

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA DE OCCIDENTE

DEPARTAMENTO DE MATEMÁTICA

LICENCIATURA EN ESTADÍSTICA



TEMA DE INVESTIGACIÓN:

**INCUBACIÓN DE HUEVOS DE GALLINA MEDIANTE INCUBADORAS CASERAS,
CON BASE A 2 FACTORES. (FACTOR INCUBADORA Y FACTOR REMOJO)**

INTEGRANTES:

DARLYN IVETH PUENTES JIMÉNEZ

OSCAR MAURICIO RODRÍGUEZ REYES

DOCENTE:

LICDO. EDWIM ANSELMO RAMIREZ MARTÍNEZ

CÁTEDRA:

DISEÑOS EXPERIMENTALES

8 DE DICIEMBRE DE 2022

SANTA ANA, EL SALVADOR, CENTROAMÉRICA

Contenido

Índice de Tablas	iv
Índice de Figuras	iv
Resumen.....	1
Abstract	1
1. Introducción	2
2. Planteamiento del Problema	3
2.1. Tema.....	3
2.2. Justificación.....	3
2.3. Objetivos	4
2.3.1. General.....	4
2.3.2. Específicos	4
3. Marco Teórico.....	4
3.1. Diseños experimentales.....	4
3.2. Diseños factoriales	6
3.3. Incubación artificial de huevos	7
3.3.1. Características de huevos aptos para incubar.....	9
3.4. Razas de gallina ponedoras	9
3.4.1. Raza de gallina Kabir.....	10
4. Diseño Experimental y Metodología	11
4.1. Estructura del Diseño Experimental.....	11
4.2. Factores	11
4.2.1. Factor Incubadora	11
4.2.2. Factor Remojo.....	11
4.3. Variable respuesta	12
4.4. Modelo Estadístico del diseño experimental.....	12
4.5. Hipótesis del diseño experimental.....	12
4.6. Materiales y Metodología a seguir para llevar a cabo el diseño experimental	14
4.6.1. Materiales.....	14
4.6.2. Construcción de Incubadoras	15
4.6.3. Metodología para la aplicación del diseño experimental.....	16

4.7. Cronograma de Actividades	18
5. Resultados	19
5.1. Variabilidad en los resultados obtenidos en la eclosión de los huevos	20
6. Conclusiones	24
7. Recomendaciones	25
8. Anexos	26
8.1. Referencias Bibliográficas	26
8.2. Presupuesto para la ejecución del diseño experimental	27
8.3. Datos recolectados en el séptimo día del proceso de incubación.....	28
8.4. Datos recolectados en el décimo cuarto día del proceso de incubación.....	29
8.5. Fotografías capturadas durante la ejecución del diseño experimental	32
8.5.1. Construcción de las incubadoras.....	32
8.5.2. Colocación de huevos en las incubadoras.....	33
8.5.3. Control de temperatura	33
8.5.4. Inicio de la eclosión de los huevos	34
8.5.5. Huevos eclosionados.....	34

Índice de Tablas

Tabla 1. Descripción general de los Diseños experimentales.....	6
Tabla 2. Estructura representativa del diseño experimental	11
Tabla 3. Lista de Materiales para la elaboración de las incubadoras y objetos a utilizar durante el proceso de incubación.....	14
Tabla 4. Cronograma de Actividades.....	18
Tabla 5. Estructura del diseño experimental con los resultados obtenidos.....	19
Tabla 6. Porcentaje de huevos eclosionados con éxito de acuerdo a la incubadora y el tratamiento de remojo	19
Tabla 7. ANOVA de los resultados del diseño experimental	21
Tabla 8. Cuadro de subconjuntos homogéneos del factor Incubadora (Tukey).....	21
Tabla 9. Cuadro de subconjuntos homogéneos del factor Remojo (Tukey).....	22
Tabla 10. Presupuesto para la ejecución del proyecto	27

Índice de Figuras

Figura 1. Gallina Kabir	10
Figura 2. Incubadora construida con cartón.....	15
Figura 3. Incubadora construida con durapax.....	16
Figura 4. Incubadoras construidas a base de plástico	16
Figura 5. Medias marginales de huevos eclosionados	22
Figura 6. Gráfico de barras de los datos relacionados al factor incubadora recolectados en el séptimo día.....	28
Figura 7. Gráfico de barras de los datos relacionados al factor remojo recolectados en el séptimo día.....	29
Figura 8. Gráfico de barras de los datos relacionados al factor incubadora recolectados en el décimo cuarto día.....	30
Figura 9. Gráfico de barras de los datos relacionados al factor remojo recolectados en el décimo cuarto día.....	31

Resumen

Los diseños experimentales son útiles para comprender cómo funciona un proceso, estudiar las variables que le afectan, empleando herramientas estadísticas para obtener la información necesaria para su mejora. Con el fin de fomentar un diseño experimental, se realizó un diseño bifactorial aplicado a la incubación de huevos de gallina Kabir, mediante incubadoras caceras, teniendo como primer factor el tipo de incubadoras que se utilicen, como segundo factor el tratamiento de remojo que se le aplique y la variable respuesta será el número de huevos eclosionados exitosamente transcurrido el proceso de incubación. El diseño consta con 9 prototipos de incubadoras caceras distribuidas en tres grupos de acuerdo a su material de construcción y con 3 tipos de remojo. En la metodología se realiza una revisión bibliográfica de teoría sobre la incubación de huevos. El número de réplicas que se tienen en cuenta es de 72 huevos fértiles distribuidos aleatoriamente y en partes iguales para cada incubadora.

Palabras clave: *diseños bifactoriales, gallinas, huevos fértiles, incubadora, temperatura, humedad.*

Abstract

Experimental designs are useful to understand how a process works, study the variables that will follow it, using statistical tools to obtain the necessary information for its improvement. In order to promote an experimental design, a bifactorial design applied to the incubation of Kabir chicken eggs was carried out, using home incubators, having as a first factor the type of incubators that are used, as a second factor the soaking treatment that was applied. apply and the variable response will be the number of eggs successfully hatched after the incubation process. The design consists of 9 prototypes of hunting incubators distributed in three groups according to their construction material and with 3 types of soaking. In the methodology, a bibliographic review of theory on egg incubation is carried out. The number of replicates taken into account is 72 fertile eggs distributed randomly and in equal parts for each incubator.

Keywords: *bifactorial designs, hens, fertile eggs, incubator, temperature, humidity.*

1. Introducción

La incubación es el proceso por el cual el embrión finaliza su desarrollo morfológico iniciado dentro de la gallina. Esta tarea de incubar huevos se ha trasladado de generación en generación y se ha desarrollado de tal forma que hoy en día se cuenta con incubadoras capaces de facilitar el proceso que esta actividad requiere. Es de reconocer que es complicado replicar un proceso natural a uno artificial pues este debe entregar al huevo condiciones ambientales óptimas, similares a las del proceso natural, ya que existen factores que humanamente son poco controlables, uno de ellos es la temperatura, pues es un factor ambiental del que no depende del ser humano. La gallina como tal, sin mucho esfuerzo, al huevo le brinda lo necesario para que el embrión finaliza su desarrollo. La etapa de incubación es sumamente vital, ya que durante este periodo se desarrollan y maduran órganos y sistemas fisiológicos, por lo tanto, las condiciones ambientales existentes durante el desarrollo del embrión serán determinantes para el crecimiento y desarrollo del pollo.

Actualmente obtener una incubadora industrial es económicamente costoso por lo que se vuelve difícil contar con una de estas, es aquí donde se propone construir una incubadora casera fácil de replicar con materiales económicos. Las incubadoras se construyeron de tal forma que estas contengan suficiente ventilación y temperatura, así mismo, que contengan una estructura cómoda para realizar el procedimiento de volteo de los huevos. La gallina Kabir (que es la raza de gallina utilizada para este proyecto) es un tipo de gallina de gran porte, originaria del Oriente Medio, concretamente en Israel, posee un potencial productivo-comercial debido al tamaño del huevo y alta productividad, el huevo de la gallina Kabir es ligero y con colesterol bajo.

El presente proyecto corresponde a la incubación artificial de huevos de gallina sometidos a factores de interés como lo son, el tipo de material de la incubadora y el número de remojos que se le aplicaron a los huevos, el objetivo en este estudio es obtener éxito en la eclosión de los huevos y determinar que tratamiento genera mejores resultados en la tasa de nacimientos de polluelos.

2. Planteamiento del Problema

La producción de alimentos o crianza de animales comestibles ya sea para consumo o incluso comercialización, nos ayudan tanto a la reducción de gastos por alimentación o a generar ingresos. Una parte considerable de la población salvadoreña tienen crianza de pollos (*Gallus gallus domesticus*) en sus hogares; la carne de pollo es uno de los platillos más comunes en la mesa de los salvadoreños.

Debido a que la producción de pollos de manera natural se ve limitada por las gallinas, en los lugares como las granjas o la Escuela Nacional de Agricultura (ENA), la producción de esta ave se hace mediante una incubación artificial de huevos; si este tipo de incubación artificial se desea replicar en un hogar, si no se dispone del espacio suficiente o los recursos económicos necesarios para adquirir una incubadora industrial, replicar este método se dificulta, es por eso que es conveniente buscar otra manera de construir una incubadora que sea más accesible y adecuada para la incubación de huevos.

2.1. Tema

Incubación de huevos de gallina mediante incubadoras caseras, con base a 2 factores. (Factor Incubadora y Factor Remojo)

2.2. Justificación

Lograr la reproducción de gallinas y gallos no es una tarea sencilla, y más cuando se realiza de manera artificial, debido a que los huevos de gallina requieren un gran cuidado y tienen que estar en óptimas condiciones, con temperaturas ideales entre otros aspectos importantes. Es por esta razón que se ha considerado fabricar distintos tipos de incubadoras con distintos tratamientos para cada una, para que de esa manera se pueda verificar si hay algún tipo de incubadora con un respectivo tratamiento que logre mayor porcentaje de eclosiones de los huevos que se traten con dicha incubadora, es decir, si los resultados obtenidos mediante una o más incubadoras sobresalen de los resultados obtenidos en las demás, y de esa manera se pueda dar una muy buena aportación a las personas que se dedican a la incubación de huevos de gallina de manera artificial, y es también muy interesante poder verificar si entre los factores se pueda generar una interacción al momento de obtener que porcentaje de pollos nacieron con cada tratamiento que se les da a los huevos para que de esa manera se puedan generar mejores recomendaciones.

Un estudio sobre la incubación de huevos sometidos a distintas incubadoras de diferentes materiales económicos resulta útil para aquellas familias que desean una alternativa de incubación, pues dentro del sistema industrial de las incubadoras, estas son altamente costosas y dejan de ser económicamente eficientes. Además, que se pretende generar una forma de reducir en gastos de compra del huevo y producir ingresos si así se desea optimizando recursos. Por ende, el estudio de este diseño experimental trae consigo, beneficios a la economía de cada hogar considerando que las gallinas son un alimento de gran demanda en la población salvadoreña.

2.3. Objetivos

2.3.1. General

- Determinar si el tipo de tratamiento que se le aplique a la incubación de huevos, genera efecto en el éxito de la eclosión de estos.

2.3.2. Específicos

1. Construir 9 prototipos de incubadoras, divididas en tres grupos de acuerdo a su material de construcción.
2. Evaluar si existe variabilidad en los resultados con base al material del tipo de incubadora.
3. Analizar si existe variabilidad en los resultados con base al tipo de remojo que se aplique.

3. Marco Teórico

3.1. Diseños experimentales

Gracias a las contribuciones de grandes científicos se conocen sucesos que cambian la vida del ser humano, los avances tecnológicos, medicinas que contrarrestan enfermedades, maquinas industriales que maximizan o minimizan (recursos, costos) en los procesos etc. Así también se conocen técnicas y conocimientos que las diferentes disciplinas emplean para realizar un trabajo, la estadística no se queda atrás, pues al paso de los años se va difundiendo la importancia que esta tiene en el análisis de información y muchas otras cosas más. Lo más valioso que la estadística tiene es que no se limita a una sola área, sino que gana espacio en diversas actividades y es un apoyo a otras ciencias, por ejemplo: Análisis de procesos (para análisis de datos en química analítica e ingeniería química), análisis espacial, Bioestadística (estadística aplicada a las ciencias de la salud), Agronomía, Cienciometría, Confiabilidad estadística, Control de calidad, administración de negocios, etc. Genera conocimiento sobre procesos de minimización y

maximización de recursos y mejoramiento de resultados en la variable respuesta a través de diseños experimentales aplicados. De forma general, la agronomía y procesos industriales son las áreas donde es más común aplicar estos diseños, pero antes de dialogar sobre este proceso de un diseño experimental es importante responder a la pregunta, ¿Qué es un diseño experimental?

(Everitt, 1998, citados por (Montoya Márquez, Sánchez Estudillo, & Torres Hernández, 2011, p. 62)) expone una definición formal de un diseño experimental: “...estudios en donde el investigador puede deliberadamente influenciar en los eventos, e investigar los efectos de la intervención”. Otra definición que genera puntualidad en la definición de diseño experimental es Montgomery quien dice que, “el diseño experimental se refiere al proceso para planear el experimento, de tal forma que se recaben datos adecuados” (Montgomery). El objetivo de un diseño es el de obtener información acerca del fenómeno estudiado, información veraz, clara y suficiente, sin error o con un error que se pueda manejar o controlar. El diseño experimental debe ser lo más sencillo posible evitando errores ya sean de manejo y/o conceptuales. Es sumamente importante que antes de realizar el experimento se plantee de forma adecuada el diseño

El diseño del experimento debe definir las variables que se controlaran (factores que se mantienen constantes); la o las variables a probar (factores del diseño y sus niveles se les conoce como tratamientos); los objetos (animales, plantas, etc.) a los cuales se les medirá el efecto de o los factores del diseño; el espacio físico dónde estarán dichos objetos (unidades experimentales), es decir donde se van a colocar. La importancia de un diseño experimental es que da validez a la investigación, y permite controlar el error aleatorio, es decir la variación no considerada de los objetos de estudio, además de que facilita el análisis de datos. Los principios indispensables para que un experimento sea correcto son: aleatorización, independencia de la muestra, simplicidad, replicación y tamaño adecuado de la muestra.

Existen distintos tipos de diseños experimentales, dependiendo de los factores de interés que se deseen probar en las unidades experimentales. Una descripción general de estos diseños es el siguiente:

Tabla 1. Descripción general de los Diseños experimentales.

Diseños experimentales	Descripción
Diseño completamente al Azar	Posee un solo factor de interés, Este diseño se llama así porque todas las corridas experimentales se realizan en orden aleatorio completo.
Diseños de bloques completos al azar	Este posee el factor interés y factores bloque (no interesa analizar su efecto, sino como un medio para estudiar de manera adecuada y eficaz al factor de interés).
Diseños factoriales	Estudia el efecto de varios factores sobre una o varias respuestas, cuando se tiene el mismo interés sobre todos los factores.
Diseños factoriales 2^k	Estudia el efecto de k factores considerando dos niveles en cada uno.
Diseños factoriales 3^k	Considera k factores con tres niveles cada uno y tiene 3^k tratamientos.
Diseños factoriales fraccionados 2^{k-p}	Permiten sacrificar información poco importante en aras de un diseño manejable en cuanto al número de corridas experimentales.

Los cinco aspectos que más influyen en la selección de un diseño experimental son:

1. El objetivo del experimento.
2. El número de factores a estudiar
3. El número de niveles que se prueban en cada factor.
4. Los efectos que interesa investigar (relación factores-respuesta).
5. El costo del experimento, tiempo y precisión deseada.

3.2. Diseños factoriales

Los diseños factoriales son los más utilizados en los experimentos con dos o más factores, es decir, con dos o más variables independientes, las cuales serán analizadas al ser consideradas por

el investigador como variables que afectan al proceso. En un diseño factorial, cada uno de los niveles de cada factor independiente se combina con cada uno de los niveles de los demás, para así realizar todas las combinaciones posibles. Esto produce que los experimentos sean más eficientes, dado que se puede proporcionar información de los efectos de todos los factores en relación a los niveles de los otros. Este efecto se define como, la interacción entre factores que afectan en la respuesta del experimento producido por un cambio de nivel en el factor.

Los factores pueden ser tanto cualitativos como cuantitativos. Y los efectos que estos causan pueden ser de tres tipos, Efecto de un factor, Efectos principales y Efecto interacción.

- **Efecto de un factor:** Se observan al comparar entre todos los niveles de un factor a un solo nivel del otro factor.
- **Efectos principales:** En particular, los efectos principales son los cambios en la media de la variable de respuesta que se deben a la acción individual de cada factor. En particular, los efectos principales son los cambios en la media de la variable de respuesta que se deben a la acción individual de cada factor.
- **Efecto Interacción:** Se dice que dos factores interactúan entre sí o tienen un efecto de interacción sobre la variable de respuesta, cuando el efecto de un factor depende del nivel en que se encuentra el otro.

3.3. Incubación artificial de huevos

La incubación artificial de los huevos avícolas es una práctica que ha venido desde muchos años atrás y que con el tiempo se ha mejorado esta práctica. Aristóteles escribía en el año 400 A.C. que los egipcios incubaban huevos espontáneamente en pilas de estiércol. Los chinos desarrollaron la incubación artificial por lo menos hacia el año 246 A.C. A menudo, estos primeros métodos de incubación se practicaban a gran escala, donde un solo lugar tenía la capacidad de 36,000 huevos.

La aplicación de los principios de incubación era un secreto celosamente guardado, que pasaba de una generación a otra. La temperatura adecuada se juzgaba al colocar un huevo incubado en la órbita del ojo de una persona para hacer una determinación precisa. Los cambios de temperatura se efectuaban en la incubadora al mover los huevos, al añadir más de éstos para usar el calor del desarrollo embrionario de los huevos más viejos y mediante la regulación del flujo de aire fresco a través del área de nacimientos. Evidentemente, la humedad no representaba un problema ya que las incubadoras primitivas se ubicaban en zonas muy húmedas y la fuente de calor (la temperatura

del huevo se considera como un factor totalmente indispensable), que a veces era material encendido, proporcionaba agua alrededor de los huevos, dado que en esos tiempos no existía artefactos tecnológicos como en la actualidad, se buscaban alternativas para brindar al huevo las condiciones necesarias lo más semejantes posibles a los que la gallina le da. El volteo de los huevos se hacía a veces hasta cinco veces en un periodo de 24 horas, después del cuarto día de incubación.

La construcción, uso y patente de las incubadoras artificiales en Estados Unidos datan de alrededor de 1844. La incubadora Smith, prácticamente un cuarto grande con ventiladores para forzar el aire caliente en todas las partes de la cámara de incubación, se patentó en 1918. Fue el precursor de las incubadoras de hoy en día eficientes y a gran escala, que se usan para incubar huevos de pollos, pavos, patos y otros.

De manera específica para que el proceso de incubación artificial sea exitoso, hay que tener cuenta los siguientes factores que influyen:

- **Temperatura:** Esta resulta desfavorable en la eclosión del huevo, si el ambiente de la incubadora casera no se encuentra en el rango de 37°C y 37.5 °C. En las incubadoras modernas comerciales de aire forzado, se mantiene una temperatura de 37.2 y 37.8°C (99-100°F) durante todo el periodo de incubación.
- **Volteo del huevo:** Los huevos se pueden voltear varias veces al día para obtener una mejor incubabilidad. Esto va a garantizar que no se pegue el embrión al cascarón. El volteo se debe repetir a lo largo del día de 24 horas. No obstante, el volteo en la noche se puede eliminar, siempre y cuando se haga uno al final de la tarde y otro temprano en la mañana. Los huevos se deben de voltear en un plano de 90 grados lo más suavemente posible. El volteo se debe continuar hasta uno a tres días antes del nacimiento o hasta que los huevos pinchen; después de esto, la posición y el volteo no van a tener efecto sobre los nacimientos.
- **Humedad:** Para garantizar el número eclosionado, la humedad debe rondar entre el 60% y 70%. En incubadoras de tipo casero esto se puede controlar al colocar una bandeja de agua cerca de los huevos.

- **Ventilación:** Durante la incubación, el embrión consume oxígeno y produce dióxido de carbono a ritmo que se eleva constantemente. Mientras más huevos haya en la incubadora y más viejo sea el embrión, más oxígeno se va a requerir.

3.3.1. Características de huevos aptos para incubar

No todos los huevos son aptos para ser sometidos a incubación, la principal característica que deben cumplir es que deben ser fértiles, además si se están almacenando, antes de ser sometidos a incubación, es importante saber que la calidad del mismo se mantiene bien durante los 7 primeros días, a partir de la semana, pierden calidad. Así que, no es viable almacenar huevos por más de una semana sino las probabilidades de incubación bajan. Si se tiene una gran cantidad de huevos para incubar, la tasa de eclosión está entre un 40 y 80%, y la mitad de ellos serán gallos.

Para asegurar la incubación exitosa las condiciones que debe cumplir el huevo son:

- Su procedencia sea confiable (en el caso de que no se posean gallinas propias)
- No usar huevos que tengan formas extrañas, arrugados, agrietados o estropeados de alguna manera.
- No deben ser huevos muy puntiagudos o redondos; debes poder determinar claramente la figura ovalada característica de un huevo.
- Tamaño del huevo, lo mejor es elegir los huevos de tamaño medio. (Si el huevo es demasiado grande puede contener doble yema. Si es demasiado pequeño puede no contener yema. La media de un huevo debería estar entre 53g y 63g, por lo que un buen huevo estará dentro de este rango.

3.4. Razas de gallina ponedoras

En la incubación de huevos es importante tener en cuenta la raza de gallina que lo produce, pues conocer el origen del huevo es fundamental para saber su calidad, en el mundo existen 2.629 razas de gallinas registradas, todas ellas provienen de especies asiáticas, o más bien del cruce entre ellas y sus descendientes. Todas las razas de gallinas pueden clasificarse según el propósito de su cría. Existen diferentes razas, perfeccionadas a lo largo de los siglos mediante cruces, para la puesta de huevos (son las llamadas gallinas ponedoras y se crían en cualquier granja avícola), para carne, o de doble propósito.

Entre las gallinas más ponedoras se encuentran: Lohman que produce entre 350 y 360 huevos al año, le sigue Isa Brown que produce alrededor de 300 huevos, de la misma manera Leghorn que también produce un estimado de 300 huevos.

3.4.1. Raza de gallina Kabir

La raza Kabir se originó en el Oriente Medio específicamente en Israel, donde es muy codiciada su reproducción debido a su gran tamaño y su carne de buen sabor.

Es ideal para la producción de carne debido a su rápido crecimiento, buena conformación del cuerpo y ahorro eficiente de la alimentación. Cuando se cruzaron con pollos nativos, las cualidades Kabir se mantuvieron en la nueva generación. Pollo muy Resistente a las enfermedades y el estrés por calor. Es de tamaño grande y su alimentación es de bajo costo ya que el pollo Kabir es muy rustico y tiende a buscar su propio alimento. El pollo Kabir es capaz de reproducirse con un grupo de entre 15 y 20 gallinas normalmente a partir de la semana 26. El peso de un pollo Kabir puede llegar a los 5.5 y 6.5 kg.








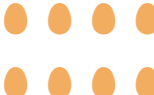

Figura 1. Gallina Kabir



4. Diseño Experimental y Metodología

4.1. Estructura del Diseño Experimental

Tabla 2. Estructura representativa del diseño experimental

Incubadoras	Remojo		
	A	B	C
Cartón			
Durapax			
Plástico			

El diseño experimental que se llevó a cabo, es un diseño bifactorial en el cual se tienen 9 tratamientos con 72 réplicas repartidas en partes iguales para cada tratamiento. Es oportuno mencionar que el periodo de eclosión de los huevos de gallina, es de 21 días, sin embargo, hay huevos que pueden eclosionar hasta 2 días después. Los materiales utilizados y los factores con sus respectivos niveles, se describen a continuación.

4.2. Factores

Los dos factores que se trabajaron son los siguientes

4.2.1. Factor Incubadora

En este factor se analizó si el tipo de material de construcción de la incubadora influye en el éxito de eclosión de los huevos, para ello, se consideraron 3 tipos de materiales: a) incubadoras construidas de cartón, b) incubadoras construidas de Durapax y c) incubadoras construidas a base de plástico.

4.2.2. Factor Remojo

El aplicar un remojo a los huevos ayuda a que la cáscara de este sea más fácil de romper por el pollo cuando esté por nacer y también ayuda con la humedad y evita que el embrión se pegue al

cascaron, es por eso que se considera este factor como posible fuente de variabilidad en el éxito de eclosión del huevo.

Es oportuno mencionar que se aplicó un volteo de 180° cada 12 horas para todas las réplicas (huevos); el factor de remojo se trabajó de 3 distintas maneras; “A” medio remojo solo en la parte que queda hacia arriba en cada volteo, “B” un baño completo cada 24 horas y “C” baño completo del huevo cada vez que se aplique el volteo que en este caso es cada 12 horas.

4.3. Variable respuesta

Para este diseño experimental, la variable respuesta que se tiene es el *número de huevos eclosionados exitosamente* finalizado el proceso de incubación.

4.4. Modelo Estadístico del diseño experimental

Todo diseño experimental trae consigo su respectivo modelo. El modelo para el diseño experimental bifactorial que se trabajó, es el siguiente.

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

$$i = 1, 2, 3; j = 1, 2, 3, k = 1, 2, \dots, 72$$

Para este caso, μ es la media general, α_i es el efecto del nivel i-ésimo del factor *Incubadora*, β_j es el efecto del nivel j-ésimo del factor *Remojo*, $(\alpha\beta)_{ij}$ representa los efectos de la interacción del factor *Incubadora* con el factor *Remojo* y ε_{ijk} es el error aleatorio en la combinación *ijk* y *k* representa la unidad experimental.

4.5. Hipótesis del diseño experimental

Si bien es cierto que cada diseño tiene un respectivo modelo, también tienen sus respectivas hipótesis, para el caso de un diseño bifactorial, las hipótesis son las siguientes:

Hipótesis para el factor α

$$H_0: \alpha_1 = \alpha_2 = \dots \alpha_a = 0$$

$$H_1: \alpha_i \neq 0, \text{ para al menos un } i$$

Hipótesis para el factor β

$$H_0: \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_b = 0$$

$$H_1: \beta_j \neq 0, \text{ para al menos un } j$$

Hipótesis para la interacción de los factores $(\alpha\beta)_{ij}$

$$H_0: (\alpha\beta)_{ij} = 0; \text{ para todo } ij$$

$$H_1: (\alpha\beta)_{ij} \neq 0; \text{ para al menos un } ij$$

En palabras y adaptadas al problema que se trabajó, las hipótesis quedan de la siguiente manera:

Hipótesis para el factor Incubadora (α)

H_0 : El tipo de material de construcción de la incubadora, no genera efecto en el éxito de la eclosión de los huevos.

H_1 : El tipo de material de construcción de la incubadora, genera efecto en el éxito de la eclosión de los huevos.

Hipótesis para el factor Remojo (β)

H_0 : El tipo de remojo que se le aplique a los huevos, no genera efecto en el éxito de la eclosión de estos.

H_1 : El tipo de remojo que se le aplique a los huevos, genera efecto en el éxito de la eclosión de estos.

Hipótesis para la interacción entre el factor Incubadora y el factor Remojo $(\alpha\beta)_{ij}$

H_0 : La interacción entre el factor Incubadora y el factor Remojo, no genera efecto sobre el éxito de la eclosión de los huevos.

H_1 : La interacción entre el factor Incubadora y el factor Remojo, genera efecto sobre el éxito de la eclosión de los huevos.

4.6. Materiales y Metodología a seguir para llevar a cabo el diseño experimental

4.6.1. Materiales

Tabla 3. Lista de Materiales para la elaboración de las incubadoras y objetos a utilizar durante el proceso de incubación.

Materiales	Unidades	Precio por Unidad	Figura
Socket	9	\$2.00	
Bombillo de 60 w	9	\$0.75	
Bombillo de 40 w	9	\$0.60	
Durapax (30x48 cm)	15	\$0.35	
Forro Plástico	3	\$0.25	
Palillos (caja 500 u)	1	\$0.75	
Cinta Aislante	1	\$1.00	
Cajas de cartón	3	\$0.25	
Garrafones de Agua	3	\$1.00	
Aluminio	3	\$1.00	
Cable THHN 12 (sólido)	60 m	\$0.51	
Destornillador Phillips 1x4 pulg	1	\$1.35	
Alicate	1	\$15.00	
Termómetro digital	3	\$9.00	
Medidor de Temperatura y Humedad	1	\$5.00	

De la lista presente en la tabla 3 es necesario mencionar que, estos son los materiales necesarios que se utilizaron para la elaboración de las 9 incubadoras, además, debido a que el lugar donde estaban ubicadas, está lejos de una fuente de energía, el valor de los metros necesarios que se presenta para el cable THHN es de 60 metros. Para ver más detalladamente, se recomienda revisar el presupuesto que se presenta en la parte de anexos.

4.6.2. Construcción de Incubadoras

Se construyeron 9 incubadoras caseras repartidas en partes iguales, 3 de cartón, 3 de durapax y 3 a base de plástico.

Para la construcción de incubadoras caseras, tanto para las de cartón como para las de durapax, se construyeron con una forma cúbica con 22 cm de alto, 33 cm de ancho y 36 cm de largo. A las de durapax se forraron de papel de aluminio para concentrar más el calor y el grosor del durapax es de 1 cm.

En una de las 6 caras que poseen, solo contienen un forro de plástico transparente para poder observar dentro de ellas; se les instaló un Socket con interruptor para colocar el bombillo y se les dejó un orificio circular con un radio de 5.73 cm; este orificio sirve para poder introducir la mano y poder manipular el movimiento de los huevos, así como también, para realizar ajustes dentro de la incubadora. Dentro de las incubadoras, se agregó una base de aserrín en el fondo de estas; también se agregó un recipiente cilíndrico con 5.73 cm de radio y 11 cm de alto, este recipiente está lleno de agua y ayuda con la humedad que debe producirse (se recomienda agregar una esponja dentro del recipiente con agua). Ver figuras (2 y 3)

Figura 2. Incubadora construida con cartón



Figura 3. Incubadora construida con durapax



Para la construcción de las incubadoras a base de plástico, se decidió auxiliarse de garrafones de agua que tienen una forma cilíndrica, estos garrafones que se utilizaron, se adaptaron de tal manera que tengan 33 cm de altura y su radio de 12.57 cm. Al igual que a las otras, se les agregó una base de aserrín y un recipiente con agua; en la parte superior es donde se agregó el socket para el bombillo y se dejaron pequeños orificios para la ventilación del aire. (ver figura 4)

Figura 4. Incubadoras construidas a base de plástico



4.6.3. Metodología para la aplicación del diseño experimental

Una vez construidas las incubadoras, para este diseño, es necesario realizar pruebas para evaluar la variabilidad de la temperatura pues, al no tener un dispositivo que controle esto, se debe

tener mucho cuidado para que la temperatura no exceda los 37.5 °C y no baje de 35 °C dado que, este es uno de los factores más importantes en el éxito de la eclosión de los huevos. (Rodríguez, 2022)

A las incubadoras se les agregó una etiqueta con los números del 1 al 3 para cada incubadora construida con el mismo material, esto es para diferenciar el tipo de tratamiento de remojo que se les aplicará; las que contengan el número 1, 2 o 3 corresponden al tratamiento de remojo “A”, “B” o “C” respectivamente, descritos anteriormente.

Dentro de la incubadora la temperatura debe permanecer entre los 35 y 37.5 °C, si se excede la temperatura, se puede abrir la tapa de los orificios que se le dejaron a las incubadoras (ver figuras 2 y 3) o apagar por un momento el bombillo para que disminuya la temperatura, es de recordar que la temperatura no debe bajar de los 35 °C. La humedad mínima que debe haber es del 60% y, a partir del día 18, se dejarán de voltear los huevos, la humedad debe aumentarse a 75% y se detendrá el tratamiento de remojo.

Se introdujeron 8 huevos en cada incubadora, los huevos se voltearon cada 12 horas con un volteo de 180°, aunque se recomienda que sean de 3 a 6 volteos, para ello, se decidió marcar los huevos con una “X”, si en el día la “X” está en la parte de arriba del huevo, en la noche quedará en la parte de abajo. Cabe mencionar que, cuando se estén introduciendo los huevos a las incubadoras; se recomienda que la temperatura en ese momento sea de 22 °C mínimo, así no se sentirá un cambio brusco en la temperatura que tengan los huevos en ese momento.

Una vez introducidos los huevos, el bombillo que se colocó en las primeras 3 horas es de 60 w, esto para que aumente la temperatura, transcurridas las 3 horas, se cambió a un bombillo de 40 w y es la potencia de este último el que se dejó hasta que finalizó el proceso de incubación.

Los datos se recolectaron en 3 ocasiones, transcurridos 7 días, 14 días y al finalizar el proceso de incubación. En los días 7 y 14 solo se observó el inicio y el desarrollo del embrión sometiéndolo a una fuente de luz (debe observarse una mancha negra si el embrión se está formando), esto para estimar el porcentaje de éxito en la eclosión de los huevos que se espera obtener al finalizar el proceso de incubación y finalmente, terminado el proceso de incubación, se obtuvo el dato del número de huevos eclosionados exitosamente para luego realizar pruebas de comparación de medias y obtener conclusiones.

4.7. Cronograma de Actividades

El proyecto se ejecutó durante 2 meses los cuales, en este caso fue durante los meses de octubre y noviembre del presente año; 3 semanas corresponden al proceso de incubación y el resto corresponde a la elaboración de informes, revisión de literatura, etc.

En la tabla 4 se muestra el cronograma de actividades que se realizaron.

Tabla 4. Cronograma de Actividades

Actividades	Semanas							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Identificación y Planteamiento del Problema								
Revisión Bibliográfica								
Elaboración del Diseño Experimental								
Elaboración del presupuesto y compra de recursos para la ejecución del diseño experimental.								
Presentación del anteproyecto								
Ejecución del Proyecto								
Recolección y análisis de resultados								
Elaboración del informe y presentación de resultados								

5. Resultados

El análisis de los datos se realizó en el software estadístico SPSS. En la tabla que se presenta a continuación (tabla 5), se muestran los resultados correspondientes a la eclosión exitosa de los huevos, el número 0 hace referencia a que el huevo no eclosionó y, el número 1 hace referencia a que sí eclosionó.

Tabla 5. Estructura del diseño experimental con los resultados obtenidos

Incubadoras	Remojo		
	A	B	C
Cartón	0, 1, 1, 0	0, 0, 0, 1	0, 0, 0, 0
	1, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0
Durapax	1, 0, 1, 1	1, 1, 1, 0	1, 0, 0, 1
	0, 1, 1, 1	0, 1, 0, 0	1, 0, 1, 0
Plástico	1, 1, 1, 0	0, 0, 1, 0	0, 0, 0, 0
	0, 0, 0, 0	1, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0

En la siguiente tabla se muestra el porcentaje de cuántos huevos eclosionaron por tratamiento y por incubadora.

Tabla 6. Porcentaje de huevos eclosionados con éxito de acuerdo a la incubadora y el tratamiento de remojo

Medias aritméticas

Variable dependiente: Huevos Eclosionados

Incubadoras	Remojo	Media	N
Cartón	A	.38	8
	B	.13	8
	C	.00	8
	Total	.17	24
Durapax	A	.75	8
	B	.50	8
	C	.50	8
	Total	.58	24
Plástico	A	.38	8
	B	.25	8
	C	.00	8
	Total	.21	24
Total	A	.50	24
	B	.29	24
	C	.17	24
	Total	.32	72

5.1. Variabilidad en los resultados obtenidos en la eclosión de los huevos

Para realizar este análisis y decidir si existe una incubadora y un tratamiento que nos brinde los mejores resultados, teniendo en cuenta el número de huevos eclosionados exitosamente, se ha decidido realizar mediante comparaciones múltiples de medias. Antes de realizar estas comparaciones, es necesario evaluar si los factores que se están trabajando, tienen efectos sobre la eclosión de los huevos.

En la sección 4.5, se han planteado las hipótesis para este diseño experimental, las cuales son:

Hipótesis para el factor Incubadora

H_0 : El tipo de material de construcción de la incubadora, no genera efecto en el éxito de la eclosión de los huevos.

H_1 : El tipo de material de construcción de la incubadora, genera efecto en el éxito de la eclosión de los huevos.

Hipótesis para el factor Remojo

H_0 : El tipo de remojo que se le aplique a los huevos, no genera efecto en el éxito de la eclosión de estos.

H_1 : El tipo de remojo que se le aplique a los huevos, genera efecto en el éxito de la eclosión de estos.

Hipótesis para la interacción entre el factor Incubadora y el factor Remojo

H_0 : La interacción entre el factor Incubadora y el factor Remojo, no genera efecto sobre el éxito de la eclosión de los huevos.

H_1 : La interacción entre el factor Incubadora y el factor Remojo, genera efecto sobre el éxito de la eclosión de los huevos.

La decisión sobre las hipótesis presentes, se realiza teniendo en cuenta los resultados obtenidos en la tabla ANOVA (tabla 7). Es oportuno mencionar que se está trabajando a un nivel de confianza del 95% y un nivel de significancia del 5%.

Tabla 7. ANOVA de los resultados del diseño experimental**Pruebas de efectos inter-sujetos**

Variable dependiente: Huevos Eclosionados

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	P-valor.
Modelo corregido	4.028 ^a	8	.503	2.728	.012
Intersección	7.347	1	7.347	39.817	.000
Incubadoras	2.528	2	1.264	6.849	.002
Remojo	1.361	2	.681	3.688	.031
Incubadoras * Remojo	.139	4	.035	.188	.944
Error	11.625	63	.185		
Total	23.000	72			
Total corregido	15.653	71			

a. R al cuadrado = .257 (R al cuadrado ajustada = .163)

Con base a los datos de la tabla 7, como el p valor para el factor *Incubadora* y el factor *Tratamiento* es menor que 0.05, existe evidencia estadística suficiente para rechazar sus respectivas hipótesis nula y en el 95% de confianza, estadísticamente, tanto el factor *Incubadora* como el factor *Tratamiento* sí generan efectos significativos en el éxito de la eclosión de los huevos. A pesar que los factores si generan efecto, su interacción no lo hacer (*Incubadoras * Tratamientos*) pues el p valor que se obtuvo es 0.944 y este mayor que 0.05.

Tabla 8. Cuadro de subconjuntos homogéneos del factor Incubadora (Tukey)**Huevos Eclosionados**

			Subconjunto	
	Incubadoras	N	1	2
HSD Tukey ^{a,b}	Cartón	24	.17	
	Plástico	24	.21	
	Durapax	24		.58
	Sig.		.940	1.000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos. Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática(Error) = .185.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 24.000.

b. Alfa = .05.

De la tabla 8, se observa que las incubadoras construidas con durapax nos produjeron los mejores resultados, obteniendo el 58% de éxito de huevos eclosionados.

Tabla 9. Cuadro de subconjuntos homogéneos del factor Remojo (Tukey)

Huevos Eclosionados			Subconjunto	
	Remojo	N	1	2
HSD Tukey ^{a,b}	C	24	.17	
	B	24	.29	.29
	A	24		.50
	Sig.		.575	.221

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

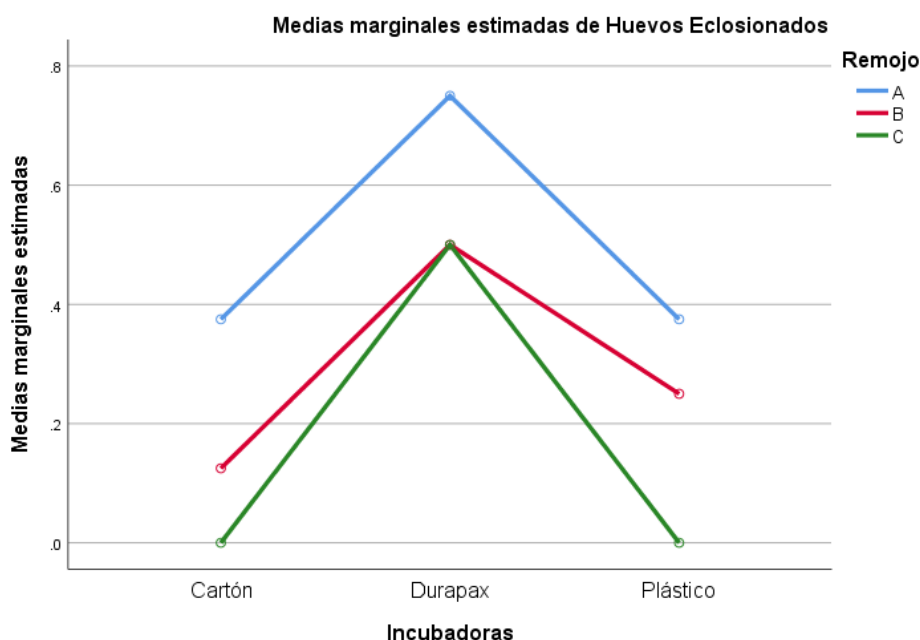
El término de error es la media cuadrática(Error) = .185.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 24.000.

b. Alfa = .05.

De la tabla 9, se deduce que el tratamiento de remojo que nos produjeron los mejores resultados, obteniendo el 50% de éxito de huevos eclosionados, fue el A.

Figura 5. Medias marginales de huevos eclosionados



De la figura 5, se deduce que el éxito en la eclosión de huevos se obtiene cuando el tratamiento de remojo es el tipo A (medio remojo) y el material de construcción de incubadoras es de durapax.

6. Conclusiones

Replicar el proceso de desarrollo morfológico de un ser vivo de manera artificial, no es una tarea fácil; para acercarse al éxito en este proceso, es necesario reproducir lo más exacto posible las características o factores del proceso natural. En el caso de los pollos, son 4 características las que se deben tener en cuenta para obtener éxito en la eclosión de huevos fértiles, la temperatura constante (37.5 °C), la humedad relativa (60%), ventilación y volteo.

Si se construye una incubadora casera que pueda otorgar estas 4 características al huevo, la eclosión tendrá éxito siempre y cuando el huevo posea las características necesarias de un huevo fértil. Es oportuno mencionar que cada incubadora presente en el diseño que se trabajó, contenía 8 huevos y para cada tratamiento de remojo correspondían 24 huevos, en total se tenían 72 huevos.

En el caso del diseño experimental que se llevó a cabo, fue en la incubadora construida con durapax en la que se obtuvieron mejores resultados produciendo un 58% de éxito; las dimensiones y construcción de esta incubadora, se describen en la sección 4.6.2. En esta incubadora la variabilidad de la temperatura permanece constante a diferencia de las de cartón que se eleva demasiado y en las de plástico que se mantiene baja de la temperatura ideal.

El factor remojo que se trabajó, con el que se obtuvo éxito en la eclosión, fue cuando se aplicó el tipo de remojo A (medio remojo) teniendo un éxito del 50 % y fue en el tipo de remojo C (2 remojos completos) donde se obtuvo menos éxito (17%).

A manera de resumen, los mejores resultados se produjeron cuando el material de la incubadora es de durapax, sometiéndolo a un remojo del tipo A (medio remojo) y 2 volteos diarios.

7. Recomendaciones

- El bombillo que corresponde a las incubadoras construidas de cartón con las características descritas en el presente documento, debe ser de menos potencia para que la temperatura no se eleve demasiado respecto a la temperatura ideal (37.5 °C)
- El bombillo que corresponde a las incubadoras construidas a base de plástico con las características descritas en el presente documento, debe ser de mayor potencia para que la temperatura aumente y se logre la ideal.
- Al construir incubadoras caseras, antes de introducir los huevos en ellas, realizar pruebas donde se analice la variabilidad de temperatura y si la variación es alta, buscar la manera en que esta permanezca constante, esto puede ser aumentando o disminuyendo, ya sea el número de bombillos por incubadoras o la potencia de estos, inclusive la ventilación de las incubadoras.
- Aumentar el número a 4 volteos diarios
- Aplicar el remojo del tipo A que se describe en este documento, una vez al día

Las recomendaciones descritas anteriormente, se propusieron teniendo como referencia los resultados obtenidos con los prototipos de incubadoras trabajados en este diseño experimental. De manera general, al construir una incubadora se debe buscar que esta le brinde una temperatura de 37.5 °C, una humedad del 60%, que la incubadora tenga ventilación y aplicar volteos en periodos constante al huevo.

8. Anexos

8.1. Referencias Bibliográficas

El Sitio Avícola. (Diciembre de 2013). Obtenido de

<https://www.elsitioavicola.com/articles/2496/cuidado-e-incubacion-de-los-huevos-fartiles/>

Larrosa, L. C. (s.f.). *Cría de aves: cómo usar la incubadora familiar*.

Montgomery . (s.f.). *Diseño y Análisis de Experimentos* (Segunda ed.).

Montoya Márquez, J. A., Sánchez Estudillo, L., & Torres Hernández, P. (2011). Diseños experimentales ¿qué son y cómo se utilizan en las ciencias acuáticas? *Ciencia y Mar*, XV(43), 61-70. Obtenido de <https://biblat.unam.mx/hevila/Cienciaymar/2011/no43/7.pdf>

Rodríguez, I. B. (21 de Octubre de 2022). Incubación de Huevos de Gallina. (D. I. Puentes Jiménez, & O. M. Rodríguez Reyes, Entrevistadores)

8.2. Presupuesto para la ejecución del diseño experimental

Tabla 10. Presupuesto para la ejecución del proyecto

PRESUPUESTO DEL PROYECTO

Proyecto: Incubación de huevos de gallina mediante incubadoras caseras, con base a 2 factores. (Factor Incubadora y Factor Remojo)

Líderes: Darlyn Iveth Puentes Jiménez Oscar Mauricio Rodríguez Reyes Duración del Proyecto: 2 meses

CATEGORÍAS	TIPO DE UNIDAD	UNIDADES	PRECIO POR UNIDAD	PARCIAL	TOTAL
Unidades Experimentales (Huevos)	Unidad	72	\$0.20	\$14.40	\$14.40
Materiales					\$94.60
Socket con interruptor	Pieza	9	\$2.00	\$18.00	
Bombillo de 60 w	Pieza	9	\$0.75	\$6.75	
Bombillo de 40 w	Pieza	9	\$0.60	\$5.40	
Durapax (30x48 cm, 1 cm de grosor)	Pieza	15	\$0.35	\$5.25	
Forro Plástico	Yardas	3	\$0.25	\$0.75	
Palillos	Caja (500 u)	1	\$0.75	\$0.75	
Cinta Aislante	Pieza	1	\$1.00	\$1.00	
Tape	Pieza	1	\$2.50	\$2.50	
Cajas de cartón	Pieza	3	\$0.25	\$0.75	
Garrafrones de Agua	Pieza	3	\$1.00	\$3.00	
Aluminio 25	Pieza	2	\$1.75	\$3.50	
Cable THHN 12 (sólido)	Metros	60	\$0.51	\$30.60	
Destornillador Phillips	Pieza	1	\$1.35	\$1.35	
Alicate	Pieza	1	\$15.00	\$15.00	
Objetos a utilizar					\$32.00
Termómetro Digital	Pieza	3	\$9.00	\$27.00	
Medidor de Temperatura y Humedad	Pieza	1	\$5.00	\$5.00	
Energía Eléctrica	Mes	1			\$35.00
Mano de Obra	Sueldo	2	\$25.00	\$50.00	\$50.00
SUMA DE LAS CATEGORÍAS					\$226.00
Reserva (15 %)					\$33.90
TOTAL GENERAL					\$259.90

8.3. Datos recolectados en el séptimo día del proceso de incubación

En el séptimo día del proceso de incubación, los huevos se sometieron a una fuente de luz y lo que se buscaba era que en el huevo se observe una especie de tela de araña (corona) y que se le hayan formado una especie de venas, estas características indican que el embrión ha comenzado a formarse y esto nos ayudará para estimar el éxito en la eclosión del huevo. Los resultados obtenidos se presentan a continuación.

Figura 6. Gráfico de barras de los datos relacionados al factor incubadora recolectados en el séptimo día

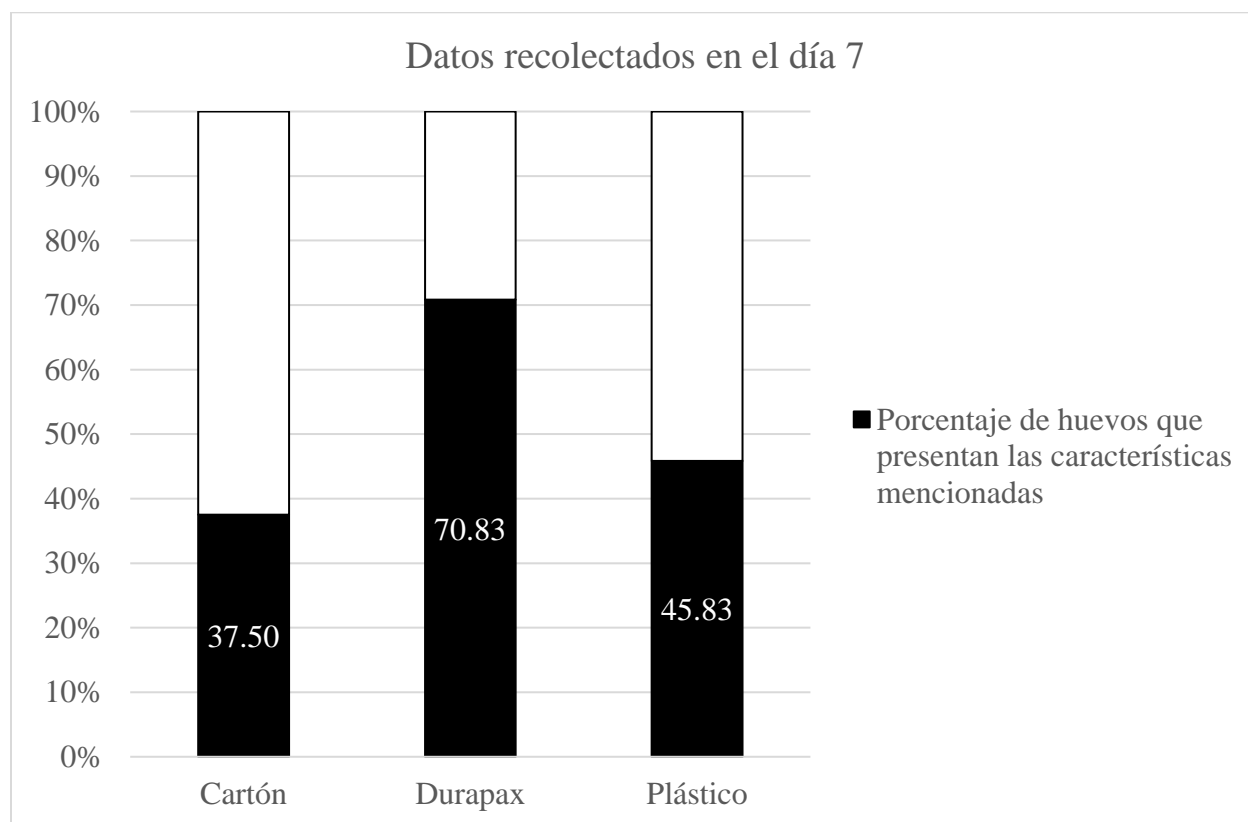
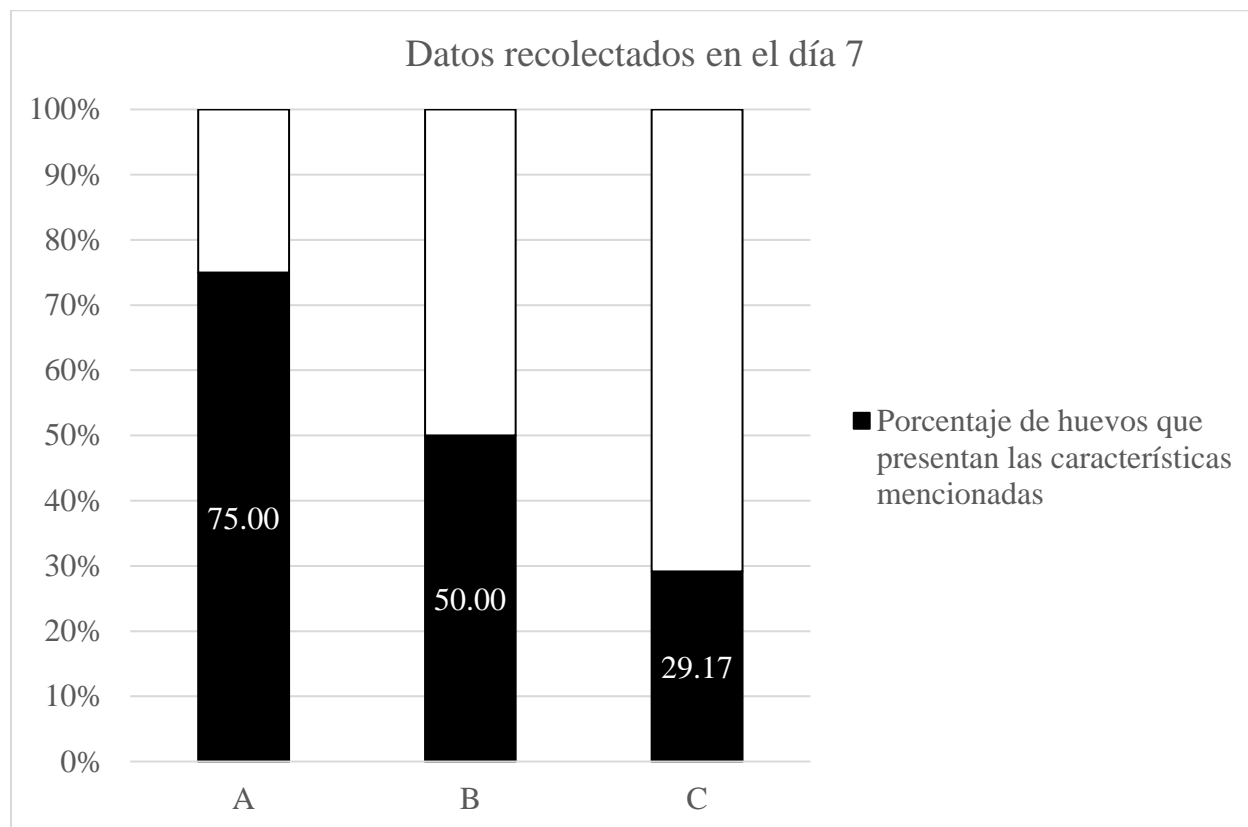


Figura 7. Gráfico de barras de los datos relacionados al factor remojo recolectados en el séptimo día



8.4. Datos recolectados en el décimo cuarto día del proceso de incubación

En el día 14 día del proceso de incubación, se analizaba el desarrollo del embrión sometiéndolo a una fuente de luz, se buscaba una mancha negra en el interior del huevo dado que esto significa que el embrión se está formando con éxito y consecuentemente, sigue vivo; esto al igual que en el día 7 nos sirve para estimar el porcentaje de éxito en la eclosión de los huevos que se espera obtener al finalizar el proceso de incubación, en el día 14 es más preciso y se observan más claramente las características mencionadas. Los resultados obtenidos se muestran a continuación.

Figura 8. Gráfico de barras de los datos relacionados al factor incubadora recolectados en el décimo cuarto día

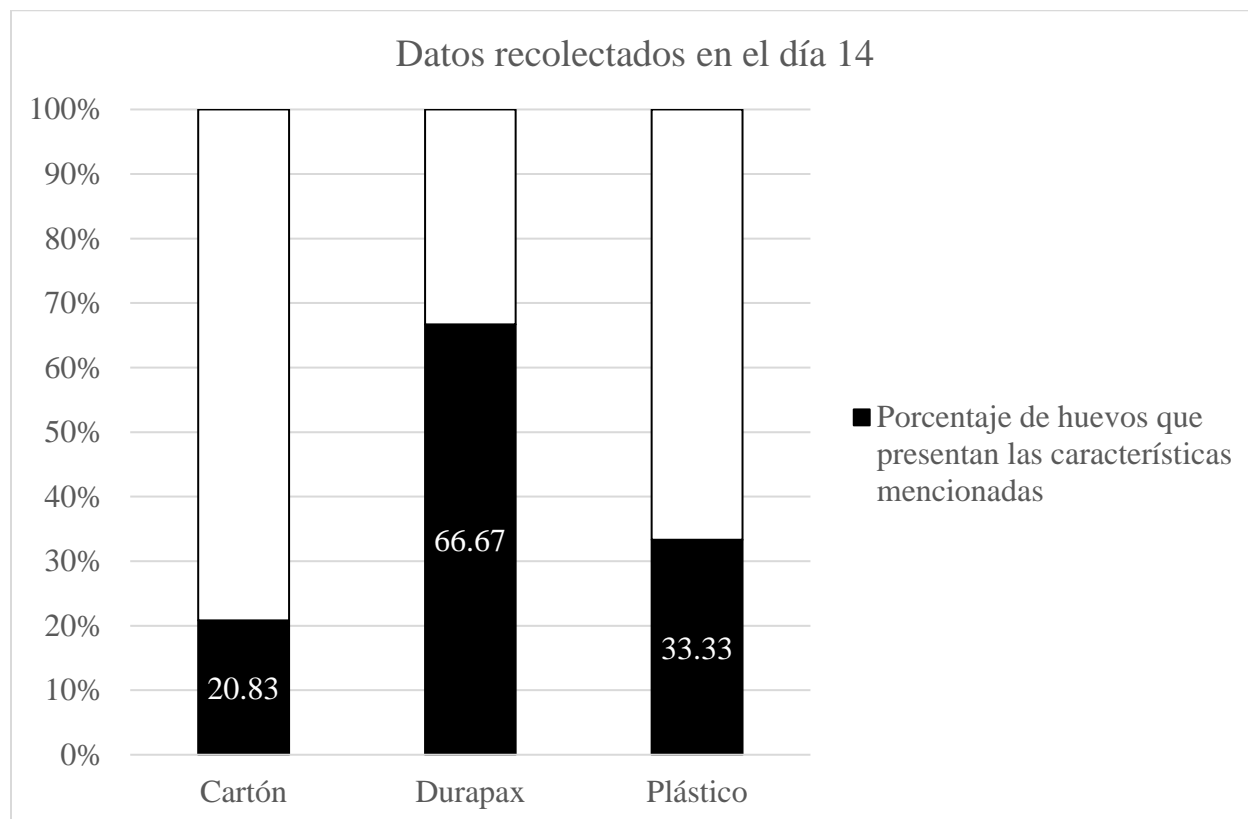
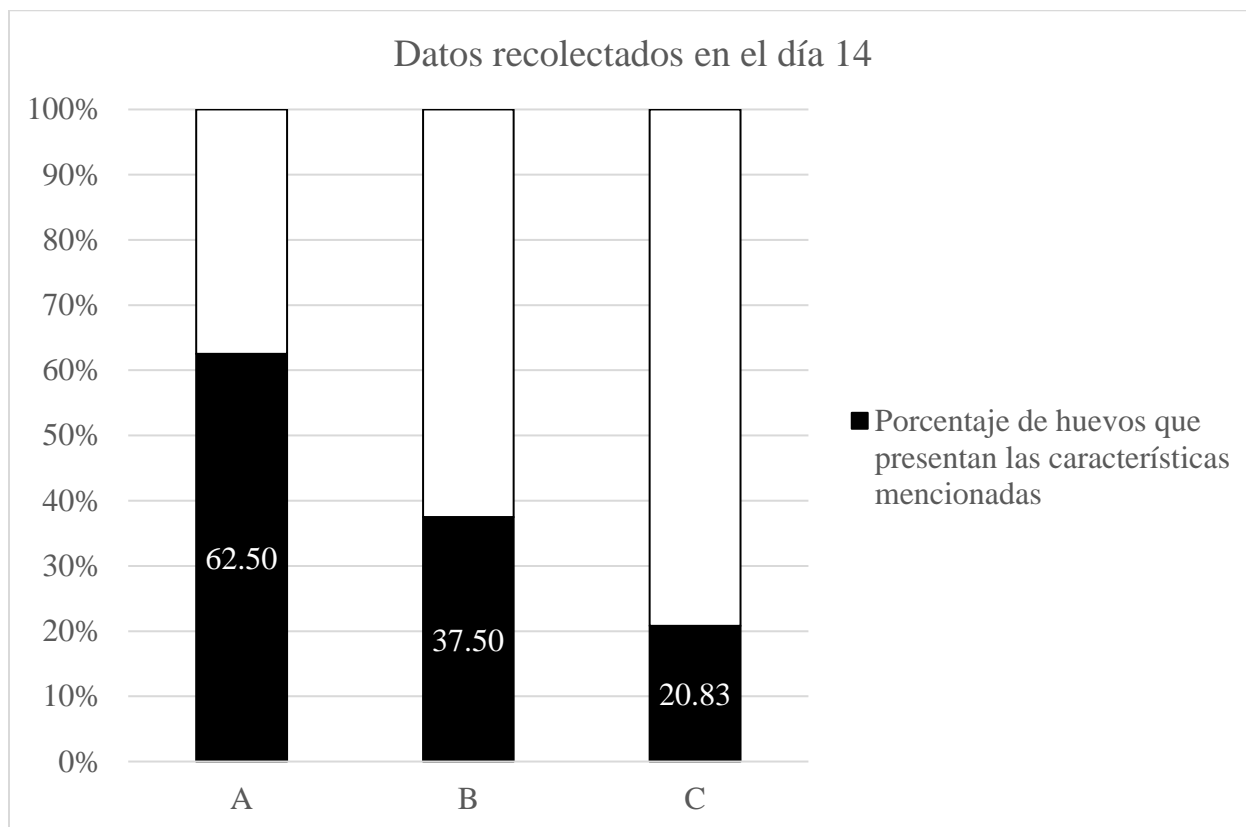


Figura 9. Gráfico de barras de los datos relacionados al factor remojo recolectados en el décimo cuarto día



8.5. Fotografías capturadas durante la ejecución del diseño experimental

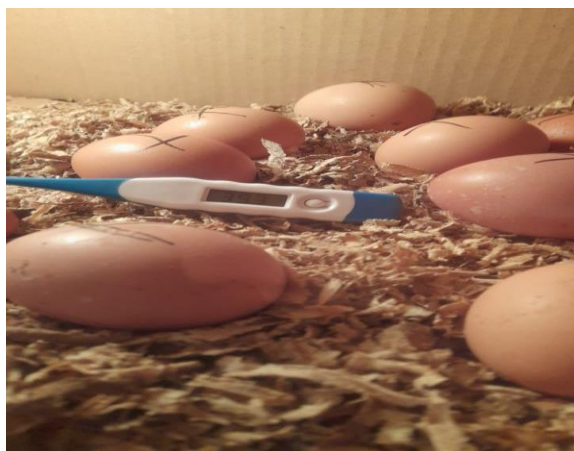
8.5.1. Construcción de las incubadoras



8.5.2. Colocación de huevos en las incubadoras



8.5.3. Control de temperatura



8.5.4. Inicio de la eclosión de los huevos



8.5.5. Huevos eclosionados



