

Automated Monitoring System in the Artificial Eggs Incubation Process

Mario Alexis Medina Vasquez, Bachiller¹, Pedro Gilmer Castillo Dominguez, Ingeniero², and Victor Enemesio Davila Rodriguez, Magister³
Ingeniería de Sistemas Computacionales, Universidad Privada del Norte, Perú, marioalexismedinavasquez@hotmail.com¹,
ing.pedrocastillodominguez@gmail.com² and victor.davila@upn.edu.pe³

Abstract- Incubation is one of the first and more important process inside poultry industry. In order to realize this process in an artificial way machines with enough technology are needed to help to fulfill a suitable incubation stage and reach the company's goals. The present research work is aimed to determine the influence of an automated monitoring system on the artificial eggs incubation process in the poultry farm Molino La Perla. The investigation was quasi experimental with two samples formed by 29 incubation stages each. The monitoring system implementation was realized with XP methodology. The results obtained from the investigation was an ambient control over 96.74 and a maximum of 98.48 effectiveness on the artificial eggs incubation process. Finally, it is concluded that an automated monitoring system influences positively on the artificial eggs incubation process.

Keywords- Automated monitoring system, artificial eggs incubation process, poultry industry.

Digital Object Identifier: <http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2021.1.1.237>
ISBN: 978-958-52071-8-9 ISSN: 2414-6390
DO NOT REMOVE

Sistema de Monitoreo Automatizado en el Proceso de Incubación Artificial de Huevos para la Industria Avícola

Mario Alexis Medina Vasquez, Bachiller¹, Pedro Gilmer Castillo Dominguez, Ingeniero², and Victor Enemesis Davila Rodriguez, Magister³

Ingeniería de Sistemas Computacionales, Universidad Privada del Norte, Perú, marioalexismedinavasquez@hotmail.com¹, ing.pedrocastillodominguez@gmail.com² and victor.davila@upn.edu.pe³

Resumen- La incubación es uno de los primeros y más importantes procesos dentro de la industria avícola. Para realizar dicho proceso de manera artificial, se necesita máquinas con la tecnología suficiente que ayuden a cumplir una idónea etapa de incubación y alcanzar los objetivos de la empresa. El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo determinar la influencia de un sistema de monitoreo automatizado en el proceso de incubación artificial de huevos en la avícola Molino La Perla. La investigación fue de tipo cuasi-experimental con dos muestras conformadas por 29 ciclos de incubación cada una. La implementación del sistema de monitoreo se realizó con la metodología XP. Los resultados obtenidos en la investigación fueron un control del ambiente superior al 96.74% y una eficacia máxima del 98.48% en el proceso de incubación artificial de huevos. Finalmente, se concluye que un sistema de monitoreo automatizado influye positivamente en el proceso de incubación artificial de huevos.

Palabras claves- Sistema de monitoreo automatizado, proceso de incubación artificial de huevos, industria avícola.

I. INTRODUCCIÓN

Entre los sectores de la ganadería, existe un sector que presenta un mayor crecimiento y flexibilidad en comparación al resto de sectores. Este sector es la avicultura que, impulsada fuertemente por su demanda, se ha expandido a nivel global muy sólidamente en los últimos 15 años en diversos países de distintos niveles de ingreso económico. Por dicho motivo, este sector es esencial para la subsistencia de aproximadamente mil millones de personas pobres en el mundo, dado que la carne de pollo es una carne saludable, de bajo costo en comparación a todas las carnes de ganado y, su principal ventaja, no existe ningún tabú sobre el consumo de dicha carne. Además, dentro de las perspectivas a futuro presentadas en un informe sobre la revisión del desarrollo avícola realizado por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO), sostiene que la demanda mundial de aves de corral y productos avícolas continuará en aumento a causa del consumo per cápita y el constante crecimiento poblacional mundial (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura [FAO], 2013) [1].

En 2010, Friedmann y Weil [2] afirmaron que para tener éxito en la avicultura, se debe tener presente ciertos aspectos tales como la disponibilidad de alimento esencial como el maíz, la genética del pollo y el manejo de las plantas de incubación. Dentro de estos aspectos, está presente la

incubación que es el primer y muy importante paso en la crianza de aves de corral. Al respecto, conviene decir que la incubación en las granjas rurales es realizada por gallinas cluecas, mientras que en las avícolas de mayor escala es realizada de manera artificial en incubadoras. Entonces, la incubación artificial aparece porque se necesita satisfacer la demanda alimenticia humana (Cortes, Peñuelas, Contreras & Dorador, 2007) [3] y, además, la mayoría de las aves han perdido esta capacidad de incubación por el mejoramiento de la raza (FAO, 2013) [1].

Cabe mencionar, que Oviedo (2012) [4] informó que existen algunas empresas que usan equipos para incubación artificial con más de 30 años de antigüedad, que no logra proveer las correctas condiciones de ventilación y control de temperatura para dicho proceso. Al mismo tiempo, no presenta acceso a información estadística de correlación entre las condiciones reales en las maquinas incubadoras y parámetros del lote (Oviedo, 2012) [4]. Igualmente, en estos últimos años se observó un considerable avance tecnológico en el proceso de incubación avícola (Salazar, 2019) [5] y esto es un punto muy positivo para la mejora integral de este proceso.

El Perú es uno de los países que presenta el más elevado consumo per cápita de carne de pollo en nuestro continente, pero uno de los países que presenta menor impulso en tecnología con respecto a los procesos avícolas (Seclén, 2017) [6]. En el año 2015, el Perú ocupó el último lugar de Sudamérica con respecto al desarrollo e inversión en plantas avícolas (Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual [INDECOPI], 2015) [7]. Además, el futuro de la industria avícola depende directamente del avance en tecnología (Seclén, 2017) [6].

En el boletín estadístico mensual de la producción y comercialización de productos avícolas del mes de enero del año 2020 realizado por el Ministerio de Agricultura y Riego [8] indica que dentro de las principales regiones productoras de carne de pollo y huevos en el mes de enero del año 2020 está presente la región La Libertad con una tasa de 18.5% y 16.7% respectivamente. Al llegar a este punto, se puede afirmar que la región La Libertad presenta un papel importante dentro de la producción avícola nacional. Por tal motivo, el desarrollo tecnológico de la avicultura de la región debe ser constante para no sufrir consecuencias que afecte el futuro de las plantas avícolas.

La empresa avícola Molino La Perla ubicada en la región La Libertad presenta la venta de aves de corral como su principal fuente de ingresos. Dicha empresa cuenta con gallinas ponedoras quienes son las principales productoras de huevo como materia prima inicial para la producción de aves de corral para venta, pero el único rol de estas gallinas ponedoras son la producción de huevos mas no la incubación de estas mismas. La incubación de huevos en la empresa es realizada de manera artificial con unas incubadoras que presenta distintas herramientas necesarias para el desarrollo del huevo durante todo el ciclo de incubación. Estas incubadoras son operadas manualmente por personal responsable del área quienes realizan el monitoreo constante para cumplir un adecuado ambiente de incubación y, asimismo, la realización de distintas tareas relacionadas al proceso durante todo el ciclo de incubación. Los diferentes registros realizados durante el ciclo de incubación son plasmados en diferentes formatos físicos que en ciertas ocasiones se echan a perder por diversos motivos. Al término del ciclo de incubación, la información de los registros realizados no se almacena ni procesa para intereses propios de la empresa y, además, los indicadores de producción se ven afectados por incidentes presentes en el manejo del ambiente de la incubadora. Entonces, por el contexto explicado se necesita un método óptimo de monitoreo y control de las incubadoras artificiales que directamente ayuden a mejorar los indicadores de producción en la empresa. También, almacenar la información del proceso de manera idónea e integra para su posterior análisis en la toma de decisiones por parte de la empresa.

II. TRABAJOS RELACIONADOS

Se han considerado como antecedentes de monitoreo automatizado a los autores Gregorio Castillo, Arnulfo Cruz, Elisa Gonzaga y Eugenio Luna (2019) [9], en su investigación “Diseño e implementación de sistema de monitoreo automatizado en granja avícola”, tuvieron como objetivos lograr un incremento en la producción, optimizar las condiciones ambientales y disminuir el índice de mortalidad de las aves. Para lograr dichos objetivos, se diseñó, desarrolló e integró un sistema de control automatizado de regulación de variables de la incubadora. Los resultados obtenidos fueron un excelente desempeño del sistema automatizado para una producción de 1100 pollos, disminución en el índice de mortalidad de un 3.00% a un 0.72%, una temperatura promedio entre los 19°C y 25°C, una humedad relativa no mayor a 77% y, además, se redujo en un 95% las enfermedades virales gracias a un correcto control de humedad y amoníaco. Por tales motivos, llegaron a la conclusión que la automatización de los procesos en la granja avícola reduce los costos-tiempo de producción y aumenta la calidad del producto. También, el adecuado control del ambiente proporciona un mejor desarrollo del pollo y reduce el índice de mortalidad.

Además, los autores Francisco Hilarión, Edgar Bojacá y Diana Bojacá (2020) [10], en su investigación “Diseño y simulación de un sistema automatizado para producción avícola en la región Guavio”, tuvieron como objetivo mejorar los índices de producción, reducir los costos y necesidades de mano de obra. Para lograr esto, se diseñó, simuló e implementó en laboratorio computacional un sistema automatizado para producción avícola. Los resultados obtenidos fueron el adecuado monitoreo y control de las variables del galpón, y almacenamiento de la información del proceso por cada ciclo de producción. Por lo cual, concluyeron que el monitoreo permanente del comportamiento de las variables ambientales permite realizar acciones correctivas de manera automática e inmediata y, así, mejorar los índices de ganancia con respecto al producto avícola. También, almacenar la información permite generar un análisis de las condiciones reales del proceso para tomar decisiones acertadas frente a futuras inversiones y asegurar el éxito del negocio.

Asimismo, el autor Nilton Ayra (2019) [11], en su investigación “Los sistemas de Open Hardware ‘Arduino’ en el control de los procesos de incubación de huevos de codorniz”, tuvo como objetivo mejorar el control de procesos que requiere una incubadora para la eclosión artificial de huevos de codorniz. Para lograr esto, se diseñó un sistema de monitoreo y control automático en Open Source utilizando Arduino Uno. Los resultados obtenidos fueron los rangos óptimos de temperatura (37.5°C – 37.8°C) y humedad (64% - 67% Hr), por lo que se llegó a la conclusión de que el sistema de Open Hardware Arduino es confiable porque permite alcanzar los resultados óptimos esperados. Asimismo, mejora el control del ambiente interno de la incubadora, y proporciona mayor efectividad en la natalidad de los cotupollos, teniendo buena precisión en tiempo real de los datos obtenidos en la incubación artificial.

Por último, el autor Josué Gonzales (2017) [12], en su investigación “Diseño e implementación de un control de temperatura y humedad para un prototipo de incubadora artificial de pollos”, tuvo como objetivo mejorar la eficiencia del proceso de incubación. Para lograr esto, se desarrolló un sistema de incubación artificial con control automático. Los resultados obtenidos fueron una eficiencia de incubación del 90.1% con el sistema de incubación automática en comparación al 72.3% de eficiencia de incubación con el sistema de incubación convencional, el control de temperatura y humedad funcionan correctamente según los parámetros óptimos establecidos y, el tiempo de estabilización de temperatura es muy cercano al tiempo de las demás señales, por lo que se llegó a la conclusión de que el uso de sistemas no eficientes con incubadoras que no cuentan con la suficiente tecnología causa una tasa de nacimientos baja y, la eficiencia del proceso de incubación está directamente relacionada con el desarrollo de esquemas de control robustos para obtener un sistema estable y confiable.

III. ESTADO DEL ARTE

A. Sistema de Monitoreo Automatizado

González, Núñez y Vilorio (2012) [13] se refieren a sistema de monitoreo como la herramienta que adquiere, almacena y procesa información de algún parámetro que se está monitoreando. Asimismo, esta herramienta puede realizar múltiples tareas en tiempo real y dar instrucciones desde una computadora a cualquier proceso que se está realizando. Además, los dispositivos IoT (Internet of Things) se pueden usar en los sistemas de monitoreo para interactuar con el entorno utilizando sensores para la recolección de la información en tiempo real y transmitirlo hacia algún destino (Sadowski & Spachos, 2020) [14]. Sus principales ventajas son la reducción de errores sistemáticos y la reducción de costo-tiempo (González et. al., 2012) [13].

B. Proceso de Incubación Artificial de Huevos

El proceso de incubación consiste en el desarrollo del embrión de una gallina hasta finalizar con la eclosión o salida del polluelo (Santiago & Ronquillo, 2015) [15]. Asimismo, el proceso de incubación artificial es un renglón importante en la industria avícola porque permite obtener los pollitos para fomentar y mantener constante la producción (Arce, Le, Morales, Camacho, Avello, Peña & Tandrón, 2011) [16]. El éxito de este proceso depende del correcto manejo de las condiciones medioambientales tales como temperatura, humedad y ventilación (Molina, Vásconez, Tobar & Cedeño, 2020) [17]. Por lo cual, se considera de suma importancia la implementación de un método para monitorear el proceso de incubación (González-García, Porras & Vargas, 2006) [18].

IV. OBJETIVOS

A. Objetivo General

Determinar la influencia de un sistema de monitoreo automatizado en el proceso de incubación artificial de huevos.

B. Objetivos Específicos

- Definir la influencia de un sistema de monitoreo automatizado en el control del ambiente de la incubadora del proceso de incubación artificial de huevos.
- Establecer la influencia de un sistema de monitoreo automatizado en la eficacia del proceso de incubación artificial de huevos.

V. MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación es de carácter experimental, de grado cuasi-experimental, donde la muestra viene establecida por 29 ciclos de incubación artificial de huevos teniendo como unidad de análisis al ciclo de incubación artificial de huevos. Los instrumentos utilizados para la recolección de datos con la aplicación del sistema de monitoreo automatizado y sin la aplicación del sistema monitoreo automatizado fueron las fichas de observación. Asimismo, la prueba estadística aplicada en la investigación fue la prueba t de Welch (1).

$$t = \frac{\mu_1 - \mu_2}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}} \quad (1)$$

VI. METODOLOGÍA DEL MONITOREO AUTOMATIZADO

A. Marco de Desarrollo

Luego de realizar una investigación entre las distintas metodologías de desarrollo tales como XP, RUP, Scrum, etc. Se procedió a seleccionar la metodología de desarrollo que mejor se adapte a los fines propias de la investigación, por lo cual, se seleccionó la metodología ágil XP o, también conocida como, Programación Extrema. Los criterios de selección considerados para dicha metodología fueron que se enfatiza en la retroalimentación continua del cliente con el equipo de trabajo, está basada en la prueba-error, tiene un enfoque centrado en el producto con alta participación del cliente y es más voluble ante posibles cambios.

B. Programación

Seleccionado el marco de desarrollo del proyecto, se realizó el establecimiento de las fases del proyecto y diferentes tecnologías a utilizar en el mismo, considerando los recursos y criterios de nuestro cliente. Las fases establecidas para el proyecto fueron las siguientes: Planificación y Análisis, Diseño e Implementación y, Pruebas. Además, las tecnologías seleccionadas para el proyecto fueron AngularJS, Spring Boot, Python Flask, MySQL y hardware libre Arduino Mega 2560.

C. Fase de Desarrollo

Tabla 1. Fases de Desarrollo del Proyecto.

Item	Fases
1	Fase 1: Planificación y Análisis
	Necesidades del usuario. Historia de usuario. Definición de ciclos de iteración.
2	Fase 2: Diseño e Implementación
	Diseño e implementación de la base de datos. Diseño e implementación del sistema electrónico. Programación del hardware Arduino. Implementación del sistema web "IncubaWeb". Integración del sistema de monitoreo.
3	Fase 3: Pruebas
	Plan y ejecución de pruebas.

Fuente: Elaboración propia.

D. Fase 1: Planificación y Análisis

Tabla 2. Necesidades del usuario.

Item	Descripción
NEC-01	El sistema debe mostrar el inicio y término del ciclo de incubación.
NEC-02	El sistema debe mostrar un tablero resumen con indicadores fundamentales y en tiempo

	real de las variables de la incubadora.
NEC-03	El sistema debe permitir monitorear y controlar la temperatura en tiempo real.
NEC-04	El sistema debe permitir monitorear y controlar la humedad en tiempo real.
NEC-05	El sistema debe permitir monitorear la ventilación y volteos en el ciclo de incubación.
NEC-06	El sistema debe ofrecer un registro histórico con indicadores principales de cada ciclo de incubación realizado.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. Historia de usuario.

Historia de Usuario	
Número: 01	Usuario: Operador en área de incubación
Nombre de historia: Monitoreando en IncubaWeb	
Prioridad: Alta	Riesgo en desarrollo: Media
Puntos estimados: 4	Iteración asignada: 4-5
Programador responsable: Alexis Medina.	
Descripción: Como operador del proceso de incubación, necesito que la información mostrada en la plataforma sea real, precisa, confiable y en tiempo real.	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4. Definición de ciclos de iteración.

Ciclo de iteración 01
Diseño e implementación de la base de datos.
En este ciclo, se diseñó el modelo de base de datos a utilizar para su posterior implementación en MySQL.
Ciclo de iteración 02
Diseño e implementación del sistema electrónico.
En este ciclo, se diseña el esquema electrónico utilizando Proteus para luego pasar a implementar dicho sistema electrónico en el ámbito real de las incubadoras artificiales.
Ciclo de iteración 03
Programación del hardware Arduino
En este ciclo, se programa el microcontrolador Arduino aplicando algoritmos y técnicas para obtener un controlador PID confiable para el control de los diferentes lazos cerrados presentes en el sistema, haciendo uso de los componentes electrónicos disponibles tales como sensores, actuadores, etc.
Ciclo de iteración 04
Implementación del sistema web "IncubaWeb"
En este ciclo, se implementa los diferentes módulos y recursos necesarios para el funcionamiento del sistema.
Ciclo de iteración 05
Integración del sistema de monitoreo
En este ciclo, se realiza la integración del sistema web y sus recursos con el sistema electrónico necesario para el óptimo funcionamiento del sistema de monitoreo automatizado.

Fuente: Elaboración propia.

E. Fase 2: Diseño e Implementación

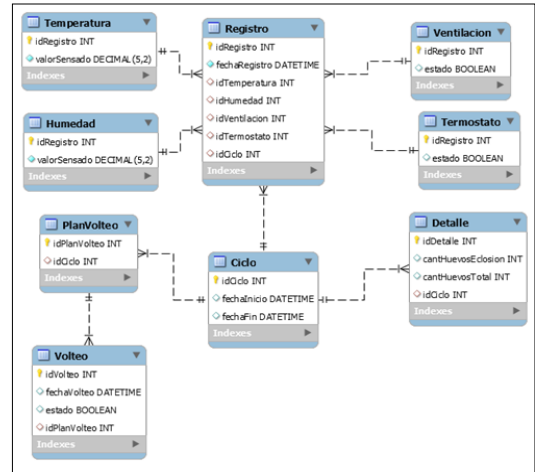


Ilustración 1. Diagrama de base de datos.

Fuente: Elaboración propia.

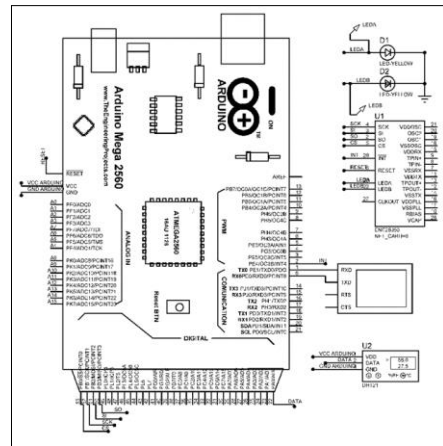


Ilustración 2. Esquema del sistema electrónico.

Fuente: Elaboración propia.

Se realizó la programación del microcontrolador Arduino Mega 2560, haciendo uso de los componentes presentes en el sistema electrónico tales como sensores de temperatura y humedad relativa DHT21, relés, motores DC, servomotores, entre otros. Asimismo, para poder aplicar Internet de las Cosas (IoT) para el intercambio de información se utilizó el módulo Ethernet ENC28J60.

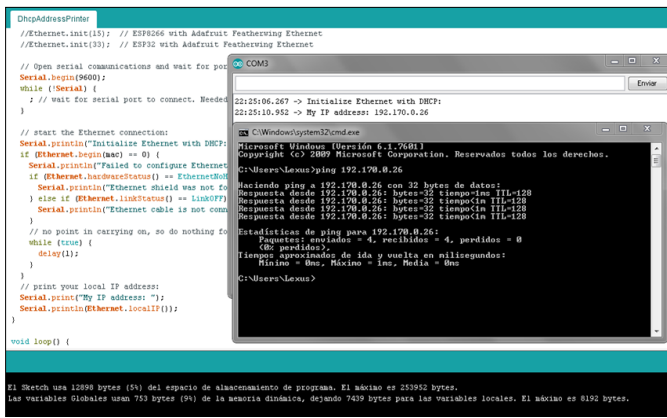


Ilustración 3. Programación del hardware Arduino.
Fuente: Elaboración propia.

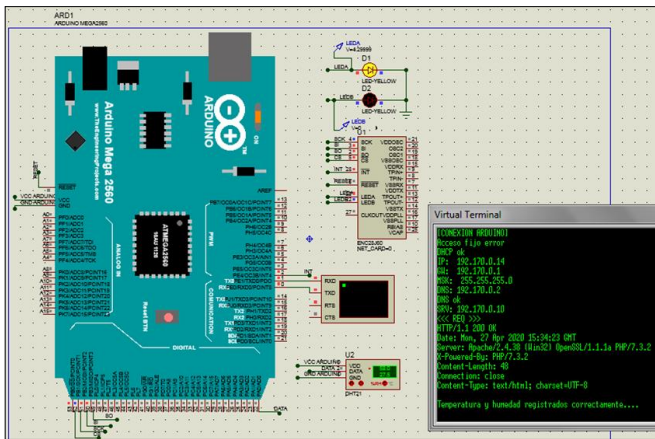


Ilustración 4. Simulación del sistema electrónico.
Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente, se implementó un algoritmo capaz de visualizar, supervisar y contar los huevos en tiempo real aplicando visión computacional con las librerías OpenCV y Numpy propias del lenguaje de programación Python. Además, se desplegó dicho algoritmo a modo de servicio API en un servidor Flask de Python para poder consumirlo desde la plataforma web.

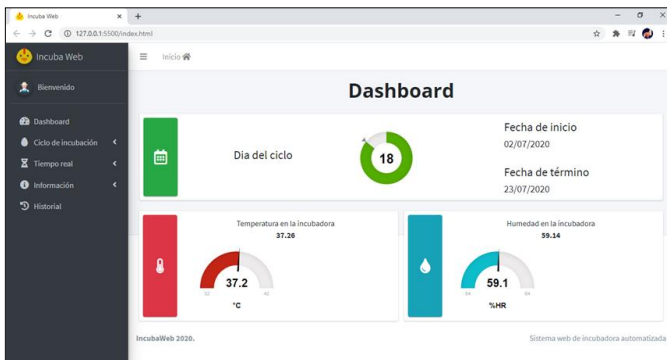


Ilustración 5. Dashboard del sistema web.
Fuente: Elaboración propia.

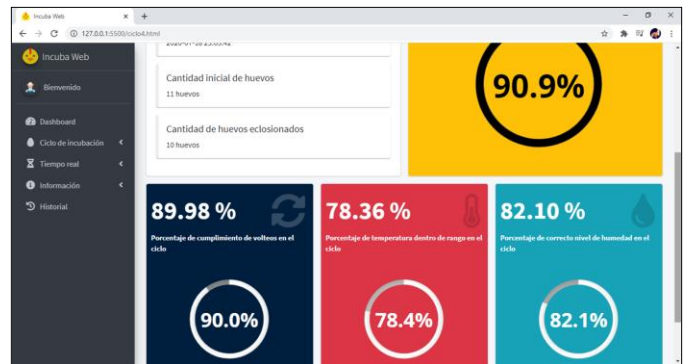


Ilustración 6. Prueba inicial de interfaz de información del ciclo de incubación.
Fuente: Elaboración propia.

F. Fase 3: Pruebas

En esta etapa, se realizó distintas pruebas funcionales al sistema de monitoreo automatizado para ver su óptimo y correcto funcionamiento en conjunto con la base de datos del negocio y el sistema electrónico implementado en las incubadoras. Para ejecutar dichas pruebas, se definieron los casos de pruebas a ejecutar para, posteriormente, ejecutar en el ámbito real y comparar el resultado esperado con el resultado obtenido.

Tabla 5. Definición de caso de prueba funcional.

CP-01	Prueba de temperatura incorrecta
Descripción: El presente caso de prueba sirve para verificar el correcto funcionamiento y precisión en el registro del sensor de temperatura en la incubadora artificial.	
Prerrequisitos: -Ingresar a la plataforma web IncubaWeb. -Dirigirse a la interfaz de monitoreo de temperatura en tiempo real.	
Pasos: <ol style="list-style-type: none"> 1. Establecer la temperatura por encima del rango óptimo definido ($37^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$). 2. Medir la temperatura manera física para obtener un valor real. 3. Visualizar la temperatura en tiempo mostrada en la plataforma web. 	
Resultado esperado: La temperatura mostrada en el sistema web debe ser igual o muy cercana a la temperatura real. La plataforma debe clasificarme como incorrecto el nivel de temperatura actual.	
Resultado obtenido: La temperatura mostrada en el sistema es muy cercana a la temperatura real (Diferencia de -0.1°C). La plataforma clasifica a la temperatura como incorrecto nivel de temperatura en incubadora.	

Fuente: Elaboración propia.

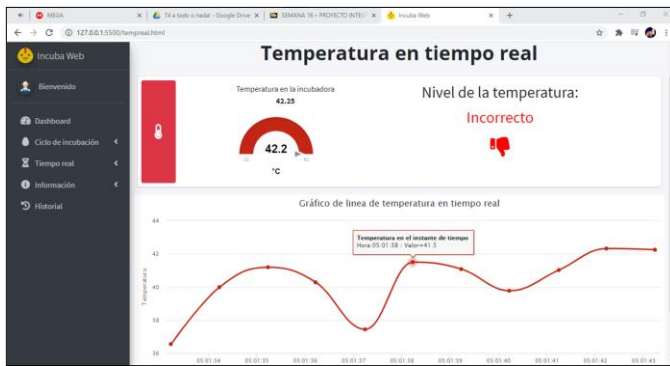


Ilustración 7. Prueba para la temperatura en tiempo real fuera de rango en el sistema de monitoreo.

Fuente: Elaboración propia.

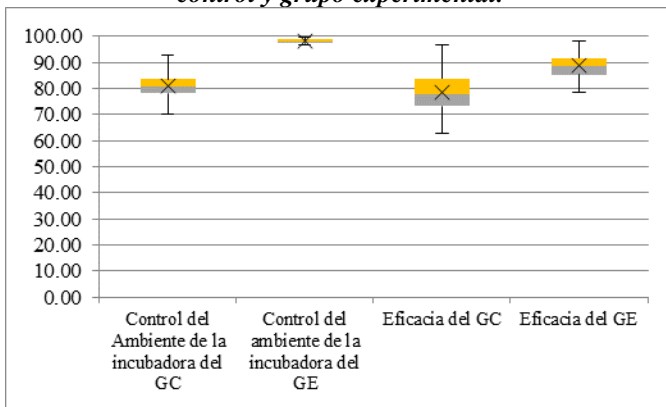
VII. RESULTADOS

A. Proceso de Incubación Artificial de Huevos

Considerando el diseño de la investigación, se establecieron dos grupos o muestras formadas por 29 ciclos de incubación cada muestra. Una muestra se establece como grupo de control que representa a los ciclos de incubación sin sistema de monitoreo automatizado. La otra muestra se establece como grupo experimental que representa a los ciclos de incubación con la aplicación del sistema de monitoreo automatizado.

Asimismo, se aplicó la prueba T de Welch para dos muestras independientes aplicando los pasos previos a la aplicación de dicha prueba estadística tales como la prueba de normalidad Shapiro-Wilk, cálculo de medias, etc.

Figura 1. Diagrama de caja y bigote de los datos de control del ambiente de la incubadora y eficacia del grupo de control y grupo experimental.



Fuente: Elaboración propia.

- **Control del ambiente de la incubadora.**

Se estableció la dimensión de control del ambiente de la incubadora y los indicadores necesarios para su medición.

Tabla 6. Control del ambiente y sus indicadores.

Dimensión	Control del ambiente de la incubadora.
------------------	--

Fórmula	$C = (T + H + V) / 3$ <p>Donde: T = Porcentaje de temperatura dentro de rango. H = Porcentaje de correcto nivel de humedad.</p>	
INDICADORES DE LA DIMENSIÓN		
Indicador	Fórmula	Unidad de medida
Porcentaje de temperatura dentro de rango	$T = (\text{Cantidad de registros de temperatura dentro de rango} / \text{Cantidad total de registros de temperatura}) * 100\%$	%
Porcentaje de correcto nivel de humedad	$H = (\text{Cantidad de registros de correcto nivel de humedad} / \text{Cantidad total de registros}) * 100\%$	%
Porcentaje de cumplimiento de volteos	$V = (\text{Cantidad de volteos realizados en el ciclo de incubación} / \text{Cantidad de volteos planificados en el ciclo de incubación}) * 100\%$	%

Fuente: Elaboración propia.

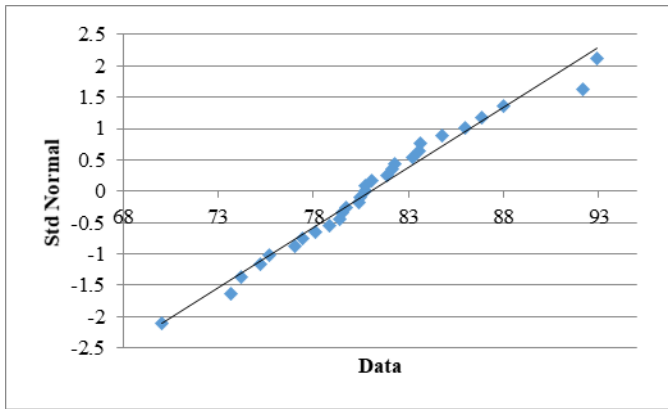
Además, se realizó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk en los datos del control del ambiente de la incubadora del grupo de control y el grupo experimental utilizando el complemento libre estadístico Real Statistics de Microsoft Office Excel 2013.

Tabla 7. Resultados del Test Shapiro-Wilk para datos de control del ambiente de la incubadora del grupo de control y grupo experimental.

	Control del ambiente de la incubadora del grupo de control	Control del ambiente de la incubadora del grupo experimental
W-stat	0.977292379	0.960045333
p-valor	0.765721792	0.329584224
alfa	0.05	0.05
Normal	si	si

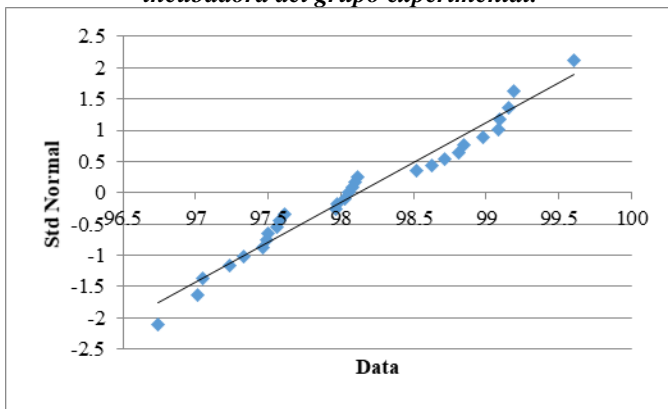
Fuente: Elaboración propia.

Figura 2. Gráfico Q-Q de datos de control del ambiente de la incubadora del grupo de control.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3. Gráfico Q-Q de datos de control del ambiente de la incubadora del grupo experimental.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8. Control del ambiente de la incubadora del grupo de control y grupo experimental.

Ciclo	Control del ambiente de la incubadora del grupo de control	Control del ambiente de la incubadora del grupo experimental
1	84.75	99.60
2	70.03	99.09
3	92.16	98.05
10	80.71	97.23
20	80.42	97.50
28	79.38	99.08
29	85.96	99.16

Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, se estableció las hipótesis para la prueba estadística obteniéndose lo siguiente:

Hipótesis nula H_0 : La media del control del ambiente de la incubadora del grupo de control es mayor o igual a la media del control del ambiente de la incubadora del grupo experimental.

$$H_0: \mu_1 \geq \mu_2$$

Hipótesis alternativa H_1 : La media del control del ambiente de la incubadora del grupo de control es menor a la media del control del ambiente de la incubadora del grupo experimental.

$$H_1: \mu_1 < \mu_2$$

Entonces, se aplicó la prueba estadística T de Welch para muestras independientes con distribución normal de los datos y varianzas desiguales.

Tabla 9. Resultados de prueba T de Welch para control del ambiente de la incubadora.

	Control del ambiente de la incubadora del grupo de control	Control del ambiente de la incubadora del grupo experimental
Media	81.03	98.12
Observación	29	29
GL	29	
Estadístico T	-17.7132623	
P(T<=t) dos colas	4.28873 x 10 ⁻¹⁷	
Valor crítico	2.045229642	

Fuente: Elaboración propia.

- **Eficacia del proceso de incubación artificial de huevos.**
Se definió la dimensión de eficacia del proceso de incubación artificial de huevos y sus indicadores para su medición.

Tabla 10. Eficacia del proceso de incubación artificial de huevos.

Dimensión	Eficacia del proceso de incubación artificial de huevos.	
Fórmula	$F = (E + N) / 2$ Donde: E = Porcentaje de éxito en eclosión de huevos. N = Porcentaje de natalidad en el ciclo de incubación.	
INDICADORES DE LA DIMENSIÓN		
Indicador	Fórmula	Unidad de medida
Porcentaje de éxito en eclosión de huevos	$E = (N^\circ \text{ huevos eclosionados} / N^\circ \text{ huevos colocados al inicio del ciclo de incubación}) * 100\%$	%
Porcentaje de natalidad en el ciclo de incubación	$N = (N^\circ \text{ polluelos nacidos viables} / N^\circ \text{ huevos colocados al inicio del ciclo de incubación}) * 100\%$	%

Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, se aplicó la prueba Shapiro-Wilk para comprobar una distribución normal de los datos obtenidos del grupo de control y grupo experimental sobre la eficacia del

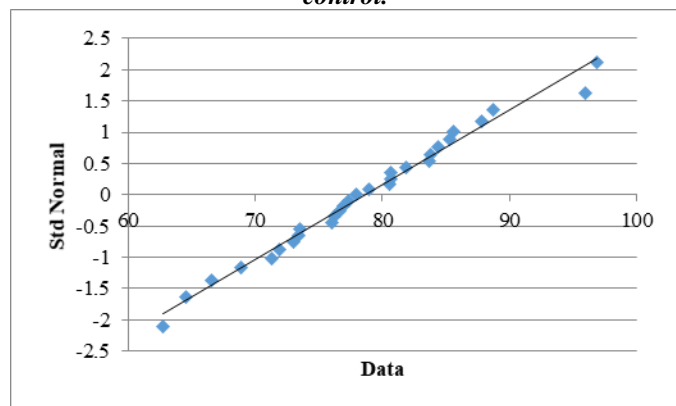
proceso de incubación artificial de huevos, utilizando la herramienta estadística libre Real Statistics de Microsoft Office Excel 2013.

Tabla 11. Resultados del Test Shapiro-Wilk para datos de eficacia del grupo de control y grupo experimental.

	Eficacia del grupo de control	Eficacia del grupo experimental
W-stat	0.982747607	0.987199732
p-valor	0.901776007	0.971779785
alfa	0.05	0.05
Normal	si	si

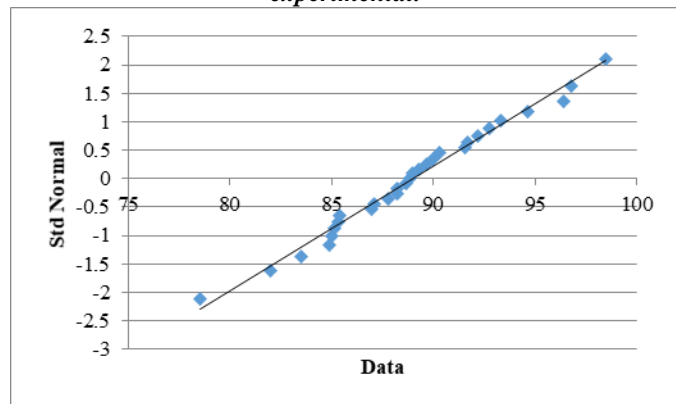
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4. Gráfico Q-Q de datos de eficacia del grupo de control.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5. Gráfico Q-Q de datos de eficacia del grupo experimental.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 12. Eficacia del proceso de incubación artificial de huevos del grupo de control y grupo experimental.

Ciclo	Eficacia del grupo de control	Eficacia del grupo experimental
1	85.28	92.75
2	71.91	89.98
3	85.60	96.77

10	64.57	94.63
20	80.56	89.30
28	95.93	91.60
29	81.84	88.26

Fuente: Elaboración propia.

Además, se definió las hipótesis para la aplicación de la prueba estadística T de Wilch, obteniéndose así:

Hipótesis nula H_0 : La media de la eficacia del grupo de control es mayor o igual a la media de la eficacia del grupo experimental.

$$H_0: \mu_1 \geq \mu_2$$

Hipótesis alternativa H_1 : La media de la eficacia del grupo de control es menor a la media de la eficacia del grupo experimental.

$$H_1: \mu_1 < \mu_2$$

Entonces, se aplicó la prueba estadística T de Welch para muestras independientes con distribución normal de datos y varianzas desiguales.

Tabla 13. Resultados de prueba T de Welch para la eficacia del proceso de incubación artificial de huevos.

	Eficacia del grupo de control	Eficacia del grupo experimental
Media	78.69	89.03
Observación	29	29
GL	43	
Estadístico T	-5.91656229	
P(T<=t) dos colas	4.83461 x 10 ⁻⁷	
Valor crítico	2.016692199	

Fuente: Elaboración propia.

VIII. DISCUSIONES

Obtenido los resultados con 95% de confiabilidad, se observa que se rechaza la hipótesis nula sobre el control del ambiente de la incubadora ($\mu_1 \geq \mu_2$) donde se define que la media del control del ambiente de la incubadora sin el sistema de monitoreo automatizado es mayor o igual a la media del control del ambiente de la incubadora con el sistema de monitoreo automatizado. Por lo cual, se afirma que existe un mayor control del ambiente de la incubadora con la aplicación del sistema de monitoreo automatizado ($\mu_1 < \mu_2$) en comparación al control del ambiente de la incubadora sin la aplicación del sistema de monitoreo automatizado. Entonces, se observa un correcto y óptimo control del ambiente de la incubadora con la aplicación del sistema de monitoreo automatizado que en algunos casos llega hasta un 96.60% de control del ambiente durante el ciclo de incubación. Mientras que el control del ambiente de la incubadora llegaba hasta un valor mínimo del 70.03% sin la aplicación del sistema de monitoreo automatizado, lo que plasmaba un inadecuado

control del ambiente. Por tales motivos, el valor obtenido en el control del ambiente de la incubadora con la aplicación del sistema de monitoreo automatizado es muy positivo dado que debe existir un correcto manejo del ambiente de la incubadora para un desarrollo óptimo del huevo desde embrión hasta el momento de la eclosión. Asimismo, se rechaza la hipótesis sobre la eficacia del proceso de incubación artificial de huevos ($\mu_1 \geq \mu_2$) donde se establece que la media de la eficacia sin el sistema de monitoreo automatizado es mayor o igual a la media de la eficacia con la aplicación del sistema de monitoreo automatizado. Entonces se acepta la hipótesis alternativa que define que la media de la eficacia del proceso de incubación con la aplicación del sistema ($\mu_1 < \mu_2$) es mayor a la media de la eficacia sin la aplicación del sistema. Por tal motivo, se observa que se alcanza un 98.48% de eficacia con el uso de un sistema de monitoreo automatizado en comparación al 62.73% de eficacia sin el uso de dicho sistema. Lo que permite afirmar que sin la aplicación del sistema de monitoreo no se logra alcanzar todas las metas en el proceso de incubación debido a su baja proporción de eficacia. Entonces, haciendo uso del sistema de monitoreo automatizado se mejora la eficacia del proceso de incubación obteniendo mejores índices de productividad considerados en el ciclo de incubación como es la tasa de natalidad y, asimismo, reducir índices negativos como la tasa de mortalidad en el ciclo de incubación.

Gregorio Castillo, Arnulfo Cruz, Elisa Gonzaga y Eugenio Luna (2019) [9], en su investigación "Diseño e implementación de un sistema de monitoreo automatizado en granja avícola" se desarrolla un sistema de control automatizado de control de variables de la incubadora para mejorar las condiciones ambientales, incrementar la producción y disminuir la tasa de mortalidad. Dichos objetivos fueron cumplidos dado que se obtuvo un beneficio en reducción de mortandad del 2.28% y se consiguió un adecuado control del ambiente de la incubadora que permite un mejor desarrollo del pollo. Dicha investigación brinda soporte a mi investigación porque refleja que al tener un óptimo control del ambiente se logra un mejor desarrollo del huevo y, así, reduciendo la tasa de mortalidad obteniendo una mayor eficacia en el ciclo de incubación porque se logra una máxima tasa de natalidad de polluelos. Además, el autor Nilton Ayra (2019) [11] en su investigación "Los sistemas Open Hardware 'Arduino' en el control de procesos de incubación de huevos de codorniz" afirma que la aplicación de un sistema de monitoreo y control automático proporciona una tasa de natalidad superior al 85% de natalidad con valor máximo del 94.46% y mejora el control del ambiente interno de la incubadora hasta un 99.5%. En relación con mi investigación, se refleja que un sistema de monitoreo automatizado mejora el control del ambiente de la incubadora con un índice máximo del 99.60%. Asimismo, la eficacia en base la tasa de natalidad en el ciclo de incubación es superior al 89.01% con la aplicación de un sistema de monitoreo automatizado. Por último, Josué González (2017) [12] en su investigación "Diseño e implementación de un control de

temperatura y humedad para un prototipo de incubadora artificial de pollos" afirmó que el uso de sistemas no eficientes sin la tecnología suficiente en las incubadoras de huevos produce una baja tasa de nacimientos. Estableciendo la relación con mi investigación, se brinda soporte en que la eficacia de un ciclo de incubación en una granja avícola está relacionada directamente con la aplicación de un sistema de monitoreo estable, robusto y con la tecnología suficiente.

IX. CONCLUSIONES

La aplicación de un sistema de monitoreo automatizado influye de manera positiva en el control del ambiente de la incubadora dado que permite obtener un control superior al 96.74% y un valor máximo del 99.60% en el control del ambiente de la incubadora. Esto permite tener un ambiente ideal para el adecuado desarrollo del huevo durante el ciclo de incubación. Entonces, se comprueba que la aplicación de un sistema de monitoreo automatizado permite el control óptimo e íntegro del ambiente de la incubadora durante el ciclo de incubación. Asimismo, un sistema de monitoreo automatizado permite mejorar la eficacia del proceso de incubación artificial de huevos porque logra un índice promedio de eficacia del 89.01% y una eficacia máxima del 98.48% en el ciclo de incubación. Este aspecto influye directamente en los índices de productividad de la granja avícola y apoya en el éxito del negocio. Finalmente, de manera general se logró demostrar que la aplicación de un sistema de monitoreo automatizado influye positivamente en el proceso de incubación artificial de huevos.

X. RECOMENDACIONES

Para futuras investigaciones con enfoque similar al presente proyecto, recomendaría considerar el estudio hacia otro tipo de aves de consumo considerando los aspectos necesarios que necesiten, dado que esta investigación estuvo enfocada netamente en la incubación del pollo, ignorando aves que también presentan demandas considerables como el pato o el pavo. Asimismo, ampliar el alcance del sistema de monitoreo automatizado abarcando la etapa de nacimiento con el monitoreo de las nacedoras de polluelos o el monitoreo de las granjas en la etapa de crianza para un adecuado desarrollo y crecimiento del pollo. Por último, siempre considerar el ámbito económico al desarrollar este tipo de proyectos dado que habrá la necesidad de adquisición de hardware para su implementación. El volumen de la inversión por parte de las empresas dependerá siempre del tipo de hardware que se seleccione para la ejecución del proyecto.

AGRADECIMIENTO

A mis padres por ser el motor que me impulsa y motiva a diario. También, a mis abuelos que son mis guías desde el cielo. Y a todas las personas que ayudaron e hicieron posible este proyecto. Muchas gracias.

REFERENCIAS

- [1] Organización de las Naciones Unidas de la Alimentación y la Agricultura (2013). Revisión del Desarrollo Agrícola. Recuperado de <http://www.fao.org/3/i3531s/i3531s.pdf>
- [2] Friedmann, A. & Wail, B. (2010). Producción avícola, negocio en crecimiento. *Unidad de Comunicaciones del Programa, Paraguay Vende*, 60. Recuperado de https://www.usaid.gov/sites/default/files/documents/1862/produccion_avicola.pdf
- [3] Cortes, F., Peñuelas, U., Contreras, J. & Dorador (2007). Diseño de máquina incubadora automática de huevo. *MEMORIAS DEL XIII CONGRESO INTERNACIONAL ANUAL DE LA SOMIM Y CONGRESO INTERNACIONAL DE METAL MECÁNICA 2007 19 al 21 DE SEPTIEMBRE, 2007 DURANGO, DGO. MÉXICO*. Recuperado de <http://somim.org.mx/memorias-somim/>
- [4] Oviedo, E. (2012). Efectos de la incubación en la salud, desempeño y la calidad del pollo. *Avícolas del Centro de México AC*, 8. Recuperado de <https://avem.mx/memorias2012.pdf#page=8>
- [5] Salazar, A. (2019). Incubación avícola. Opciones operativas: retrospectiva y actualidad. *Actualidad AVIPECUARIA*. Recuperado de <https://actualidadavipecuaria.com/incubacion-avicola-opciones-operativas-retrospectiva-y-actualidad/>
- [6] Seclén, O. (2017). Procesamiento avícola peruano. *Avicultura*. Recuperado de <https://www.engormix.com/avicultura/articulos/procesamiento-avicola-peruano-t40573.htm>
- [7] Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual, INDECOPI. Dirección de Inventiones y Nuevas Tecnologías (2015). *Repositorio INDECOPI*. Recuperado de <http://hdl.handle.net/11724/4429>
- [8] SISTEMA INTEGRADO DE ESTADÍSTICAS (MINAGRI - DGESEP - DEA) (2020). *Boletín Estadístico Mensual del Sector Avícola - enero 2020*. Recuperado de <https://www.gob.pe/institucion/midagri/informes-publicaciones/454705-boletin-estadistico-mensual-del-sector-avicola-2020>
- [9] Castillo, G., Cruz, A., Gonzaga, E. & Luna, E. (2019). Diseño e implementación de sistema de monitoreo automatizado en granja avícola. *Revista de Investigación en Tecnologías de la Información: RITI*, 7(14), 122-136. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7242771>
- [10] Hilarión, F., Bojacá, F. & Bojacá, D. (2020). Diseño y simulación de un sistema automatizado para producción avícola en la región del Guavio”, *Inventum*, vol. 15, no. 28, pp. 9-38. Recuperado de [10.26620/uniminuto.inventum.15.28.2020.3-32](https://doi.org/10.26620/uniminuto.inventum.15.28.2020.3-32)
- [11] Ayra, N. (2019). Los Sistemas de Open Hardware “Arduino” en el Control de los Procesos de Incubación de Huevos de Codorniz. *Revista de Ingeniería e Innovación*, 1(1), 25-35. Recuperado de <http://revistadeingenieriaeinnovacion-fiis-unheval.com/index.php/rii/article/view/4>
- [12] Gonzales, J. (2017). Diseño e implementación de un control de temperatura y humedad para un prototipo de incubadora artificial de pollos. SEMANTIC SCHOLAR. Recuperado de <https://www.semanticscholar.org/paper/Dise%C3%B1o-e-implementaci%C3%B3n-de-un-control-de-y-humedad-Morales/7e871f85b7d6513e41c1c1e02c4fd791313b2d5f>
- [13] Gonzales, J., Nuñez, B. & Vilorio, P. (2012). Sistema de monitoreo en tiempo real para la medición de temperatura. *Scientia et Technica* Vol. 2 Núm. 50 (2012) Recuperado de <https://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/6691>
- [14] Sadowski, S. (2020). Wireless technologies for smart agricultural monitoring using internet of things devices with energy harvesting capabilities. *Science Direct*. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105338>
- [15] Santiago, L. & Ronquillo A. (2015). Programming and Control Circuits of a chicken egg incubator through open source platform. *Research Gate*. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/311539708_Programming_and_Control_Circuits_of_a_chicken_egg_incubator_through_open_source_platform
- [16] Arce, G., Le, T., Morales, T., Camacho, M., Avello, E., Peña, F. & Tandrón, E. (2011). Comparación de indicadores de incubación artificial entre huevos de gallinas camperas y semirústicas en la provincia de Villa Clara, Cuba. *Redalyc*, Vol. 12(12). Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=63622039004>
- [17] Molina, P., Cedeño, F., Vásquez, J., Tobar, J. & Cedeño, M. (2020). Efecto del volteo y transferencia a la nacedora en la incubación artificial de huevos de codorniz japónica. *ZENODO*. Recuperado de <https://doi.org/10.5281/zenodo.4140481>
- [18] Gonzales, F., Porras, C. & Julian, J. (2006). Artificial incubation of the horned guan *Oreophaps derbianus* (aves: cracidae) eggs. *Acta Zoológica Mexicana (n.s.)* 22(1): 81-94. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&id=S0065-17372006000100006