

INCUBADORA AVÍCOLA SUSTENTABLE, AUTOMATIZADA CON MICROPROCESADORES ATmega2560 APLICANDO LA LOGICA DIFUSA

SUSTAINABLE POULTRY INCUBATOR, AUTOMATED WITH ATmega2560 MICROPROCESSORS APPLYING FUZZY LOGIC

Arturo de la Rosa Galindo¹, Urfila Victoria Peláez Estrada², Lauro Gasga Perez³, Isaac Santiago Martinez⁴, Jorge Celestino Guzmán Hernandez⁵

¹Maestro en Administración. Tecnológico Nacional de México, Campus Instituto Tecnológico de Pinotepa. Dirección, dir_pinotepa@tecnm.mx, 9541184628, Prolongación 10a Norte entre libramiento y calzada Tecnológico, Sección primera, Santiago Pinotepa Nacional, Oax. México. C. P. 71602.

²Maestría en Ciencias en Enseñanza de las Ciencias. Tecnológico Nacional de México, Campus Instituto Tecnológico de Pinotepa. Departamento de Sistemas y Computación, urfila.pe@pinotepa.tecnm.mx, 95410704399, Prolongación 10a Norte entre libramiento y calzada Tecnológico, Sección primera, Santiago Pinotepa Nacional, Oax. México. C. P. 71602 ³Ingeniero en Zootecnia. Tecnológico Nacional de México, Campus Instituto Tecnológico de Pinotepa. Departamento de Ciencias en Ingeniería, lauro_gp@pinotepa.tecnm.mx, 9545592142, Prolongación 10a Norte entre libramiento y calzada Tecnológico, Sección primera, Santiago Pinotepa Nacional, Oax. México. C. P. 71602

⁴Maestro en Administración. Tecnológico Nacional de México, Campus Instituto Tecnológico de Pinotepa. Departamento de Ciencias Económico – Administrativo, isaac.sm@pinotepa.tecnm.mx, 9541265050, Prolongación 10a Norte entre libramiento y calzada Tecnológico, Sección primera, Santiago Pinotepa Nacional, Oax. México. C. P. 71602

⁵Maestro en Administración. Tecnológico Nacional de México, Campus Instituto Tecnológico de Pinotepa. Departamento de Ciencias Económico – Administrativo, jorge.gh@pinotepa.tecnm.mx, 9541267637, Prolongación 10a Norte entre libramiento y calzada Tecnológico, Sección primera, Santiago Pinotepa Nacional, Oax. México. C. P. 71602

Resumen -- El presente proyecto se desarrolló en las instalaciones del Instituto Tecnológico de Pinotepa. En la población de Santiago Pinotepa Nacional, Oax con la finalidad de realizar un primer acercamiento, a la solución de la problemática que se presenta en la comunidad avícola de esta población, con respecto a la producción de la avicultura. Se pretende eliminar la dependencia que tiene el avicultor, al comprar los pollos recién nacidos, lo que causa un porcentaje de alta mortalidad. El artículo presenta el resultado del proyecto denominado "Diseño de una Incubadora Avícola Sustentable, Automatizada con Microprocesadores y Monitoreada Con Aplicación Móvil" que tiene como objetivo aumentar producción avícola en la población reduciendo los costos de incubación, diseñando un Sistema de Incubación sostenible, automatizada con un Microprocesador ATmega2560 y Monitoreada con Aplicación Móvil. El cual se Implementó tecnologías actuales para el control y monitoreo del sistema, en donde los parámetros eficientes de operación como la humedad, la temperatura y el movimiento fueron controlados de manera autónoma por sensores DHT11 este es un sensor digital de temperatura y humedad relativa, mediante la lógica difusa. El monitoreo fue diseñando en un lenguaje de programación app inventor con Arduino en una computadora portátil.

El diseño de los sistemas de control difuso de temperatura y rotación se desarrollaron mediante la metodología del experto, se implementaron en una plataforma hardware DsPIC y finalmente, se validaron mediante tres enfoques: computacional, control y aplicación. Se obtuvo un 95% de eclosión, por lo que se concluye que es viable realizar la incubación artificial con este prototipo de incubadora para huevos.

Palabras Clave: Automatización, control, incubación, sensor, temperatura.

Abstract -- This project was developed in the facilities of the Technological Institute of Pinotepa. In the town of Santiago Pinotepa Nacional, Oax in order to make a first approach to the solution of the problem that occurs in the poultry community of this population, with respect to poultry production. It is intended to eliminate the dependency that the poultry farmer has, when buying newborn chickens, which causes a high mortality rate. The article presents the result of the project called "Design of a Sustainable Poultry Incubator, Automated with Microprocessors and Monitored With Mobile Application" that aims to increase poultry production in the population reducing incubation costs, designing a sustainable Incubation System, automated with an ATmega2560 Microprocessor and Monitored with Mobile Application. Which was implemented current technologies for the control and monitoring of the system, where efficient operating parameters such as humidity, temperature and movement were controlled autonomously by DHT11 sensors, this is a digital temperature and relative humidity sensor, through fuzzy logic. The monitoring was designing in an inventor app programming language with Arduino on a laptop. The design of the diffuse temperature and rotation control systems were developed using the expert's methodology, they were implemented in a DsPIC hardware platform and finally, they were validated using three approaches: computational, control and application. 95% hatching was obtained, so it is concluded that it is feasible to carry out artificial incubation with this prototype incubator for eggs.

Key words – Automation, control, incubation, sensor, temperature.

INTRODUCCIÓN

La avicultura en México ha tenido un repunte muy importante al grado de desplazar a la carne de cerdo y de bovino, siendo la carne de pollo la de mayor preferencia y consumo por la población consumidora de tales productos cárnicos (carne). A la fecha, la avicultura aporta el 60.0% de la proteína de origen animal y una participación muy importante en el producto interno bruto total agropecuario (Pérez, Figueroa, Godínez, & García, 2014). El dinamismo de la avicultura presentado en los últimos 25 años ha permitido que México se ubique como el cuarto productor avícola a nivel mundial de carne de pollo, y como el quinto en la producción de huevo. Los avances tecnológicos en la genética animal, la nutrición, el manejo, la sanidad y el equipo tecnológico usado en la producción han permitido que la industria de la producción de pollo haya incrementado su productividad y competitividad. Los tres sistemas de producción que siguen operando en la actualidad en México son: el de traspatio (10.0%), semi tecnificado (20.0%) y tecnificado (70.0%) (Hernández & Vázquez, 2009; Pérez et al., 2014). La avicultura nacional es la actividad agropecuaria más importante del país; ha desarrollado y cumplido con un cometido social muy importante en las últimas tres décadas. Los avicultores aportan una oferta anual de pollo, huevo y pavo por un valor de más de 28,000 millones de pesos, participan con un 33.55% del PIB agropecuario y con el 0.44% del PIB total. En el año 2000 la producción avícola aportó 1'830,000 toneladas de huevo, 1'890,000 toneladas de carne de pollo y 12,400 toneladas de carne de pavo. La industria avícola nacional tiene varios mercados: El mercado público (30.0%), la industria de la rosticería (30.0%), el producto vivo (20.0%) y los supermercados (20.0%); éste último incluye pollo entero, en piezas y procesado (Jiménez, 2012; Pérez et al., 2014). Este proyecto consistió en el diseño avícola sustentable, automatizado con microprocesadores y monitoreada con aplicación móvil, con capacidad de incubación de 150 huevos, teniendo un 95% de gestación de bajo costo, como una propuesta de solución para hacer frente a los altos precios en el mercado, mediante la producción de pollos, huevos en el entorno doméstico y poder satisfacer la demanda alimentaria de poblaciones vulnerables.

En la incubación artificial de huevos de aves se manejó con microcontroladores para las cuatro variables importantes: temperatura, rotación de los huevos, ventilación y humedad. Se ha demostrado que la temperatura fue una variable importante en este proceso, está debe de mantenerse constante como sea posible en aproximadamente 37,78°C para todo tipo de aves. La

rotación de los huevos se realizó durante 21 días, con el fin de mantener la membrana del embrión separada de la cáscara del huevo. La ventilación fue rica en oxígeno para que los ovíparos por medio de su coraza pudieran respirar en la etapa de eclosión, el grado de humedad permitió definir el género de las aves. Mantener estas variables dentro de los márgenes establecidos según los estudios realizados por expertos, permite obtener un porcentaje de eclosión aceptable en cada incubación (Clauer, 2009).

La lógica difusa es una técnica de la inteligencia computacional que pretende imitar el comportamiento del ser humano antes situaciones cotidianas de decisión, toma de información imprecisa y generan una respuesta exacta (Wang 1997). Actualmente existen implementaciones de sistemas de control difuso, en diferentes ámbitos de trabajo y de conocimiento, tanto para desarrollo académico como para el industrial. Por ejemplo, Ponce (2001), implemento una incubadora de cuidados intensivos controlada con la lógica difusa en un microcontrolador PIC16C73B, la cual se realizó con el fin de mejorar este proceso para los neonatos y obtuvo resultados superiores a las incubadoras que se utilizaban control básico.

Con lo anterior se generará impacto a nivel social, educativo, ambiental, investigativo y empresarial, tanto departamental como nacional. Al igual, se presentan los resultados obtenidos del proyecto para la validación del prototipo de incubadora, el cual se hace mediante tres enfoques: (1) computacional, (2) de control y (3) de aplicación; cada uno evaluado y analizado para cada sistema de control implementado.

DESARROLLO

El presente proyecto se realizó en las instalaciones del Instituto Tecnológico de Pinotepa. En la población de Santiago Pinotepa Nacional, Oax. En el laboratorio de electrónica. La incubación de huevos de aves se realizó en el campo experimental del campus Instituto Tecnológico de Pinotepa en la población de San José Estancia Grande, Oax.

Primero el desarrollo del prototipo:

Se diseñó la incubadora en una base de un refrigerador reciclado, El software fue en 3D que brindó una apreciación casi real del prototipo. Para ello se utilizó el software sketchupr, con el propósito de modelar el exterior e interior dándole vista a las tres charolas y a la parte superior donde se instaló la circuitería, esto nos permitió seguir una construcción de manera ordenada, este diseño cuenta con 57 cm de ancho, 118 cm de alto por 53cm de fondo, el vidrio es para visualizar los huevos desde afuera: 40cm X 30cm, dentro de esta caja

en forma de pollo se encuentran los circuitos.

Se diseñó en una base de lámina con dos partes principales 1) El control de la temperatura y 2) Sistema mecánico para el control de rotación. En la figura 1, se muestra el plano con las dimensiones de la estructura del prototipo.

Para el control de la temperatura, el aire se calienta con una resistencia de 41Ω a 300 Wattios y es impulsado por un ventilador, ambos alimentados con una tensión de hasta 110 v AC. Ver la figura 2, El cambio de temperatura que produce la resistencia es percibido por Thermistores NTC, que están instalados de forma estratégica para obtener el promedio de la temperatura real interna de la planta.

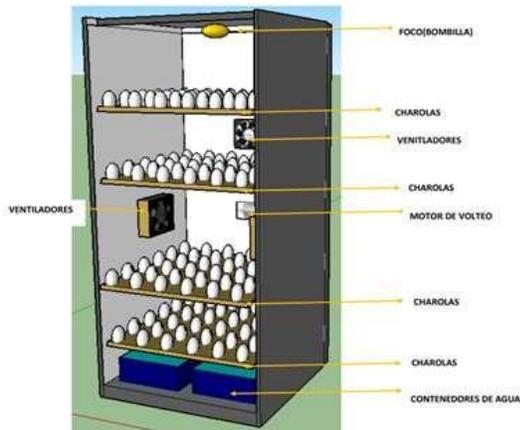


Figura 1. Vista del diseño interno de la Incubadora. Fuente: Elaboración propia.

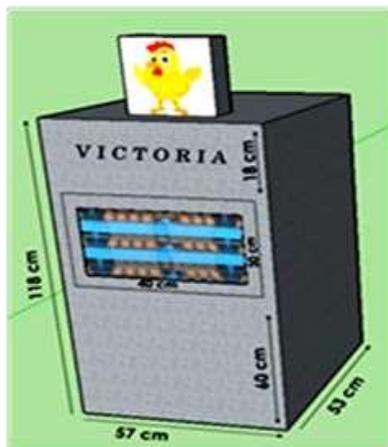


Figura 2. Medidas del Prototipo exterior de la Incubadora Avícola "Victoria".



a) Ventilador y foco. Fuente: Elaboración propia.



b) Sensor de temperatura. Figura 3. Control de la temperatura. Fuente: Elaboración propia.

Además, se realizaron 4 orificios con un diámetro de 4 mm aproximadamente para la circulación de oxígeno y eliminación de dióxido de carbono producido por los huevos durante el proceso de incubación.

Para el sistema de rotación de los huevos, fue necesaria la construcción de soportes de tres charolas con una capacidad de 150 huevos de pollos, ver figura 3, con el fin de realizar el movimiento y mantener los huevos en una posición segura, las cuales fueron accionadas por un motorreductor DC de 6 a 12v, y fue controlado por un inversor de giro o puente H de referencia L293B. Se seleccionaron huevos de pollos para tener un tiempo para la eclosión de 21 días aproximadamente.

Esta sería la vista dentro de la incubadora, se puede observar que cuenta con 3 charolas para los huevos, un foco, 2 contenedores de agua, 3 ventiladores y el motor para el volteo de charolas.



a). Tres charolas con huevos.
 Fuente: Elaboración propia.



b) Tres charolas
Figura 4. Tres charolas para contener los huevos en el proceso incubación.
 Fuente: Elaboración propia.

Segundo Hardware control de la temperatura

Para la interfaz con el usuario y el almacenamiento de los sistemas difusos, se utilizó el PIC de referencia 18F4550 y el dsPIC 30F4013 respectivamente. La figura 4, muestra el comportamiento de los componentes utilizados en el sistema del prototipo de temperatura.

Este inicia en el bloque de sensores, donde los Termistores sensan la temperatura del interior del prototipo. Luego la señal eléctrica, para el bloque del filtro hardware, donde se aplica un filtro Butterworth con

frecuencia de corte de 10 Hz. En el bloque dsPIC se encuentra el convertor ADC, que recibe la señal analógica filtrada y la convierte a una señal digital con una resolución de 1,2 mv para cada código diferente en la conversión. Esta señal digital, pasa posteriormente por un filtro de software que se encarga de estabilizar la lectura de cada sensor, y así obtener la medida estable y real de la temperatura del prototipo. Esta información es la entrada del sistema difuso, al PIC por medio de una comunicación serial. Luego de recibir la información, el PIC, se encarga de generar la señal PWM para el control de la temperatura que es aplicada al circuito que controla la resistencia del calor, y al igual, envía los datos obtenidos hacia el PC por medio del protocolo de USB, como a un LCD.



Figura 5. Comportamiento de los componentes de temperatura en el prototipo.
 Fuente: Elaboración propia.

Para sensar la temperatura, se utilizaron Termistores NTC con una resistencia variable interna de 10KΩ a 25°C y una constante de disipación de 1mW/°C, que fueron escogidos por la rápida respuesta térmica, estabilidad y precisión que asegura el fabricante. Ver figura 5.

La comunicación entre los dos dispositivos incluyó un protocolo de transporte de información, para que los datos tuvieran menos oportunidad de ser extraviados.

Para la comunicación PIC - PC se utilizó el módulo USB que contiene el PIC18F4550, el cual maneja en su arquitectura, el hardware necesario para cumplir con los aspectos relevantes de este protocolo. Para la transferencia de la información fue necesario implementar un protocolo que evitara la pérdida de los datos. Dicho protocolo inicia cuando el usuario de la herramienta software envía un dato de solicitud con lo que el PIC se pone en modo de intercambio de información vía USB con el PC, esto quiere decir que comienza a enviar la trama que recibe del dsPIC como muestra el ejemplo de la figura 6, con la diferencia que en la posición cinco, el PIC envía el número del sensor al que pertenece este dato.

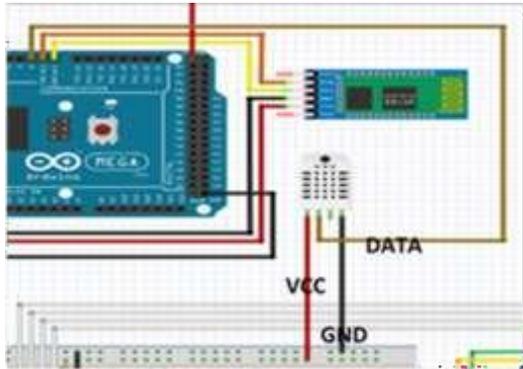


Figura 6. Diagrama de componentes del sensor de temperatura en el prototipo.

Tercero hardware control de la rotación

El comportamiento del sistema de rotación del prototipo de incubadora. Por medio del encoder óptico integrado al motor, es posible saber la posición en que éste se encuentra en un determinado momento. Dicho encoder genera pulsos cuadrados que son leídos por la interrupción externa del dsPIC, con estos datos se hallan las entradas al control difuso de rotación o posición y se obtiene el dato de salida de control, con el que posteriormente se genera la señal PWM que alimentará al motor hasta que se termine la fase de control. Para la alimentación del motor que controla la rotación fue implementada la técnica de PWM. En este caso se realizó con el módulo que viene integrado en el dsPIC30F4013, el cual fue configurado con un ciclo útil de 0 (mínimo 0v) a 1023 (máximo 12v, aproximadamente), restando solo cargar el ciclo útil para trabajo y enviar esta señal al inversor de giro o puente H que controla el motor. Ver la figura 6.

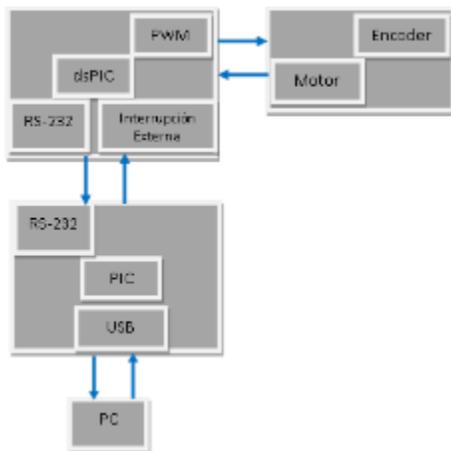


Figura 7. Diagrama de componentes de rotación en el prototipo.

Fuente: Elaboración propia.

Cuarto software de monitoreo

La herramienta software para el monitoreo del prototipo de incubadora “VICTORIA” fue desarrollada en el lenguaje de programación JAVA y orientada a la comunicación USB, como una aplicación de escritorio de nominada app inventor para la aplicación móvil, muestra la primera vista que tiene el usuario en el sistema, la cual es de bienvenida y donde se encuentra un botón con la opción de iniciar una nueva incubación, que lo lleva al panel en el que debe ingresar los datos necesarios para identificar la incubación que se va a llevar a cabo. Luego de haber realizado el registro del nuevo proceso, la captura de los datos es iniciada automáticamente, con lo que comienza la solicitud y recepción de la información que provienen del prototipo de incubadora.

DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Las pruebas al sistema de control de temperatura, se obtuvieron los siguientes resultados: ECM de 0,8193 y EAM de 0,6323, lo cual es aceptable para la aplicación realizada, esto indica, que el dsPIC, genera una salida similar al diseño temperatura, pues el piñón que realizó la implementado en la herramienta de MATLAB®. El tiempo de inferencia difusa fue de 0,9 ms con una desviación estándar de 0,01. Teniendo en cuenta que la temperatura es una variable de respuesta lenta, el tiempo de inferencia fue suficiente para el control de la misma.

Se presentan medidas sin perturbaciones para el sistema difuso de temperatura para diferentes temperaturas. Como se puede observar el overshoot o sobrepaso no supera el 19%.

Se puede concluir que el tiempo de establecimiento es adecuado para la incubación artificial. Ver el cuadro 1.

Cuadro 1. Pruebas hechas al sistema de temperatura sin perturbaciones.

Referencia (°C)	Tiempo de establecimiento (minutos)	Sobrepaso (%)	Error en estado estable
36	11,9	19	0,21
37	14,0	0	0,20
38	12,2	7	0,18
41	20,4	0	0,23
42	22,3	0	0,22
43	34,5	0	0,30

Fuente: Elaboración propia.

De la aplicación

La figura 8 muestra fluctuaciones del comportamiento de la temperatura en el prototipo. La primera perturbación (de izquierda a derecha), se generó por una variación de voltaje que pudo afectar directamente la resistencia que proporciona el calor en la planta. La segunda y tercera perturbación, se produjeron por dos cortes en la energía que alimentaba al prototipo, los cuales fueron prolongados por un tiempo mayor al que podía resistir la UPS conectada.

El promedio general de la temperatura en los días de incubación, fue de 37,64°C, con una desviación estándar promedio de 0,13.

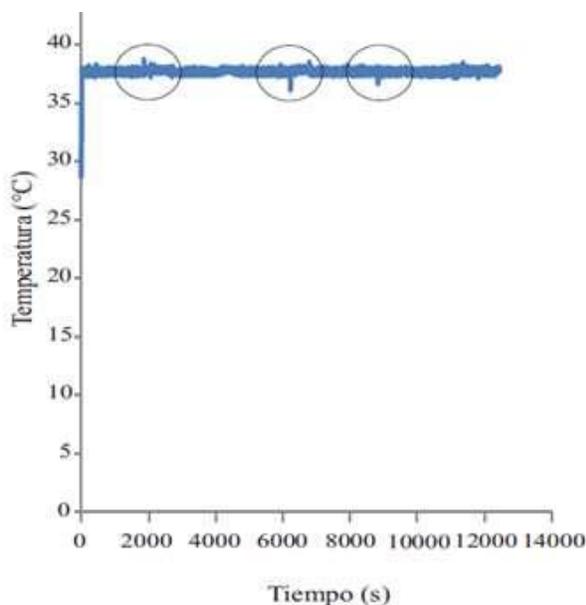


Figura 8. Temperatura en el proceso de incubación.
Fuente: Elaboración propia.

Los resultados obtenidos del proceso de incubación que se llevó a cabo, en el sistema de rotación, indican que se realizaron las tres rotaciones establecidas, cada ocho horas en los días utilizados para estos.

Al realizar el análisis por los tres enfoques en ambos sistemas de inferencia, se demostró que las variables controladas por el prototipo se mantuvieron en los rangos establecidos para el proceso de la incubación artificial.

La prueba de incubación que se llevó a cabo, obtuvo un 95% de eclosión; con un factor de confusión provocado por la calidad de los huevos utilizados, pues los 150 huevos colocados en la incubadora no fueron certificados por el proveedor como fértiles o aptos para la incubación.

CONCLUSIONES

El tener un control con sensores de precisión, relacionados entre sí han permitido obtener tazas de nacimiento de hasta un 95% con respecto a incubadoras que ofrecen a lo más un 80% utilizando controles convencionales.

Otro resultado que se refleja el incorporar un microcontrolador es el ahorro de energía y agua, ya que, por ejemplo, una incubadora que ya ha sido fabricada en México, con una capacidad de 1000 huevos tiene un consumo de 1000 watts y por día gasta entre 20 y 30 litros de agua. Una de las incubadoras que se diseñó, con la misma capacidad tiene un consumo de energía de 700 watts y al día consume 10 litros de agua. Las comparaciones se han hecho basándose en una empresa que comercializa incubadoras en México desde ya hace un tiempo [5]. Sin embargo, todavía queda mucho por mejorar, ya que en fechas recientes, han surgido nuevos sensores que permiten dar mayor precisión a las mediciones, los cuales ya se están incorporando a nuevos modelos de incubadoras, y con ello se pretende que en un futuro no muy lejano se puedan garantizar tazas de nacimiento cercanas al 100%.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Alonso, C. G., & Puig, J. I. B. (2011). Bioseguridad en la sala de incubación. *Selecciones Avícolas*, 3, 7-11.
- [2] Arias (2006) introducción a la metodología científica. Caracas –Venezuela
- [3] 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, 57-62.
- [4] AVILA, G. E. Alimentación de las aves. México, Trillas. 1986 Erazo, M. L. D. R. (2015). Diseño y construcción de una máquina incubadora automática para huevos de codorniz. (Licenciatura), Universidad Tecnológica Equinoccial, Quito, Ecuador.
- [5] BARBADO, José Luis (2004.). Cría de aves. Gallinas ponedoras y Pollos parrilleros. Editorial Albatros, Primera Edición, Bs. As. Argentina.
- [6] Barrera Gutiérrez Alberto (2006.). Diseño y Construcción de una Incubadora Casera para huevo de gallina. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Michoacán, México.
- [7] Bru, V. S. (2019). Control de una incubadora mediante Arduino y Android. (Ingeniería Licenciatura), Universitat Politècnica de Valencia, Valencia, España.
- [8] Bundy (2008) la producción avícola in editorial continental S.A de C.V calzada de Tlalpan.

[9] HAYNES, Cynthia (1990). Cría Domestica de pollos. Editorial Limusa. Primera edición 1990.México.

[10] Hernández, M. M. d. C., & Vázquez, R. M. Á. (2009). Industrias Bachoco: estrategias de localización y competitividad ante el nuevo escenario avícola. *Región y Sociedad*, 21, 27-51.

[11] Jaramillo, R. I., Hernández, Z., Sierra, V., & Vargas, L. (2005). Relaciones entre características del huevo incubable y nacimiento de pollitos. *Archivos de Zootecnia*, 54(206), 437-441.

[12] Jiménez, B. M. O. (2012). Desarrollo de una incubadora automatizada de Gallus gallus con microcontroladores. (Licenciatura Tesis de Licenciatura), Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro, México. LUTMANM,

[13] Malik, (2000) "Circuitos electrónicos. Análisis, simulación y diseño", Prentice Hall

[14] Martínez, Ricardo O (1994). Gallinas Ponedoras. Editorial Albatros. Bs. As. Argentina. N.R.

[15] Pérez, S. F., Figueroa, H. E., Godínez, M. L., & García, S. J. A. (2014). La avicultura en México: retos y perspectivas. In S. F.

[16] Pérez, H. E. Figueroa, & M. L. Godínez (Eds.), Aportaciones en ciencias sociales: Economía y humanidades (pp. 293-300). Chapingo, México: Universidad Autónoma Chapingo.

[17] Quituizaca, V. I. J. (2015). Instalación y evaluación de una incubadora modelo para la Facultad de Ciencias Pecuarias. (Licenciatura), Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.

[18] Ruiz, D. N., Orrego, G., Reyes, M., & Silva, M. (2016). Aumento de la Temperatura de Incubación en Huevos de Gallina

[19] Rick y Gail (1990). Cómo criar gallinas. Ed. El Ateneo. Bs. As. Argentina.

[20] Santiago, P. L., & Ronquillo, J. A. (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(3), 1- Schnadower Baran I. (1979) Circuitos electrónicos digitales. Mc Graw Hill.

[21] Tojeiro Calaza, G. (2014). Taller de Arduino. Un enfoque práctico para principiantes. Barcelona. MARCOMBO, S.A.

[22] Chandrinós, K. V., & Trahanias, P. E. (1998). Web-based Information Systems ERCIM Workshop Proceedings: <http://www.ercim.org/publication/ws-proceedings/DELOS6/>.

[23] Dayra, Como redactar y publicar artículos científicos. Organización Panamericana de Salud, 1994.

ROL DE DISTRIBUCIÓN	AUTOR (ES)
Dirección y Administración del Proyecto Conceptualización (1) Recursos	Arturo de la Rosa Galindo.
Redacción (Revisión y edición)	Urfile Victoria Peláez Estrada
Supervisión	Lauro Gasga Pérez
Conceptualización	Isaac Santiago Martínez
Conceptualización	Jorge Celestino Guzmán Hernández



Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución 4.0.