

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE INCUBADORA DE HUEVOS DE AVE DE CORRAL COMO PROYECTO DE INVESTIGACIÓN EN LA EXTENSIÓN DE TECNOACADEMIA NODO TOLIMA.

S.L. Castellanos¹

¹Semillero IDEATEC / Centro de Industria y Construcción / Tecnoacademia Nodo Tolima / Servicio Nacional de Aprendizaje SENA / Tolima, Colombia.

scastellanosf@sena.edu.co

Palabras clave: Avicultura, incubación artificial, automatización, tecnificación, granjas avícolas.

RESUMEN

El grupo de semillero de la Extensión de la Tecnoacademia Nodo Tolima realizó el diseño y construcción de un sistema automático de incubación artificial a pequeña escala, que garantiza las condiciones óptimas para el desarrollo del embrión, a través del control de variables ambientales. El resultado esperado con la implementación del prototipo es obtener un aumento representativo en la eficiencia del proceso de incubación, es decir, en el número de nacimientos exitosos obtenidos. Inicialmente, se explora el ciclo de la incubación artificial de huevos de aves de corral, partiendo del proceso natural, donde se identifican y se establecen las variables físicas, las condiciones y los aspectos relevantes de cada fase. Durante la fase de experimentación y prueba del dispositivo, se logró establecer una eficiencia promedio del 57,68% en el proceso de incubación, muy baja para las expectativas que se habían planteado. Durante el análisis de los resultados, se identificaron las causas de los bajos índices de eclosión y las mejoras que se deben implementar al prototipo para aumentar la eficiencia en el proceso.

Durante los últimos 20 años, el departamento del Tolima se ha consolidado en la zona centro del país como potencia en la producción de gallinas, huevos e incubación de pollitos. Según Calderón, Gómez y Delgado [1], la avicultura familiar representa uno de los principales medios de sustento de los hogares campesinos de la región, quienes implementan la cría de aves de corral con el objetivo del autoconsumo, y en algunas ocasiones, la comercialización de los productos sobrantes.

En la zona rural del departamento del Tolima, la cría de gallinas se realiza en su mayoría en los patios traseros de las viviendas, donde las aves generalmente permanecen sueltas y sin ningún tipo de manejo, solo en un pequeño número de fincas, cerca del 36%, se cuenta con espacios como galpones o cobertizos acondicionados para su cría [1]. Así mismo, la incubación de huevos se lleva a cabo de manera tradicional, esto implica que la tasa de nacimiento de pollitos es lenta, ya que depende de la cantidad de huevos que pone una gallina, entre 40 y 60 al año, y el tiempo que se toma la gallina clueca para incubar una nidada y criar a los pollitos, en promedio 17 semanas, durante este tiempo la gallina no pone huevos, lo que reduce la cantidad de nidadas a 3,5 al año, como lo explica Pym [2], y por tanto, la producción de especies para la comercialización es poco eficiente. La implementación de la incubación artificial busca mejorar la producción de huevos llegando al menos a 150 al año.

El concepto de incubación artificial y la implementación de estos sistemas de manera artesanal no son algo novedoso, las civilizaciones antiguas emplearon diferentes métodos de incubación artificial mil años antes de Cristo, los egipcios lograron una efectividad del 70% en incubadoras bajo tierra o diseñadas con barro tipo ladrillo, alcanzando una capacidad de 90.000 huevos. Por su parte, la civilización china aprovechó procesos naturales como la fermentación del estiércol para la incubación, asimismo, diseñaron hornos a base de arcilla para el mismo fin, logrando una capacidad de 600 huevos [3]. Estos métodos de incubación han evolucionado con el tiempo, incorporándose nuevas técnicas que mejoren la productividad en el proceso.

La industria 4.0 nos conduce hacia la automatización de procesos agroindustriales usando ciencias aplicadas como la electrónica y la programación en sistemas de medición y monitoreo de variables, así como el almacenamiento y procesamiento de datos que, tal y como lo plantea Gonzalez [4], permitan crear sistemas más eficientes que aumenten la producción y contribuyan con la disminución del consumo energético.

Por lo tanto, para aumentar la efectividad del proceso de incubación de huevos de aves de corral, se plantea como proyecto de investigación formativa del programa de Extensión de la Tecnoacademia en el departamento del Tolima, el diseño e implementación de un sistema de control electrónico que permita la supervisión de variables físicas y la automatización del proceso.

Este proyecto, busca que niños y jóvenes de zonas rurales del departamento, integren conocimientos teórico-prácticos para la solución de problemáticas del entorno, con ello, los aprendices lograron aplicar los principios de ingeniería, electrónica y robótica en el diseño, construcción y programación de un sistema automático, fortaleciendo en ellos habilidades como la solución de problemas y el trabajo colaborativo, e integrando conocimientos empíricos y recursos tecnológicos para dar solución a la problemática planteada, contribuyendo al desarrollo social y económico de la región mediante la implementación, mejora, tecnificación o automatización de actividades cotidianas, procesos agrícolas, pecuarios, entre otros.

De acuerdo con los objetivos planteados, el presente proyecto constituyó una investigación aplicada de carácter experimental, cuyos resultados se evaluaron de manera cuantitativa. El proyecto se desarrolló en seis etapas: *Reconocimiento del Problema, Estudio y Caracterización del Proceso de Incubación, Diseño del Prototipo, Implementación y Programación, Pruebas de Funcionamiento y Evaluación e Identificación de Mejoras*. Para cada una de ellas se plantearon actividades específicas que, de manera conjunta, aportaron a la realización del proyecto.

Atendiendo las necesidades para la educación, producto de la pandemia del COVID-19, los aprendices investigadores participaron de reuniones sincrónicas desde su casa. En este orden, para garantizar la efectividad del trabajo desarrollado, se hizo necesario establecer estrategias de comunicación entre los aprendices y el facilitador que per-

mitieran dar cumplimiento a los compromisos adquiridos, tanto de manera individual como en grupo de trabajo.

Durante las dos primeras etapas, las actividades propuestas fueron realizadas de manera independiente por cada aprendiz y llevadas a una socialización de conceptos durante las sesiones sincrónicas. Lo anterior, dejó como resultado el planteamiento del proyecto y su fundamentación teórica.

2.1 CARACTERIZACIÓN DEL PROCESO DE INCUBACIÓN:

Para garantizar la eficiencia en el proceso de incubación artificial de huevos, se tuvieron en cuenta las etapas de Reconocimiento del problema y Estudio y Caracterización del proceso de Incubación que incluyen los aspectos que van desde la selección de los huevos, pasando por el desarrollo del embrión, hasta la eclosión. En su orden, se ajusta a la metodología propuesta. De esta forma, la etapa de Reconocimiento del problema y estudio y caracterización del proceso de incubación implica las acciones que se describen a continuación:

2.1.1. Selección de huevos fértiles:

La selección de los huevos representa un factor de gran importancia, ya que de la calidad de éstos depende la efectividad de eclosión que se obtenga al finalizar el proceso de incubación:

- Es importante escoger huevos provenientes de gallinas sanas, bien desarrolladas y maduras, ya que las condiciones deficientes de salud y nutrición, afectan negativamente la fertilidad y las tasas de eclosión.
- Se prefieren huevos de tamaño mediano, pues los huevos pequeños producirán crías muy pequeñas, mientras que los huevos muy grandes podrán presentar problemas para incubar y eclosionar.
- Se deben evitar aquellos huevos que posean un cascarón muy delgado o roto, toda vez que presentan dificultad para mantener la humedad y, de esta manera, aumentan las posibilidades del ingreso de microorganismos que afecten el desarrollo del embrión.
- Se deben seleccionar sólo huevos limpios. No es recomendable lavarlos ni limpiarlos, ya que pierden la capa protectora, lo que facilita el ingreso de gérmenes a través de los poros del cascarón.
- No se aconseja elegir huevos deformes o irregulares.

En el día 7 se debe verificar la existencia de un embrión dentro del huevo; este proceso, se realiza dentro de una habitación oscura poniendo el huevo a contraluz con una linterna.

Los huevos fecundados se reconocen fácilmente, ya que se visualiza un punto negro dentro del huevo que corresponde al embrión vivo, el cual, al estar sano, el contenido se vislumbra bastante limpio y transparente, pues de lo contrario, su apariencia es turbia. En otro particular, el huevo no sano se reconoce por presentar un aro rojo de sangre alrededor de la yema o un punto negro pegado a las paredes de la cáscara. [5]

2.1.2. Cuidado y Almacenamiento de los huevos:

Una vez elegidos los huevos que serán utilizados para la incubación, se deben almacenar en una zona fría y húmeda; se deben cambiar de posición periódicamente durante el tiempo de almacenamiento, que no debe superar los 7 días, pues de lo contrario se reduce drásticamente el porcentaje de incubación exitosa. Antes de colocar los huevos en la incubadora, debe permitirse su calentamiento a temperatura ambiente.

2.1.3. Condiciones de Incubación:

Una incubadora es básicamente una caja caliente y húmeda, sin embargo, es necesario mantener las condiciones de ambiente especiales para garantizar la incubación y posterior eclosión de los huevos. Para ello, se debe tener en cuenta el tipo de incubadora a utilizar, toda vez que existen dos tipos de incubadoras: de aire forzado y de aire quieto. Las primeras, tienen ventiladores que proporcionan circulación interna de aire, mientras que las de aire quieto no tienen ventiladores, y el intercambio de aire se logra por la elevación y escape del aire caliente y viciado, y el ingreso de aire más fresco, cerca de la base de la incubadora.

La temperatura de incubación es el factor más importante a tener en cuenta en este periodo. Según Juárez, citado por Rodríguez y Cruz, [6] para huevos de gallina, la temperatura durante los primeros 18 días de incubación, debe estar en el rango de 37,5°C y 37,7°C, hacia el día 19 se debe disminuir la temperatura para reducir el riesgo de sobrecalentamiento a un rango entre 36,1°C y 37,2°C. López, citado en [6], afirma que las temperaturas más altas de lo normal afectan más que los niveles de calor bajos, ya que provocan la muerte del embrión, deshidratación, nacimientos prematuros y alta mortalidad de los pollitos al nacer y durante los primeros días de vida. De otra parte, de acuerdo con [7] una temperatura de incubación insuficiente (baja), prolonga la duración de ésta, así como pollitos inmaduros y de aspecto débil.

El control de la humedad al interior de la incubadora, es tan importante como el de la temperatura. De acuerdo con [8], la humedad relativa de la incubadora, entre el día 1

y el día 18, debe permanecer en el rango del 45% a 50%, y a partir del día 19 debe aumentarse al 65% o más.

La ventilación es otro factor a tener en cuenta, ya que mientras el embrión se desarrolla, el oxígeno entra al huevo a través de la cáscara y el dióxido de carbono escapa de la misma manera. Para que haya una buena circulación de aire, se necesitan al menos 2 orificios: una entrada de aire en la parte inferior de la incubadora y una salida en la parte superior. [8]

2.1.4. Volteo de huevos:

Según Rodríguez y Cruz [6], citando a Bonilla y Diaz, Vantress y Quintana, es indispensable la rotación de los huevos durante la primera semana de incubación, esto garantiza que el embrión no se adhiera a las paredes de la cáscara, y posteriormente, logre ubicarse en la posición óptima para el nacimiento, asimismo, el volteo constante, de 4 a 6 veces al día según [8], ayuda al enfriamiento del huevo, a partir del sexto día de incubación, el embrión empieza a realizar movimientos propios de manera voluntaria perdiendo importancia el volteo manual.

Según Rodríguez [6], citando Quintana, las consecuencias de un volteo insuficiente durante los primeros días de incubación pueden ser deformidades o rupturas en los pulmones de los pollitos, así como nacimientos en posiciones anormales, por otro lado, un volteo en la misma dirección provoca alta mortalidad de los embriones a causa de rupturas en los vasos sanguíneos y yemas.

2.1.5. Limpieza de la Incubadora:

Se debe realizar un proceso de limpieza de la incubadora antes de su uso, para ello deben retirarse todas las cáscaras de huevo, plumas, polvo y material adicional, luego, debe ser lavada con una solución caliente de detergente y enjuagarse con desinfectante. Un minucioso trabajo de limpieza resulta en una mejora de 95-99% en cuanto a control de enfermedades. [8]

2.2 DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PROGRAMACIÓN DEL PROTOTIPO:

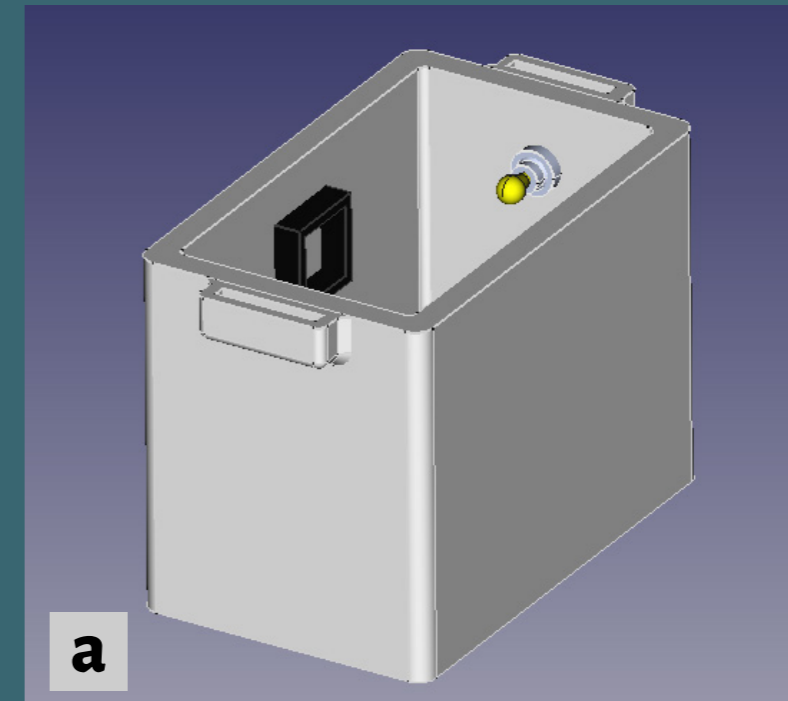


Figura 1. a. Diseño 3D de la incubadora, b. Prototipo construido

Durante esta etapa, se hizo necesario desarrollar sesiones de formación en electrónica, robótica, programación y diseño 3D que brindaran a los aprendices la conceptualización básica en cada área. A partir de allí, se asignaron tareas de acuerdo con sus conocimientos, intereses y experiencias en un ambiente de trabajo colaborativo, donde cada aprendiz se hizo responsable de una parte del diseño. El resultado de esta etapa se representó en los planos físicos, electrónicos y lógicos del prototipo.

En las etapas de Diseño del Prototipo e Implementación y Programación, se tuvieron en cuenta los aspectos indispensables para conseguir los resultados de desarrollo y eclosión esperados, así como la disponibilidad de materiales y la facilidad de construcción.

El diseño físico de la incubadora se realizó, inicialmente, en un software de modelado 3D, esto permitió determinar su tamaño, la ubicación de los componentes emisores de calor, los sensores electrónicos y el ventilador, así mismo, decidir la posición de los agujeros para la ventilación teniendo en cuenta los espacios necesarios para situar los componentes antes mencionados y el mecanismo para el volteo de huevos, tal como lo registra la Figura 1a.

Como se puede observar en la Figura 1b, la caja contenedora es una nevera de icopor de 25 litros, a la cual se le realizaron tres agujeros que permiten la circulación de aire, cuenta con una plataforma enmallada en la que se sitúan los huevos durante todo el proceso de incubación, sobre la plataforma se encuentra una rejilla de madera con la que se consigue un volteo lento y uniforme de los huevos. En los costados derecho e izquierdo, se situaron dos bombillos de 40W, y en el costado trasero un ventilador, en la base de la incubadora se encuentra una bandeja del mismo material de la caja como recipiente contenedor de agua, que permite mantener la humedad dentro de la incubadora.

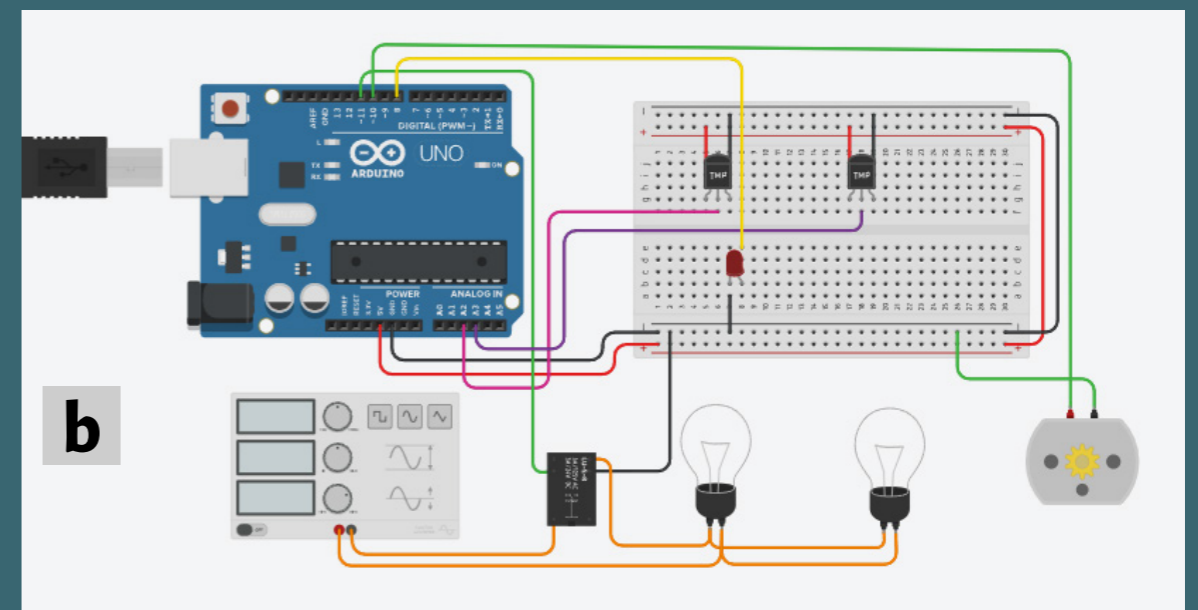
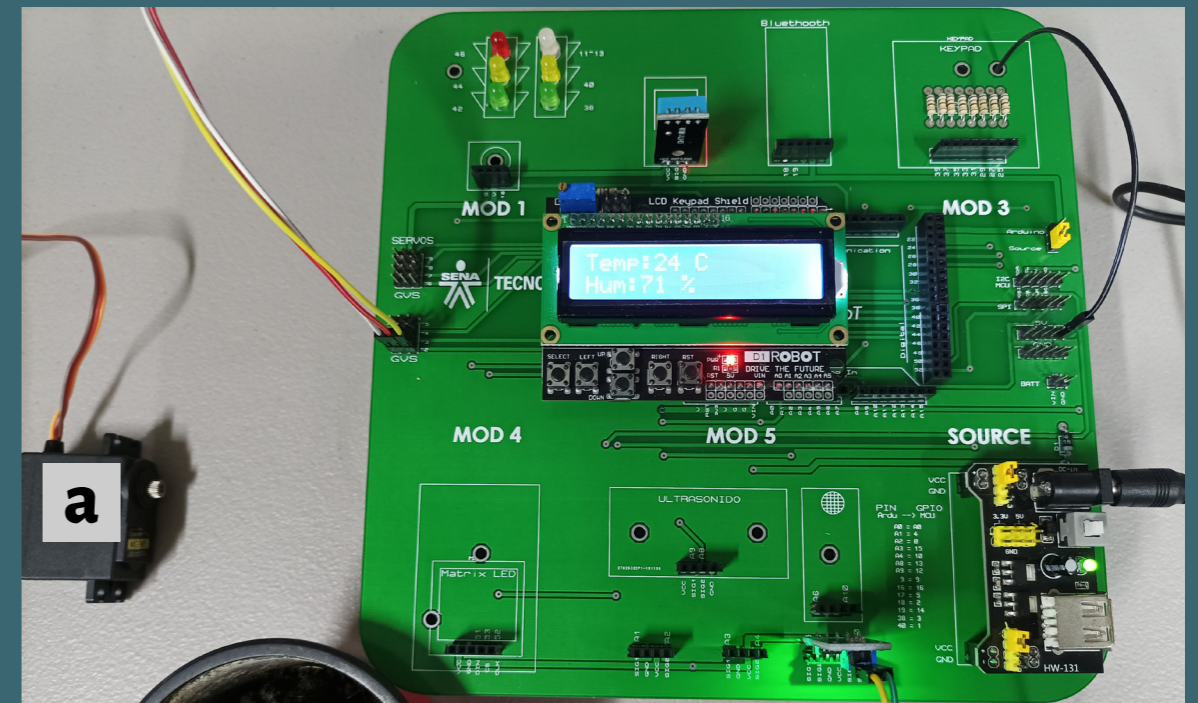


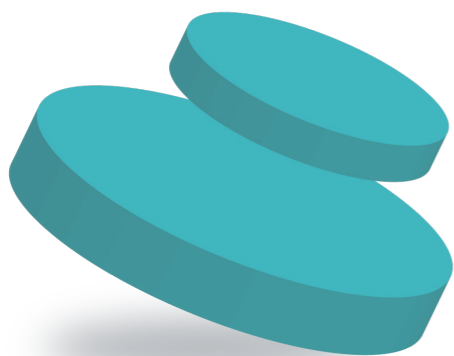
Figura 2. a. Montaje electrónico, b. Diseño electrónico

El principal insumo que se utilizó en la etapa de Implementación y Programación fue el TECNOKIT de la Extensión de la Tecnoacademia. (Figura 2a), este material formativo, diseñado y fabricado en el Centro de Industria y Construcción del SENA Regional Tolima, permite que los aprendices desarrollen conocimientos en robótica y electrónica mediante actividades de investigación formativa enfocadas a la solución de problemáticas del entorno.

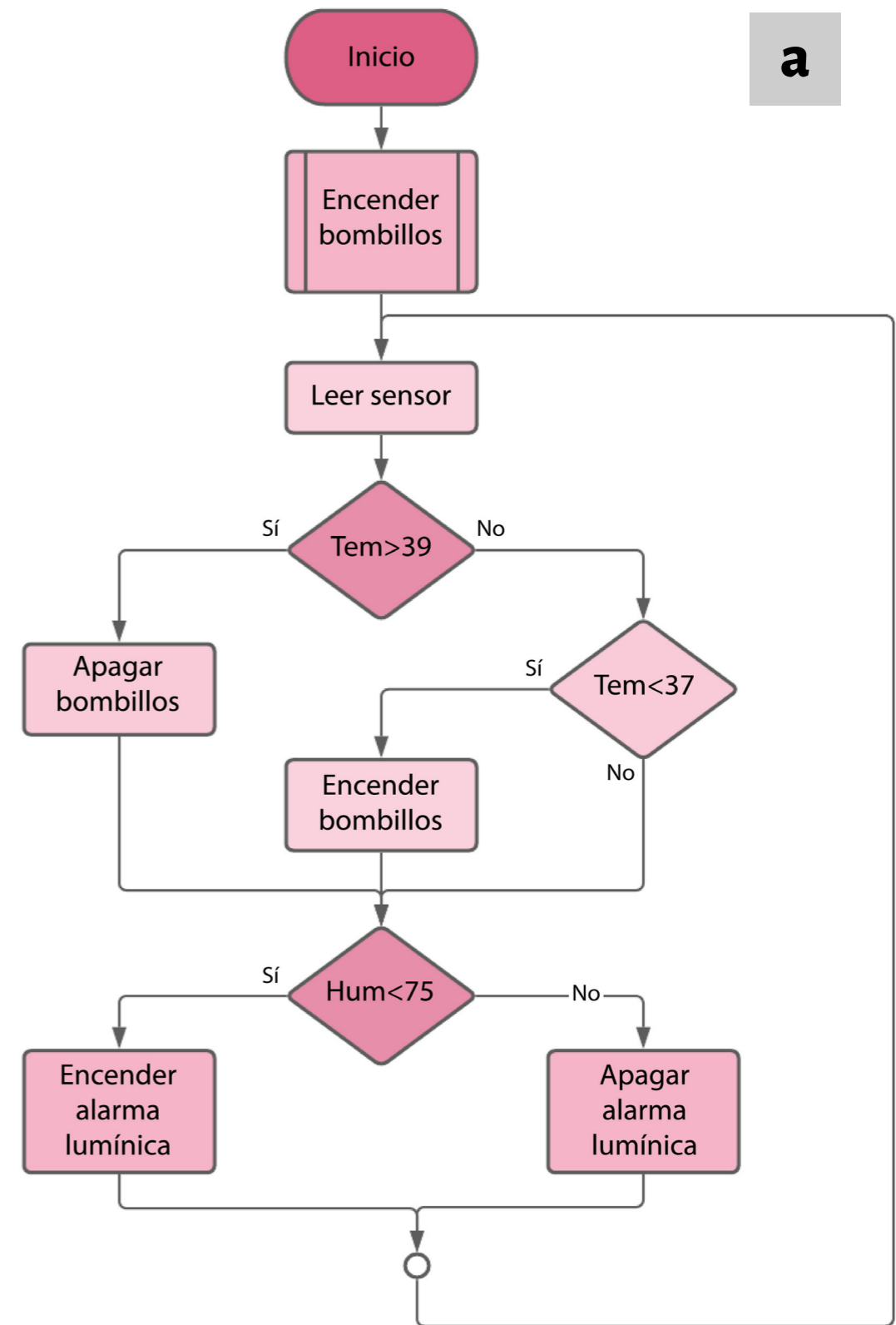
El diseño electrónico se llevó a cabo teniendo en cuenta las variables físicas que se deben controlar para garantizar los resultados esperados, es así como se utilizó una placa de Arduino, como microcontrolador, un sensor de temperatura y humedad, y un módulo relé para el control de variables ambientales; para el volteo de huevos se empleó un motor, y para llevar el control del tiempo de incubación, se utilizó un RTC (reloj en tiempo real), en la Figura 2b se presenta el diagrama gráfico del circuito.

Para la construcción del prototipo, se organizó un calendario de trabajo en el que cada aprendiz se hizo responsable de realizar las actividades de implementación que le fueron asignadas; finalmente, con el prototipo físico y electrónico terminado, se llega a la etapa de programación, en la cual se utilizaron plataformas de código abierto basadas en programación por bloques, lo que facilitó el proceso lógico de creación de software para los jóvenes investigadores.

En la etapa de programación se realizó, inicialmente, el diseño lógico del programa a través de un diagrama de flujo (mostrado en la Figura 3a), la codificación se llevó a cabo mediante la aplicación en línea “Arduino Blocks” (<http://www.arduinoblocks.com>), que permite una fácil implementación del software, el código se muestra en la Figura 3b.



a



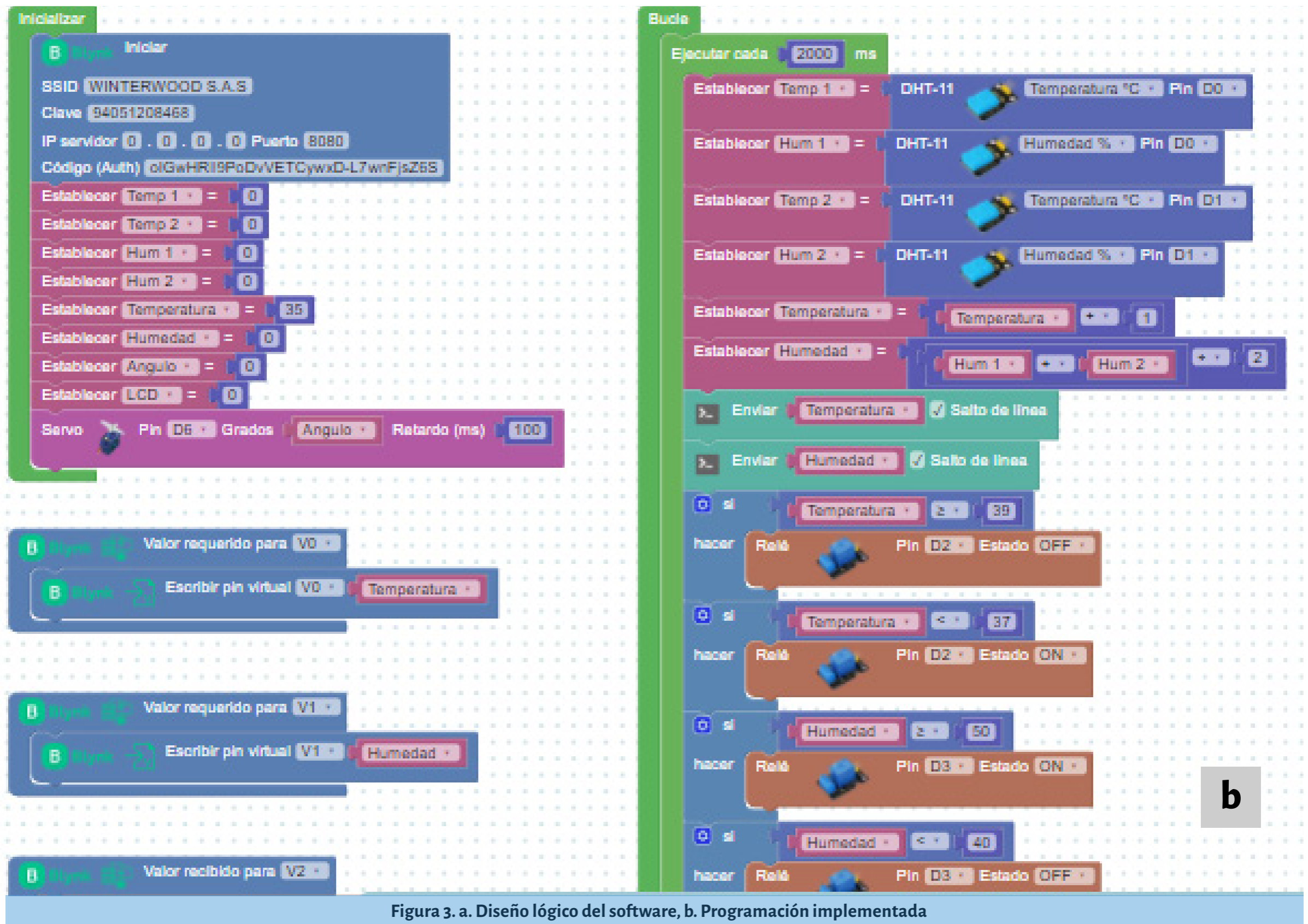


Figura 3. a. Diseño lógico del software, b. Programación implementada

03

RESULTADOS

2.2.1. Funcionamiento del circuito de control: Al encenderse, la incubadora inicia un contador de días de incubación apoyándose en el RTC; de esta manera, entre el día 1 y 18, los parámetros de temperatura se establecen en un valor mínimo de 37°C y máximo de 38°C, y los parámetros de humedad entre 45% y 50%. Al superar el día 18, dichos valores cambian, estableciendo la temperatura mínima en 36°C y máxima en 37°C, y la humedad entre 65% y 70%.

El control de las variables se realiza de la siguiente manera: al encenderse la incubadora, se activan los bombillos para mantener la temperatura en su interior, el sensor de referencia DHT-11, situado a la altura de la plataforma, censa constantemente los valores de temperatura y humedad. Cuando la temperatura supera el valor máximo establecido, los bombillos se apagan, y cuando la temperatura desciende por debajo del valor mínimo, los bombillos se encienden de nuevo. En el caso de la humedad, cuando el sensor detecta un aumento de ésta por encima del máximo permitido, se enciende el ventilador, con lo que se disminuye la concentración de agua al interior de la incubadora, una vez se estabiliza la humedad el ventilador se apaga. Contrario a esto, cuando la humedad dentro de la incubadora se encuentra por debajo del límite permitido, se enciende una alarma visual y sonora que indica la necesidad de reabastecer de agua la bandeja al interior de la incubadora. Esta configuración, permite realizar el control de la temperatura y la humedad, independiente del día de incubación en el que se encuentre.

El volteo de huevos se realiza cada 6 horas durante los 6 primeros días de incubación, mediante la activación de un motor acondicionado a la rejilla, a partir del séptimo día se suspende el proceso.

Para enriquecer el proceso investigativo y lograr un análisis más completo de la efectividad del prototipo, se realizaron, de manera simultánea, pruebas con una incubadora artesanal sin automatización y con el prototipo automático, diseñado y construido por los aprendices del semillero.

Para la incubadora artesanal se empleó: una caja de cartón, papel aluminio, un bombillo de 60 watts, un recipiente plástico para almacenar agua y pasto seco. Durante el periodo de experimentación no se controlaron las variables ambientales y el volteo de huevos se llevó a cabo de manera manual, tres veces al día, durante los primeros 6 días de incubación, al igual que con la incubadora automática.

Se llevaron a cabo dos periodos de experimentación, en cada incubadora se usaron 15 huevos de gallina que cumplían los criterios de selección y almacenamiento previo, se establecieron tres horarios durante el día (6:00 am, 2:00 pm y 10:00 pm) para el monitoreo del correcto funcionamiento de las incubadoras y el volteo manual de los huevos.

En los días 7 y 14 de cada periodo de incubación, se realizó la revisión de los huevos para comprobar la existencia de embrión e identificar aquellos que no mostraban desarrollo embrionario, posteriormente, se descartaron del proceso siendo retirados de la incubadora. Finalmente, el día 21 se realizó el conteo de eclosiones exitosas con nacimiento de pollitos vivos, con ello se calculó la eficiencia del proceso en cada incubadora. Los datos obtenidos durante los dos periodos de experimentación se encuentran consignados en la Tabla 1.

La eficiencia en la incubación se calculó con el total de pollos nacidos en comparación con los huevos colocados menos los descartados en pruebas de fertilidad los días 7 y 18, para su cálculo se empleó la ecuación (1).

$$eficiencia = \frac{\text{pollos nacidos}}{\text{huevos totales} - \text{huevos No fértiles}} * 100\% \quad (1)$$

Tabla 1. Resultados de las pruebas de incubación

Tabla 1.a: Prueba 1					
Incubadora	Huevos para incubación	Huevos no fértiles día 7	Huevos no fértiles día 14	Nacimientos exitosos	Eficiencia
Artesanal	15	3	1	3	27.27%
Automática	15	2	1	8	61.53%

Tabla 1.b: Prueba 2					
Incubadora	Huevos para incubación	Huevos no fértiles día 7	Huevos no fértiles día 14	Nacimientos exitosos	Eficiencia
Artesanal	15	2	1	4	33.33%
Automática	15	1	1	7	53.84%

Los resultados obtenidos durante las pruebas de incubación se analizaron estadísticamente, obteniendo la eficiencia promedio y la desviación estándar, este análisis se relaciona en la Tabla 2.

Tabla 2. Análisis de eficiencia en la incubación				
Incubadora	Prueba 1	Prueba 2	Eficiencia promedio	Desviación Estándar
Artisanal	27,27%	33,33%	30,3%	±3.03
Automática	61,53	53.84%	57,68%	±3.84

Los resultados determinaron que la incubación artesanal presentó, en las dos pruebas realizadas, una eficiencia mucho menor en comparación con el proceso de incubación automatizado. Es importante realizar pruebas adicionales para conseguir resultados más precisos, y de esta manera, un análisis de la eficiencia más completo.

Posterior al proceso de experimentación y análisis de los resultados, los aprendices llevaron a cabo la *Evaluación e Identificación de Mejoras* al prototipo, generando de manera colaborativa las conclusiones sobre el proyecto investigativo y proponiendo modificaciones que permitan aumentar la eficiencia en la incubación. Dentro de las modificaciones planteadas se encuentran la inclusión de un sensor adicional de temperatura y humedad, lo que va a permitir mayor precisión en la medición de las variables, de la misma forma, se propone la integración de un sistema de monitoreo remoto de la incubadora por medio de una aplicación que notifique a un dispositivo móvil novedades tales como, fallas en el fluido eléctrico y niveles de temperatura y humedad fuera de los rangos establecidos.

04 CONCLUSIONES

La tasa de eclosión exitosa mostrada durante la fase de experimentación y prueba del dispositivo mostró una eficiencia promedio del 57,68%, aunque se encuentra por debajo de las expectativas planteadas, se logró demostrar que la automatización del proceso de incubación artificial mejora sus índices

de eficiencia y, por tanto, el prototipo es viable para ser implementado en pequeñas fincas de la zona rural del departamento del Tolima.

Los pequeños avicultores de las zonas rurales del departamento del Tolima están implementando técnicas de incubación poco eficientes, ya sea porque mantienen el proceso natural de la gallina con bajos índices de producción o porque emplean incubadoras artesanales con una tasa de nacimiento exitoso baja respecto a los sistemas automáticos. Esto se ve reflejado en que el campesino productor de aves disminuye los ingresos provenientes de esta actividad y, por tanto, su calidad de vida se ve afectada.

La mortalidad embrionaria es una variable que se debe tener en cuenta cuando existen problemas de baja incubabilidad, con la finalidad de realizar ajustes y tener éxito en los nacimientos, en este caso se deben realizar ajustes en la cantidad de sensores del prototipo, lo que permitirá una mayor precisión en la medición de la temperatura y humedad dentro de la incubadora.

La implementación de tecnologías de cuarta generación en actividades agropecuarias mediante la automatización y control de los procesos, mejora su productividad y eficiencia, generando beneficios económicos a los campesinos y promoviendo el desarrollo de las zonas rurales en Colombia.

05 REFERENCIAS

- [1] Calderón J., Gómez S y Delgado J. 2010. La avicultura familiar en el norte del Tolima (Colombia). *Revista Colombiana de Ciencia Animal*, Vol. 3, No. 1, 2010. 64-67.
- [2] Pym R. 2013. Genética y cría de aves de corral en los países en desarrollo. *Revisión del Desarrollo Avícola*. 86 – 89.
- [3] Ascencio F. y Elias S. Evaluación de las funciones básicas de una incubadora artesanal con una semi-industrial y la incubación natural. [Tesis de pregrado]. El Salvador: Universidad del Salvador; 2009.
- [4] Gonzalez J. Diseño e implementación de un control de temperatura y humedad para un prototipo de incubadora artificial de pollos. [Tesis de pregrado]. Cali: Pontificia Universidad Javeriana; 2017.
- [5] “¿Cómo Incubar Huevos de Gallina en casa? - La Guía Completa.” Equipar.es <https://www.equipar.es/como-incubar-huevos-de-gallina/> (Consultado 15 de octubre de 2020).
- [6] Rodríguez J y Cruz A, 2017. Factores que afectan la incubabilidad de huevo fértil en

aves de corral. *Nutrición Animal Tropical*, Vol. 11, No. 1, 2017. 16–37.

[7] Vaca L, 1999. *Producción avícola*. EUNED. San José, Costa Rica. p. 93-110.

[8] “Cuidado e incubación de los huevos fértiles.” *Elsitioavicola.com* <https://www.elsitioavicola.com/articulos/2496/cuidado-e-incubacion-de-los-huevos-fartiles/> (Consultado 15 de octubre de 2020).

[9] “Como eclosionar huevos de gallina” *wikihow.com* - <https://es.wikihow.com/eclosionar-huevos-de-gallina> (Consultado 7 de agosto de 2021).

