidad tanto del macho como de la hembra disminuyen, además características físicas del huevo, como la cáscara, pierden su calidad siendo más propensos a contaminación (Soares 2008).

### 5.2.3. Calidad de Pollito

#### 5.2.3.1. Pollito primera calidad (Tipo A)

Para la variable de pollito de primera calidad (Tipo A), el análisis propone cuatro modelos, de los cuales se escogió el modelo número cuatro. Este modelo determinó que la fertilidad, días de almacenamiento, peso de huevo y número de huevos transferidos son las variables que más información aportan sobre la variable de pollito de primera calidad (Cuadro 11).

El modelo de regresión número cuatro explica un 86% la variación en la variable independiente “pollito primera calidad” con el menor número de variables predictoras, respecto a los otros modelos (Cuadro 5).

Cuadro 11. Análisis de regresión múltiple para variable pollito de primera calidad (tipo A).

Variables	Estimador B	Beta	Error estándar	Valor de P (Sig.)
(Intercepto)	-57,891		2,119	0,000
% Fertilidad	1,614	0,895	0,014	0,000
Días de almacenamiento	-0,342	-0,087	0,028	0,000
Peso de huevo transferido	-0,072	-0,057	0,011	0,000
Número de huevos transferidos	-0,00020	-0,016	0,000	0,025

Del modelo seleccionado se obtiene la siguiente ecuación:

$$y = (-57,891) + 1,614 (\%fertilidad) - 0,342 (\text{días de almacenamiento}) - 0,072 (\text{peso de huevo transferido}) - 0,00020 (\text{número de huevos transferidos})$$

De la ecuación dada por el modelo de regresión múltiple se determina que por cada incremento de una unidad en el porcentaje de fertilidad, el porcentaje de pollito de primera calidad aumenta en 1,614 manteniendo las demás variables independientes iguales a cero. De la misma manera, por cada día de más en el almacenamiento de los huevos, el porcentaje de pollito de primera calidad se ve disminuido en 0,342. También, por cada gramo de más en el peso de los huevos, el porcentaje de pollito de primera calidad se reduce en 0,072. Por medio de la ecuación también se determinó que por cada huevo de más que fue transferido a la máquina nacedora, el porcentaje de pollito de primera calidad se reduce en 0,00020.

### 5.2.3.2. Pollito segunda calidad/Descarte (Tipo B)

Para la variable de pollito de segunda calidad (Tipo B), el análisis propone cuatro modelos, de los cuales se escogió el modelo número cuatro. Este modelo determinó que la fertilidad, peso de huevo, días de almacenamiento y el porcentaje de pérdida de humedad son las variables que más información aportan sobre la variable de pollito de segunda calidad (Cuadro 12).

El modelo de regresión número tres explica un 57,2% la variación en la variable independiente “pollito segunda calidad” con el menor número de variables predictoras, respecto a los otros modelos (Cuadro 5).

Cuadro 12. Análisis de regresión múltiple para variable pollito de segunda calidad (tipo B).

Variabes	Estimador B	Beta	Error estándar	Valor de P (Sig.)
(Intercepto)	7,519		0,370	0,000
% Fertilidad	-0,102	-0,494	0,003	0,000
Peso huevo transferido	0,063	0,395	0,002	0,000
Días de almacenamiento	0,040	0,090	0,006	0,000
% Pérdida de humedad	-0,028	-0,035	0,010	0,005

Del modelo seleccionado se obtiene la siguiente ecuación de regresión:

$$y = (7,519) - 0,102 (\% \text{fertilidad}) + 0,063 (\text{peso de huevo transferido}) + 0,040 (\text{días de almacenamiento}) - 0,028 (\% \text{pérdida de humedad})$$

De la ecuación dada por el modelo de regresión múltiple se determina que por cada incremento en una unidad del porcentaje de fertilidad, el porcentaje de pollito de

segunda calidad se reduce en 0,102 manteniendo las demás variables independientes iguales a cero. También, por cada gramo de más en el peso de los huevos, el porcentaje de pollito de segunda calidad aumenta en 0,063. Por cada día de más en el almacenamiento de los huevos, el porcentaje de pollito de segunda calidad se incrementa en 0,040. Finalmente, por cada aumento en una unidad en el porcentaje de pérdida de humedad, el porcentaje de pollito de segunda calidad se reduce en 0,028.

Se determinó que para los dos modelos de regresión múltiple seleccionados para cada una de las categorías de calidad de pollito, además de las variable porcentaje de fertilidad, se da la participación de las variables peso de huevo y días de almacenamiento, indicando la importancia de estas variables sobre la variabilidad en la calidad de pollito que se obtiene en la planta incubadora.

La calidad de pollito de un día se encuentra relacionada a características del huevo fértil y a las condiciones de incubación de los mismos. El peso del huevo es un parámetro de calidad importante que influye mucho en la composición interna del huevo, en el crecimiento del embrión y en el posterior rendimiento del pollo de engorde.

A su vez, el tamaño y peso del huevo fértil se encuentran determinados por la edad del ave reproductora. En el ciclo de producción de las aves reproductoras, la gallina comenzará a poner huevos pequeños y en pocas semanas pasará al tamaño mediano y luego al huevo de tamaño grande. Si bien el tamaño del huevo se puede manipular utilizando niveles de grasa, proteínas y enzimas, algunos otros factores, como la edad y el peso corporal de la gallina, el peso de la yema y la ingesta de nutrientes pueden influir en el tamaño del huevo (Iqbal *et al.* 2016). Al aumentar la edad del lote reproductor, el peso del huevo también se eleva, el espesor de la cáscara disminuye y el saco vitelino aumenta. Huevos provenientes de parvadas de distintas edades, pueden variar en la calidad de la cáscara, la pérdida de masa de los huevos y la calidad de pollito (Sabah y Sahan 2018). Cáscaras muy duras afectan la capacidad del pollito para nacer ya que deben hacer un mayor esfuerzo

para romper la cáscara y nacer, y si alcanzan llegar al nacimiento serán pollitos débiles y con poca energía. Por otro lado, cáscaras delgadas pierden fácilmente la humedad, generando pollitos pequeños y deshidratados (Soler y Bueso 2016).

Huevos muy pequeños no deberían ser incubados o afectarán el nacimiento y la calidad del pollito. Por otro lado, huevos muy grandes serán difíciles de colocar en las bandejas, resultarán en aumento de los fisurados o rotos, y a la larga menor nacimiento. Por definición, el huevo incubable ideal debe tener de 52 a 68 gramos de peso (Ricagno 2011).

Existen algunos factores poco investigados que podrían estar involucrados en la evaluación de la calidad de los pollitos de un día, sin embargo factores cuantitativos como el peso o longitud del pollito, peso corporal del pollito libre de yema, y la evaluación cualitativa de los pollitos de un día son utilizados para la clasificación de la calidad de pollito, y resultan relevantes ya que se encuentran relacionados con el posterior desempeño del pollo de engorde.

El peso del huevo tiene un efecto positivo sobre el peso del pollito y longitud del pollito. Además, influye en otros parámetros como incubabilidad, duración de la eclosión, mortalidad embrionaria, peso de pollito y el desempeño posterior de las aves. En un estudio realizado por Sabah y Sahan (2018), se determinó el efecto del peso del huevo en el grosor de la cáscara del huevo, la densidad de poros, pérdida de peso de huevos y calidad de pollitos en lotes de aves reproductoras de 40 semanas de edad. Se encontró que el peso del pollito nacido fue mayor en huevos de mayor tamaño, mientras que la longitud del pollito no se vio afectada por el peso de huevo. En otro estudio realizado por Iqbal et al. (2016), se determinó que el peso del huevo tuvo un efecto significativo sobre el peso del pollito, el rendimiento y la longitud del pollito. Estas variables mejoraron al aumentar el tamaño del huevo. Sin embargo, una mala calidad de los pollitos (pollito de segunda calidad o descarte) se ha asociado con un peso del huevo mayor al promedio para una determinada parvada, lo cual concuerda con los resultados de este estudio, en el que se registraron pollitos de segunda calidad o descartados en huevos de mayor tamaño

que en grupos de huevos de tamaño medio y pequeño. A medida que las gallinas envejecen, el peso del huevo aumenta y el grosor de la cáscara disminuye. Estas proporciones de los componentes del huevo para incubar también se ven afectadas por el tamaño del huevo. Los huevos pequeños tienen una mayor proporción de yema que los huevos grandes. Debido a que los lípidos de la yema suministran más del 90% de la energía requerida por el embrión en desarrollo, una reducción en la proporción de yema podría ser una desventaja para el desarrollo de embriones en huevos con yemas pequeñas (Ulmer-Franco et al. 2010).

La calidad de pollito así como el desempeño del pollo de engorde se ven disminuidos de manera importante por un prolongado tiempo de almacenamiento de los huevos, y el efecto es aún mayor en huevos de lotes más viejos (Tona et al. 2005). En un estudio realizado por Tona et al. (2003), se investigó sobre el efecto el tiempo de almacenamiento de los huevos respecto a la calidad de pollito, donde la calidad de pollito fue evaluada según características cualitativas con determinada calificación para cada una de ellas. Se obtuvo como resultado que un almacenamiento de hasta dieciocho días redujo el porcentaje de pollitos de primera calidad así como la calificación promedio de calidad de pollito. El almacenamiento más prolongado de los huevos mostró un mayor efecto sobre la reducción de la calidad de pollito, que los almacenamientos más cortos. Se vio también mayor incidencia de anomalías en los pollitos nacidos de huevos almacenados hasta dieciocho días.

Según Reijrink (2010), cuando los huevos se almacenan por más de siete días, parámetros como la incubabilidad y la calidad del pollito disminuyen. Estos efectos negativos pueden ser causados por una disminución en la viabilidad del embrión debido a un aumento en la muerte celular. La viabilidad del embrión depende de la duración del almacenamiento del huevo. En otro estudio realizado por el mismo autor se evaluó el efecto del tiempo de almacenamiento sobre la calidad de pollito, en el cual se obtuvo como resultado que existe un efecto negativo sobre la calidad de pollito tras un almacenamiento prolongado. La masa corporal libre de yema y la longitud del pollito se vieron reducidas cuando se prolongó el tiempo de



almacenamiento del huevo, así como se presentó un incremento en el porcentaje de pollito de segunda calidad. Los resultados obtenidos de esa investigación mostraron que la masa corporal libre de yema, la longitud del pollito y el porcentaje de pollitos de segunda calidad son indicadores significativos en la clasificación y evaluación de la calidad de los pollitos.

El almacenamiento prolongado de los huevos fértiles puede inducir estrés embrionario, el cual se manifiesta en un aumento de la muerte celular necrótica y apoptosis embrionaria, un metabolismo embrionario deprimido y retrasos en el desarrollo. Esto causa un daño irreparable al embrión en la mayoría de los casos, aumentando la mortalidad embrionaria y una disminución del rendimiento del pollito (Dymond *et al.* 2013).

Los datos en los estudios mencionados concuerdan con los resultados obtenidos en la presente investigación, en los que se demostró que el mayor porcentaje de pollitos de segunda calidad fueron obtenidos cuando el tiempo de almacenamiento fue mayor. Consecuentemente se disminuyó el porcentaje de pollito de primera calidad tras aumentar el tiempo de almacenamiento.

En el caso de la incubadora en estudio, la calidad del pollito que nace es clasificada en primera calidad y segunda calidad, siendo esta última descartada del proceso. La evaluación de características físicas como actividad del pollito, cicatrización del ombligo, enrojecimiento de tarsos, y presencia de deformidades son criterios utilizados en el proceso de evaluación.

Durante el proceso de incubación de huevo fértil, la pérdida de humedad del huevo debe encontrarse en el rango óptimo que permita maximizar la eclosión y la calidad del pollito. Los cambios de peso en el huevo se deben a la pérdida de humedad del huevo durante el proceso, la cual se puede medir fácilmente pesando los huevos. En una incubación correcta, la pérdida promedio del peso del huevo por humedad, desde la puesta del huevo a la transferencia a los 18 días será del 11-12% de su peso (Aviagen 2013).

Uno de los subproductos del metabolismo que se genera durante la incubación es el agua; el embrión debe eliminar el exceso de agua para poder eclosionar. Durante la incubación un huevo pierde peso debido a la evaporación de agua; esta pérdida de peso es esencial para crear una suficiente cámara de aire que permita la ventilación pulmonar embrionaria, después del picado interno y una exitosa eclosión. Una alta tasa de eclosión es alcanzada cuando exista una pérdida de agua de 12% a 14% del peso del huevo al momento de incubar, hasta el momento de la transferencia (Prado y Juárez 2017). Los huevos pierden agua por difusión a través de la cáscara del huevo como resultado de las diferencias de presión de agua entre el interior y el exterior del huevo, según lo determinado por la temperatura y la humedad relativa de ambos lados. La cámara de aire en un huevo proporciona aire al pollito cuando está listo para comenzar a respirar por sí mismo y eclosionar el huevo. Cuando el pollito comienza a respirar, hay una acumulación de dióxido de carbono en el huevo, lo que hace que el pollito rompa el huevo para respirar aire fresco. (Boleli *et al.* 2016).

### **5.3. Prueba de comparación de promedios y Prueba de Tukey-Kramer**

Se realizó una prueba de comparación de medias no paramétricas con análisis de Tukey-Kramer para las variables independientes de tipo cualitativas. Se tomaron como variables independientes cualitativas: granja (origen de los huevos), sala (de incubación o nacimiento), clase de máquina incubadora y clase de máquina nacedora, las cuales a su vez cuentan con diferentes niveles (Cuadro 13). Cada nivel es nombrado por un valor o clasificación. Se analizaron en total 2827 datos para esas variables.

Cuadro 13. Distribución variables independientes cualitativas.

Clase	Nivel	Valores
Granja	3	Procedencia 1, Procedencia 2, Procedencia 3
Sala	3	A, B, C
Clase Máquina Incubadora	7	I1, I2, I3, I4, I5, I6, I7
Clase Máquina Nacedora	7	N1, N2, N3, N4, N5, N6, N7

Por medio de los valores obtenidos de la probabilidad que fueron inferiores a 0,05, se determinó que las variables o factores granja y sala resultaron ser estadísticamente significativas sobre todas las variables dependientes: incubabilidad, mortalidad embrionaria temprana, mortalidad embrionaria media, mortalidad embrionaria tardía, pollito primera calidad (tipo A) y pollito segunda calidad (tipo B). Las variables clase máquina incubadora y clase máquina nacedora no presentaron significancia sobre ninguna de las variables dependientes, por lo que no conforman parte de los modelos.

Se aplicó una prueba de Tukey-Kramer para aquellos factores granja y sala, los cuales fueron los que resultaron significativos dentro de los modelos. Para el factor “granja” se encontraron diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,0001$ ) entre las tres granjas para dichas variables. El mejor porcentaje de incubabilidad y porcentaje de pollitos de primera calidad se obtuvieron en las granjas de Procedencia 1, mientras que los porcentajes más bajos se vieron en las granjas de Procedencia 2. De manera inversa, se vio que la mortalidad embrionaria temprana, fue menor en las granjas de Procedencia 1 y más alta en las granjas de Procedencia 2 (Cuadro 14).

La variable mortalidad embrionaria tardía refleja diferencias estadísticamente significativas entre las granjas de Procedencia 1 y Procedencia 2, siendo más alta en las granjas de Procedencia 2 y más bajas en las granjas de Procedencia 1, sin embargo las granjas de Procedencia 3 no presentan diferencias estadísticamente significativas respecto a las otras granjas en estudio. La variable pollito de segunda calidad muestra diferencias significativas entre la granjas de Procedencia 1 y Procedencia 2, no así en el caso de las granjas de Procedencia 3 las cuales no presentan diferencias con las granjas de Procedencia 2 y Procedencia 1, en donde el porcentaje más bajo de pollitos de segunda calidad se obtuvo en las granjas de Procedencia 1.

En caso de mortalidad embrionaria media, no se encontraron diferencias significativas entre las tres granjas para esta variable.

Factores no medidos en la presente investigación como manejo en granjas reproductoras, temperaturas de cuartos fríos en granja, tiempo de traslado, condiciones climáticas deben ser considerados ante los resultados obtenidos, ya que estos podrían estar relacionados.

Cuadro 14. Diferencia de promedios para las diferencias variables dependientes respecto al factor granja.

Factor: Granja	Incubabilidad	Mortalidad Embrionaria Temprana	Mortalidad Embrionaria Media	Mortalidad Embrionari a Tardía	Pollito Primera Calidad	Pollito segunda Calidad
Procedencia 1	89,07256 A	3,459 C	0,389 A	2,129 B	88,112 A	0,960 B
Procedencia 2	87,39069 B	3,944 B	0,555 A	2,407 A,B	86,221 B	1,169 A,B
Procedencia 3	82,17416 C	6,773 A	0,697 A	3,093 A	80,626 C	1,547 A

Letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas.

Respecto al factor “sala” se logró determinar a través del análisis de comparación de medias mediante la prueba de Tukey-Kramer que para las variables incubabilidad, mortalidad embrionaria temprana y pollito de segunda calidad se encontraron diferencias estadísticamente significativas ( $p > 0,005$ ). El mayor porcentaje de incubabilidad se obtuvo en la sala A, y el más bajo se obtuvo en la sala C, de manera inversa se obtuvo que el porcentaje de pollito de segunda calidad fue más alto en la sala C, sin embargo el porcentaje más bajo se dio en la sala B. En cuanto a la mortalidad embrionaria temprana se obtuvo como resultado que el porcentaje más alto de mortalidad embrionaria temprana se dio en la sala C, los más bajos en las salas A (Cuadro 15).

Algunos factores no medidos en la presente investigación como temperatura y humedad en la sala, ventilación de las salas, falta de mantenimiento, variaciones no controladas del clima, diferente tipo de máquinas y edad de las máquinas podrían estar relacionados con los resultados obtenidos. Es recomendable contar con un programa de mantenimiento preventivo del equipo utilizado en el proceso de

incubación, ya que esto reduce al mínimo el riesgo de fallas en la maquinaria, así como el impacto que tiene el funcionamiento inadecuado de los equipos sobre los nacimientos y la calidad de pollito (Aviagen 2018). Por otro lado, parámetros como temperatura, humedad y ventilación resultan ser de gran importancia en el proceso. Altas temperaturas ocasionan los mayores daños provocando deshidratación de los pollitos, disminución en la incubabilidad y muerte embrionaria, mientras que temperaturas muy bajas requieren de mayor tiempo de incubación, alargan el periodo de nacimiento y provocan una reducción significativa en la calidad del pollito, además la humedad también debe ser controlado para evitar pérdidas excesivas de humedad en el huevo (Vásquez 2016). La ventilación también tiene un papel importante en el proceso de incubación, ya que mientras el embrión se desarrolla, el oxígeno entra al huevo a través de la cáscara y el dióxido de carbono sale de la misma manera, y a medida que los embriones crecen, las aberturas de ventilación de aire se abren gradualmente para satisfacer la creciente demanda de oxígeno embrionaria (Smith 2013). Además, una correcta ventilación permite un flujo de aire adecuado que evita que aumente la temperatura interna de los huevos o que se creen microambientes dentro de la máquina (Oviedo 2014). Otros parámetros como el tipo de máquina y edad de la misma también tienen un papel importante en el proceso, en donde la elección del tipo de máquina debe ajustarse las condiciones y objetivos de cada productor. Es importante tomar en cuenta las recomendaciones de cada fabricante del equipo utilizado, ya que estos tienen una determinada vida útil, que al ser alcanzada podría no cumplir con los objetivos.

La variable mortalidad embrionaria media muestra diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,001$ ) entre la sala A y C, sin embargo entre las salas B y C no se presentan diferencias significativas entre sí. Por otro lado, la variable mortalidad embrionaria tardía presenta diferencias estadísticamente significativas entre las salas A y C, en donde la sala A no es significativamente diferente de la sala B.

En el caso de pollito de primera calidad, se obtuvo que para las salas A y B no existen diferencias significativas ( $p > 0,0001$ ) entre estas dos salas para esta variable, sin embargo si hay una diferencia estadísticamente significativa de estas

dos salas respecto a la sala C, en donde se obtuvo el menor porcentaje de pollito de primera calidad (Cuadro 15).

Cuadro 15. Diferencia de promedios para las diferencias variables dependientes respecto al factor sala.

Factor : Sala	Incubabilidad	Mortalidad Embrionaria Temprana	Mortalidad Embrionaria Media	Mortalidad Embrionaria Tardía	Pollito Primera Calidad	Pollito Segunda Calidad
A	89,907 A	3,977 C	0,439 B	2,097 B	88,916 A	0,990 B
B	89,018 B	4,778 B	0,569 A	1,929 B	88,336 A	0,681 C
C	79,711 C	5,421 A	0,633 A	3,603 A	77,706 C	2,004 A

Letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas.

En la planta incubadora estudiada, para la colocación de los huevos en las salas se toma como criterio de selección la edad del lote reproductor del cual provengan los huevos fértiles, en donde en sala A se colocan huevos de lotes intermedios, en sala B se colocan los lotes jóvenes y en sala C se colocan los lotes más viejos (hasta 65 semanas).

Debido a los criterios utilizados en la planta incubadora para la colocación de huevos en las máquinas incubadoras, los requerimientos ambientales como humedad, temperatura y ventilación de cada sala deben ajustarse a los criterios de clasificación. Cada sala incuba huevos con distintas características fisiológicas, por lo que las condiciones de cada sala deben ajustarse a las características de los huevos que se incuban para poder mejorar los rendimientos obtenidos.

En el caso de la sala A se observaron resultados con una mejor incubabilidad, menor mortalidad embrionaria en todas las etapas, mayor cantidad pollito de

primera calidad, respecto a las otras salas. Por otro lado, en la sala C se encontraron resultados con la menor incubabilidad, mayor mortalidad embrionaria en todas las etapas, menor cantidad de pollito de primera calidad, y mayor cantidad de pollito de segunda calidad. Esto podría estar relacionado a la edad del lote reproductor.



## 6. Conclusiones

- La fertilidad es la única variable independiente que aparece en todos los modelos de regresión múltiple, indicando que la misma tiene un efecto directo sobre todas las variables dependientes en estudio. El resultado obtenido carece de justificación biológica, ya que huevos que no se encuentran fértiles no van a desarrollar embriones, por lo que no se podría esperar nacimientos. Los parámetros evaluados en la presente investigación solo pueden ser cuantificados en huevos con desarrollo embrionario. Esta variable compete de manera importante al área de reproducción.
- Las variables cualitativas granja (procedencia de los huevos) y sala de proceso (tanto incubación como nacimiento) resultaron significativas para todas las variables dependientes en estudio. No así para las variables tipo de máquina incubadora y tipo de máquina nacedora.
- A pesar de que los promedios de las variables analizadas se encuentran dentro de los valores normales establecidos en la literatura, los datos deben ser evaluados tomando en cuenta algunos otros indicadores estadísticos como máximos, mínimos, moda y coeficiente de variación.
- Los factores que afectaron en mayor forma la calidad del pollito nacido y los rendimientos de incubación fueron: días de almacenamiento, porcentaje de fertilidad (esto por no descartar huevos infértiles), peso de huevo, pérdida de humedad, condiciones de sala de proceso de incubación y nacimiento, número de huevos cargados, y granja de procedencia.
- Otras variables no medidas en la presente investigación como tiempo de incubación (horas), y porcentaje de contaminación deben ser consideradas en estudios posteriores.

## 7. Recomendaciones

- Parámetros como el porcentaje de contaminación de los huevos debe ser considerada como parte de los criterios del proceso de clasificación de los pollitos, ya que este factor tiene un papel importante sobre la calidad del pollito nacido. Se recomienda llevar un registro continuo de este parámetro, y asimismo realizar una clasificación posterior de los pollitos nacidos de segunda calidad.
- Debido al peso de la variable independiente fertilidad sobre las variables dependientes evaluadas en la planta incubadora de la presente investigación, es recomendable ajustar prácticas de manejo con el fin de asegurar que todos los huevos infértiles sean retirados de las máquinas.
- Factores no medidos en la presente investigación pueden ser considerados para futuras evaluaciones, como el tiempo de incubación en horas.
- No sobrecargar las máquinas para evitar afectaciones ambientales como ventilación.
- Incubar huevos de orígenes, edad de reproductores y días de almacenamiento similares para no afectar la calidad de pollito.
- Supervisar la realización de los embriodiagnósticos para asegurar que las clasificaciones se hagan en forma correcta.
- Mejorar el manejo de tiempo de almacenamiento, buscando reducir los días de almacenaje de huevos.
- Revisar aspectos de las granjas de origen que pueden afectar los rendimientos del proceso de incubación.
- Ajustar condiciones de las salas según los criterios utilizados de colocación de huevos.
- Analizar y registrar de manera continua los datos correspondientes al porcentaje de contaminación, ya que este es un factor muy importante que afecta la calidad del pollito nacido.
- Capacitar al personal para realizar un registro adecuado de datos.

- Analizar los datos obtenidos durante el proceso, y utilizarlos eficientemente para la toma de decisiones.
- Implementar un registro de la ventana de nacimiento u horas de incubación.

## 8. LITERATURA CITADA

Abad, J; García, F. 2013. Valoración de la calidad de pollito. Congreso Científico de Avicultura España. Lérida, España. Disponible en: [http://www.wpsa-aeca.es/aeca\\_imgs\\_docs/juan\\_carlos\\_abat.pdf](http://www.wpsa-aeca.es/aeca_imgs_docs/juan_carlos_abat.pdf)

Abiola, S. 2008. Effects of turning frequency of hen's egg in electric table-type incubator on weight losses on hatchability and mortality. *Indian Journal of Animal Research*. 45(4): 300-304.

Aviagen. 2010. Reproductoras. Ross Tech: Investigación en las prácticas de incubación. Consultado el 4 de diciembre de 2018. Disponible en: [http://es.aviagen.com/assets/Tech\\_Center/BB\\_Foreign\\_Language\\_Docs/Spanish\\_TechDocs/RossTechInvestigacindelaspcticasdeincubacinmayo2010.pdf](http://es.aviagen.com/assets/Tech_Center/BB_Foreign_Language_Docs/Spanish_TechDocs/RossTechInvestigacindelaspcticasdeincubacinmayo2010.pdf)

Aviagen. 2013(a). Cómo medir la pérdida de agua del huevo. *International Hatchery Practice*. Consultado el 20 de abril de 2019. Disponible en: [http://en.aviagen.com/assets/Tech\\_Center/BB\\_Foreign\\_Language\\_Docs/Spanish\\_TechDocs/Hot-Tos-ES/Como1-Medir-prdida-agua-huevo-ES-2013.pdf](http://en.aviagen.com/assets/Tech_Center/BB_Foreign_Language_Docs/Spanish_TechDocs/Hot-Tos-ES/Como1-Medir-prdida-agua-huevo-ES-2013.pdf)

Aviagen. 2013(b). Cómo medir el rendimiento de pollito. *International Hatchery Practice*. Consultado el 15 de mayo de 2019. Disponible en: [http://en.aviagen.com/assets/Tech\\_Center/BB\\_Foreign\\_Language\\_Docs/Spanish\\_TechDocs/Hot-Tos-ES/Como2-Medir-rendimiento-pollito-ES-2013.pdf](http://en.aviagen.com/assets/Tech_Center/BB_Foreign_Language_Docs/Spanish_TechDocs/Hot-Tos-ES/Como2-Medir-rendimiento-pollito-ES-2013.pdf)

Aviagen. 2018. Consejos para la incubadora. *International Hatchery Practice*. Consultado el 16 de abril de 2019. Disponible en: [http://es.aviagen.com/assets/Tech\\_Center/BB\\_Foreign\\_Language\\_Docs/Spanish\\_TechDocs/HatcheryTips-1-22-ES.pdf](http://es.aviagen.com/assets/Tech_Center/BB_Foreign_Language_Docs/Spanish_TechDocs/HatcheryTips-1-22-ES.pdf)

- Bastidas, M; Camacho, S; Castilletti, J; Milano, L; Navas, Y; Yanes, V. 2015. Correlación entra calidad del pollito de un día y mortalidad de la primera semana. XXIV Congreso Latinoamericano de Avicultura. Guayaquil, Ecuador. Consultado el 29 de mayo de 2017. Disponible en: <http://www.elsitioavicola.com/articulos/2856/correlacion-entra-calidad-del-pollito-de-un-dia-y-mortalidad-de-la-primera-semana/>
- Bautista, J; Pérez, M; González, A; Villegas, Y; Rodríguez, G; Meza, V. 2013. Calidad de huevo de cuatro líneas genéticas de gallinas el clima cálido. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 6(1): 1107-1118.
- Bell, D; Weaver, W. 2002. *Commercial chicken meat and egg production*. 5th Edition. Springer.727p.
- Beltrán, J; Quintana, J; Véliz, G; Reyes, J. 2016. Tiempo de almacenamiento del huevo y temperatura en el porcentaje de nacimientos de aves domésticas. Departamento de Medicina y Zootecnia de Aves. Universidad Nacional Autónoma de México. Consultado el 9 de abril de 2019. Disponible en: [http://www.agrofaz.mx/wp-content/uploads/articulos/20161611I\\_2.pdf](http://www.agrofaz.mx/wp-content/uploads/articulos/20161611I_2.pdf)
- Boleli, I; Morita, V; Matos, J; Thimotheo, M; Almeida, V. 2016. Poultry egg incubation: Integrating and optimizing production efficiency. *Brazilian Journal of Poultry Science*. 18(2):719-732.
- Boerjan, M. 2004. Single stage incubation is the most natural choice. *World Poultry* 20(7): 18-20.
- Bramwell, R. 2013. El proceso de fertilización vs la mortalidad embrionaria del huevo. *AviNews*. Consultado el 11 de abril de 2019. Disponible en: <https://avicultura.info/el-proceso-de-fertilizacion-y-la-mortalidad-embrionaria-huevo/>
- Buhr, R. 1995. Incubation relative humidity effects on allantoic fluid volume and hatchability. *Poultry Science*. 74(3): 874-884.

- CANAVI. 2016. El consumo medio de carne de pollo en Costa Rica. XIV Jornada Avícola Nacional. Heredia, Costa Rica. Cámara Nacional de Avicultores de Costa Rica. Consultado el 20 de marzo de 2019. Disponible en:  
[https://www.centralamericadata.com/es/search?q1=content\\_es\\_le%3A%22consumo+de+carne+de+pollo%22&q2=mattersInCountry\\_es\\_le%3A%22Costa+Rica%22](https://www.centralamericadata.com/es/search?q1=content_es_le%3A%22consumo+de+carne+de+pollo%22&q2=mattersInCountry_es_le%3A%22Costa+Rica%22)
- CEVA. 2005. Artificial incubation of poultry eggs. CEVA Animal Health. Malasia. Consultado el 3 de abril de 2018. Disponible en:  
[https://thepoultrysite.com/focus/contents/ceva/OnlineBulletins/ob\\_2005/Article-No2-Sept05.pdf](https://thepoultrysite.com/focus/contents/ceva/OnlineBulletins/ob_2005/Article-No2-Sept05.pdf)
- COBB-VANTRESS. 2013. Guía de manejo de la incubadora. Consultado el 28 de mayo de 2017. Disponible en: [http://www.cobb-vantress.com/contactus/brochures/Hatchery\\_Guide\\_Spanish\\_2013](http://www.cobb-vantress.com/contactus/brochures/Hatchery_Guide_Spanish_2013).
- Dalanezi, J; Mendes, A; García, E; Garcia, R; Moreira, J; Takita, T; Almeida, I. 2003. Efeito da idade da matriz sobre o rendimento e qualidade da carne de frango de corte. *Revista Brasileira de Ciências Avícolas* 24(1): 685-690.
- Dymond, J; Vinyard, B; Nicholson, A; French, N; Bakst, M. 2013. Short periods of incubation during egg storage increase hatchability and chick quality in long-stored broiler eggs. *Poultry Science*. 92(4): 2977-2987.
- Edwards, C. 1902. The physiological zero and the index of development from the egg of the domestic fowl. *American Journal of Physiology*. 6(1):351–397.
- Food and Agriculture Organization. 2004. Small-scale poultry production. Incubation and hatching. Consultado el 14 de marzo de 2019. Disponible en: <http://www.fao.org/3/y5169e/y5169e00.htm#Contents>
- Food and Agriculture Organization. 2014. Panorama del mercado mundial de la carne. *Producción y Sanidad Animal*. Consultado el 17 de setiembre de 2017. Disponible en:  
<http://www.fao.org/ag/againfo/themes/es/meat/background.html>

- Fasenko, G; Robinson, R; Hardin, T; Wilson, T. 2007. Variability in preincubation embryonic development in domestic fowl. Effects of duration of egg storage period. *Poultry Science*. 71(1): 2129–2132.
- Fasenko, G. 2007. Egg storage and the embryo. *Poultry Science*. 86(5):1020-1024.
- Gandarillas, D. 2008. Estudio del efecto del tamaño y peso de huevo sobre la incubabilidad de broilers. *Ciencia y Desarrollo*. 2(2): 53-56.
- Gandarillas, D. 2017. Estudio del Efecto, Tamaño, Peso del Huevo sobre la Incubabilidad de broilers. *Ciencia & Desarrollo*. 1(1): 53-56.
- García de la Peña, A. 2015. Huevo incubable: Contaminación y consecuencias. *AviNews*. Consultado el 22 de noviembre de 2018. Disponible en: <https://avicultura.info/huevo-incubable-contaminacion-y-consecuencias/>
- Goliomytis, M; Tsipouzian, T; Hager-Theodorides, A. 2015. Effects of egg storage on hatchability, chick quality, performance and immunocompetence parameters of broiler chickens. *Poultry Science*. 94(5): 2257-2265.
- Hamissou, A; Ozlu, S; Elibol, O. Effect of chick body temperature during post-hatch handling on broiler live performance. *Poultry Science*. 98(3): 244-250.
- Iqbal, J; Hassan Khan, S; Mukhtar, N; Ahmed, T; Ahmed, R. 2016. Effects of egg size (weight) and age on hatching performance and chick quality of broiler breeder. *Journal of Applied Animal Research*. 44(2): 54-64.
- Joseph, N; Lourens, A; Moran, E. 2006. The effects of suboptimal eggshell temperature during incubation on broiler chick quality, live performance, and further processing yield. *Poultry Science*. 85(3): 932–938.
- Jova, R; Vidal, A. 2005. Patología de la incubación. Instituto de Investigaciones Avícolas. La Habana, Cuba. Portal Veterinaria. Consultado el 30 de julio de 2019. Disponible en:

<https://www.portalveterinaria.com/avicultura/articulos/2806/patologia-de-la-incubacion.html>

Kopectý, J. 2015. The effect of hen hatching eggs characteristics and time of its storage on embryonic mortality during incubation. *Animal Science and Biotechnologies*. 42(3): 315-332.

Nicholson, D. 2012. Mejora de la incubabilidad de los huevos almacenados durante largo tiempo. *International Hatchery Practice*. Vol 26. Consultado el 28 de febrero de 2019. Disponible en: <https://seleccionesavicolas.com/pdf-files/2013/1/7087-mejora-de-la-incubabilidad-de-los-huevos-almacenado-durante-largo-tiempo.pdf>

Mejía, L. 2016. El manejo del macho en la fertilidad de la parvada. *Industria Avícola*. Consultado el 11 de junio de 2019. Disponible en: <https://www.industriaavicola.net/reproduccion-genetica-e-incubacion/el-manejo-del-macho-en-la-fertilidad-de-la-parvada/>

Ohi, N; Inoue, N; Furuta, H; Sugawara, M; Ohta, Y. 2010. Development of a method to control water evaporation og hatching eggs during incubation. *Poultry Science*. 89(2): 551-557.

Oviedo, E. 2014. Cómo medir y mejorar la calidad de pollito en incubadoras. *Avinews*. Consultado el 27 de setiembre de 2017. Disponible en: <https://avicultura.info/como-mejorar-la-calidad-del-pollito-en-incubadoras/>

Paniago, M. 2005. Artificial incubation of poultry eggs: 3,000 years of history. *CEVA Animal Health Asia Pacific*. Consultado el 12 de mayo de 2019. Disponible en: [https://thepoultrysite.com/focus/contents/ceva/OnlineBulletins/ob\\_2005/Article-No2-Sept05.pdf](https://thepoultrysite.com/focus/contents/ceva/OnlineBulletins/ob_2005/Article-No2-Sept05.pdf)

Pas Reform. 2014. Putting science into practice. *Pas Reform Hatchery Technologies*. Consultado el 15 de abril de 2019. Disponible en: <https://mail.google.com/mail/u/1/#inbox?projector=1>



- Prado, O; Juárez, M. 2017. Efecto de la humedad en incubación sobre la incubabilidad y mortalidad embrionaria del pollo de engorda en el trópico seco mexicano. *Abanico Veterinario*. 7(1): 23-34.
- Peñuela, A; Hernández, A. 2018. Characterization of embryonic mortality in broilers. *Revista MVZ Córdoba*. 23(2): 56-63.
- Prado, O; Juárez, M. 2017. Efecto de la humedad en incubación sobre la incubabilidad y la mortalidad embrionaria del pollo de engorde en el trópico seco mexicano. *Abanico Veterinario*. 7(2) 44-57.
- Ramírez, E. 2011. Fertilidad en reproductoras. XVII Congreso de la Asociación Mundial de Veterinarios Aviares. Cancún, México. Consultado el 5 de setiembre de 2018. Disponible en:  
<http://www.elsitioavicola.com/articles/2075/fertilidad-en-reproductoras/>
- Reijrink, L; Berghmans, D; Meijerhof, R; Kemp, B; Van den-Brand, H. 2010. Influence of egg storage duration and preincubation warming profile on embryonic development, hatchability and chick quality. *Poultry Science*. 89(4): 1125-1238.
- Ricagno, R. 2011. Huevo incubable, causa o consecuencia. XXII Congreso Latinoamericano de Avicultura. Buenos Aires, Argentina. Consultado el 22 de junio de 2018. Disponible en: <https://www.industriaavicola.net/mercados-y-negocios/exitoso-xxii-congreso-latinoamericano-de-avicultura-2011/>
- Ricaurte, L. 2006. Embriodiagnos y ovoscopia. Análisis y control de calidad de los huevos incubables. *Revista Electrónica de Veterinaria REDVET*. 6(1): 33-45.
- Rodriguez, J; Cruz, A. 2017. Factores que afectan la incubabilidad de huevo fértil en aves de corral. *Nutrición Animal Tropical*. 11(1): 16-37p.
- Ruiz, N; Orrego, G; Reyes, M; Silva, M. 2016. Aumento de la temperatura de incubación en huevos de gallina Araucana (*Gallus inauris*): Efecto sobre la

mortalidad embrionaria, tasa de eclosión, peso del polluelo, saco vitelino y órganos internos. *International Journal of Morphology*. 34(3): 57-62.

Sabah, S; Sahan, U. 2018. Effect of egg weight on eggshell thickness, pore density and chick quality in broiler breeder flock. *Journal of Agricultural Faculty of Bursa Uludag University*. 2(3): 123-130.

Sardá, R; Vidal, A. 2005. Patología de la incubación. *Portal Veterinaria*. La Habana, Cuba. Consultado el 13 de junio de 2019. Disponible en: <https://www.portalveterinaria.com/avicultura/articulos/2806/patologia-de-la-incubacion.html>

Salas, C. 2013. Energía metabolizable en reproductoras pesadas: Factores que afectan los requerimientos. *Nutrición Animal Tropical*. 7(1): 51-69.

Salazar, A. 2015. Patrones de mortalidad embrionaria: 1. Jamaica. Consultado el 22 de junio de 2018. Disponible en: <http://www.elsitioavicola.com/articulos/2703/patrones-de-mortalidad-embrionaria-1/>

Schmidt, G; Figueredo, E; Saatkamp, M; Bomm, E. 2009. Effect of storage period and egg weight on embryo development and incubation results. *Brazilian Journal of Poultry Science*. 11(1): 2145-2156.

Smith, T. 2013. Cuidado e incubación de los huevos fértiles. *Universidad Estatal de Missisipi*. Missisipi, Estados Unidos. Consultado el 16 de junio de 2019. Disponible en: <http://www.elsitioavicola.com/articulos/2496/cuidado-e-incubacion-de-los-huevos-fartiles/>

SENASA. 2014. Guía de buenas prácticas avícolas: Incubación. *Servicio Nacional de Salud Animal*. Heredia, Costa Rica. Consultado el 27 de setiembre de 2017. Disponible en: <https://www.senasa.gob.pe/senasa/wp-content/uploads/2014/12/GUIA-BPAv-Incubacion1.pdf>

- Soares, R. 2008. Diagnóstico embrionario: una importante herramienta de ayuda en la planta de incubación. CEVA Santé Animale. Consultado el 16 de junio de 2019. Disponible en: <https://seleccionesavicolas.com/pdf-files/2008/4/3839-diagnostico-embrionario-una-importante-herramienta-de-ayuda-en-la-planta-de-incubacion.pdf>
- Soler, R; Bueso, J. 2016. Análisis de las alteraciones de la cáscara del huevo de gallina. Revista Iberoamericana Interdisciplinar de Métodos, Modelización y Simulación. 15(2): 137-147.
- Tona, K; Bamelis, F; De Ketelaere, B; Bruggeman, V; Moraes, V; Buyse, J; Onagbesan, O; Decuypere, E. 2003. Effects of egg storage time on spread of hatch, chick quality, and chick juvenile growth. Poultry Science. 82(3): 736-741.
- Tona, K; Bruggeman, V; Onagbesan, O; Bamelis, F; Gbeassor, M; Mertens, K; Decuypere, E. 2005. Day-old chick quality: Relationship to hatching egg quality, adequate incubation practice and prediction of broiler performance. Avian and Poultry Biology Reviews. 16(2): 109-119.
- Ulmer-Franco, A; Fasenko, G; O'Dea, E. 2010. Hatching egg characteristics, chick quality and broiler performance at 2 breeder flock ages and from 3 egg weights. Poultry Science. 89(5): 2735-2742.
- Valle, R. 2008. Como obter bons pesos na primeira semana em frangos de corte. Aviagen. Consultado el 12 de mayo de 2018. Disponible en: <http://pt.aviagen.com/tech-center/download/611/Circular-abril-2008-pags.pdf>
- Van der Pol, C; Rovert-Reijrink, I; Maatjens, C; Van der Brand, H; Molenaar, R. 2013. Effect of relative humidity during incubation at a set eggshell temperature and brooding temperature posthatch on embryonic mortality and chick quality. Poultry Science. 92(8): 2145-2155.
- Van der Sluis, W. 2011. Egyptians hatch eggs the traditional way. Cairo, Egipto. Consultado el 17 de marzo de 2019. Disponible en:

from: <http://www.worldpoultry.net/Breeders/Incubation/2011/4/Egyptians-hatch-eggs-the-traditional-way-WP008725W/>)

Vásquez, O. 2008. Factores que afectan la productividad en la planta de incubación. Guatemala. Consultado el: 14 de noviembre de 2018. Disponible en: <https://www.engormix.com/avicultura/articulos/planta-de-incubacion-factores-afectan-a-su-productividad-t27664.htm>

Vásquez, O. 2016. Optimizando la productividad en la planta de incubación: temperatura. Guatemala Consultado el 17 de junio de 2019. Disponible en: <http://www.elsitioavicola.com/articles/2899/optimizando-la-productividad-en-la-planta-de-incubacion-temperatura/>

Walstra, I; Ten Napel, J; Kemp, B; Van der Brand, H. 2010. Temperature manipulation during layer chick embryogenesis. *Poultry Science*. 89(7): 1502-1508.

Willemsen, H; Everaert, N; Witters, A; De Smit, L; Debonne, M; Verschuere, F; Garain, P; Berksman, D; Decuypere, E. 2008. Critical assessment of chick quality measurements as an indicator of posthatch performance. *Poultry Science*. 87(9): 2358-2366.

Wolc, A; White, I; Olori, V; Hill, W. 2009. Inheritance of fertility in broiler chickens. *Genetics Selection Evolution*. 11(2): 41-47.

Yáñez, J. 2012. Manejo del huevo fértil en aves reproductoras. Universidad Autónoma Agraria. Guadalajara, México. Consultado el 16 de octubre de 2018. Disponible en: <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/7265/JAVIER%20ALBERTO%20YANEZ%20PEREZ.pdf?sequence>

