

Crianza y producción de Acheta Domesticus como fuente proteica para el sector piscícola en el departamento del Huila aplicando técnicas IoT

Vanessa Bahamon Bahamon

Grupo de Investigación para el Desarrollo Social y Tecnológico (Investa).
vbahamon@misena.edu.co

Víctor Iván Castro Flórez

Grupo de Investigación para el Desarrollo Social y Tecnológico (Investa).
Vicastro2@misena.edu.co

Laura Daniela Ordíñez Zuñiga

Grupo de Investigación para el Desarrollo Social y Tecnológico (Investa).
ldordíñez@misena.edu.co

Andrés Enrique González

Grupo de Investigación para el Desarrollo Social y Tecnológico (Investa).
anegonzalez@sena.edu.co

Fecha de Recepción: 20 de Junio de 2020 - Fecha de Aceptación: 15 de Noviembre de 2020

Resumen: La investigación se encuentra enfocada hacia el sector piscícola, para el cual se presenta el desarrollo de un hábitat controlado por IoT de bajo costo, para la crianza insectos de especie Acheta domesticus, con el objetivo de brindar una alternativa para reemplazar el concentrado comercial como harinas y granulados procesados por uno natural, mejorando el factor nutricional de los peces, proporcionando cerca del 60% de proteínas mediante una fuente natural. Para la construcción del recipiente se tuvieron en cuenta cuatro variables que afectan directamente el desarrollo de la especie: luminosidad, hidratación, humedad y temperatura; las cuales se controlaron por medio de una tarjeta PCB acoplada al recipiente del hábitat. Como resultado se obtuvo un hábitat modular y controlado en un 80% por equipos y sensores electrónicos, permitiendo que se garantice una baja tasa de mortalidad en el proceso de crecimiento de esta especie.

Palabras Clave: producción, Acheta Domesticus, sistemas electrónicos, supervisión, piscicultura.

Abstract: The research is focused on the fish farming sector, for which the development of a low-cost IoT-controlled habitat is presented, for the breeding of insects of the Acheta domesticus species, with the aim of providing an alternative to replace commercial concentrate such as flours. and granules processed by a natural one, improving the nutritional factor of the fish, providing about 60% of proteins from a natural source. For the construction of the container, four variables that directly affect the development of the species were taken into account: luminosity, hydration, humidity and temperature; which were controlled by means of a PCB board attached to the habitat container. As a result, a modular habitat was obtained, 80% controlled by electronic equipment and sensors, allowing a low mortality rate to be guaranteed in the growth process of this species.

KeyWords: production, Acheta Domesticus, electronic systems, supervision, fish farming.



1 | Introducción

La crisis alimentaria actual ha aumentado significativamente, la seguridad alimentaria a nivel mundial, es una de las mayores preocupaciones que tiene el ser humano, pues su crecimiento poblacional versus la disponibilidad de recursos, muestra un déficit en el acceso de fuentes de alimento a futuro, se ha exigido la búsqueda de nuevas fuentes comestibles para el mantenimiento de especies mayores y menores [1].

Dentro de las especies menores, se encuentran los peces, una fuente muy importante para el consumo humano, cuya producción posee altos niveles de proteína además de otros nutrientes [2].

Teniendo en cuenta la información encontrada, existen fuentes primarias [1] como insectos con elevados porcentajes de proteínas [3], como es el caso del *Acheta Domesticus* o también conocido como grillo doméstico, el cual tiene un nivel de valor biológico alto en proteínas [3].

En este estudio se propone una incubadora de *Acheta Domesticus* controlada mediante técnicas IoT (Internet de las cosas)[4], en el cual se desarrollará un hábitat a bajo costo y de fácil fabricación con el fin de que sea considerado como alternativa de proteína para alimentación de peces.

Anteriormente se había desarrollado un prototipo similar dentro del semillero de Senabiotec (Neiva), el cual fue elaborado en material acrílico, en donde no se distribuyeron las diferentes etapas de crecimiento del *Acheta Domesticus* y no se aplicaron las técnicas IoT, por lo tanto, no fueron controladas las variables que influyen en su crecimiento tales como humedad, luminosidad, temperatura.

En la nueva versión de este proyecto, se pretenden controlar estas variables y además separar las diferentes etapas de crecimiento de los *Acheta Domesticus* con el fin de disminuir el canibalismo.

Con el fin garantizar adecuadamente la distribución de espacio de la incubadora respecto a la zona de alimentación, hidratación, zona de incubación, y de ventilación; se realizó el diseño CAD de la incubadora el cual fue desarrollado en Solid Works y posteriormente construido de acuerdo con las especificaciones del diseño.

Este proyecto tiene un impacto ambiental, ya que en la alimentación de los grillos se utilizarán residuos orgánicos [5], también posee un impacto social debido a la innovación en el sector piscícola, reduciendo costos en la etapa de alimentación de peces mediante la incubadora de bajo costo y de fácil fabricación.

Adicionalmente posee un impacto económico, ya que se mejoraría el factor nutricional del pez, de acuerdo con [6], lo cual podría conllevar a un aumento en el precio de venta hacia el consumidor del producto final con una tasa nutricional de mejor calidad, debido al mayor nivel de proteínas que varía entre el 60 – 92% que ofrecen los insectos, en este caso el *Acheta domesticus* [7].

El estudio se desarrolló mediante una metodología experimental cuantitativa, la cual inició con la fase conceptual que consistió en la revisión de los antecedentes a nivel nacional y global, donde se encontró que esta idea se ha centrado en el consumo humano [3], [8] y en la producción industrial de esta especie.

En Colombia no se han encontrado desarrollos en cuanto a la producción de insectos para el consumo de alevinos u otras especies de incluidas dentro de la dieta de una persona, sin embargo, a nivel internacional se han desarrollado granjas de insectos [9] tecnificadas en donde las variables se monitorean a través de las técnicas IoT [4].

De acuerdo a ello, se desarrolló el diseño de un contenedor modular para crianza de *Acheta Domesticus* en condiciones ideales, mediante el cual se logró controlar, medir y manipular el 80% de las variables como la luminosidad, hidratación, humedad y temperatura que afectan directamente el desarrollo de la especie, esto a través de la aplicación de técnicas IoT, en donde se almacenan cuantitativamente las mediciones recibidas en tiempo real de las condiciones ambientales del criadero.

2 | Metodología

Para cumplir con los objetivos específicos planteados, se adopta una metodología de investigación experimental cuantitativa, de corte longitudinal y aplicada, la cual se desarrollará en tres fases:

- 2.1 Conceptualización
- 2.2 Diseño CAD
- 2.3 Control electrónico
- 2.4 Construcción

2.1 Conceptualización: En esta fase se realizó una documentación basada en el estado del arte obteniendo bases de datos científicas y revistas indexadas, como scopus, science direct y scielo.

2.2 Diseño de caracterización de la incubadora o el criadero: En esta fase se realizaron las mediciones correspondientes para el diseño del hábitat de los grillos con encuentra los espacios adaptables y características que se necesita en el ciclo de vida del *Acheta domesticus*.

2.3 Control de los circuitos electrónicos: En esta fase se encuentra el diseño electrónico principal de la PCB ordenada y funcional, la cual controla todos los circuitos básicos de la incubadora o criadero por medio de una programación en arduino.

2.4 Construcción y selección de materiales principales para la elaboración del prototipo versión 2: En esta se encuentra todos los materiales principales que se utilizaron en el desarrollo del prototipo y sus descripciones.

A Continuación, se desarrolla el contenido de las fases:

2.1 Conceptualización: En esta fase se realizó una documentación bibliográfica mediante la revisión de bases de datos científicas y revistas indexadas, como scopus, science direct y scielo, para determinar la viabilidad de la investigación y el nivel de impacto a nivel nacional y regional.

La información se filtró hacia la búsqueda de métodos de crianza y hábitáculos para el desarrollo de insectos de la especie *Acheta domesticus*. Adicionalmente, se realizó una vigilancia comercial sobre los productos de incubación y crianza que se pueden encontrar en el mercado nacional e internacional, con el objetivo de identificar los parámetros de diseño y elementos electrónicos necesarios para el desarrollo del proyecto.

2.2 Diseño de caracterización de la incubadora o el criadero: Se requirió una selección de elementos adecuados para el desarrollo del Hardware del prototipo versión 2, en el mercado se encuentran una variedad de incubadoras las cuales tienen diferentes funcionalidades, pero cuentan con características similares en cuanto a sus variables a controlar o a medir, algunas se diferencian en la sencillez en su montaje y otras que son más avanzadas en tecnología.

En los espacios adaptables que se encuentran en las condiciones del ciclo de vida del *Acheta domesticus*, se define que cuenten con zonas adecuadas para alimentación, hidratación, refugio y oviposición, con capacidad para la integración de sistemas electrónicos para el monitoreo de diversas variables ambientales. Se determinará de acuerdo a las condiciones de vida más favorables para el espécimen según lo encontrado en la literatura y lo observado durante el desarrollo del proyecto.

El proceso de mejora y rediseño del criadero se realizó a través de iteraciones, teniendo en cuenta los datos que se fueron recolectando durante la utilización del prototipo.

2.2.1 Variables ambientales a evaluar: Intensidad lumínica, temperatura, humedad, sonido y vibración. Los sensores usados operarán dentro del rango previsto de las variables que se pretenden evaluar, buscando las condiciones óptimas para la crianza de la especie. Se medirán variables ambientales en el recinto de crianza y en cada contenedor.

2.3 Diseño y control de los circuitos electrónicos: En esta fase se encuentra el diseño electrónico de circuitos básicos y el circuito principal de la PCB ordenada y funcional, la cual controla todos los circuitos de la incubadora o criadero por medio de una programación en arduino.

2.3.1 Circuitos electrónicos básicos: Se realizaron pruebas simples en arduino con sus montajes para determinar el funcionamiento de cada circuito para controlar las variables

ambientales. Estos circuitos complementan una tarjeta PCB también llamada equivocadamente baquelita o baquela, es una lámina, placa o superficie, que soporta y conecta diversos componentes electrónicos para permitir su funcionamiento, y es el núcleo o corazón de la gran mayoría de productos de tecnología (un celular, una computadora, un robot industrial o educativo, la alarma de un auto). Los circuitos electrónicos básicos que se van a utilizar en el prototipo son:

2.3.2 Circuito electrónico principal: Para el prototipo versión 2, fue necesario diseñar circuitos electrónicos básicos para la conexión de todos los módulos para manejar con tecnología IoT, los cuales van comunicados con un arduino Nodemcu un controlador programable quien guarde y programe las señales de las tareas que cada uno debe realizar. Este diseño principal se caracterizó por tener varios funcionamientos útiles y completos.

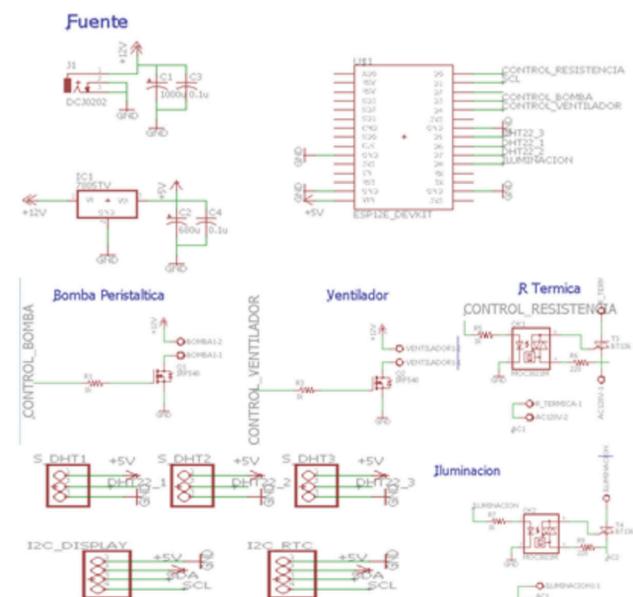


Fig. 1 Circuito principal con los circuitos básicos.

2.4 Construcción y selección de materiales principales para la elaboración del prototipo versión 2: Los principales materiales se eligieron por diferentes motivos, lo primordial de ellos es su bajo costo y su fácil implementación. Los dispositivos electrónicos usados para la elaboración del prototipo son:

2.4.1 Módulo WiFi ESP8266, Arduino Nodemcu: El módulo WiFi ESP8266 Nodemcu ofrece una solución completa y autónoma de redes Wi-Fi, lo que le permite alojar la aplicación o servir como puente entre un Microcontrolador, Arduino y/o Raspberry PI y la red de Internet, tiene potentes capacidades de procesamiento y almacenamiento que le permiten integrarse con sensores y dispositivos específicos de aplicación a través de sus GPIOs con un desarrollo mínimo y carga mínima durante el tiempo de ejecución, puede programarse mediante el IDE de Arduino, con todas las posibilidades que brinda el lenguaje, las bibliotecas asociadas y la misma sintaxis con la que se programa un Arduino UNO.

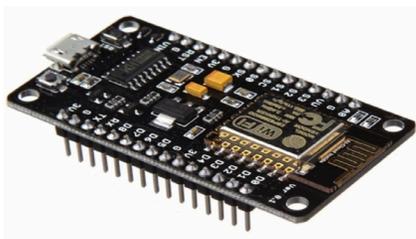


Fig. 2 Arduino Nodemcu.

2.4.2 Sensor de temperatura y humedad AM2302/DHT11: El sensor de Temperatura y Humedad relativa DHT11 entrega una señal digital calibrada por lo que asegura una alta calidad y una fiabilidad a lo largo del tiempo, ya que contiene un conversor integrado de 16 bits.

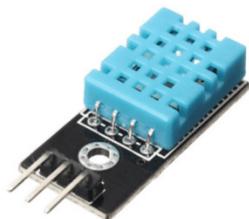


Fig. 3 Sensor de Temperatura y Humedad.

2.4.3 Resistencia flexible De Silicona: Las resistencias flexibles de silicón son adecuadas para una aplicación precisa del calor. Debido a su fino espesor las resistencias de silicón tienen una baja inercia térmica y por ello tienen una rápida respuesta ante el control de temperatura siendo además aplicables desde los 60°C hasta los 230°C.



Fig. 4 Resistencia térmica.

2.4.4 Ventilador De 12v: Construcción plástica ventilador de refrigeración de 92 mm dc Ventilador de CC sin escobillas de alta calidad 92mm 12V 9225 92x92x25mm Reducir la temperatura ambiente de trabajo del equipo, prolongar la vida de servicio del equipo.



Fig. 5 Ventilador De 12v.

2.4.5 Bomba Dosificadora 12v 5000 rpm: Bomba de Agua 12 V DC DIY Bomba Dosificadora Peristáltica de dosificación Head Para Aquarium Lab Analítica, Trabajo silencioso Adecuado para acuarios, productos químicos, líquidos, aditivos de dosificación Es muy fácil de desmontar y limpiar, por lo que hay un espacio entre el motor y la bomba.



Fig. 6 Bomba dosificadora.

2.4.6 Módulo RTC DS3231: El DS3231 es un reloj en tiempo real de alta exactitud que cuenta con un oscilador a cristal con compensación de temperatura (TCXO). La integración del cristal en el propio integrado asegura la exactitud a largo plazo del reloj.

Se comunica con el microcontrolador a través del bus I2C con solamente 2 pines que pueden ser compartidos por varios dispositivos como memorias, Controladores PWM, etc. En este módulo comparte los mismos pines del bus I2C (SDA y SCL) y puede ser utilizada para almacenar datos requeridos por la aplicación del usuario.



Fig. 7 DS3231.

2.4.8 El LCD 16x2 (Liquid Crystal Display) o pantalla de cristal líquido es un dispositivo empleado para la visualización de contenidos o información de una forma gráfica, mediante caracteres, símbolos o pequeños dibujos dependiendo del modelo. Está gobernado por un microcontrolador el cual dirige todo su funcionamiento.



Fig. 7 Lcd 16x2

3 | Resultados

En esta tabla se representan los valores de referencia que se tomaron en cuenta para el montaje del circuito principal el cual controla toda la incubadora o criadero.

Variable a controlar	Actuador	Valor de referencia
Temperatura	Resistencia	25°C
	Ventilador	30°C
	Sensor	25°C/30°C
Hidratación	Bomba peristáltica	8 cc/h
Humedad	Sensor	85%

Tabla 1 Valores de referencia con respecto a las variables a controlar.

Se obtuvieron varios resultados en cuanto al montaje electrónico y la parte de diseño PCB y CAD donde se encuentra el avance y desarrollo tecnológico de este proyecto.

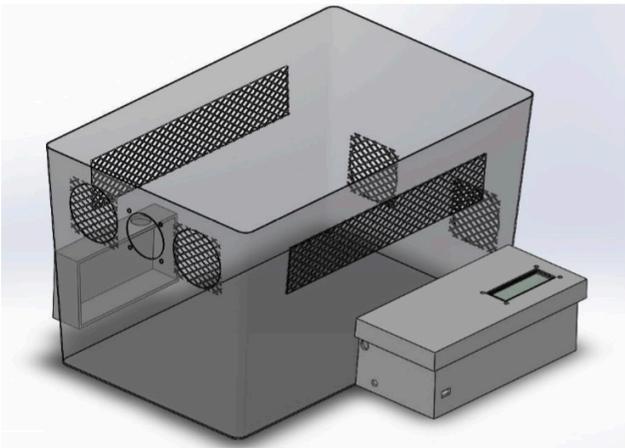


Fig. 9 Prototipo de diseño CAD.

Este diseño fue elaborado por Victor Ivan Castro, ingeniero mecánico, el cual ejecuta un programa de solidWorks para aplicar todas las exigencias que pide el prototipo.

Los materiales para la fabricación del prototipo versión 2, deben contar con las propiedades de resistencia necesarias para evitar el escape del animal, así como también evitar posibles interferencias con los dispositivos electrónicos. Se debe tener en cuenta que el objeto del proyecto es un ser vivo y va a ser usado en la alimentación de especies para el beneficio humano, de tal manera que es preciso garantizar que los materiales empleados cumplan con los objetivos que queremos alcanzar, tales como crear un ambiente apto y natural que garantice que su supervivencia sea alta.

Se realizaron varias pruebas a los circuitos de control del sistema de la incubadora o criadero, los cuales arrojaron buenos resultados en su funcionamiento utilizando los materiales principales de este sistema. Se desarrolló la tarjeta PCB con todo el proceso de digitalización generando un diseño para construir y montar. Se realizaron pruebas de varios diseños CAD para crear un prototipo experimental antes de ejecutar en el prototipo final.

A Continuación, la explicación de los circuitos montados electrónicamente y el diseño experimental.

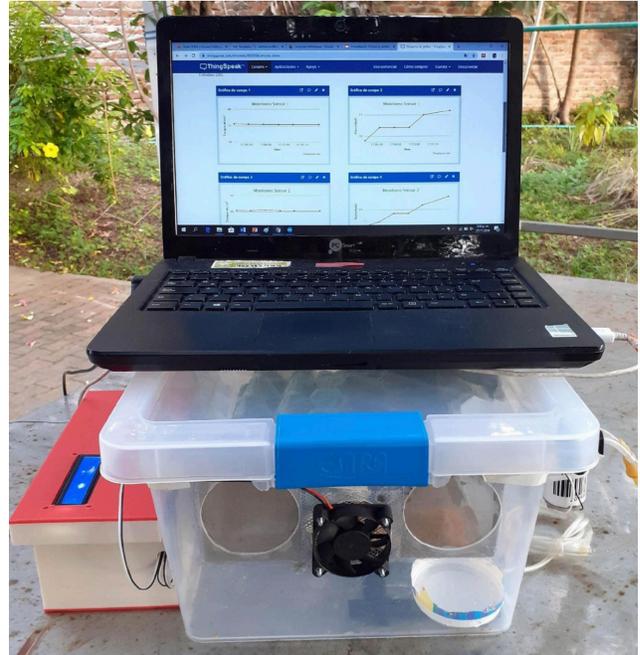


Fig. 10 Prototipo versión 2 de la incubadora con el montaje electrónico.

El circuito básico de la resistencia funcionó satisfactoriamente generando calor, con este sistema se puede controlar la temperatura por medio del arduino y una programación, que consiste en que si la temperatura está muy baja del valor asignado esta resistencia encienda y genere calor hasta que llegue al límite del valor asignado donde este se apaga; Este proceso lo realiza el control del sensor DHT11.

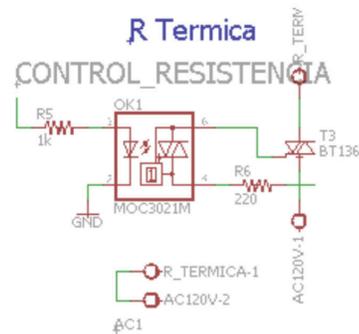


Fig. 11 Circuito montado de la resistencia térmica.

El circuito básico de la bomba peristáltica funcionó satisfactoriamente controlando la hidratación, con este sistema se puede controlar por método de goteo para el sustento del Acheta Domesticus.

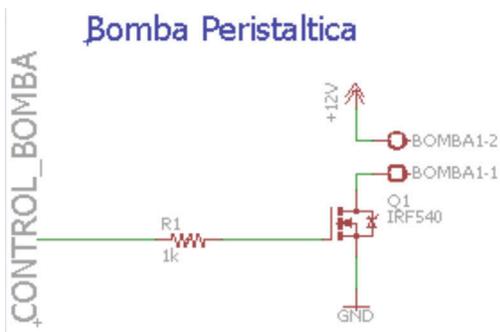


Fig. 12 Circuito montado de la bomba.

El circuito básico del ventilador funcionó satisfactoriamente generando frío o enfriando la incubadora en este caso, con este sistema se puede controlar la temperatura por medio del arduino y una programación, que consiste en que si la temperatura está muy alta del valor asignado este se encienda hasta que el valor llegue a un valor menor o igual al valor asignado; Este proceso lo realiza el control del sensor DHT11.

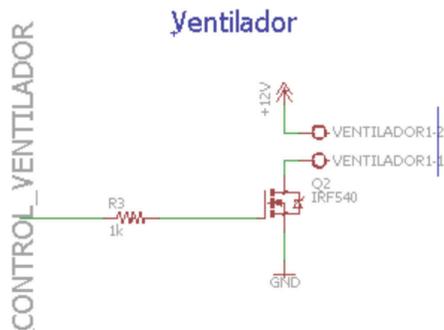


Fig. 13 Circuito montado del ventilador.

El RTC funcionó satisfactoriamente generando la reacción esperada por el prototipo que es el control por medio del arduino y una programación, del sensor, la resistencia, el ventilador, el bombillo para la iluminación, el tiempo y la fecha del sistema, mostrando la información en una LCD.



Fig. 14 El RTC y la LCD del circuito principal.

El circuito básico del sensor funcionó satisfactoriamente generando la obtención de información de la temperatura y la humedad llevando el control por medio del arduino y una programación, de varios circuitos anteriores como es el ventilador y la resistencia térmica.

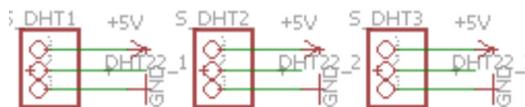


Fig. 15 Los sensores del circuito principal.

Construcción de la PCB.

Se realizó un proceso de construcción de la baqueta para determinar el tamaño del circuito diseñado y realizar el montaje con los elementos electrónicos, para así, tener una PCB con ayuda de una máquina ruteadora y un planchado realizado a mano.

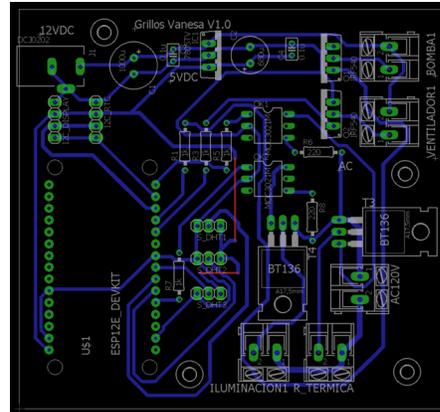


Fig. 16 Diseño del esquema en Eagle.

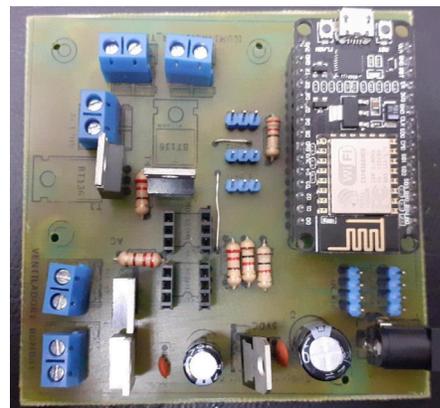


Fig. 17 PCB final.

El prototipo experimental del recipiente para la incubadora o el criadero se realizó en un material de cartón, porque genera una temperatura un poco más caliente que los otros materiales, y se ejecuta en este material para economizar costos, se ejecutó con el diseño CAD que se planteó, después de realizar estas pruebas se realizó el montaje final con el material ya plateado que es una caja hermética para finalizar el prototipo versión 2.



Fig. 18 Prototipo versión 2 de la incubadora.

También se ejecutó en la plataforma Thingspeak el monitoreo de la temperatura y la humedad de la incubadora con la aplicación del internet de las cosas o IOT.

Se desarrolló una programación en la plataforma de Arduino el cual nos permitió el control de las variables de la incubadora.

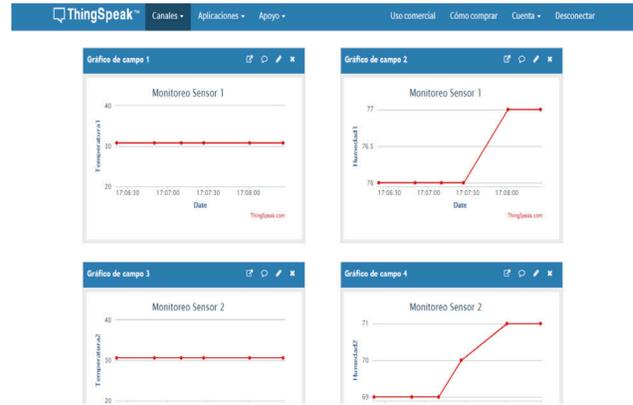


Fig. 19 Monitoreo en la plataforma.

```

Serial.println("Waiting...");

delay(10000); //thingspeak needs minimum 15 sec

//////////Control del ventilador

while (t1>=31){
  digitalWrite(ventilador, HIGH);
  Serial.println("Ventilador encendido");
  t1= dht1.readTemperature();
  delay (2000);
}
digitalWrite(ventilador,LOW);

//////////Control de la resistencia

while (t1<=23){
  digitalWrite(bombillo, HIGH);

```

The serial monitor output shows the following sequence of events:

- 17:10:48.801 -> Waiting...
- 17:11:07.622 -> Temperatura1: 30.70C*, Humedad1: 77.00%. Send to Thing...
- 17:11:07.691 -> Temperatura2: 30.60C*, Humedad2: 72.00%. Send to Thing...
- 17:11:07.759 -> Temperatura3: 30.80C*, Humedad3: 69.00%. Send to Thing...
- 17:11:07.996 -> Waiting...
- 17:11:19.535 -> HTTP/1.1 200 OKTemperatura1: 30.70C*, Humedad1: 76.00%
- 17:11:19.603 -> Temperatura2: 30.40C*, Humedad2: 70.00%. Send to Thing...
- 17:11:19.673 -> Temperatura3: 30.70C*, Humedad3: 66.00%. Send to Thing...
- 17:11:19.742 -> Waiting...
- 17:11:32.398 -> HTTP/1.1 200 OKTemperatura1: 30.70C*, Humedad1: 74.00%
- 17:11:32.467 -> Temperatura2: 30.90C*, Humedad2: 67.00%. Send to Thing...
- 17:11:32.536 -> Temperatura3: 30.70C*, Humedad3: 65.00%. Send to Thing...
- 17:11:32.606 -> Waiting...

Fig. 20 Plataforma de Arduino donde se realizó la programación.

4 | Conclusiones

Teniendo en cuenta que las temperaturas en donde se desarrolló el proyecto varían constantemente en un solo día con valores entre 23°C en las horas más frescas, hasta los 37°C en las horas más calurosas, y que la tolerancia de temperatura para el crecimiento adecuado de la especie *Acheta domesticus* es de 5°C en aumento partiendo del valor mínimo de referencia (25°C) con un máximo de 30°C, se tuvo que contemplar la temperatura como variable crítica para el diseño y construcción del hábitat, debido a lo cual se implementaron sistemas de ventilación por sobrepresión mediante la implementación diferentes rejillas en diferentes alturas aprovechando así la diferencia de densidades del aire frío/caliente.

Por otro lado, con respecto a la manipulación de las variables humedad, temperatura, hidratación y luminosidad en el hábitat, se logró un control total de las mismas mediante la implementación de la PCB; sin embargo, debido a la exclusión de la variable de la alimentación, pese a lo cual se

logró un 80% de control automatizado dentro del hábitat contenedora de los grillos. Pero a pesar de ello el resultado permitió controlar en cierta parte la mortalidad generada por canibalismo en la crianza del Acheta Domesticus.

Finalmente, con la fabricación y experimentación se demostró que se puede modificar la supervivencia en el desarrollo de la especie *Acheta Domesticus* mediante mecanismos electrónicos con los cuales se logró generar las condiciones óptimas para su incubación, crianza y probablemente su producción controlando cuatro de las cinco variables de desarrollo (humedad, temperatura, luminosidad e hidratación).

Agradecimientos

Al Centro de la Industria, la Empresa y los Servicios SENA, al Tecnoparque Nodo Neiva y al gestor Andrés Enrique González. Este proyecto es elaborado por el Grupo de Investigación para el Desarrollo Social y Tecnológico (Investa) del Centro de la Industria, la Empresa y los Servicios SENA.

Referencias

[1] C. A. Silva, D. Baker, and A. W. Shepherd, Agroindustrias para el desarrollo Agroindustrias para el desarrollo. .

[2] M. A. Osorio Contreras, "Produccion de harinas obtenidas a partir de coproductos de la industria del fileteado del pescado en Colombia," p. 123, 2014.

[3] J. Iannacone, "Crianza del grillo (Acheta domesticus) como fuente alternativa de proteínas para el consumo humano," no. December 2015, 2016.

[4] I. Lee and K. Lee, "The Internet of Things (IoT): Applications , investments , and challenges for enterprises," Bus. Horiz., vol. 58, no. 4, pp. 431–440, 2020.

[5] E. Skrivervik, "Insects' contribution to the bioeconomy and the reduction of food waste," Heliyon, vol. 6, no. 5, p. e03934, 2020.

[6] E. Semberg, J. R. de Miranda, M. Low, A. Jansson, E. Forsgren, and Å. Berggren, "Diagnostic protocols for the detection of Acheta domesticus densovirus (AdDV) in cricket frass," J. Virol. Methods, vol. 264, no. November 2018, pp. 61–64, 2019.

[7] L. Kourimská and A. Adámková, "Nutritional and sensory quality of edible insects," NFS J., vol. 4, pp. 22–26, 2016.

[8] M. Pino Cebrián, "Por que todavia no comemos insectos," pp. 311–341, 2018.

[9] P. D. Cruz and C. Peniche, "La domesticación y crianza de insectos comestibles: una línea de investigación poco explorada y con gran potencial para el desarrollo sostenible y la seguridad alimentaria en México," vol. 4, no. 2, 2018.