



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE AGROPECUARIA**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE
CONTROL AUTOMÁTICO DE TEMPERATURA Y
HUMEDAD PARA HUEVOS DE GALLINA, PROGRAMADA
CON ARDUINO EN LA PLATAFORMA DE TINKERCAD**

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Requisito parcial para la obtención del título de:

INGENIERO AGROPECUARIO

Autor: Juan Xavier Gavilanes Robinson

LA LIBERTAD, 2025



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE AGROPECUARIA**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE
CONTROL AUTOMÁTICO DE TEMPERATURA Y
HUMEDAD PARA HUEVOS DE GALLINA, PROGRAMADA
CON ARDUINO EN LA PLATAFORMA DE TINKERCAD**

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Requisito parcial para la obtención del título de:

INGENIERO AGROPECUARIO

Autor: Juan Xavier Gavilanes Robinson

Tutora: Ing. Araceli Ligia Lucas Solís, Ph.D

TRIBUNAL DE GRADO

Trabajo de Integración Curricular presentado por **JUAN XAVIER GAVILANES ROBINSON** como requisito parcial para la obtención del grado de Ingeniero Agropecuario de la Carrera de Agropecuaria.

Trabajo de Integración Curricular **APROBADO** el: 07/07/2025

Ing. Verónica Andrade Yucailla Ph.D
DIRECTORA DE CARRERA
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. Angel León Mejía, M.Sc.
PROFESOR ESPECIALISTA
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Ligia Araceli Lucas Solís, Ph.D
PROFESORA TUTORA
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Nadia Quevedo Pinos Ph.D
PROFESORA GUÍA DE LA UIC
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Washington Perero
ASISTENTE ADMINISTRATIVO
SECRETARIO

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios sobre todas las cosas, ya que él ha permitido que esta etapa de mi vida sea tan próspera y cálida.

A mis padres, quienes siempre han estado presentes en todo momento y que han sido la base inamovible en el sendero de mi vida.

A mis hermanos, hermanas y a mi enamorada, que han visto destrezas y fortalezas cuando yo he dudado, que me han brindado la capacidad para seguir adelante.

A mis tutores y profesores que mediante sus enseñanzas formaron un ser humano capacitado, aplicado y responsable, que me guiaron con éxito a la culminación de mi etapa académica, destacando principalmente al ingeniero Miguel Lema y a la ingeniera Nadia Quevedo, quienes siempre me apoyaron y orientaron hacia lo correcto.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de investigación a mi padre Xavier Gavilanes Cedeño, a mi madre Emma Robinson Caballero y a mi abuelo que descansa en paz, Juan Gavilanes Gavilanes, quienes siempre han sido los pilares en mi vida y que gracias a sus enseñanzas, palabras y apoyo incondicional en el trayecto de toda mi vida, me han permitido alcanzar grandes objetivos y sentirme amado desde que era pequeño hasta este preciso momento que estoy culminando mis estudios y estoy seguro de que lo seguirán haciendo para siempre en el futuro.

A mis hermanos Andrés, Francisco, Ángeles, Cristina y Carlitos que son mis confidentes y que gracias a ellos pude entender lo que es amar a tu semejante sin esperar algo a cambio y que a pesar de cualquier dificultad presente en la vida sé que van a estar ahí sin importar cuán difícil sea la situación, brindándome calidez y la esperanza de que todo va a estar bien.

A mi señorita enamorada Kiona Muñoz quien ha logrado enseñarme lo increíble que soy mediante acciones, palabras y mucho amor para brindar, siendo un eje imprescindible en mi formación académica y como persona. En este apartado también agradezco infinitamente a su familia quienes me han apoyado y brindado su amor incondicionalmente, los quiero mucho Emy, Rita y Franklin.

A mis amigos, hermanos de otra madre, Steven, Richard, Jonathan, Gabriel, Roberth, Joel e Ignacio cuya presencia ha marcado una gran parte de mi vida y que me han enseñado el significado de la amistad y el amor que puede brindar un amigo de verdad.

A mis primos Valentín y Anthony Ávila que los estimo mucho y fueron mis primeros amigos de la infancia y que día a día agradezco a la vida por permitirme ser parte de su familia.

A mi otra familia de Chescos, los llevo presentes en todo momento y me enseñan lo bonito que es tener una familia en el lugar de trabajo, convirtiéndolo en un hogar.

A los miembros de la familia Ochoa, Jhosue, Karen, Joselo, Nancy y Roberto quienes me acogieron en su seno y gracias a ellos soy una persona de gran carácter y con un camino correcto siguiendo sus enseñanzas compartidas con amor.

RESUMEN

En los últimos años, la incubación artificial de huevos ha adquirido relevancia como una estrategia eficaz para impulsar la producción avícola en comunidades rurales. Ante las limitaciones económicas y tecnológicas que enfrentan muchos pequeños productores, se ha vuelto necesario explorar alternativas más accesibles y adaptadas a sus necesidades. En este contexto, el presente trabajo se enfocó en diseñar, construir y poner a prueba un prototipo de incubadora artesanal automatizada, utilizando tecnología Arduino para controlar con precisión los factores clave en la incubación de huevos de gallina.

La incubadora se armó con materiales mecánicos y componentes electrónicos económicos, que se detallan en el documento. Su estructura permitió integrar de manera eficiente el sistema de control automático, encargado de regular continuamente la temperatura, humedad y el volteo de huevos. Gracias a la programación de sensores y microcontroladores, fue posible mantener un ambiente adecuado durante los 21 días que dura el proceso de incubación.

Al finalizar, se obtuvo una tasa de eclosión promedio del 48.89% y una eficiencia general del 59.88%, con un costo de inversión \$155.71 resultados que se consideran aceptables para un prototipo aún en etapa de prueba. Estos resultados muestran que el sistema funciona y que tiene un buen margen para mejoras futuras. Además, su bajo costo, facilidad de ensamblaje y uso de materiales disponibles en la región lo hacen económicamente viable.

Desde una perspectiva técnica y social, la incubadora desarrollada representa una opción viable para los pequeños productores del ámbito rural. Asimismo, su uso puede fortalecer la producción local, ayudar a conservar razas criollas y fomentar la autosuficiencia alimentaria. A su vez, el empleo de tecnología Arduino se perfila como una herramienta útil y adaptable para otros proyectos en zonas rurales.

Palabras clave: Incubadora artificial, microcontroladores, producción avícola.

ABSTRACT

In recent years, artificial egg incubation has gained relevance as an effective strategy to boost poultry production in rural communities. Given the economic and technological limitations faced by many small producers, it has become necessary to explore more accessible alternatives adapted to their needs. In this context, the present work focused on designing, building and testing a prototype of an automated handmade incubator, using Arduino technology to precisely control the key factors in the incubation of chicken eggs. The incubator was assembled with mechanical materials and inexpensive electronic components, which are detailed in the document. Its structure allowed the efficient integration of the automatic control system, responsible for continuously regulating temperature, humidity and egg turning. Thanks to the programming of sensors and microcontrollers, it was possible to maintain a suitable environment during the 21 days of the incubation process. At the end, an average hatching rate of 48.89% and an overall efficiency of 59.88% were obtained, with a total investment cost of \$155.71 results considered acceptable for a prototype still in the testing stage. These results show that the system works and that it has good room for future improvements. In addition, its low cost, ease of assembly and use of materials available in the region make it economically viable. From a technical and social perspective, the developed incubator represents a viable option for small producers in rural areas. Likewise, its use can strengthen local production, help conserve native breeds and promote food self-sufficiency. In turn, the use of Arduino technology is emerging as a useful and adaptable tool for other projects in rural areas.

Keywords: Artificial incubator, microcontrollers, poultry production.

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

El presente Trabajo de Integración Curricular titulado “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO DE TEMPERATURA Y HUMEDAD PARA HUEVOS DE GALLINA, PROGRAMADA CON ARDUINO EN LA PLATAFORMA TINKERCAD**” y elaborado por **Juan Xavier Gavilanes Robinson**, declara que la concepción, análisis y resultados son originales y aportan a la actividad científica educativa agropecuaria.

Transferencia de derechos autorales.

"El contenido del presente Trabajo de Graduación es de mi responsabilidad; el patrimonio intelectual del mismo pertenece a la Universidad Estatal Península de Santa Elena".

Firma del estudiante

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
Problema Científico	2
Objetivos	2
1.1.1 Objetivo General:.....	2
1.1.2 Objetivos Específicos:	2
Hipótesis	2
CAPÍTULO 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	3
1.2 Generalidades de las gallinas	3
1.3 Postura de las gallinas e importancia de la alimentación	3
1.4 Manejo de la gallina	4
1.4.1 Influencia de la temperatura en la crianza de las gallinas.....	4
1.4.2 Edad de reproductoras	4
1.4.3 Relación macho/hembra	5
1.5 Características morfométricas de los huevos	5
1.6 La incubación	5
1.6.1 Tiempo de incubación.....	6
1.6.2 Características del huevo en la incubación	6
1.7 Ambiente en la incubación	6
1.7.1 Temperatura e importancia	6
1.7.2 Humedad.....	7
1.7.3 Regulación para la humedad.....	7
1.7.4 Ventilación.....	7
1.7.5 Volteo.....	8
1.7.6 Miraje.....	8
1.8 Características y manejo de huevo de gallina	8
1.8.1 Estructura y tamaño del huevo.....	8
1.8.2 Composición proteica y mineral del huevo	9
1.8.3 Tipos de huevos	9
1.8.4 Manejo del huevo fértil y almacenamiento.....	10
1.9 Variables por evaluar en la incubación de huevos	10
1.9.1 Porcentaje de incubabilidad.....	10
1.9.2 Tasa de Fertilidad.....	11
1.9.3 Eficiencia de incubación.....	11
1.9.4 Sistema de volteo	11
1.10 Importancia de los componentes de la incubadora	12
1.10.1 Características de una incubadora comercial.....	12
1.10.2 Energía calórica de una incubadora	12
1.10.3 Sensor de humedad.....	12
1.10.4 Sensor de temperatura.....	13
1.10.5 Sistema de volteo.....	13

1.10.6 Fuente de poder alterna.....	13
1.11 Sistema Arduino	13
1.11.1 Elementos que conforman la placa Arduino.....	14
1.11.2 Implementación de la tecnología Arduino en el sector agropecuario.....	14
CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS	16
2.1 Caracterización del área de estudio.....	16
2.2 Materiales y equipos	16
2.2.1 Materiales informáticos	18
2.2.2 Material biológico.....	18
2.3 Desarrollo del prototipo experimental	18
2.3.1 Fase 1: diseño de la incubadora artesanal en AutoCAD y estructuración del sistema implementado con tecnología Arduino.....	18
2.3.2 Ensamblaje de la incubadora artesanal	19
2.3.3 Diseño electrónico del Sistema Arduino de la incubadora artesanal.....	20
2.3.4 Funciones de los componentes del sistema Arduino	20
2.3.5 Funcionamiento de la incubadora.....	22
2.3.6 Fase 2: proceso de preparación de incubadora, selección y limpieza.....	23
2.3.7 Diseño electrónico del Sistema Arduino de la incubadora artesanal.....	24
2.3.8 Funciones de los componentes del sistema Arduino	25
2.3.9 Funcionamiento de la incubadora.....	27
2.3.10 Fase 2: proceso de preparación de incubadora, selección y limpieza.....	27
2.3.11 Fase 3: inicio de la incubación.....	28
2.4 Variables de estudio	29
2.4.1 Incubabilidad o Eclosión total	29
2.4.2 Eficiencia de incubadora.....	29
CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	31
3.1 Incubadora artesanal prototipo para huevos de gallina ensamblada con tecnología Arduino	31
3.2 Porcentaje de huevos eclosionados y eficiencia de incubadora.....	31
3.3 Costo de producción.....	33
3.3.1 Valoración económica de los materiales utilizados en el sistema mecánico de la incubadora artesanal	33
3.3.2 Estimación del costo de los materiales electrónicos implementados en el sistema Arduino en la incubadora artesanal	33
3.3.3 Total, gastos de la investigación.....	34
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	35
Conclusiones.....	35
Recomendaciones.....	35
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36
ANEXOS.....	42

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resultados de la incubadora artesanal implementada con tecnología Arduino, unidades.....	32
Tabla 2. Porcentajes de la evaluación en la incubadora de eclosión total, fertilidad y eficiencia (%).....	32
Tabla 3. Costos de la parte mecánica de la incubadora artesanal.....	33
Tabla 4. Costo de los componentes electrónicos del sistema Arduino en la incubadora artesanal.....	34
Tabla 5. Total de gastos de inversión de la incubadora artesanal implementada con tecnología Arduino.....	34

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura del huevo.....	9
Figura 2. Placa de Arduino UNO y sus componentes	14
Figura 3. Localización del lugar de la investigación.....	16
Figura 4. Plano estructural de la incubadora artesanal en AutoCAD.....	18
Figura 5. Montaje estructural de la parte mecánica del prototipo de incubadora artesanal.	19
Figura 6. Diseño y configuración del sistema Arduino en TinkerCAD.....	20
Figura 7. Acondicionamiento de la incubadora artesanal.....	24
Figura 6. Diseño y configuración del sistema Arduino en TinkerCAD.....	24
Figura 7. Acondicionamiento de la incubadora artesanal.....	28
Figura 8. Comienzo de la incubación.....	29
Figura 9. Disposición de componentes electrónicos que integran el sistema Arduino en el prototipo de incubadora artesanal.....	31

ÍNDICE DE ANEXOS

Figura 1A. Lenguaje de programación implementado en la plataforma Arduino.....	42
Figura 2A. Eclosión de pollitos en la incubadora artesanal.	42
Figura 3A. Configuración y organización de cableado del sistema Arduino.....	43
Figura 4A. Verificación operativa del sistema Arduino en el prototipo.	43
Figura 5A. Muerte prematura.....	44
Figura 6A. Culminación de los ensayos del prototipo de incubadora artesanal.....	44

INTRODUCCIÓN

Ramos y Cedeño (2020) indican que, desde hace unos 8000 años, el ser humano se ha alimentado de productos derivados de aves. Hoy en día, gran parte de la población mundial incluye en su dieta diaria tanto huevos como carne de estos animales. Con el crecimiento poblacional que trajo consigo la era industrial, surgió la necesidad de incrementar la producción avícola para cubrir la creciente demanda. Esta situación impulsó el desarrollo de investigaciones científicas enfocadas en la reproducción de aves, lo que llevó al descubrimiento de que los huevos de gallina pueden incubarse de manera artificial, siempre y cuando se controlen las condiciones ambientales específicas, de esta manera surgieron las incubadoras avícolas artificiales.

De igual forma, Reyes (2015) señala que en la alimentación humana, las aves constituyen una fuente esencial, ya que aportan carbohidratos y proteínas indispensables para la nutrición, aporta al sistema inmunológico y la regeneración de los tejidos del cuerpo. Con el transcurso de los años, el consumo de productos avícolas ha aumentado de manera considerable, lo que ha llevado al ser humano a implementar nuevas estrategias de producción, potenciar el desarrollo de la avicultura y enfocarlo hacia producciones más sostenibles a largo plazo.

Según CONAVE (2022), mediante censos determinaron que existen en el Ecuador 310 granjas dedicadas a la producción de huevos criollos y sus derivados, con una población que refleja cantidades promedio de 13.7 millones de gallinas ponedoras. En el transcurso del año, Ecuador alcanzó una producción total de 3500 millones de huevos, lo que refleja un consumo per cápita de 230 huevos. Las cifras actuales demuestran resultados positivos en relación al aumento en comparación al 2020 con valores del 3% en crecimiento, no se ha logrado equiparar los niveles de producción de antes de la pandemia de COVID-19. La CONAVE y sus miembros afiliados forman parte del 85% de la producción que se logra a nivel nacional en carne de pollo y sus derivados, el 70% de carne de pavo y el 35% del huevo para consumo humano.

Con el objetivo de reducir la dependencia del método tradicional y promover una alternativa sostenible, Acosta Lozano *et al.* (2018) reportaron el diseño y fabricación de una incubadora artesanal para huevos criollos en la comuna San Vicente, cantón y provincia de Santa Elena. Esta iniciativa buscaba preservar y fortalecer la cría de pollos criollos, así como de otras especies domésticas y silvestres de la región. Actualmente, la provincia de Santa Elena se encuentra en un proceso de crecimiento productivo, destacándose principalmente

en el sector agropecuario, por ello, resulta pertinente investigar la viabilidad y beneficios de implementar incubadoras que permitan la producción de pollos y gallinas criollas.

Para aprovechar totalmente los beneficios de la incubadora artificial, es fundamental calibrar correctamente los parámetros claves como la humedad, volteo de huevos y temperatura de los huevos, con el fin de replicar con precisión las condiciones ambientales que favorecen el adecuado desarrollo embrionario de las aves (Calderón, 2017).

Problema Científico

¿Cómo influye el diseño de una incubadora artesanal, en la tasa de natalidad de huevos de gallinas?

Objetivos

1.1.1 Objetivo General:

- ❖ Diseñar e implementar un prototipo de incubadora de huevos que presente un bajo costo de producción, mediante tecnología y programación Arduino Uno y Tinkercad.

1.1.2 Objetivos Específicos:

1. Diseñar una incubadora artificial con capacidad de incubación de 40 huevos.
2. Evaluar parámetros de producción en la incubación de huevos, mediante el uso de una incubadora artesanal.

Hipótesis

Con la implementación de un sistema de control automatizado en una incubadora artesanal, se incrementa la tasa de natalidad de huevos de gallinas.

CAPÍTULO 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.2 Generalidades de las gallinas

La gallina criolla (*Gallus gallus domesticus*) es una especie de ave que conforma el Reino Animalia y tiene ancestros en común con el espécimen tropical *Gallus bankiva* cuyo origen proviene del continente asiático. A nivel mundial es posible encontrar diferentes razas de gallinas criollas con características o nombres propios de su ubicación; sin embargo, en el Ecuador habitan y se producen razas coloquiales como: la gallina carioca (*Gallus domesticus L. subespecie nudicollis*), gallina zamarrona (*Gallus domesticus L. subespecie giganteus*), y por último, la gallina de raza copetona (*Gallus domesticus L. subespecie nanus*) (Alvear, 2022).

Las gallinas criollas poseen diversas características y adaptaciones que han permitido su domesticación y su explotación por parte del ser humano. Gracias a estas cualidades, han sido destinadas a distintas líneas de producción y comercialización, tales como la obtención de alimentos (huevos y carne) por su valor nutricional y energético, así como en actividades de entretenimiento (FAO, 2016).

1.3 Postura de las gallinas e importancia de la alimentación

Korver y Stewart-Brown (2023) mencionan que una alimentación equilibrada es esencial para maximizar la producción de huevos, garantizando la salud general de las aves. Las gallinas ponedoras precisan de al menos 38 nutrientes en sus dietas, los cuales deben incluir aminoácidos esenciales, vitaminas y minerales como el calcio, zinc, manganeso y fósforo, que son fundamentales para la formación de la cáscara de huevo y la integridad ósea. Además, la incorporación de aditivos nutricionales como aceites esenciales y compuestos bioactivos contribuye a una mejor salud intestinal, productividad de las gallinas ponedoras, incrementa la capacidad antioxidante y mejora la calidad en términos de tamaño y peso del huevo (Rodríguez *et al.*, 2023).

Estos factores nutricionales cobran aún mayor relevancia cuando se considera el patrón de postura de las gallinas descrito por Paredes *et al.* (2019), quienes señalan que la producción de gallinas de biotipos negro, colorado, blanco, cuello desnudo y castaño son procedentes de gallinas criollas que inician su postura a la edad de 17 hasta las 19 semanas, con periodos de postura de siete semanas que son interrumpidos por una etapa de cloquera cuya duración puede alcanzar hasta tres semanas.

1.4 Manejo de la gallina

Las gallinas ponedoras producen un huevo por día y su etapa de reproducción o madurez sexual comienza a las 21 semanas de edad, su capacidad de producción dependerá de los factores climáticos de su localidad. En climas cálidos/húmedos las ponedoras comerciales alcanzan un promedio de 180 y 200 huevos por año, y por el contrario, en climas templados logran una producción entre 250 y 300 por año (Zaheer, 2015). Para proporcionar un inicio óptimo de la producción y garantizar la vitalidad de los animales, es fundamental que el galpón se encuentre totalmente limpio y desinfectado previo al ingreso de las aves. La correcta limpieza y desinfección garantizan la eliminación de gérmenes, bacterias, virus, hongos y parásitos que puedan comprometer el rendimiento productivo y la salud de las ejemplares (Hernandez, 2020). Además, es recomendable incorporar un período de vacío sanitario de al menos 21 días y máximo 28 días antes de recibir un nuevo lote de aves, esto con el fin de proporcionar tareas de desinfección, prevenir la propagación de enfermedades y para mantener la salud de las aves, proporcionando un ambiente libre de contaminantes para las aves (Fárez y Quezada, 2024).

1.4.1 Influencia de la temperatura en la crianza de las gallinas

La temperatura ambiental constituye un elemento determinante que influye significativamente en la productividad y el bienestar de las gallinas ponedoras. Cuando los valores térmicos ambientales superan los 30 °C, las aves pueden experimentar estrés calórico, lo que conlleva una disminución en la ingesta de alimento y, por ende, una reducción en la producción y calidad de los huevos producidos (Ajakaiye , Pérez y Mollineda, 2011). Este tipo de estrés también repercute en la integridad de la cáscara, debido a alteraciones en el equilibrio ácido-base del organismo, lo que genera estructuras más delgadas y frágiles (Corona, 2013). Contrariamente, la exposición prolongada de las gallinas a temperaturas inferiores a los 18°C resultarán en incrementos de las necesidades energéticas de las gallinas, lo que conlleva a aumentar su temperatura corporal, provocando que su rendimiento productivo disminuya (Madrigal, Salas y Macaya, 2023). Por lo tanto, mantener las condiciones térmicas dentro del rango de confort es esencial para garantizar una producción eficiente y el bienestar de las aves.

1.4.2 Edad de reproductoras

Las gallinas desarrollan bajo circunstancias específicas su madurez sexual, es un mecanismo biológico elaborado que abarca factores como la edad cronológica, peso y

estructura anatómica del ave. Cuando ocurre la primera oposición, significa que la gallina ha iniciado previamente su madurez sexual con características físicas marcadas y notorias para el productor, como el aumento en el volumen de la cresta, pérdida de plumas primarias, con tejidos turgentes en la región pectoral y presentan ensanchamiento de los huesos del área púbica para permitir la expulsión del huevo (Sanz *et al.*, 2020).

1.4.3 Relación macho/hembra

Según Dávila *et al.* (2015), la gestión apropiada de manejo reproductivo de las aves de corral es imprescindible para lograr una tasa alta de fertilidad y productividad, ya que la proporción correcta de gallos y gallinas influirá directamente en estos parámetros. Si el número de hembras por cada macho excede la cantidad apropiada, resultará en una disminución en la eficiencia reproductiva, debido a la fatiga del macho. A diferencia de cuando el número de ejemplares machos es superior al de las hembras, habrá tendencia a desarrollar conductas hostiles y existirán disputas por territorio, generando estrés en las hembras, afectando a la tasa de fertilidad con una disminución. Para lograr un equilibrio adecuado y garantizar los parámetros de fertilidad y productividad la proporción recomendada es de 8 a 9 hembras por macho en el galpón.

1.5 Características morfométricas de los huevos

Posadas *et al.* (2001) mencionan que al recibir los huevos para incubarlos se deben evaluar diferentes parámetros para determinar su calidad en general, externa e interna. La calidad externa se determinará por su forma, tamaño, color y calidad de la cáscara, en el caso de la evaluación interna, se determinará por el color y la dimensión de la clara y la yema. Un huevo que presente características óptimas para considerarlos de alto valor biológico debe ser de forma correcta y se deben evidenciar los polos grueso y fino. La línea presente en la cáscara se visualizará desde el extremo redondo al agudo, de manera ovalada, debe ser suave, uniforme, las características correctas determinarán la formación del embrión, debido a que influirán en su posición durante la eclosión.

1.6 La incubación

Ruiz *et al.* (2016) explican que la incubación, natural o artificial, es el proceso mediante el cual el embrión concluye su desarrollo morfológico que se origina dentro de la gallina. En este sentido, la incubación artificial, debe proporcionar al huevo un entorno ambiental óptimo, con el fin de desarrollar el embrión exitosamente.

1.6.1 *Tiempo de incubación*

El tiempo de incubación es el periodo necesario para que el embrión del ave se desarrolle desde la oviposición hasta la eclosión. En gallinas, este proceso dura entre 21 y 22 días bajo las condiciones óptimas, siendo sensible de manera considerable a variaciones ambientales como temperatura y humedad (Tona *et al.*, 2022).

Durante los primeros 18 días se requiere mantener temperatura constante de entre unos 37.5 y 38°C, con humedad relativa entre 55 a 60%. A partir del día 19, la temperatura debe reducirse gradualmente y la humedad aumentarse a 65 a 70% para facilitar la ruptura del cascarón (Yalcin, Özkan & Shah, 2022).

1.6.2 *Características del huevo en la incubación*

Los huevos con fines de incubación presentan características de interés agropecuario, en las que se destacan propiedades físicas y la composición química que determinarán la tasa de éxito del embrión. Se destacan principalmente por su peso (promedio entre 50 y 65 gramos para las gallinas con fines comerciales), la forma del huevo comercial debe ser ovalada, simétrica, cáscara sin manchas de sangre, tierra o heces y una presencia visible de la cámara de aire (Machado *et al.*, 2020).

La calidad de la cáscara es fundamental, puesto que protege al embrión de agentes externos, regula el intercambio de gases y mantiene la humedad interna. Los huevos que tienen una cáscara delgada o deforme presentan una tasa de pérdida de agua alta y, por tanto, una mayor vulnerabilidad embrionaria (Hamidu *et al.*, 2011).

1.7 *Ambiente en la incubación*

1.7.1 *Temperatura e importancia*

García y Lizeth (2023) señalan que, la temperatura es el factor más influyente y delicado en el proceso de incubación. Este parámetro debe evaluarse de manera constante, debido a que cualquier cambio en la temperatura, sea incremento o disminución influirá gravemente en los resultados. Los huevos en proceso de incubación son muy perceptibles a los cambios de temperatura. También, en el proceso de incubación que ocurre dentro de los huevos influye directamente la temperatura con la velocidad de desarrollo de los embriones. Por su parte, Galindo (2005) recomienda mantener una temperatura constante entre 37 y

38°C, y se procede a disminuir durante los 3 días restantes a la eclosión de los huevos (18 a 21 días).

1.7.2 Humedad

Según López y Aldas (2024), en una incubadora artesanal, la humedad es un parámetro determinante para la eclosión de huevos y se evalúa mediante la presencia de vapor de agua en el aire dentro de la incubadora. Esta variable permite obtener una temperatura interna óptima para la formación del embrión y lograr eclosionar los huevos de gallina.

Según Navarro (2018), durante la incubación, la humedad debe mantenerse en el interior en un margen de 50-60% durante 15 días y 65% en los últimos 3 días y presentando una humedad relativa del 70% en todo el proceso de incubación.

1.7.3 Regulación para la humedad

Cuéllar (2021) menciona que, uno de los parámetros más importantes al momento de comenzar la incubación artificial es la humedad relativa, ya que si se producen alteraciones mínimas puede influir negativamente en la integridad del huevo, por lo que debe mantenerse una vigilancia constante para prevenir posibles variaciones y tomar medidas correctivas rápidas mediante aspersores para disminuir o incrementar el porcentaje de agua presente en el ambiente controladas por sistemas automatizados para garantizar el correcto desarrollo del embrión en un ambiente óptimo.

1.7.4 Ventilación

Según Paz (2015), la ventilación presenta tres funciones importantes: permitir la respiración del embrión, para lograrlo se debe mantener una media de oxigenación de entre 21 a 22% en la incubadora; reducir el contenido de concentración de oxígeno ambiental en un rango establecido de 0.5-1%; sin embargo, la presencia de dióxido de carbono nunca debe superar el límite establecido con anterioridad porque interviene directamente con el desarrollo embrionario, provocando su lentitud; y por último, repartir de manera uniforme la temperatura y la humedad presente en el ambiente interno de la incubadora. La correcta circulación del aire se logra mediante la implementación de ventiladores, extractores de aire y una correcta distribución de los orificios donde circula el aire.

1.7.5 Volteo

Las gallinas bajo condiciones naturales realizan la rotación de huevos. En los procesos en los que interviene una incubación artificial, asegurar la rotación es fundamental según la etapa en la que se encuentre la incubación. El embrión adopta una posición adecuada dentro del huevo y el correcto movimiento permite que no se adhiera a la cáscara, favoreciendo de esta manera la correcta formación de las membranas internas. De la misma manera, se garantiza una distribución del calor uniforme en cada uno de los huevos y en toda la superficie de la incubadora (Franco, 2023).

1.7.6 Miraje

FAO (2016) señala que el propósito del miraje es diagnosticar a tiempo los huevos con embriones muertos; por lo tanto, para evitar una excesiva humedad estos deben ser eliminados de la cámara de incubación y contaminación, el miraje se debe efectuar a los 7 días; normalmente se emplea una luz LED con la capacidad para observar el interior del huevo y poder realizar con más facilidad el descarte.

1.8 Características y manejo de huevo de gallina

1.8.1 Estructura y tamaño del huevo

Nys y Guyot (2011) declaran que la estructura del huevo se compone de cáscara, membranas internas, albúmina (clara), yema y cámara de aire.

Según lo expresado por Rodríguez *et al.* (2021), el huevo de gallina criollo presenta una longitud media que oscila entre 5.5 a 6.5 centímetros, con una anchura de alrededor de 4 a 5 centímetros, su masa promedio es de 50 a 60 gramos y adopta formas que pueden ser más redondeadas o alargadas, con una superficie de textura rugosa y una cáscara gruesa.

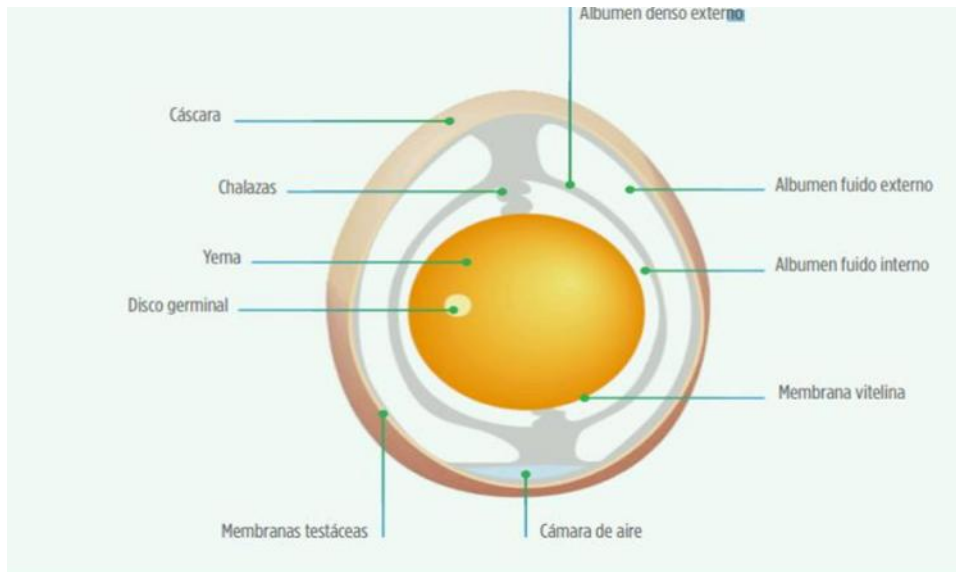


Figura 1. Estructura del huevo

Fuente: (Zucami, 2020).

1.8.2 Composición proteica y mineral del huevo

Según Flores y Palacios (2016), el huevo cuenta con estructuras que realizan funciones específicas para el correcto desarrollo del embrión. La cutícula se define como una capa fina con el propósito de proteger externamente la cáscara y actúa como una barrera ante agentes patógenos, principalmente se compone por proteína y sujeta la chalaza. La cáscara tiene la característica de proporcionar el contenido gaseoso en el interior del huevo, sirve como soporte mecánico y está compuesto en gran medida por carbonato de calcio. Las Membranas internas, se encuentran ubicadas debajo de la cáscara y forman parte de una red de proteínas fibrosas cuya función es la protección del contenido interno. Por último, la yema actúa como fuente principal de nutrientes esenciales para el desarrollo del embrión.

Según Narváez et al. (2011), la membrana tiene una composición que consta de 70% de lisozima, proteína con un 24.8% y presenta un 5% de otras sustancias. La yema presenta una estructura a base de minerales, vitaminas, entre ellas la A, D, E y K, contenido proteico y grasas, manifiesta una tonalidad amarilla. El contenido sobre extracto seco de proteína representa un 31.1% y el contenido de grasa obtenido fue de 65.8%.

1.8.3 Tipos de huevos

Existen diversos tipos de huevos de gallina que pueden clasificarse según su origen productivo, forma de producción, fertilidad y características morfológicas.

- Huevos comerciales o de consumo: no son fecundados, se producen por gallinas ponedoras en sistemas industriales y están destinados al consumo humano. Se pueden clasificar por tamaño y peso, y no son aptos para la incubación.
- Huevos fértiles: provienen de gallinas que han sido montadas por un gallo. Estos huevos contienen un embrión en desarrollo y son usados para incubación en programas de reproducción (Bellairs y Osmond, 2014).
- Huevos de gallina criolla: generalmente son de mayor tamaño, mayor grosor de cáscara y más resistentes. Tienen una mayor diversidad genética y son usados comúnmente en incubación artesanal o consumo local.
- Huevos con defectos estructurales: incluyen huevos deformes, con cáscara blanda, doble yema o sin yema. Aunque algunos pueden consumirse, no son aptos para la incubación por su alta probabilidad de falla embrionaria (Oke *et al.*, 2024).

1.8.4 Manejo del huevo fértil y almacenamiento

Larrosa (2017) indica que, antes del ingreso de los huevos fértiles a la incubadora se requiere un proceso de regulación gradual de la temperatura y la humedad, con el fin de reducir los choques térmicos que pueden favorecer la condensación de la cáscara y afectar su permeabilidad.

La tasa de eclosión será influenciada directamente por este proceso. Por su parte, Vélez (2018) menciona que el huevo fértil es categorizado como un organismo vivo, por lo que su almacenamiento, limpieza y manejo influirán directamente en la tasa de eclosión. El autor destaca que, para garantizar un correcto establecimiento de los huevos, se debe proporcionar una limpieza exhaustiva que asegure la desinfección y eliminación de patógenos alojados en la superficie del cascarón, para no comprometer la integridad del desarrollo del embrión.

1.9 Variables por evaluar en la incubación de huevos

1.9.1 Porcentaje de incubabilidad

Zamora Sánchez (2020) expresa que, para evaluar el éxito de la fertilidad con respecto a la incubación, el principal indicador es la proporción de pollos eclosionados con respecto al número de huevos que fueron introducidos, así como se muestra en la siguiente ecuación:

$$Eclosi3n\ total = \frac{\# \text{ nacidos vivos}}{\# \text{ de huevos introducidos}} \times 100$$

1.9.2 Tasa de Fertilidad

La fertilidad prueba la aptitud de la activaci3n del embri3n dentro del huevo, cabe recalcar que se debe tomar en cuenta los que nacieron y los que no lo lograron, empleando el siguiente c3lculo matem3tico que sirve como requisito para obtener la eficiencia de una incubadora (Moreira, 2018).

$$Fertilidad = \frac{\# \text{ de huevos f3rtiles}}{\# \text{ de huevos introducidos en la incubadora}} \times 100$$

1.9.3 Eficiencia de incubaci3n

Seg3n, Game Cruz (2021), las incubadoras eval3an par3metros relacionados para garantizar la efectividad y 3xito total del prototipo, los cuales son la fertilidad presente en los huevos y el porcentaje de nacimientos. Un indicador aceptable de eficiencia es alcanzar al menos un porcentaje de 65% o 70% de nacimientos sobre huevos f3rtiles colocados en incubaci3n.

$$NSF = \frac{Eclosi3n\ total}{Fertilidad} \times 100$$

1.9.4 Sistema de volteo

Las incubadoras con fines comerciales programan sus sistemas de volteos para huevos de gallina con par3metros espec3ficos que garanticen volteos cada hora, dando como resultado un desarrollo embrionario uniforme. Sin embargo, diversos estudios han determinado que las incubadoras artesanales con frecuencias cuyos volteos sean cada 4 o 5 horas son igual de viables y efectivos si se logra proporcionar el 3ngulo de inclinaci3n correspondiente, realizado de forma automatizada y constante que oscile entre 40° a 45° garantizando que no comprometa la integridad estructural de los huevos de gallina. Prabowo *et al.* (2024) desarrollaron un sistema de volteo con caracter3sticas autom3ticas para incubadoras artesanales que operados mediante motores manejados por microcontroladores con sistemas avanzados como PID y monitoreo IoT. Este dise2o permiti3 realizar volteos cada 4 a 5 horas, con un 3ngulo de inclinaci3n de 40° a 45°, sin generar estr3s mec3nico en los huevos. El sistema garantiza una ejecuci3n precisa y de forma constante, incrementando la tasa de eclosi3n y reduciendo los errores humanos que pueden ser riesgosos para el sistema.

1.10 Importancia de los componentes de la incubadora

1.10.1 Características de una incubadora comercial

Según Elibol, Peak y Brake (2002), las incubadoras comerciales están diseñadas para proporcionar condiciones ambientales que cumplen los parámetros requeridos por las especies avícolas, como temperatura, humedad, ventilación y volteo. Estos sistemas son controlados específicamente para garantizar el desarrollo embrionario de los huevos y alcanzar una alta tasa de eclosión.

Los diseños actuales de las incubadoras proporcionan eficiencia energética mediante el uso de materiales aislantes y fuentes de poder reguladas para garantizar altos estándares de bioseguridad, sensores y componentes de alta calidad (Coutts y Wilson, 2007).

1.10.2 Energía calórica de una incubadora

García y Lizeth (2023) señalan que, para alcanzar la temperatura adecuada en la incubación de huevos de gallina, es necesario implementar resistencias eléctricas, debido a su alta eficiencia en la generación de calor. Estas funcionan mediante el efecto Joule, que consiste en convertir la energía eléctrica en calor progresivo, elevando la temperatura del aire dentro de la incubadora hasta alcanzar el rango térmico óptimo para el desarrollo embrionario. Por otra parte, en incubadoras artesanales es más común la utilización de bombillas incandescentes como fuente principal de calor, debido a que representan un costo bajo, de la misma manera, proporciona iluminación y una cantidad estable de energía térmica que se distribuye por todo el interior de la incubadora.

1.10.3 Sensor de humedad

López *et al.* (2024) indican que actualmente existen muchos métodos para determinar la humedad que se encuentra en el suelo, con una clasificación que es directa e indirecta. Los métodos directos cuantifican el agua en una muestra específica de manera precisa, mientras que el indirecto brinda la medición de humedad en conjunto a otro parámetro que tiene carácter sencillo permitiendo calcular de manera más sencilla.

Los sensores resistivos determinan la cantidad de humedad del suelo midiendo la resistencia eléctrica entre dos puntos de un material. El método es implementado como parte del principio de que el agua es el principal factor que influye en la medición de las resistencias eléctricas del suelo (López *et al.*, 2024). Una variante de esta tecnología son los sensores cerámicos, los cuales funcionan mediante la descomposición de las moléculas de

agua que se encuentran depositadas sobre su superficie en iones de H⁺ y OH⁻, generando así una señal resistiva mientras se aplica un voltaje de corriente alterna como fuente de excitación (Vázquez *et al.*, 2021).

1.10.4 Sensor de temperatura

Jusman *et al.* (2024) establecen que el sensor comandado por Arduino es capaz de medir la temperatura y permite que el sistema prolongue condiciones ambientales internas de la incubadora de forma estable, gracias al control automatizado de los componentes como los ventiladores, el foco incandescente y el humidificador se puede controlar y ajustar rápidamente los parámetros establecidos en un rango óptimo entre los 37,5°C a 37,8°C.

1.10.5 Sistema de volteo

Franco (2023) menciona que los volteos de los huevos en la incubadora deben realizarse cada 4 a 5 horas, con un límite de volteos de cinco por día, máximo hasta el día 18 para evitar la afectación del embrión antes de su eclosión. Este procedimiento busca imitar las acciones naturales de la gallina.

González y Díaz (2016) encontraron que, para asegurar un desarrollo embrionario óptimo y prevenir malformaciones asociadas a un volteo incorrecto, se debe realizar con una inclinación recomendada que oscila entre 40° y 45°.

1.10.6 Fuente de poder alterna

Según Okonkwo *et al.* (2024), las incubadoras que dependen exclusivamente de la corriente eléctrica presentan limitaciones operativas, como: el alto costo de servicio eléctrico, suministro inestable de energía y una completa ausencia de electricidad en regiones remotas. De la misma manera, la energía proveniente de diversas fuentes puede integrarse de forma más sencilla si es combinada o alternada con baterías o fuentes externas de energía como paneles solares para satisfacer los requerimientos energéticos de las incubadoras de huevos avícolas.

1.11 Sistema Arduino

Chamara (2024) menciona que la tecnología de Arduino permite la obtención y recopilación de datos en tiempo real, con la capacidad de identificar patrones y tendencias con una calidad de alta resolución. Por su parte, Dutta y Anjum (2021) señalan que los sistemas automatizados que utilizan algoritmos de lógica en microcontroladores son capaces de modificar en tiempo real la temperatura, humedad, nebulizadores, ventiladores, brillos de

LED y sensores con el fin de lograr condiciones óptimas de incubación. Además, Arduino se destaca por su bajo costo, amplio soporte para los usuarios y una programación sencilla convirtiéndola en una opción excelente para la implementación en sistemas educativos y de prototipos (Sadek, Kamal y Shehata, 2024).

Sarcos y Antonio (2015) señalan que la placa Arduino UNO cuenta con los componentes necesarios para alimentar el microcontrolador. Sin embargo, para programar y automatizar sus funciones, se requiere el uso de un computador.

1.11.1 Elementos que conforman la placa Arduino

Karl Söderby (2024) menciona que la placa Arduino UNO está conformado por componentes claves que permiten su óptimo funcionamiento y está dividido por las siguientes secciones: microcontroladores, puerto USB, chip USB a serial, pines digitales, pines de 5V/3.3V, GND y VIN.

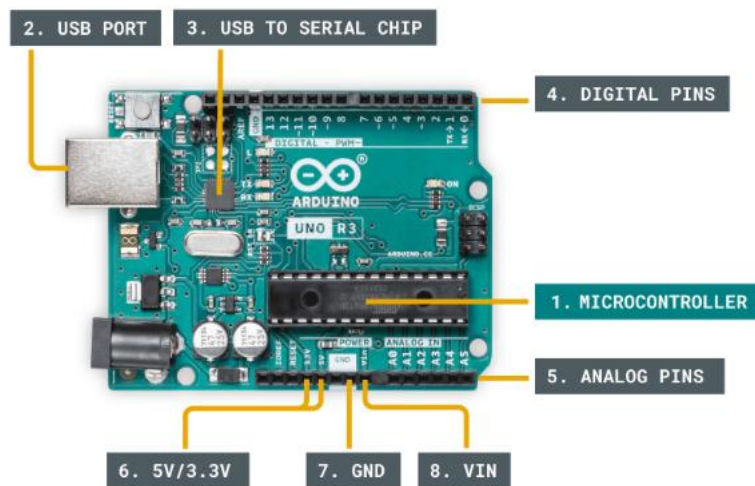


Figura 2. Placa de Arduino UNO y sus componentes

Fuente:(Karl Söderby, 2024).

1.11.2 Implementación de la tecnología Arduino en el sector agropecuario

Cuenca y Niño (2021) señalan que, actualmente, los avances tecnológicos desempeñan un papel fundamental en la toma de decisiones múltiples campos profesionales, incluido el sector agropecuario. La influencia de la tecnología es evidente en investigaciones científicas y sistemas con un enfoque técnico y automatizado en los campos agrícolas y actividades pecuarias.

En este contexto, la placa Arduino se destaca por su flexibilidad, facilidad de adquisición y un bajo consumo energético. Gracias a estas características, es ampliamente

utilizada en proyectos educativos, prototipos funcionales y sistemas agropecuarios con requerimientos técnicos específicos.

CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Caracterización del área de estudio

El estudio se realizó en la provincia de Santa Elena, cantón Salinas, barrio Carbo Viteri ubicado con coordenadas de $2^{\circ}12'31''$ S, y longitud $80^{\circ}57'35''$ W ubicado a 10 msnm.

Las condiciones climáticas presentaron temperaturas que oscilaron entre los 27°C y 28°C , así mismo las temperaturas mínimas oscilaron entre los 22°C y 23°C ; los niveles de humedad relativa registraron entre los 65% y 100%, dependiendo de la hora del día y sus condiciones específicas; durante el período de observación se registró aproximadamente de 12 a 12.5 horas de luz diaria; con respecto a la precipitación se registraron precipitaciones acumuladas con niveles promedios de 10 y 18 mm, con picos altos de 19 a 40 mm (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador - INAMHI, 2025)



Figura 3. Localización del lugar de la investigación.
Fuente: (Google Earth, 2025).

2.2 Materiales y equipos

Materiales del cuerpo de la incubadora

- Humidificador
- ventiladores 5V
- Motor 5V
- Foco de 100W
- módulos de relevador
- Papel aluminio
- Alambre
- Boquilla para foco

- Clavos
- Tornillos
- Cables
- Cinta aislante
- Brida de plástico
- Silicón
- Interruptor
- Sensor humedad y temperatura
- Cubetas para huevos con capacidad para 30 huevos
- Placa Arduino UNO
- Protoboard
- Cables hembra/macho
- Cables macho/macho
- Cables hembra/hembra
- Pines rectos machos

Instrumentos/herramientas

- Martillo
- Taladro
- Destornillador
- Sierra
- Calculadora
- Cautín
- Pistola de silicón

Insumos

Los insumos macros implementados fueron los siguientes: agua, gramera digital y energía eléctrica.

Material de recolección de datos

- Computador
- Laptop
- Cámara fotográfica
- Cuaderno de notas
- Marcadores y esferográficos

- Linterna LED

2.2.1 *Materiales informáticos*

- Tinkercad
- AutoCAD
- Arduino Uno Cloud
- Zotero
- Office (Word, Excel)

2.2.2 *Material biológico*

En la presente investigación se utilizó huevos de gallina criolla con una edad de 1 a 3 días para obtener resultados óptimos en la investigación.

2.3 Desarrollo del prototipo experimental

Para el experimento se consideró las siguientes fases:

2.3.1 *Fase 1: diseño de la incubadora artesanal en AutoCAD y estructuración del sistema implementado con tecnología Arduino.*

El diseño mecánico de la incubadora artesanal se desarrolló considerando sus particularidades y componentes electrónicos para garantizar fidelidad y la implementación AutoCAD, logrando plasmar un modelo que tenga la capacidad de 40 huevos de gallina.

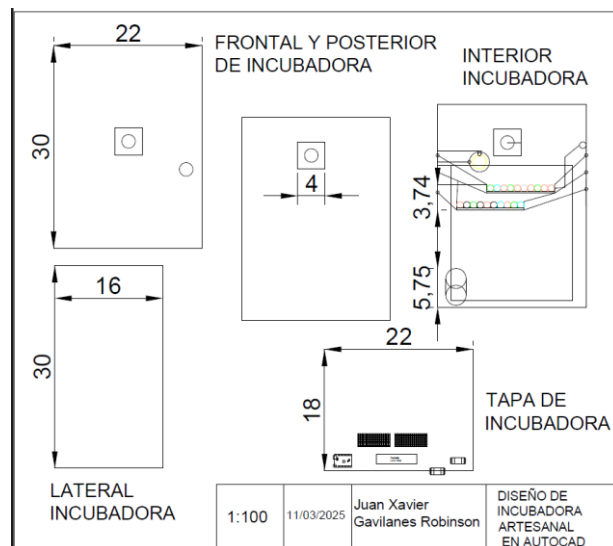


Figura 4. Plano estructural de la incubadora artesanal en AutoCAD.

Fuente: (AutoCAD, 2025).

2.3.2 *Ensamblaje de la incubadora artesanal*

La incubadora artesanal fue diseñada y construida, tomando como base los conocimientos de la asignatura de Física de Fluidos y Electromagnetismo, en la que se adquirió las bases para el desarrollo técnico y funcional de la incubadora artesanal. A continuación, se detalla el desarrollo del ensamblaje:

- Como caja aislante, se utilizó, la estructura de una máquina de coser, la cual tenía una altura de 30 cm, 22 cm de ancho y 18 cm de profundidad.
- La tapa superior de la estructura fue reforzada y en ella se instalaron los sistemas que funcionaban directamente con la placa de Arduino, los Protoboard y los módulos de relevador.
- Para proporcionar un rebote del calor, mantener una temperatura uniforme y así mejorar la eficiencia energética interna, se colocó papel aluminio en las paredes.
- Se perforó un agujero en forma de cuadrado para incluir un ventilador y un extractor de aire para mantener la temperatura y la humedad dentro de la incubadora en valores continuos.
- Se colocaron dos cubetas con una capacidad de 30 huevos cada una de manera flotante, sostenida mediante cuerdas para facilitar su movimiento, la cual tenía conectado un motor con unas varas metálicas para proporcionar el grado de inclinación de las cubetas.
- También se proporcionó una fuente de calor con una boquilla y un foco incandescente sostenido con una estructura de agarre a la pared y al techo.
- En el piso de la incubadora se colocó el humidificador para proporcionar la humedad adecuada.



Figura 5. Montaje estructural de la parte mecánica del prototipo de incubadora artesanal.

Fuente: Autor.

2.3.3 *Diseño electrónico del Sistema Arduino de la incubadora artesanal*

El sistema de control basado en el sistema Arduino se desarrolló mediante la simulación obtenida de la programación y diseño de TinkerCAD, lo que posibilitó un óptimo diseño electrónico con características precisas y funcionales. El sistema se configuró para controlar y regular de manera automática las condiciones ambientales internas de la incubadora, como lo son la temperatura, volteo de huevos y la humedad que son aspectos fundamentales para un proceso de incubación exitoso.

El sistema de control automatizado permite el control con la mínima intervención humana, posibilitando la eficiencia energética y garantizando condiciones estables y seguras durante el período de incubación.

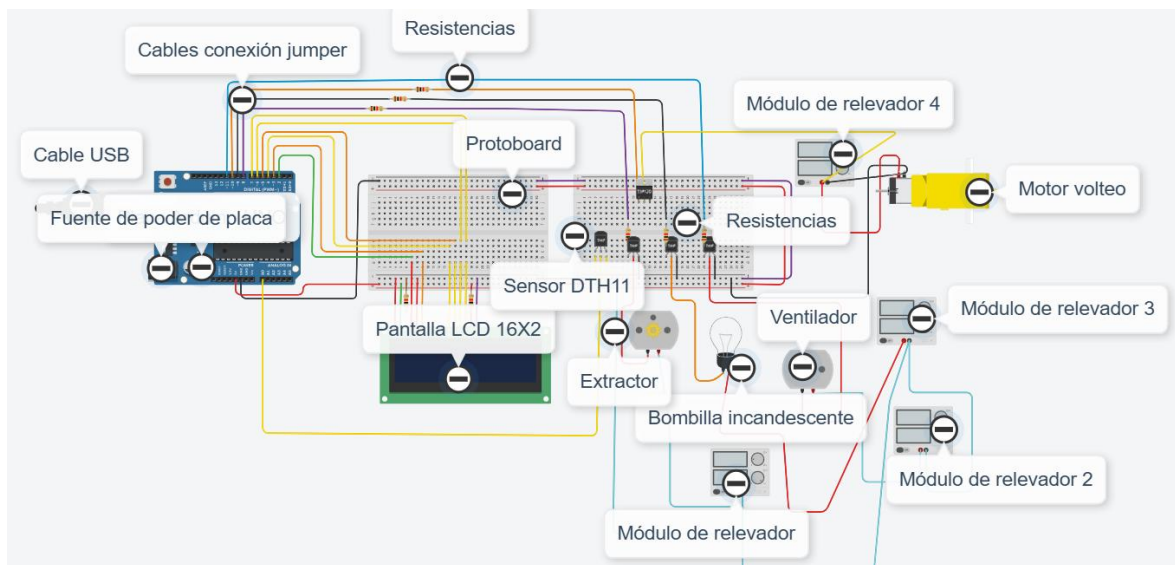


Figura 6. Diseño y configuración del sistema Arduino en TinkerCAD.

Fuente: TinkerCAD (2025).

2.3.4 *Funciones de los componentes del sistema Arduino*

La implementación del sistema Arduino con sus respectivos componentes se detallan en el prototipo para la incubadora artesanal:

- **Tarjeta Arduino UNO:** placa con circuitos integrados con la función de grabar y ejecutar instrucciones mediante el lenguaje de programación, permitiendo el control de luces, motores, sensores y otros dispositivos. Es ampliamente implementada en la creación de prototipos, automatización de procesos y el desarrollo de proyectos interactivos de forma sencilla e intuitiva.

- **Protoboard:** es una placa reutilizable que permite construir e implementar circuitos electrónicos sin necesidad de soldar. Posee orificios localizados en patrones horizontales y verticales que son conectados internamente con el fin de realizar conexiones rápidas y sencillas entre componentes.
- **Pantalla LCD 16X2:** una pantalla LCD 16x2 es un dispositivo pequeño que utiliza tecnología de cristal líquido, lo cual permite mostrar y procesar información ubicada en dos líneas de texto, con una capacidad de dieciséis caracteres por línea. Este tipo de pantalla es muy implementado en proyectos electrónicos y de automatización, optimizando la visualización de datos alfanuméricos obtenidos de sensores, microcontroladores y otros componentes.
- **Sensor DHT11 de temperatura y humedad:** sensor digital utilizado para medir la temperatura y humedad relativa presente en el ambiente. Funciona mediante un sensor capacitivo y un termistor. Es ampliamente utilizado por su facilidad y su alta compatibilidad con otros dispositivos electrónicos, ya que está equipado con un pin de datos que facilita la información de manera digital.
- **Módulos de relevador:** es un componente electrónico que cumple la función de interrumpir y controlar electrónicamente la activación y desactivación de los dispositivos de la placa como lo son los focos, bombas, ventiladores y resistencias. Recibe y emite una señal digital proveniente desde la placa Arduino, la cual activa un relevador electromecánico u óptico dentro del módulo, lo que permite el paso o corta la corriente en un circuito externo.
- **Humidificador:** este cumple la función de aumentar la humedad en espacios interiores secos, con el fin de que este pueda aumentar o llegar a los niveles de humedad relativa en el aire.
- **Motor eléctrico:** dispositivo electromecánico con la función de convertir la energía eléctrica en energía mecánica a través de la implementación de campos magnéticos que son generados por la corriente eléctrica. Su funcionamiento enlaza el campo magnético y un conductor eléctrico para generar fuerza, lo que genera el movimiento rotatorio característico del eje del motor.
- **Ventilador de 5 voltios:** dispositivo electromecánico que funciona mediante la alimentación de corriente eléctrica continua (DC) de 5V, su diseño tiene la capacidad de mover aire y proporcionar ventilación en espacios reducidos. Su propósito es lograr una

temperatura estable, establecer un nivel de humedad óptimo y una ventilación de aire que se enfoque en sistemas cerrados como las incubadoras.

- **Pulsadores:** dispositivo eléctrico que actúa como paso de corriente, lo que permite o interrumpe el paso de electricidad del circuito mientras esté presionado. Funciona como interruptor momentáneo, mientras se ejerce una presión, sino se vuelve a su estado original.
- **Resistencia para pantalla LCD de 1k-ohmio:** Al estar fabricada por carbón y materiales que resisten la electricidad, estos actúan como un obstáculo cuando pasa la corriente eléctrica. En otras palabras, se opone al paso de la corriente eléctrica para que el sistema no sufra sobrecargas.
- **Cable de datos USB:** conector con la capacidad para enlazar componentes electrónicos, su principal función es la de proporcionar energía a la placa Arduino o también presenta la capacidad para procesar datos e instalar la programación proveniente de una computadora.
- **Cables de conexión jumpers:** son cables flexibles que presentan conectores en los extremos que se implementan como conexiones temporales entre componentes electrónicos como en Protoboard o se conectan directamente en placas como Arduino.
- **Foco incandescente de 110 voltios:** artefacto con la capacidad de brindar una alta capacidad calórica.
- **Boquilla de porcelana:** es un accesorio resistente al calor, fabricado con material cerámico (porcelana), lo que permite su implementación como soporte y aislante térmico en conexiones eléctricas de resistencias calefactoras, su principal función es la protección de las conexiones eléctricas del calor excesivo y gracias a su alta resistencia térmica evitar cortocircuitos.

2.3.5 Funcionamiento de la incubadora

Comandos

Para el funcionamiento automático de la incubadora, se debe crear comandos en TinkerCAD que integren la placa Arduino UNO con la fuente de calor, sensores y componentes para la temperatura y humedad, sistema de volteo y el ventilador. Las instrucciones cuentan con parámetros controlados que indican los intervalos de volteos y el porcentaje requerido para los factores ambientales.

Procedimientos para la ubicación e implementación de la incubadora

- Se ubicó a la incubadora en un lugar en el que se controlaran los factores ambientales externos.
- Se aseguraron las conexiones eléctricas con voltaje directo para evitar algún cortocircuito o problemas con cables quemados del sistema.
- Se instaló el humidificador dentro de la incubadora, en la parte inferior, el ventilador en la parte central y el extractor de aire en la parte de arriba.
- Se limpió los huevos y se ubicaron en el interior de la incubadora artesanal.
- Se supervisó regularmente el desempeño del sistema, asegurando que los parámetros ambientales internos de la incubadora se encuentren dentro del rango establecido.

2.3.6 Fase 2: proceso de preparación de incubadora, selección y limpieza

- Se procedió a la desinfección integral de la incubadora artesanal con tecnología Arduino. Para ello, se implementó alcohol etílico al 70% para garantizar una reducción de agente microbióticos y patógenos en las superficies internas de la incubadora. Esta etapa es indispensable para evitar contaminaciones cruzadas o que puedan influir en el desarrollo embrionario durante la incubación.
- Posteriormente, se procedió al precalentamiento y se calibró el sistema electrónico para garantizar un óptimo desempeño del proyecto. El procedimiento se realizó instalando una pantalla LCD 16X2 cuya función es proporcionar información sobre el microambiente dentro de la incubadora, con instrucciones establecidas en la programación de TinkerCAD. El proceso posibilitó la verificación previa que aseguró la óptima respuesta del sistema automatizado ante variaciones que pudieran ocurrir dentro de la incubadora.
- Se ejecutó una etapa de selección de peso entre 55-57 gr para mantener uniformidad y que no influya en la tasa de éxito del proyecto.
- Se realizó una limpieza en seco con el fin de eliminar residuos microscópicos sin alterar la capa protectora natural del huevo (cutícula), eliminando manchas de heces y restos de sangre, proporcionando una técnica menos invasiva que no manifieste riesgos de patógenos hacia el interior de los huevos a través de los poros del cascarón.



Figura 7. Acondicionamiento de la incubadora artesanal.

Fuente: Autor.

2.3.7 *Diseño electrónico del Sistema Arduino de la incubadora artesanal*

El sistema de control basado en el sistema Arduino se desarrolló mediante la simulación obtenida de la programación y diseño de TinkerCAD, lo que posibilitó un óptimo diseño electrónico con características precisas y funcionales. El sistema se configuró para controlar y regular de manera automática las condiciones ambientales internas de la incubadora, como lo son la temperatura, volteo de huevos y la humedad que son aspectos fundamentales para un proceso de incubación exitoso.

El sistema de control automatizado permite el control con la mínima intervención humana, posibilitando la eficiencia energética y garantizando condiciones estables y seguras durante el período de incubación.

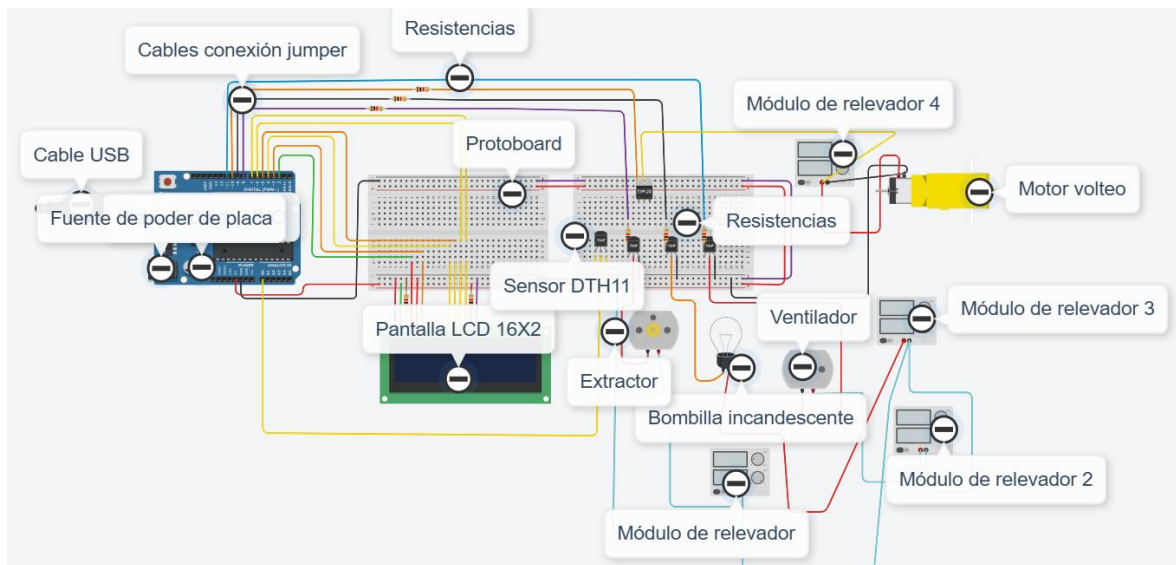


Figura 8. Diseño y configuración del sistema Arduino en TinkerCAD.

Fuente: TinkerCAD (2025).

2.3.8 *Funciones de los componentes del sistema Arduino*

La implementación del sistema Arduino con sus respectivos componentes se detallan en el prototipo para la incubadora artesanal:

- **Tarjeta Arduino UNO:** placa con circuitos integrados con la función de grabar y ejecutar instrucciones mediante el lenguaje de programación, permitiendo el control de luces, motores, sensores y otros dispositivos. Es ampliamente implementada en la creación de prototipos, automatización de procesos y el desarrollo de proyectos interactivos de forma sencilla e intuitiva.
- **Protoboard:** es una placa reutilizable que permite construir e implementar circuitos electrónicos sin necesidad de soldar. Posee orificios localizados en patrones horizontales y verticales que son conectados internamente con el fin de realizar conexiones rápidas y sencillas entre componentes.
- **Pantalla LCD 16X2:** una pantalla LCD 16x2 es un dispositivo pequeño que utiliza tecnología de cristal líquido, lo cual permite mostrar y procesar información ubicada en dos líneas de texto, con una capacidad de dieciséis caracteres por línea. Este tipo de pantalla es muy implementado en proyectos electrónicos y de automatización, optimizando la visualización de datos alfanuméricos obtenidos de sensores, microcontroladores y otros componentes.
- **Sensor DHT11 de temperatura y humedad:** sensor digital utilizado para medir la temperatura y humedad relativa presente en el ambiente. Funciona mediante un sensor capacitivo y un termistor. Es ampliamente utilizado por su facilidad y su alta compatibilidad con otros dispositivos electrónicos, ya que está equipado con un pin de datos que facilita la información de manera digital.
- **Módulos de relevador:** es un componente electrónico que cumple la función de interrumpir y controlar electrónicamente la activación y desactivación de los dispositivos de la placa como lo son los focos, bombas, ventiladores y resistencias. Recibe y emite una señal digital proveniente desde la placa Arduino, la cual activa un relevador electromecánico u óptico dentro del módulo, lo que permite el paso o corta la corriente en un circuito externo.
- **Humidificador:** este cumple la función de aumentar la humedad en espacios interiores secos, con el fin de que este pueda aumentar o llegar a los niveles de humedad relativa en el aire.

- **Motor eléctrico:** dispositivo electromecánico con la función de convertir la energía eléctrica en energía mecánica a través de la implementación de campos magnéticos que son generados por la corriente eléctrica. Su funcionamiento enlaza el campo magnético y un conductor eléctrico para generar fuerza, lo que genera el movimiento rotatorio característico del eje del motor.
- **Ventilador de 5 voltios:** dispositivo electromecánico que funciona mediante la alimentación de corriente eléctrica continua (DC) de 5V, su diseño tiene la capacidad de mover aire y proporcionar ventilación en espacios reducidos. Su propósito es lograr una temperatura estable, establecer un nivel de humedad óptimo y una ventilación de aire que se enfoque en sistemas cerrados como las incubadoras.
- **Pulsadores:** dispositivo eléctrico que actúa como paso de corriente, lo que permite o interrumpe el paso de electricidad del circuito mientras esté presionado. Funciona como interruptor momentáneo, mientras se ejerce una presión, sino se vuelve a su estado original.
- **Resistencia para pantalla LCD de 1k-ohmio:** Al estar fabricada por carbón y materiales que resisten la electricidad, estos actúan como un obstáculo cuando pasa la corriente eléctrica. En otras palabras, se opone al paso de la corriente eléctrica para que el sistema no sufra sobrecargas.
- **Cable de datos USB:** conector con la capacidad para enlazar componentes electrónicos, su principal función es la de proporcionar energía a la placa Arduino o también presenta la capacidad para procesar datos e instalar la programación proveniente de una computadora.
- **Cables de conexión jumpers:** son cables flexibles que presentan conectores en los extremos que se implementan como conexiones temporales entre componentes electrónicos como en Protoboard o se conectan directamente en placas como Arduino.
- **Foco incandescente de 110 voltios:** artefacto con la capacidad de brindar una alta capacidad calórica.
- **Boquilla de porcelana:** es un accesorio resistente al calor, fabricado con material cerámico (porcelana), lo que permite su implementación como soporte y aislante térmico en conexiones eléctricas de resistencias calefactoras, su principal función es la protección de las conexiones eléctricas del calor excesivo y gracias a su alta resistencia térmica evitar cortocircuitos.

2.3.9 Funcionamiento de la incubadora

Comandos

Para el funcionamiento automático de la incubadora, se debe crear comandos en TinkerCAD que integren la placa Arduino UNO con la fuente de calor, sensores y componentes para la temperatura y humedad, sistema de volteo y el ventilador. Las instrucciones cuentan con parámetros controlados que indican los intervalos de volteos y el porcentaje requerido para los factores ambientales.

Procedimientos para la ubicación e implementación de la incubadora

- Se ubicó a la incubadora en un lugar en el que se controlaran los factores ambientales externos.
- Se aseguraron las conexiones eléctricas con voltaje directo para evitar algún cortocircuito o problemas con cables quemados del sistema.
- Se instaló el humidificador dentro de la incubadora, en la parte inferior, el ventilador en la parte central y el extractor de aire en la parte de arriba.
- Se limpió los huevos y se ubicaron en el interior de la incubadora artesanal.
- Se supervisó regularmente el desempeño del sistema, asegurando que los parámetros ambientales internos de la incubadora se encuentren dentro del rango establecido.

2.3.10 Fase 2: proceso de preparación de incubadora, selección y limpieza

- Se procedió a la desinfección integral de la incubadora artesanal con tecnología Arduino. Para ello, se implementó alcohol etílico al 70% para garantizar una reducción de agente microbióticos y patógenos en las superficies internas de la incubadora. Esta etapa es indispensable para evitar contaminaciones cruzadas o que puedan influir en el desarrollo embrionario durante la incubación.
- Posteriormente, se procedió al precalentamiento y se calibró el sistema electrónico para garantizar un óptimo desempeño del proyecto. El procedimiento se realizó instalando una pantalla LCD 16X2 cuya función es proporcionar información sobre el microambiente dentro de la incubadora, con instrucciones establecidas en la programación de TinkerCAD. El proceso posibilitó la verificación previa que aseguró la óptima respuesta del sistema automatizado ante variaciones que pudieran ocurrir dentro de la incubadora.
- Se ejecutó una etapa de selección de peso entre 55-57 gr para mantener uniformidad y que no influya en la tasa de éxito del proyecto.

- Se realizó una limpieza en seco con el fin de eliminar residuos microscópicos sin alterar la capa protectora natural del huevo (cutícula), eliminando manchas de heces y restos de sangre, proporcionando una técnica menos invasiva que no manifieste riesgos de patógenos hacia el interior de los huevos a través de los poros del cascarón.



Figura 9. Acondicionamiento de la incubadora artesanal.

Fuente: Autor.

2.3.11 Fase 3: inicio de la incubación

Una vez verificados y establecidos los parámetros que son necesarios para la incubación adecuada, a continuación, se colocó los huevos en la incubadora artesanal diseñada con TinkerCAD y AutoCAD, que fue equipada con un sistema del tipo automatizada con tecnología Arduino. Esta fase comenzó el proceso experimental, asegurando condiciones ambientales y mecánicas óptimas para el desarrollo embrionario.

- **Temperatura:** la temperatura interna de la incubadora artesanal durante los ensayos se mantuvo de manera constante oscilando entre los 37.5°C a los 38°C (100 °F o 100.4 °F), valor que es regulado automáticamente mediante los sensores digitales que han sido conectados al microcontrolador con anterioridad a través de Arduino UNO y programados previamente con Tinkercad en el código del sistema.
- **Humedad relativa:** mediante el humidificador incorporado al diseño, se logró controlar la humedad relativa con un rango establecido entre el 50% y el 60% de forma continua durante todo el ciclo de incubación de los huevos. La lectura fue proporcionada mediante el sensor DHT11 y sus datos fueron interpretados y gestionados con su respectivo software.
- **Volteo automático:** el volteo de los huevos de gallina fue realizado de manera automática, implementando un motor que funciona con 5V de corriente alterna que es controlado por el sistema Arduino, ejecutando cuatro movimientos diarios con una separación de 5 horas entre volteo, establecido con anterioridad en el código de

programación. El mecanismo proporcionó la orientación adecuada de los embriones y evitar la adherencia a la membrana interior del cascarón en todo el proceso de evaluación.



Figura 10. Comienzo de la incubación.
Fuente: Autor.

2.4 Variables de estudio

Las variables experimentales de la incubadora artesanal implementada con la tecnología Arduino y Tinkercad son las siguientes:

2.4.1 Incubabilidad o Eclosión total

Se evaluó el éxito de la fertilidad en relación con la incubación tomando en cuenta como requerimiento principal la cantidad de polluelos que lograron eclosionar en comparación con el número total de huevos que fueron introducidos en la incubadora. Mediante la fórmula planteada, el cálculo determinó el porcentaje de eclosión total o incubabilidad, valor que reflejó el nivel de efectividad logrado durante el proceso de incubación.

2.4.2 Eficiencia de incubadora

La eficiencia del porcentaje que presentó la eclosión total o incubabilidad. La fórmula aplicada permitió establecer el nivel de efectividad que se obtuvo durante el proceso de incubación, estableciendo la relación con respecto a la proporción de nacimientos con los huevos que habían sido confirmados como fértiles, considerando que una mayor tasa de eclosión significa un mayor desempeño del sistema.

Análisis económico

Se calculó el costo de los materiales que fueron implementados en todo proceso del ensamblaje de la incubadora artesanal como en la incorporación de la tecnología Arduino con Tinkercad.

CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Incubadora artesanal prototipo para huevos de gallina ensamblada con tecnología Arduino

El prototipo de la incubadora artesanal fue ensamblado implementando materiales de origen mecánico como electrónicos, según se observa en la figura 9. La estructura tiene un diseño cuya forma permite la integración eficiente con el sistema de control basado en tecnología Arduino. El sistema automatizado permitió mantener de manera precisa y continua los parámetros ambientales esenciales como la temperatura, el volteo de huevos y la humedad relativa dentro de los rangos óptimos para la incubación. Mediante la regulación y corrección constante se consiguió un microambiente que sea estable y adecuado que permita el desarrollo embrionario, favoreciendo el proceso de incubación.

Jara (2019) menciona que en su prototipo de diseño de incubadora artificial logró implementar sistemas que son capaces de proporcionar el control de parámetros deseados dentro de la cámara de incubación, obteniendo como resultado una estructura que es capaz de garantizar un sistema inteligente que cumple con los rangos establecidos para el desarrollo embrionario del huevo de gallina.



Figura 11. Disposición de componentes electrónicos que integran el sistema Arduino en el prototipo de incubadora artesanal.

Fuente: Autor

3.2 Porcentaje de huevos eclosionados y eficiencia de incubadora

La Tabla 1 explica el número total de huevos ingresados en la incubadora, clasificándolos entre huevos fértiles, infértiles y aquellos que resultaron en nacimientos

vivos. La Tabla 2 presenta los valores promedio correspondientes al porcentaje de eclosión en su totalidad junto a la eficiencia obtenida por el prototipo de incubadora artesanal.

Comparando ambos casos, se evidencia que la fertilidad alcanzada fue mayor en el prototipo de incubación de mi auditoría con un valor que refleja 77.78% fue superior a los valores que refleja el estudio de Quituzaca (2015) con un valor de 58% y una eficiencia total de 65.33% frente al 59.88%, lo cual indica que en este parámetro estudiado, el prototipo de mi tesis fue levemente inferior, lo que puede atribuirse a factores como pérdidas embrionarias internas o condiciones ambientales que pueden mejorar a futuro.

Santamaría Vera e Intriago (2025) expresan que el precalentamiento influye en gran medida en la reducción de la mortalidad de los huevos, de tal manera que, si este período se incrementa, la cantidad de mortalidad embrionaria aumenta. Considerando la investigación, es de vital importancia considerar solamente los huevos que presenten un margen entre 2 a 3 días para garantizar que los huevos fértiles introducidos en la incubadora sean capaces de eclosionar.

Franco Sánchez (2023) presenta datos en los que determinó el porcentaje de fertilidad que obtuvo como resultado el 90% y la tasa de natalidad fue del 89%, con una efectividad del 99%, considerando un éxito su prototipo de incubadora artificial.

Tabla 1. Resultados de la incubadora artesanal implementada con tecnología Arduino, unidades.

Ensayos	Huevos introducidos en la incubadora	Huevos infértiles	Huevos fértiles que no eclosionaron	Nacidos vivos
1	30	8	13	11
2	30	6	8	16
3	30	5	8	17
Total	90	19	29	44

Tabla 2. Porcentajes de la evaluación en la incubadora de eclosión total, fertilidad y eficiencia (%).

Ensayos	Eclosión total (%)	Fertilidad (%)	Eficiencia (%)
1	36,67	73,33	50,00
2	53,33	80,00	66,67
3	56,67	90,00	62,96
Promedio	48,89	81,11	59,88

3.3 Costo de producción

A continuación, se presenta una descripción detallada de los costos que corresponden al sistema mecánico de la incubadora artesanal, así como el sistema electrónico que fueron implementados mediante tecnología Arduino. Detallar esta información es esencial para evaluar la viabilidad técnica y económica del prototipo, lo cual permite identificar con mayor facilidad los componentes con mayor inversión y simplificando el proceso comparativo de selección con otros modelos de incubadoras comerciales o artesanales.

3.3.1 Valoración económica de los materiales utilizados en el sistema mecánico de la incubadora artesanal

El costo que representaron los materiales mecánicos utilizados para ensamblar el prototipo de incubadora artesanal se los detalla en la Tabla 3, un total de gastos de \$65.77.

Tabla 3. Costos de la parte mecánica de la incubadora artesanal.

Material	Cantidad	Costo unitario (\$)	Costo total (\$)
Tornillos de presión	6	0.50	3.00
Papel aluminio	1	1.25	1.25
Cuerda	6	0.13	0.78
Brida de plástico	30		0.25
Abrazaderas de plástico	10		1.75
Cinta doble cara	1	2.28	2.28
Gancho de tornillo	10	0.31	3.11
Alambre	5	0.27	1.35
Estructura de madera	1	50.00	50.00
Aislante térmico	1	2.00	2.00
Total			65.77

3.3.2 Estimación del costo de los materiales electrónicos implementados en el sistema Arduino en la incubadora artesanal

La Tabla 4, muestra el total de los costos que representó cada componente del sistema de Arduino que implementó en el proyecto de la incubadora artesanal, sumando un total de \$82.65.

Tabla 4. Costo de los componentes electrónicos del sistema Arduino en la incubadora artesanal.

Material	Cantidad	Costo unitario (\$)	Costo total (\$)
Tarjeta Arduino	1	13.00	13.00
Protoboard	2	3.00	6.00
Sensor DHT11	1	4.00	4.00
Ventilador de 5V	2	3.60	7.20
Humidificador	1	14.00	14.00
Motor eléctrico	2	2.00	4.00
Boquilla de porcelana	1	2.50	2.50
Bombilla de 110 v	1	1.50	1.50
Cables de datos USB	1	1.50	1.50
Pantalla LCD 16x2	1	5.00	5.00
Relevador	4	3.75	15.00
Cables hembras	7	0.10	0.70
Cables machos	13	0.10	1.30
Cables hembra/macho	30	0.10	3.00
Resistencias	10	0.02	0.20
Cable individual (m)	3	1.25	3.75
Total			82.65

3.3.3 Total, gastos de la investigación

La Tabla 5, detalla el costo total implicado en la ejecución del proyecto, considerando el valor del consumo eléctrico de la incubadora. La inversión resulta más económica en comparación a lo que reporta Game (2021), con un precio total de \$158.05, al construir y evaluar una incubadora artesanal de especificaciones similares.

Tabla 5. Total de gastos de inversión de la incubadora artesanal implementada con tecnología Arduino.

	Cantidad	Costo unitario (\$)	Total (\$)
Valor económico de los materiales del sistema mecánico de la incubadora artesanal		65.77	65.77
Valor económico de los materiales electrónicos del sistema Arduino		82.65	82.65
Consumo eléctrico	81 kWh	0.09	7.29
Total			155.71

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- La incubadora artesanal se diseñó y desarrolló mediante tecnología Arduino y Tinkercad, lo que permitió supervisar y controlar los parámetros ambientales necesarios. Esto favoreció un porcentaje de incubación y eclosión de los huevos de gallina dentro del rango aceptable para un prototipo en fase experimental.
- Los datos obtenidos reflejaron una tasa promedio de 48.89% en la tasa de eclosión y una eficiencia total del 59.88%, resultados aceptables en proyectos en etapa de prueba.

Recomendaciones

- Motivar y guiar a los estudiantes a que se involucren en proyectos tecnológicos con enfoque agropecuario para fomentar su creatividad y fortalecer su interés, vinculándolos con la sociedad y con el campo. Esto permite generar soluciones prácticas, viables y sustentables que aporten el desarrollo del sector mediante propuestas frescas y funcionales.
- Integrar tecnologías compatibles con Arduino permite automatizar funciones esenciales del sistema de incubación. A su vez, implementar un respaldo de energía eléctrica que garantice el funcionamiento continuo ante los posibles cortes de luz, lo que aporta estabilidad y confiabilidad al proyecto.
- Es fundamental la selección de gallinas ponedoras cuyos huevos fértiles cumplan con los estándares adecuados, así como mantener un control de los parámetros de temperatura y humedad relativa de la incubadora para evitar muertes embrionarias. Además, se debe realizar una limpieza y desinfección minuciosa al finalizar cada ciclo para reducir riesgos de infección y garantizar la seguridad y continuidad del proceso.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta Lozano, N.V. *et al.* (2018) 'Producción de pollos criollos con una incubadora artesanal de huevos en la comuna San Vicente cantón Santa Elena'. Available at: <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/7817> (Accessed: 7 June 2025).
- Ajakaiye J, J., Pérez B, A. and Mollineda T, A. (2011) 'Effects of high temperature on production in layer chickens supplemented with vitamins C and E', *Revista MVZ Córdoba*, 16(1), pp. 2283–2291. Available at: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0122-02682011000100003&lng=en&nrm=iso&tlng=en (Accessed: 1 June 2025).
- Alvear Suárez, G.M. (2022) *Análisis documental sobre la comparación de características morfométricas y fanerópticas de gallinas criollas de tres regiones del Ecuador*. bachelorThesis. La Libertad: Universidad Estatal Península de Santa Elena, 2022. Available at: <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/7539> (Accessed: 10 June 2025).
- AutoCAD (2025) 'AutoCAD'. Autodesk. Available at: <https://www.autodesk.com/products/autocad/>.
- Bellairs, R. and Osmond, M. (2014) 'Chapter 1 - The Hen's Egg and its Formation', in R. Bellairs and M. Osmond (eds) *Atlas of Chick Development (Third Edition)*. Boston: Academic Press, pp. 1–6. Available at: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384951-9.00001-0>.
- Calderón, R.S. (2017) 'DESARROLLO Y CARACTERIZACIÓN DE MATERIAL COMPUESTO MATRIZ YESO PARA INCUBADORA DE HUEVOS DE AVE DE CORRAL ENERGÉTICAMENTE SUSTENTABLE PARA ZONAS MARGINADAS DEL ESTADO DE CAMPECHE'.
- Chamara, N. (2024) 'Next-generation Crop Monitoring Technologies: Case Studies about Edge Image Processing for Crop Monitoring and Soil Water Property Modeling via Above-Ground Sensors', *Dissertations and Doctoral Documents from University of Nebraska-Lincoln*, 2023– [Preprint]. Available at: <https://digitalcommons.unl.edu/dissunl/110>.
- CONAVE (2022) *El sector avicultor y su aporte en la generación de fuentes de empleo en el Ecuador*. - CONAVE. Available at: <https://conave.org/el-sector-avicultor-y-su-aporte-en-la-generacion-de-fuentes-de-empleo-en-el-ecuador/> (Accessed: 7 June 2025).
- Corona Jose (2013) 'Efecto del estrés calórico sobre la fisiología y calidad del huevo en gallinas ponedoras'.
- Coutts, J. A. and Wilson, G. C. (2007) *Optimum Egg Quality: A Practical Approach*. Revised Edition. Sheffield, UK: 5M Publishing.
- Cuéllar, J. (2021) 'Incubación: obtención de pollitas para puesta y de pollitos para carne', *Veterinaria Digital - Avicultura, Porcicultura, Rumiantes y Acuicultura*. Available at:

<http://https%253A%252F%252Fwww.veterinariadigital.com%252Farticulos%252Fincubacion-en-gallinas-ponedoras%252F> (Accessed: 1 June 2025).

Cuenca Puentes, J.F. and Niño Cervera, H.G. (2021) *Diseño, desarrollo e implementación de una solución tecnológica basado en un sistema de información para el control de ingreso y salida de equipos de cómputo en Agropecuaria Alfa SAS 2021*. PhD Thesis. Available at: <https://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/10040> (Accessed: 5 June 2025).

Dávila, S.G. *et al.* (2015) 'Effect of the presence of hens on roosters sperm variables', *Poultry Science*, 94(7), pp. 1645–1649. Available at: <https://doi.org/10.3382/ps/pev125>.

Doug Korver and Bruce Stewart-Brown (2023) *Necesidades nutricionales en aves de producción - Avicultura, Manual de veterinaria de Merck*. Available at: <https://www.merckvetmanual.com/es-us/avicultura/nutrición-y-manejo-aves-de-producción/necesidades-nutricionales-en-aves-de-producción> (Accessed: 31 May 2025).

Dutta, P. and Anjum, N. (2021) 'Optimization of Temperature and Relative Humidity in an Automatic Egg Incubator Using Mamdani Fuzzy Inference System', in *2021 2nd International Conference on Robotics, Electrical and Signal Processing Techniques (ICREST)*. *2021 2nd International Conference on Robotics, Electrical and Signal Processing Techniques (ICREST)*, pp. 12–16. Available at: <https://doi.org/10.1109/ICREST51555.2021.9331155>.

Elibol, O., Peak, S.D. and Brake, J. (2002) 'Effect of flock age, length of egg storage, and frequency of turning during storage on hatchability of broiler hatching eggs', *Poultry Science*, 81(7), pp. 945–950. Available at: <https://doi.org/10.1093/ps/81.7.945>.

FAO (2016) *Inicio | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, FAOHome*. Available at: <https://www.fao.org/home/es> (Accessed: 21 April 2025).

FAO (2016) 'Revisión del desarrollo avícola'.

Fárez Marca, K.Y. and Quezada Llivipuma, J.G. (2024) 'Estudio retrospectivo de la influencia del ciclo lunar sobre la producción de huevos fértiles en gallinas reproductoras pesadas en una granja comercial en el período 2016 a 2021'. Available at: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/43603> (Accessed: 8 June 2025).

Flores López, L.J. and Palacios, A.F. (2016) *Estudio de Pre-factibilidad para el establecimiento de una granja avícola de ponedoras semi tecnificada en el municipio San Sebastián de Yalí, departamento de Jinotega en el periodo (2016-2019)*. engineer. Universidad Nacional Agraria, UNA. Available at: <https://repositorio.una.edu.ni/3342/> (Accessed: 28 April 2025).

Franco Sánchez., P.A. (2023) 'Implementación de una incubadora artesanal semi automática para la incubación de huevos criollos en la Carrera Agropecuaria "UNESUM".' Available at: <http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/4735> (Accessed: 3 June 2025).

- Galindo, S.L.R. (2005) 'Embriodiagnosis y ovoscopia. Análisis y control de calidad de los huevos incubables', *REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria*, VI(3), pp. 1–25. Available at: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=63612812004> (Accessed: 28 April 2025).
- Game Cruz, W.F. (2021) *Evaluación de un prototipo de incubadora artesanal para huevos de codornices, Coturnix coturnix japónica, implementada con tecnología arduino*. bachelorThesis. La Libertad: Universidad Estatal Península de Santa Elena, 2021. Available at: <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/6377> (Accessed: 28 April 2025).
- García, R. and Lizeth, A. (2023) 'Medición de los acontecimientos técnicos en un proceso de incubación en huevos de gallina del día 1 al nacimiento'. Available at: <https://repositorio.uaaan.mx/xmlui/handle/123456789/49125> (Accessed: 28 April 2025).
- González-Redondo, P. and Díaz-Merino, R. (2016) 'Comparison of Three Temperatures for the Hatching Phase in the Artificial Incubation of Red-legged Partridge (*Alectoris rufa*) Eggs', *Revista Brasileira de Ciência Avícola*, 18(1), pp. 57–62. Available at: <https://doi.org/10.1590/1516-635x1801057-062>.
- Google Earth (2025) 'Vista satelital de Salinas, Santa Elena, Ecuador'. Available at: <https://earth.google.com>.
- Hamidu, J.A. *et al.* (2011) 'Broiler egg storage induces cell death and influences embryo quality', *Poultry Science*, 90(8), pp. 1749–1757. Available at: <https://doi.org/10.3382/ps.2011-01361>.
- Hernandez Marco (2020) 'Desinfección de galpones en avicultura. Desinfectantes y Metodología.', *Veterinaria Digital - Avicultura, Porcicultura, Rumiantes y Acuicultura*. Available at: <http://https%253A%252F%252Fwww.veterinariadigital.com%252Farticulos%252Fdesinfeccion-de-galpones-en-avicultura%252F> (Accessed: 1 June 2025).
- Jara Carrión, C.A. (2019) 'Desarrollo de un equipo inteligente para controlar los parámetros de gestación en huevos de aves de corral.' Available at: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/12640> (Accessed: 11 June 2025).
- Jusman, Y. *et al.* (2024) 'DHT 11 Sensor-Based Automatic Chicken Egg Hatching Incubator', *Proceeding International Conference of Technology on Community and Environmental Development*, 2(1). Available at: <https://doi.org/10.18196/ictced.v2i1.145>.
- Karl Söderby (2024) *Getting Started with Arduino | Arduino Documentation*. Available at: <https://docs.arduino.cc/learn/starting-guide/getting-started-arduino/> (Accessed: 29 May 2025).
- Larrosa, C.E. (2017) 'Cría de aves: cómo usar la incubadora familiar'. Available at: <https://repositorio.inta.gob.ar/handle/20.500.12123/11281> (Accessed: 8 June 2025).

- López, M. A. *et al.* (2024) ‘Análisis Comparativo de Sensores de Temperatura, Humedad y Luminosidad para su Uso en Sistemas de Producción de Lombricompost’, *Entre Ciencia e Ingeniería*, 18(35), pp. 32–40. Available at: <https://doi.org/10.31908/19098367.3045>.
- López Pinela, A.J. and Aldas Avila, K.M. (2024) *Aplicación de la mecatrónica para el proceso de incubación artificial de huevos*. bachelorThesis. Available at: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/27904> (Accessed: 10 June 2025).
- Machado, J.P. *et al.* (2020) ‘Effects of breeder age on embryonic development, hatching results, chick quality, and growing performance of the slow-growing genotype’, *Poultry Science*, 99(12), pp. 6697–6704. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.09.008>.
- Madrigal-Portilla, J., Salas-Durán, C. and Macaya-Quirós, S. (2023) ‘Efecto de temperatura y tiempo de almacenamiento sobre la calidad del huevo de gallinas’, *Agronomía Mesoamericana*, pp. 51223–51223. Available at: <https://doi.org/10.15517/am.v34i2.51223>.
- Moreira, M.A.G. (2018) ‘INFLUENCIA DE LA EDAD DE CODORNICES (*Coturnix coturnix japonica*) REPRODUCTORAS EN FERTILIDAD, INCUBABILIDAD, NATALIDAD Y CARACTERÍSTICAS PRODUCTIVAS DE LA PROGENIE’.
- Narváez, V.M.V. *et al.* (2011) ‘Producción de huevo, calidad del cascarón y rentabilidad en gallinas de primer ciclo con niveles de calcio y fósforo disponible’, *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 2(1), pp. 69–84. Available at: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=265619707006> (Accessed: 9 June 2025).
- Navarro Macedo, J. (2018) “‘Implementación de una incubadora de huevos de aves para la mejora de la productividad en Tarapoto, 2018.’”, *Universidad César Vallejo* [Preprint]. Available at: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/27106> (Accessed: 27 May 2025).
- Nys, Y. and Guyot, N. (2011) ‘6 - Egg formation and chemistry’, in Yves Nys, M. Bain, and F. Van Immerseel (eds) *Improving the Safety and Quality of Eggs and Egg Products*. Woodhead Publishing (Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition), pp. 83–132. Available at: <https://doi.org/10.1533/9780857093912.2.83>.
- Oke, O.E. *et al.* (2024) ‘Impact of broiler breeder hens’ age and egg storage on egg quality, embryonic development, and hatching traits of FUNAAB-alpha chickens’, *Poultry Science*, 103(2), p. 103313. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.103313>.
- Okonkwo, W.I. *et al.* (2024) ‘Energy sources for poultry egg incubators’ efficiency and hatchability’, *Nigerian Journal of Technology*, 43(1), pp. 189–197. Available at: <https://doi.org/10.4314/njt.v43i1.20>.
- Paredes A, M. *et al.* (2019) ‘Crecimiento y comportamiento reproductivo de la gallina criolla de huevos con cáscara verde de la provincia de Chota, Cajamarca’, *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 30(2), pp. 733–744. Available at: <https://doi.org/10.15381/rivep.v30i2.16070>.

- Paz, L.S. (2015) ‘Programación y Control de Circuitos de una Incubadora de Huevos de Gallina mediante una Plataforma de Código Abierto’, *Revista Iberoamericana de Producción Académica y Gestión Educativa*, 2(4), pp. 830–842. Available at: <https://pag.org.mx/index.php/PAG/article/view/353> (Accessed: 29 May 2025).
- Posadas, E. *et al.* (2001) ‘Efectos de dos sistemas de producción sobre la calidad externa e interna de huevo en gallinas ligeras’. *XVII Congreso Latinoamericano de Avicultura*, Guatemala.
- Prabowo, M.C.A. *et al.* (2024) ‘Development of an IoT-Based Egg Incubator with PID Control System and Web Application’, *JOIV: International Journal on Informatics Visualization*, 8(1), pp. 465–472. Available at: <https://doi.org/10.62527/joiv.8.1.2044>.
- Quituzaca Villa, I.J. (2015) ‘Instalación y evaluación de una incubadora modelo para la Facultad de Ciencias Pecuarias’. Available at: <https://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/5258> (Accessed: 9 June 2025).
- Ramos, J.M.P. and Cedeño, E.A.L. (2020) ‘Estudio de las tecnologías de control utilizadas en las incubadoras avícolas’, *E-IDEA Journal of Engineering Science*, 2(4), pp. 13–23. Available at: <https://revista.estudioidea.org/ojs/index.php/esci/article/view/129> (Accessed: 7 June 2025).
- Reyes, R.R.R. (2015) ‘DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y MANEJO DE UNA INCUBADORAARTESANAL DE HUEVOS EN LA COMUNA SAN VICENTE CANTÓN SANTA ELENA’, p. 74. Available at: <http://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/2753>.
- Rodríguez, J.H.V. *et al.* (2021) ‘Evaluación física del huevo comercial de gallinas criollas (*Gallus gallus domesticus*) en el cantón La Troncal – Ecuador’, *Ciencia e Interculturalidad*, 29(02), pp. 138–151. Available at: <https://doi.org/10.5377/rci.v29i02.13318>.
- Rodríguez, R. *et al.* (2023) ‘Efecto fitobiótico del polvo mixto de plantas medicinales en la productividad y calidad del huevo de gallinas ponedoras’, *Cuban Journal of Agricultural Science*, 57. Available at: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2079-34802023000100009&lng=es&nrm=iso&tlng=en (Accessed: 31 May 2025).
- Ruiz Diaz, N. *et al.* (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 de Órganos Internos’, *International Journal of Morphology*, 34(1), pp. 57–62. Available at: <https://doi.org/10.4067/S0717-95022016000100009>.
- Sadek, N., kamal, N. and Shehata, D. (2024) ‘Internet of Things based smart automated indoor hydroponics and aeroponics greenhouse in Egypt’, *Ain Shams Engineering Journal*, 15(2), p. 102341. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.asej.2023.102341>.

- Salinas Vélez, M. C. (2018) *Acondicionamiento de equipos existentes en la producción de codornices en la Finca Villa Margarita*. Trabajo de titulación. Universidad Técnica Estatal de Quevedo.
- Santamaría-Valderrama, D.E., Vera-Velásquez, K.A. and Intriago-Muñoz, V.A. (2025) ‘Evaluación de la incubabilidad en huevos considerados no aptos para la incubación’, *Revista Científica Arbitrada en Investigaciones de la Salud GESTAR*. ISSN: 2737-6273., 8(15), pp. 381–393. Available at: <https://journalgestar.org/index.php/gestar/article/view/192> (Accessed: 11 June 2025).
- Sanz, P. *et al.* (2020) ‘Madurez sexual e indicadores asociados en dos genotipos de gallinas bajo diferentes programas de alimentación’, *Revista veterinaria*, 31(2), pp. 142–145. Available at: <https://doi.org/10.30972/vet.3124734>.
- Sarcos, F. and Antonio, J. (2015) *Prototipo de robot semiautónomo especializado en fumigación agrícola bajo la tecnología Arduino*. bachelorThesis. La Libertad; Universidad Estatal Península de Santa Elena, 2015. Available at: <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/2438> (Accessed: 1 June 2025).
- TinkerCAD (2025) ‘TinkerCAD’. Autodesk. Available at: <https://www.tinkercad.com/>.
- Tona, K. *et al.* (2022) ‘Chicken Incubation Conditions: Role in Embryo Development, Physiology and Adaptation to the Post-Hatch Environment’, *Frontiers in Physiology*, 13, p. 895854. Available at: <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.895854>.
- Vázquez, L.V. *et al.* (2021) ‘SENSORES DE HUMEDAD DEL SUELO EN EL CULTIVO DE CEBOLLA’.
- YALCIN, S., Özkan, S. and Shah, T. (2022) ‘Incubation Temperature and Lighting: Effect on Embryonic Development, Post-Hatch Growth, and Adaptive Response’, *Frontiers in Physiology*, 13, p. 899977. Available at: <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.899977>.
- Zaheer, K. (2015) ‘An Updated Review on Chicken Eggs: Production, Consumption, Management Aspects and Nutritional Benefits to Human Health’, *Food and Nutrition Sciences*, 6(13), pp. 1208–1220. Available at: <https://doi.org/10.4236/fns.2015.613127>.
- Zamora Sánchez, A.C. (2020) ‘Efecto de la gravedad específica de huevos incubables sobre el porcentaje de nacimiento y calidad del pollo recién nacido’, *Universidad Privada Antenor Orrego* [Preprint]. Available at: <https://repositorio.upao.edu.pe/handle/20.500.12759/6453> (Accessed: 28 April 2025).

ANEXOS

```
1 #include <LiquidCrystal.h>
2 #include <DHT.h>
3
4 #define DHTPIN A0 // Pin del sensor DHT11
5 #define DHTTYPE DHT11
6 DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
7
8 // LCD conectada a los pines digitales
9 LiquidCrystal lcd(2, 3, 4, 5, 6, 7);
10
11 // Pines conectados a los módulos de relé
12 int releVentilador = 8;
13 int releFoco = 9;
14 int releMotor = 10;
15 int releHumidificador = 11;
16
17 float temperatura;
18 float humedad;
19 unsigned long tiempoVolteo = 0;
20 const long intervaloVolteo = 4 * 60 * 60 * 1000; // 4 horas en milisegundos
21
22 void setup() {
23 // Configurar pines de relevadores como salida
24 pinMode(releMotor, OUTPUT);
25 pinMode(releFoco, OUTPUT);
26 pinMode(releVentilador, OUTPUT);
27 pinMode(releHumidificador, OUTPUT);
28
29 // Inicialmente apagamos todos los relés
30 digitalWrite(releMotor, LOW);
31 digitalWrite(releFoco, LOW);
32 digitalWrite(releVentilador, LOW);
33 digitalWrite(releHumidificador, LOW);
34
35 dht.begin();
36 lcd.begin(16,2);
37
38 // Mensaje de bienvenida
39 lcd.setCursor(0, 0);
40 lcd.print("TESIS INCUBADORA");
41 lcd.setCursor(0,1);
42 lcd.print("HUEVOS GALLINA");
43 delay(3000);
44 lcd.clear();
45
46 lcd.setCursor(0, 0);
47 lcd.print("GAVILANES ");
48 lcd.setCursor(0,1);
49 lcd.print("JUAN XAVIER");
50 delay(3000);
51 lcd.clear();
52 }
53
54 void loop() {
55 temperatura = dht.readTemperature();
56 humedad = dht.readHumidity();
57
58 // Mostrar temperatura y humedad en la pantalla LCD
59 lcd.setCursor(0,0);
60 lcd.print("Temp: ");
61 lcd.print(temperatura);
62 lcd.print(" C ");
63 lcd.setCursor(0,1);
64 lcd.print("Humedad: ");
65 lcd.print(humedad);
66 lcd.print("% ");
67 delay(2000);
68
69 // Control de temperatura con histéresis usando relés
70 if (temperatura <=37.0) {
71 digitalWrite(releFoco, HIGH); // Enciende la lámpara
72 digitalWrite(releVentilador, LOW); // Apaga el ventilador
73 } else if (temperatura >=38.0) {
74 digitalWrite(releFoco, LOW); // Apaga la lámpara
75 digitalWrite(releVentilador, HIGH); // Enciende el ventilador
76 }
77
78 // Control de humedad con histéresis usando relés
79 if (humedad <= 48.0) {
80 digitalWrite(releHumidificador, HIGH); // Enciende el humidificador
81 } else if (humedad >= 52.0) {
82 digitalWrite(releHumidificador, LOW); // Apaga el humidificador
83 }
84
85 // Control de motor (volteo cada 4 horas)
86 if (millis() - tiempoVolteo >= intervaloVolteo) {
87 digitalWrite(releMotor, HIGH); // Activa motor para girar huevos
88 delay(15000); // Motor encendido por 15 segundos
89 digitalWrite(releMotor, LOW); // Apaga motor
90 tiempoVolteo = millis(); // Reinicia contador
91 } digitalWrite(releFoco, HIGH); // Enciende la lámpara
```

Figura 1A. Lenguaje de programación implementado en la plataforma Arduino.



Figura 2A. Eclosión de pollitos en la incubadora artesanal.



Figura 3A. Configuración y organización de cableado del sistema Arduino.



Figura 4A. Verificación operativa del sistema Arduino en el prototipo.



Figura 5A. Muerte prematura.



Figura 6A. Culminación de los ensayos del prototipo de incubadora artesanal.