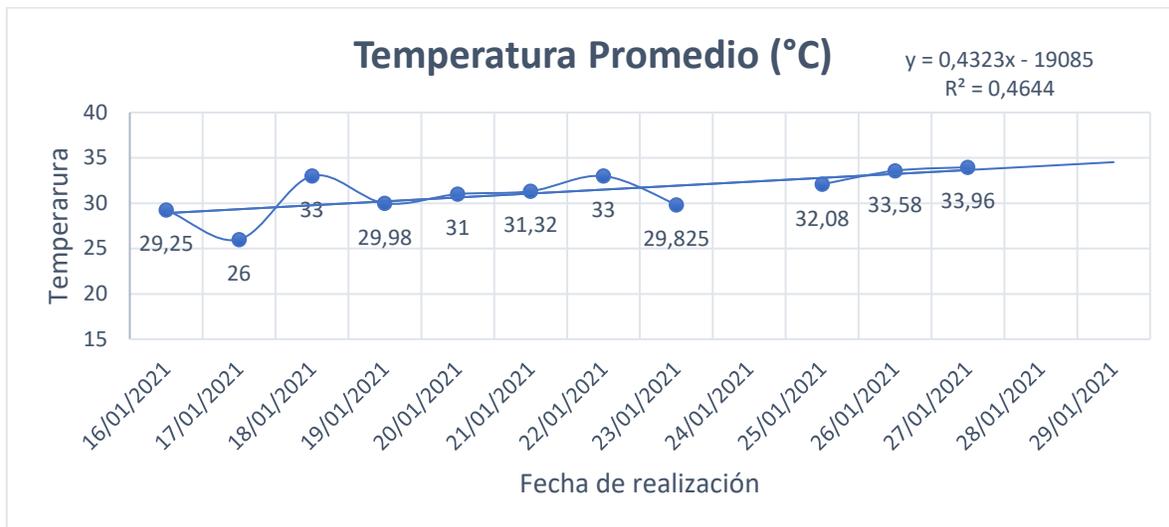


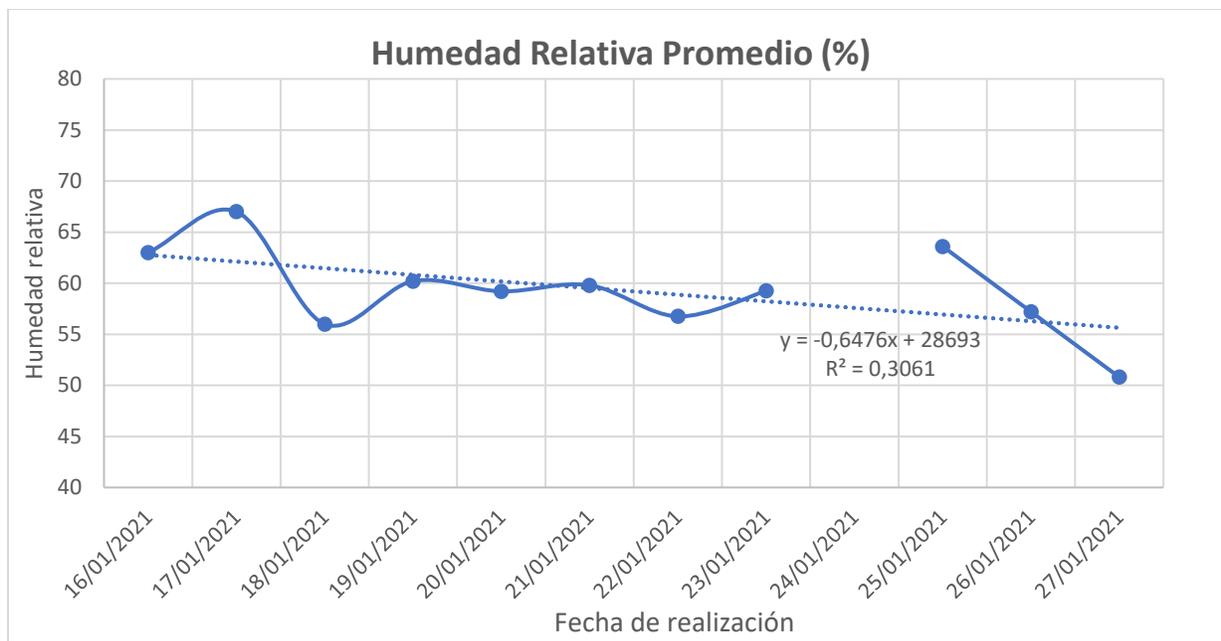
**ANEXO 2**  
**INFORME TÉCNICO**

**1. MAQUINARIA Y EQUIPOS.**

Para el desarrollo de este proyecto se diseñó y construyó un prototipo que cumple con la necesidad de controlar y mantener condiciones ambientales como temperatura y humedad relativa, que permitan el crecimiento y alimentación de las larvas de moscas soldado negro. Estos datos de condiciones ambientales fueron obtenidos por un piloto previo realizado en el año 2021 en el municipio El Espinal, Tolima; y se ven representados en los siguientes grafico:



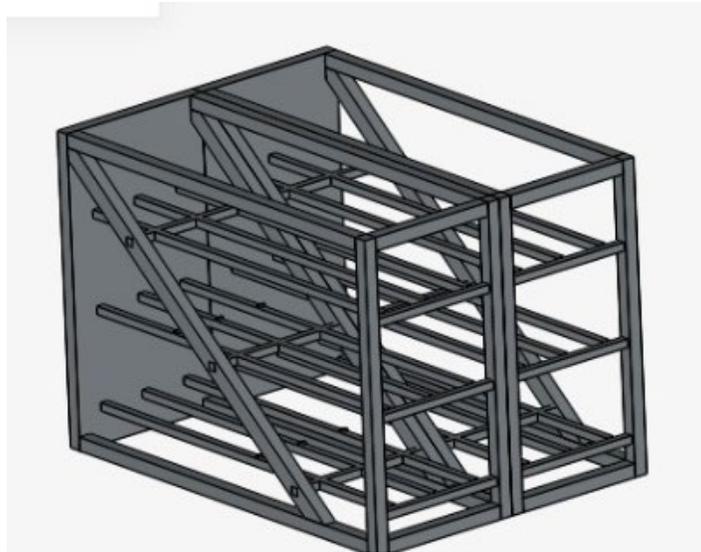
*Grafica 1. Temperatura promedio. Piloto Espinal, Tolima 2021. Creación propia.*



*Grafica 2. Humedad Relativa Promedio. Piloto Espinal, Tolima 2021. Creación propia.*

Estas graficas permitieron crear los parámetros del software de control del prototipo, debido a que los datos representados en las gráficas fueron positivos, porque ayudaron a presentar de una forma experimental que las condiciones de temperatura y humedad dadas en los manuales eran condiciones que para el caso de Colombia eran funcionales para el desarrollo de la vida de las larvas en condiciones ambientales naturales.

Se procedió a diseñar la estructura del equipo, capaz de contener en su interior 12 bandejas con capacidad de 10 kg de residuos orgánicos y en la que se ubicaran sensores electrónicos de temperatura y humedad, construida en acero con un recubrimiento exterior antioxidante. Todo el equipo quedaría sellado de tal manera que en su interior se mantenga aislado de las condiciones ambientales externas.



*Imagen 1. Construcción prototipo finalizada e instalación de sistema de lectura de datos por arduino.*

Sin embargo, para el desarrollo de las pruebas se construyó la misma estructura escalada 1:3, con materiales estructurales hechos en este caso en madera de Balso y recubierta en plástico para invernaderos, el cual es un material con la capacidad de contener las condiciones en su interior sin que se vean afectadas por alguna transferencia de calor con el exterior. Para generar el control de temperatura y humedad relativa, se consideraron los siguientes dos sistemas diferentes de trabajo:

- 1) Para el primer sistema de trabajo se consideró el uso de resistencias dentro del prototipo que generan la temperatura necesaria para el desarrollo del proceso, y un sistema de roció interno que fuera capaz de enviar partículas de agua al sistema para mantener la humedad relativa.
- 2) Para el segundo sistema de trabajo se consideró un sistema con el cual mediante una sola acción se pudieran mantener el control de ambas condiciones, como lo es el vapor de agua, aplicándolo desde una caldera, mediante una diferencia de presiones con respecto al interior el prototipo, entra vapor saturado que contiene tanto temperatura y humedad, cumpliendo con las dos condiciones solicitadas de una manera menos compleja electrónicamente.

Los equipos de medición usados para la toma de datos de ambas condiciones son sensores DHT11 que miden de manera digital cada 2 segundos las condiciones de temperatura y humedad relativa, el prototipo tiene incluidos 3 en diferentes alturas para medir la variación de en cada uno de los niveles, debido a que el vapor de agua al ser menos denso que el aire tiende a existir una fluctuación en los datos tomados. Los datos de los sensores son recibidos por una placa Arduino Uno, la cual mediante una programación en lenguaje IDE muestra las lecturas recibidas cada cierta cantidad de segundos.



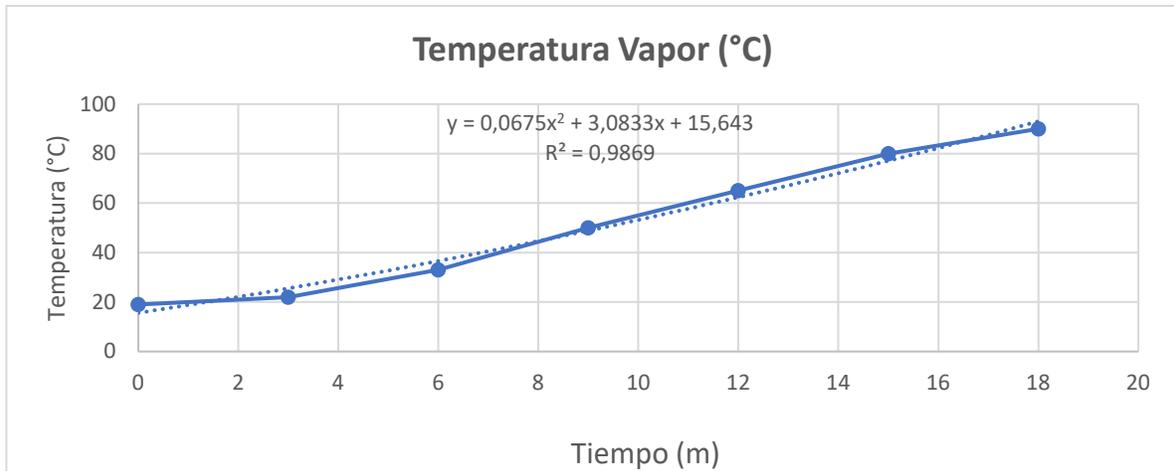
*Imagen 2. Construcción prototipo finalizada e instalación de sistema de lectura de datos por Arduino.*

## **2. EXPERIMENTACIÓN REALIZADA CON EL PROTOTIPO**

### **2.1 Prueba N°1**

Para la toma de datos se utilizó una estufa de manera manual para calentar agua en una olla y ser impulsada mediante una manguera al interior del prototipo. En estas pruebas principalmente se buscaba verificar la capacidad del prototipo de contener las condiciones de temperatura en un rango entre 25-35°C y una humedad mayor al 60%. Para el desarrollo de las pruebas, el prototipo se ubicó dentro de un cuarto y se procedió

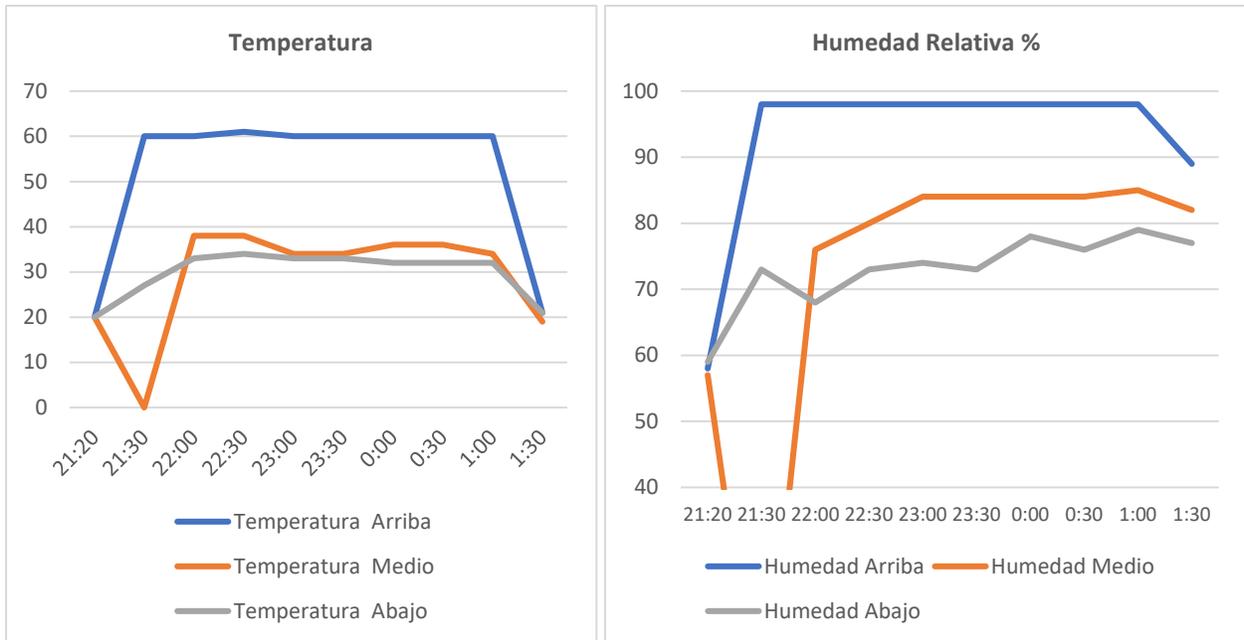
a abrir las ventanas para que la temperatura ambiente fuera lo más similar al exterior. Se inicio con 1,5 L de agua dentro de la olla, primero con la toma de la temperatura ambiente dentro del cuarto donde se va a realizar el experimento la cual es de 20°C.



*Grafica 3. Gradiente de aumento de temperatura del vapor al interior de la olla. Creación propia.*

Primero se tomaron los datos de aumento de temperatura del vapor que sale de la olla. En la gráfica 3 se evidencia el inicio de la toma de datos de la temperatura hasta que comience a salir vapor por la manguera para mirar cuanto tiempo se demora en llegar al

interior del prototipo donde se realizara el control de condiciones. Para este caso la estufa estará en su potencia máxima para hacer más rápido este proceso. Iniciando apagada con una temperatura del agua interna de 19°C. A los 12 minutos se empieza a evidenciar vapor sobre la manguera, pero sin salir al final de ella. Sobre los 15 minutos empieza a salir vapor como lo describe el incremento de temperatura alcanzando los 80°C. A los 20 min de iniciar el proceso se pasa a “bajo” la potencia de la estufa y se toma la temperatura del vapor a la salida de la olla, la cual es de 90°C.



**Grafica 4. Datos de temperatura y humedad relativa tomados de las pruebas realizadas. Creación propia.**

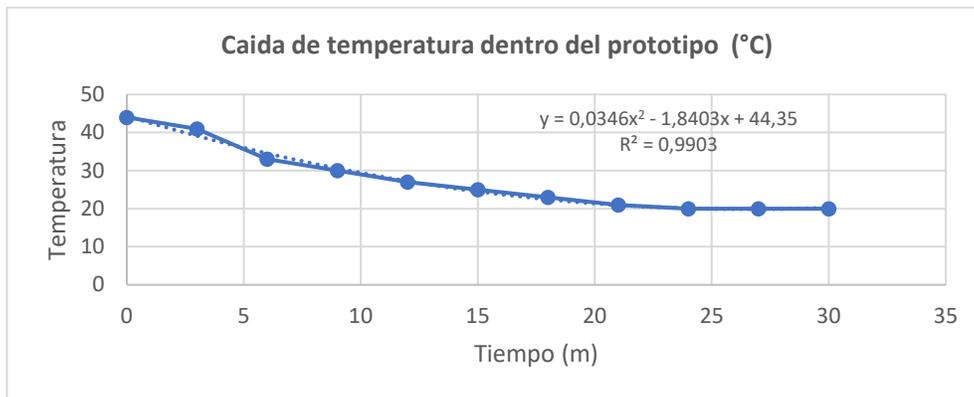
Posteriormente se procede a realizar la toma de datos de temperatura y humedad como se evidencia en las gráficas, al empezar la toma de los datos la potencia de la estufa está en baja. Se presentó un fallo en la board el cual fue por una desconexión interna de los cables dentro del prototipo y por eso se evidencia que para las 9:30 pm no se tomó el dato de la temperatura y de la humedad relativa para ese momento.

Se puede evidenciar que, pasados 50 minutos de trabajo, el lado por donde entra el vapor tiene más humedad en la parte superior que por donde se tiene la ventilación. A

las 10:10 la temperatura exterior era de 16 °C en el exterior, la temperatura al interior del cuarto es de 19°C y la temperatura del vapor a la salida de la olla era de 88°C

A las 11:50 la temperatura del vapor estaba en 86°C.

A la 1 de la mañana se terminó la toma de datos dando una temperatura en el cuarto de 18°C en el exterior de 13°C y de vapor de 84°C y se apaga en ese momento el equipo. Se observa que la condensación fue mucho mejor debido a que por el orificio opuesto a la manguera le entraba aire frío y eso ayudo a generar una condensación de manera más eficaz, pero hace falta algo que ayude a que esas gotas de agua caigan y no se queden pegados en la parte superior del proceso.



*Grafica 5. Caída de temperatura después del apagado de la fuente de generación de vapor. Creación propia.*

Por último, se analizó el gradiente de la pérdida de temperatura en la parte interna del prototipo por parte de los datos obtenidos en la gráfica 5, donde se evidencia la afectación por parte de la transferencia energética de calor con respecto al exterior generando una transición de 40°C de temperatura a 20°C en 30 minutos, como lo expresa el gradiente de la ecuación polinómica de segundo grado  $y = 0,0346x^2 - 1,8403x + 44,35$ .



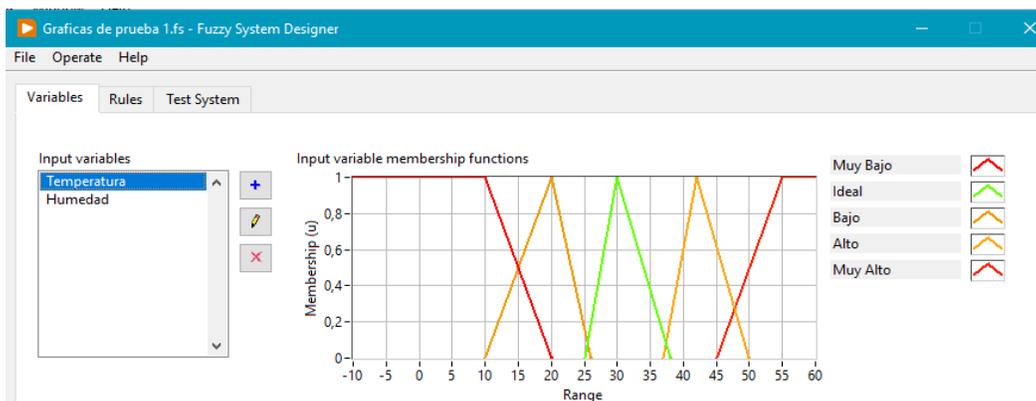
*Imagen 3. Prototipo en operación para la prueba 1.*

## **2.2 Control Automatizado de Temperatura y Humedad Relativa**

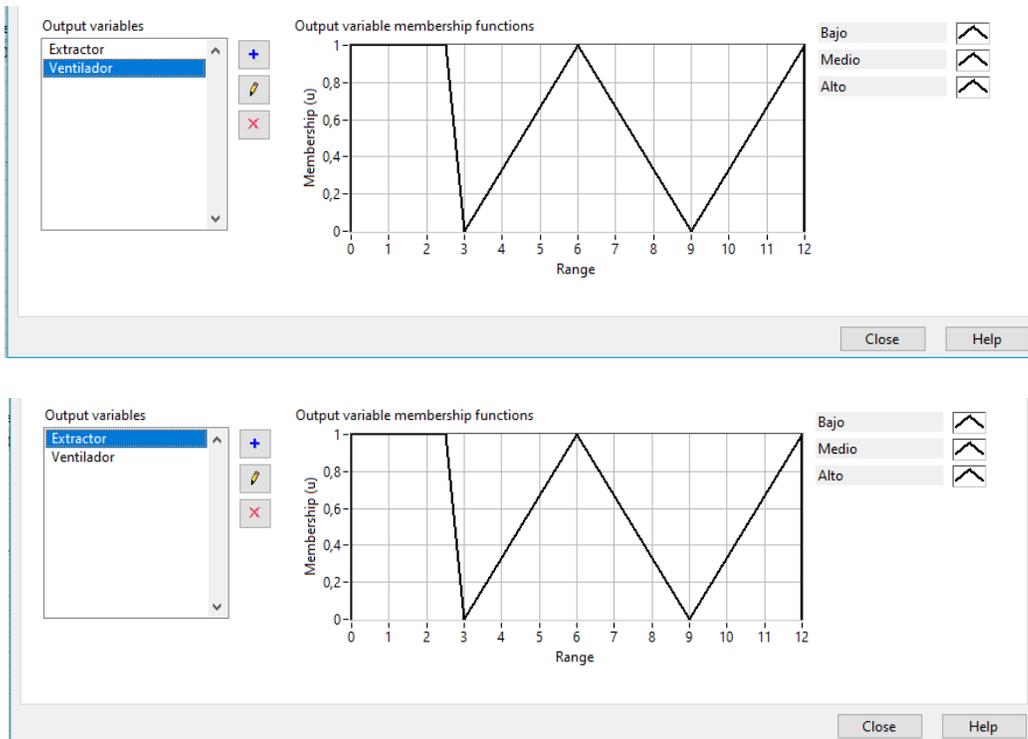
A partir de las pruebas anteriores, con los datos recopilados procedimos a construir un sistema de control con el cual, mediante la lectura de los datos obtenida a partir de los sensores, se activará un sistema de ventilación que inyecte aire hacia el interior del equipo, y un sistema de extracción que extraiga aire y humedad del prototipo de manera autónoma. El primer sistema que se creó, fue mediante el uso del software de automatización LabVIEW, que recibía información a partir de los sensores ya conectados a un Arduino Uno y este se conectaba al software mediante un computador para la recepción de los datos. El software estaba programado de tal manera que promediaba los datos de ambas variables que enviaban los sensores: “Temperatura” y “Humedad”. Se construyó un sistema “Fuzzy”, el cual es un sistema lógico que se utiliza para representar expresiones que no son del todo falsas o del todo verdaderas, en este se utilizó para ejecutar las lecturas de las variables de entrada, y mediante la creación de una serie de 21 leyes de verdad ejecutadas por los comandos “If” “Then”, según el dato de entrada correspondiera a un conjunto de números específicos, como se muestran en las gráficas 6; el sistema hacía la búsqueda de la ley a la cual corresponde el conjunto y

enviaba valores a las variables de salida “Ventilador” y “Extractor”, como se muestra en las gráficas 7. Mediante la conexión a otro Arduino Uno con dos ventiladores de 5v ubicados de tal manera que uno ingresara y el otro extrajera aire del prototipo, el software realizaba el envío de datos para que fueran ejecutados en tiempo real y mantuvieran las condiciones dentro del equipo.

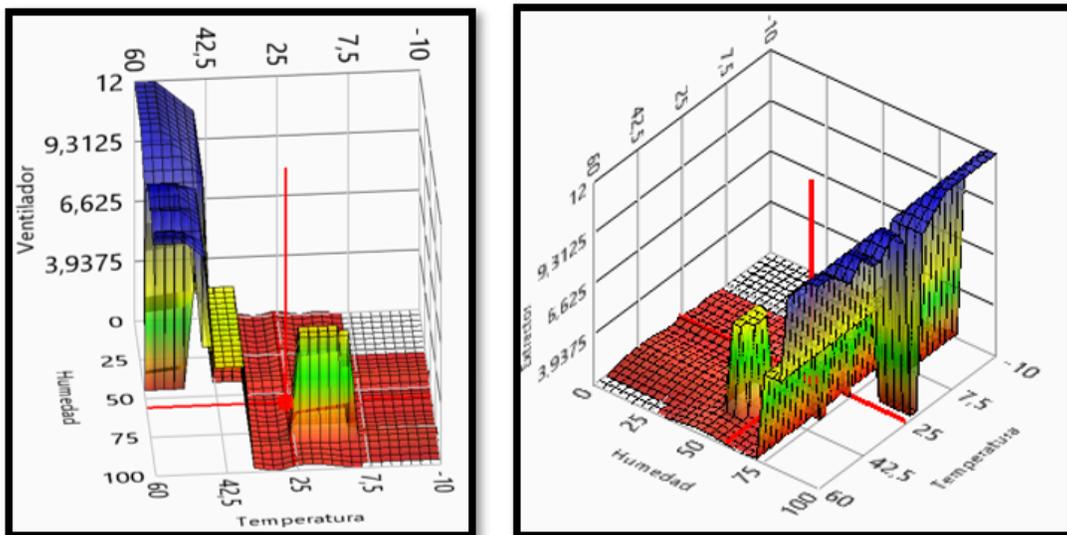
Un ejemplo donde se describe el funcionamiento de este sistema de control “Fuzzy” se evidencia en las grafica 8, donde en un sistema de tres ejes, los ejes horizontales representan las variables de entrada y en el eje vertical esta la variable de salida respectiva con un rango de valor del voltaje enviado. Y todo el sistema en funcionamiento se veía en la pantalla principal descrita en la imagen 4, donde se tenía una vista completa del funcionamiento del sistema y se podía ver a partir de las barras, como estaban las condiciones en el interior del prototipo. Este equipo fue presentado operando en la feria química de la Universidad América el jueves 24 de noviembre del año 2022.



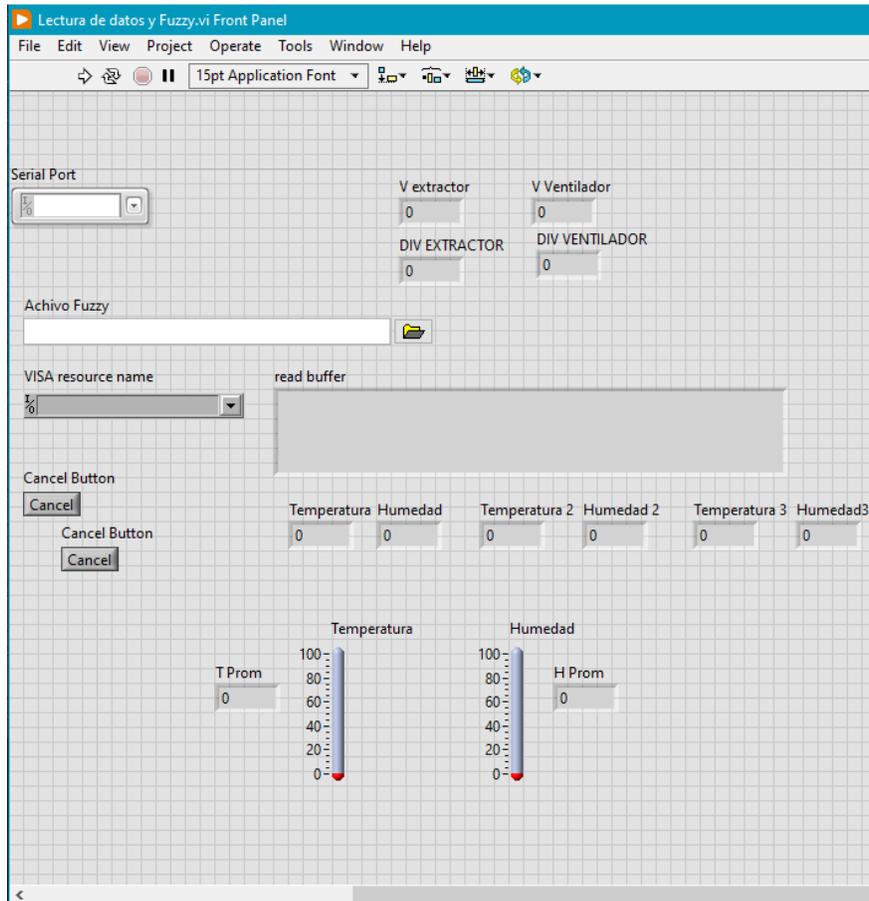
Grafica 6. Conjuntos de variables de entrada: Temperatura y humedad relativa. Fuente: LabVIEW.



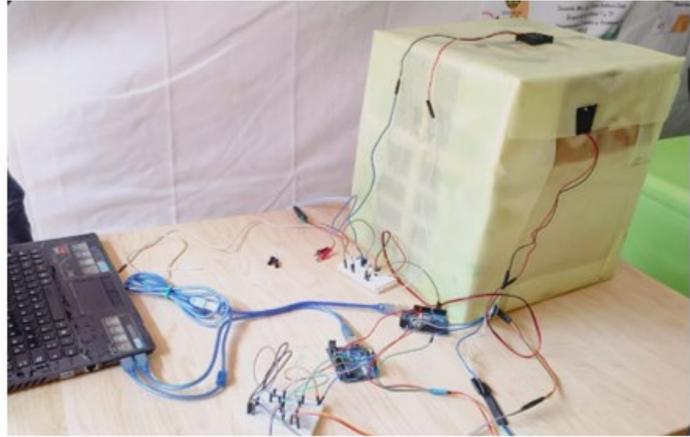
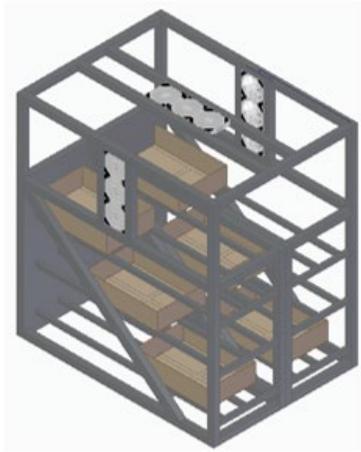
Grafica 7. Conjuntos de variables de salida: Ventilador y Extractor. Fuente: LabVIEW.



Grafica 8. Operación del programa en escala tridimensional con las dos variables de entrada y una de salida. Fuente: LabVIEW.



*Imagen 4. Pantalla principal del programa creado, con la recepción de los datos de cada sensor, el valor promediado de ambas variables, y la salida de voltaje hacia ventiladores según leyes creadas. Fuente: LabVIEW.*



*Imagen 5. Modelo 3D prototipo y prototipo operando con el software LabVIEW en la Universidad América.*

### **2.3 Prototipo y prueba final.**

Para esta prueba se realizaron dos cambios, el primero fue en el tamaño del ventilador y en el extractor usados en la prueba anterior, estos pasaron de ser de 5v a unos de 12v, esto debido a que en algunas ocasiones la necesidad de inyectar aire a su vez de extraer vapor era más grandes y no daban abasto. El segundo cambio realizado y tal vez el más importante en el desarrollo de todo el proyecto, fue el cambio de software de trabajo, debido a que el software anteriormente usado requería la conexión en todo momento de un computador además de las dos placas Arduino Uno, lo que hacía que la ejecución de una prueba para la supervivencia de la especie mosca soldado negro fuera logísticamente complicado, a pesar de que era capaz de controlar las condiciones requeridas y solicitadas, necesitaba la presencia constante de un ser humano para la activación de la generación de vapor y el registro de datos.

Es por esta razón que se tomó la decisión de cambiar tanto el hardware como el software para que el equipo ya no solo realizara tareas de control de condiciones ambientales de manera automatizada, sino que además fuera capaz de conectarse a una red de internet que le permitiera funcionar de manera independiente a un computador, y donde se pueda tener un registro de datos para hacer análisis correspondientes sobre el funcionamiento.

Es así, que se hizo la transición de las placas Arduino a un NodeMCU Esp 32, una placa de tamaño menor, pero con la capacidad de ejecutar exactamente las mismas tareas y con la ventaja de poder ser conectada a internet, y se cambió el software de automatización LabVIEW por una plataforma digital de IoT (Internet of Things o internet de las cosas) llamada “Ubidots” con el cual se haría el registro de datos obtenidos por el funcionamiento del prototipo. Para este caso toda la programación realizada en LabVIEW fue emigrada a la plataforma de desarrollo del NodeMCU Esp 32 en su lenguaje escrito correspondiente al software IDE y donde se incluye la lectura de datos por parte de los sensores, el sistema “Fuzzy”, el accionamiento de los ventiladores y la conexión a internet, así como también al software IoT.



Imagen 6. Visualización del Micro controlador NodeMCU Esp 32

A screenshot of the Ubidots website homepage. The header includes the Ubidots logo, navigation links for 'ACERCA DE', 'INDUSTRIAS', 'ECOSISTEMA IOT', 'PLATAFORMA', 'PRECIOS', 'RECURSOS', and language options 'EN' and 'ES'. A 'REGISTRESE' button is visible. The main content area features the headline 'Potente pero sencillo IoT industrial' and a sub-headline 'Las empresas utilizan el software IoT de Ubidots para crear aplicaciones web y móviles para monitorización de condiciones, manufactura inteligente, SCADA en la nube, análisis de vibraciones y mucho más.' Below this is a 'PRUÉBELO AHORA' button and a link to 'inicie sesión aquí'. On the right, there is a graphic showing a smartphone displaying a mobile app interface for 'OEE - Production Line' over a background image of a factory production line. The footer contains logos for 'HABILITANDO LA FÁBRICA INTELIGENTE Y MÁS', 'Sydney WATER', 'WAGO', 'suez', and 'PCCP'.

Imagen 7. Programa IoT Ubidots.

Varios beneficios surgen de la incorporación de IoT en un sistema. Esta tecnología, comúnmente conocida como Internet de las cosas, es una adición ventajosa.

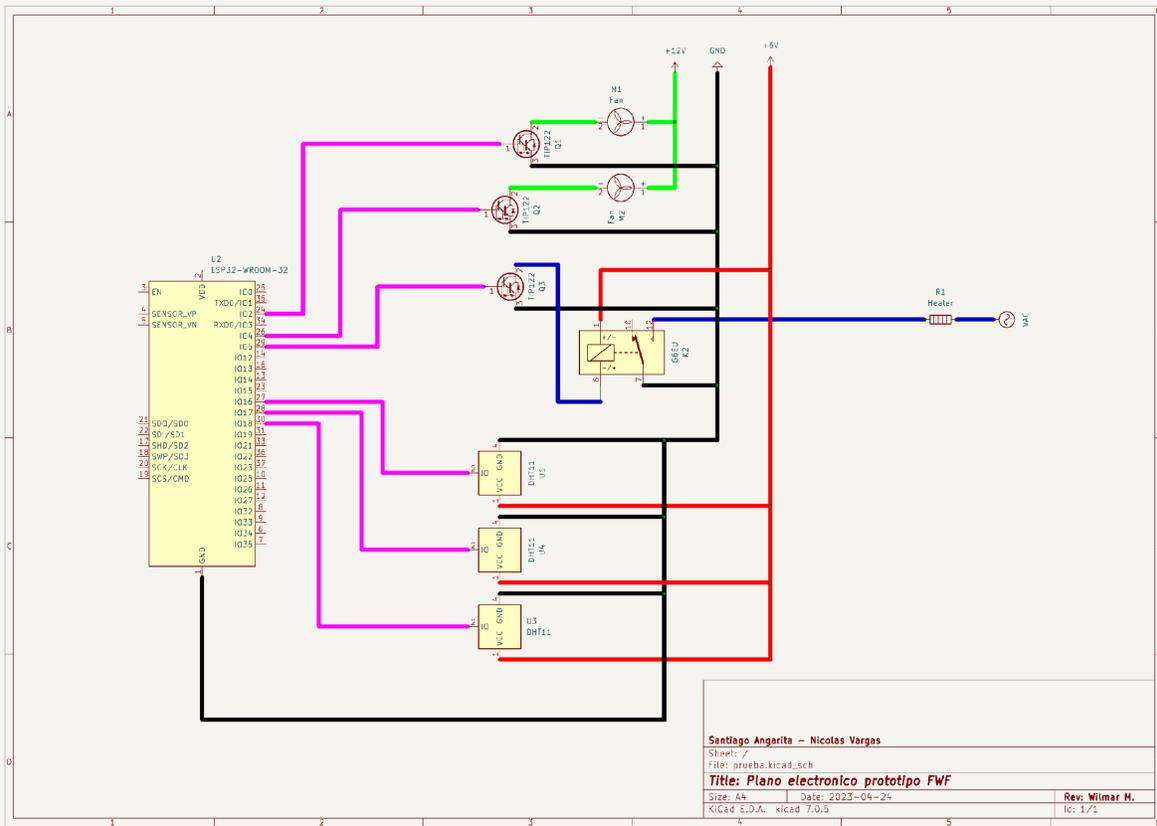
La interconexión de dispositivos y sistemas a través de IoT da como resultado una mejor conectividad y una mejor comunicación, lo que lleva a una colaboración más eficiente. El intercambio de información en tiempo real permite una toma de decisiones más rápida y precisa.

- 1) Con el Internet de las cosas (IoT), las tareas se pueden automatizar, lo que lleva a una mayor eficiencia en industrias como la gestión de la energía, la logística, la agricultura y mucho más.
- 2) Los dispositivos IoT recopilan datos y responden automáticamente, lo que reduce el error humano y mejora la productividad general.
- 3) La incorporación de IoT en entornos como ciudades inteligentes, salud conectada y hogares inteligentes puede ser ventajoso para elevar el nivel de vida. Se puede monitorear el bienestar de un individuo, se pueden detectar problemas de seguridad, se puede conservar la energía y se pueden simplificar las tareas diarias con el uso de dispositivos y sensores IoT.
- 4) La toma de decisiones informada está respaldada por datos generados por IoT. Recopilados en tiempo real y disponibles para su análisis, estos datos brindan información valiosa sobre una variedad de industrias. Una de esas industrias es la agricultura, donde los agricultores utilizan sensores IoT para recopilar información sobre la humedad del suelo, la temperatura y más. Al hacerlo, están mejor equipados para tomar decisiones precisas con respecto a las técnicas de riego y fertilización.
- 5) El mercado ofrece innovación excepcional y perspectivas comerciales a través de la inclusión de IoT, impulsando el alcance futuro de productos y servicios creativos. IoT es una excelente puerta de entrada para que varias empresas utilicen sus avances para crear dispositivos de última generación y estrategias únicas pioneras para diferenciarse del resto.

6) Al monitorear y controlar los recursos de manera más eficiente, IoT tiene el potencial de optimizar el uso de recursos. Con esta tecnología, podemos reducir los desechos y los costos asociados cuando se trata de productos básicos importantes como la energía, el agua y el transporte.

La protección de datos personales y la gestión adecuada de la seguridad de los dispositivos son consideraciones esenciales al adoptar IoT. Estos desafíos no deben pasarse por alto a pesar de las ventajas potenciales que presenta IoT. Solo abordándolos adecuadamente podemos garantizar el aprovechamiento óptimo de esta tecnología.

El prototipo final conto con el diseño original del espacio donde se ubicarían las bandejas de las larvas de mosca soldado negro con su sustrato. Se ubicaron los sensores en las mismas tres posiciones originales donde se evidenciará la variación de alturas y se conectaron a el Node Esp 32, el cual tiene conexión a los ventiladores mediante él envió de señal PWM a un Tip 122 que ejecuta el control de velocidad de ambos ventiladores según la necesidad de condiciones internas, y un relé que tiene conectado el sistema de generación de vapor y es controlado totalmente por la programación anteriormente descrita.

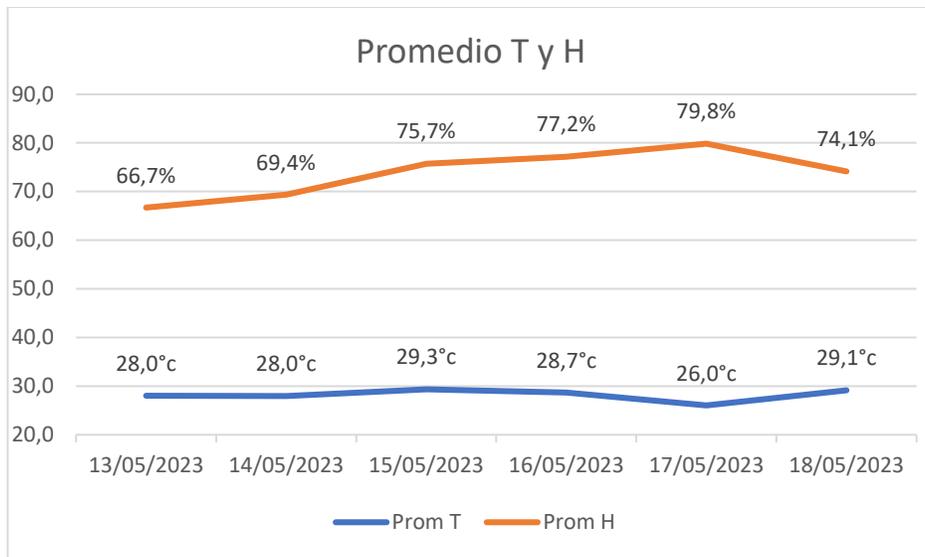


*Plano 1. Representación esquemática de la construcción del modelo. Elaboración propia*

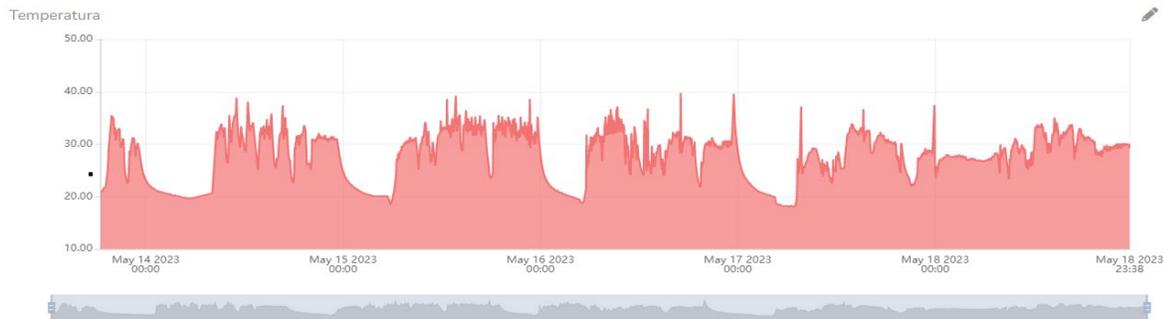


*Imagen 8. Prototipo final, generación de vapor, espacio para larvas MSN y un centro de control (Esp 32.).*

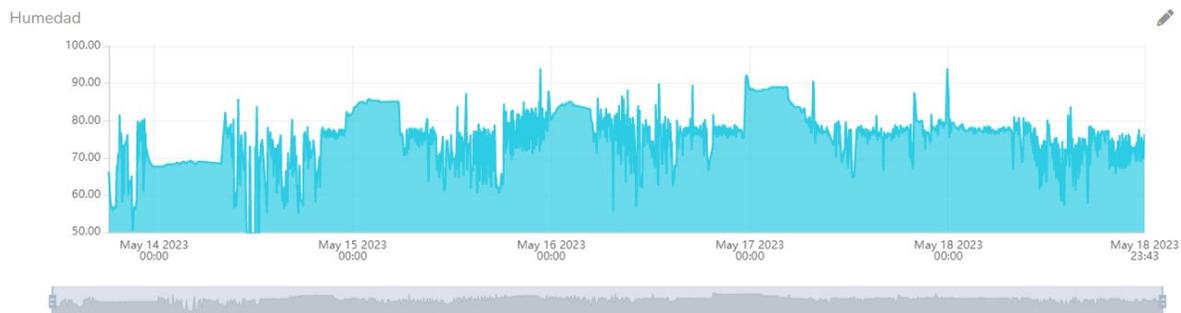
Para la prueba final donde se tendrían las larvas con sustrato adentro, se ubicó el prototipo en la zona exterior de una vivienda, de tal manera que se comprobara la efectividad del control de condiciones ejecutado dentro del sistema, como se ve en la imagen #. Ubidots realizó la recopilación de datos día a día de la prueba donde se encontraron resultados satisfactorios como los presentados en las siguientes graficas.



**Grafica 9. Promedios de temperatura y humedad relativa durante 5 días de la prueba con larvas. Creación propia.**



**Grafica 10. Medición de temperatura dentro del equipo. Fuente: Ubidots**



**Grafica 11. Medición de humedad relativa dentro del equipo. Fuente: Ubidots.**

Las gráficas 9,10 y 11 representan la toma de datos de los primeros 5 días de prueba en los cuales se ejecutó la eclosión de los huevos de mosca y la alimentación de las primeras larvas, en estas se evidencia el control ejecutado por el sistema por la manera en cómo se han desarrollado los picos de temperatura y humedad relativa. El software estaba programado de manera que la variable patrón que ejecutaba el control era la de humedad ya que era la que sufría variaciones más relevantes que la temperatura al interior del prototipo, razón por la cual se diferencia la cantidad de picos medidos en la gráfica 10 que en la 9. Esos picos se generan por el uso del vapor de agua como medio para la generación de condiciones, el vapor de agua tiene su propia cinética y al aplicar energía en forma de calor en la olla de agua, aumenta la temperatura del vapor de manera significativa, cuando entra al prototipo los sensores van registrando los datos de temperatura y humedad hasta que llegan al límite donde se corta el suministro de energía en la olla; sin embargo, el vapor sigue su proceso de aumento de temperatura hasta cierto punto y tiene una reducción gradual en las dos variables, ayudadas también por las acciones medidas del ventilador y extractor, hasta que los datos vuelven a estar por debajo de 77% de humedad y 33°C. De tal manera que lo observado en las gráficas da muestra de que el prototipo es capaz de cumplir esta cinética del vapor y aun así como lo revela la gráfica 8 de promedios de temperatura por día, fue capaz de mantenerse en el rango de temperatura y humedad relativa requeridos para el crecimiento de la especie de mosca soldado negro con una media de temperatura aproximada de 28°C y una humedad relativa de 70% parámetros muy cercanos a lo evidenciado en la prueba piloto del año 2021 con moscas soldado negro en el Espinal, Tolima.

De manera puntual el funcionamiento del prototipo se ve evidenciado en las graficas12 y 13, donde se ve la operación del equipo de manera continua en un rango de tiempo de aproximadamente 1 hora, donde se generan aproximadamente 5 picos tanto de temperatura y humedad cada 15 minutos. En estas graficas se describe de mejor manera el efecto generado por la cinética del vapor en la entrada al prototipo, donde la variable más afectada es la humedad relativa con un rango de variación del 10%, mientras que la temperatura describe un rango de variación de 1-2 °c entre pico superior e inferior, demostrando lo competente que fue tanto la programación, el diseño y construcción de este equipo piloto.



Graficas 12 y 13. Funcionamiento puntual del prototipo en un rango de 1 hora. Fuente: Ubidots.



*Imagen 9. Primera foto de las larvas en el desecho*



*Imagen 10. Larvas consumiendo desecho*



*Imagen 11. Larvas pasados los 12 días después de su nacimiento*



*Imagen 12. Se puede ver el color y calidad de la larva*



*Imagen 13 Peso total de las larvas*

### **3. CONCLUSIONES.**

El prototipo construido para este proyecto y probado como se evidencio anteriormente, ha tenido un resultado satisfactorio para el objetivo con el que se planteó su diseño, ser capaz de controlar las condiciones ambientales de un habitáculo en el cual viven larvas de mosca soldado negro, mediante el control de variables como la temperatura y la humedad relativa a través de un sistema de generación de vapor de agua; y soportando condiciones extremas en las cuales esta especie no tiene la capacidad de subsistir como lo fueron las pruebas ejecutadas en la ciudad de Bogotá, Colombia. El correcto funcionamiento nos da una guía para desarrollar con mayor profundidad esta tecnología, no solo para la crianza y alimentación de moscas soldado negro, además para el crecimiento de diferentes especies de plantas o la aceleración de procesos de compostaje.

Sin embargo, el equipo tiene puntos mejorar que pueden ayudar a reducir el consumo de agua para la generación de vapor y tener un control mucho más preciso cuando hay disminución drástica en la temperatura al exterior del prototipo. Un ejemplo se evidencia en la gráfica 10, en las noches se complicaba mantener una temperatura alta, debido al aumento de la humedad relativa, por lo cual sería necesario tener un sistema de calefacción de respaldo principalmente para las ubicaciones de las bandejas, donde se pueda mantener la temperatura interna y evitar que mueran o se desplacen fuera de las bandejas. Otra consideración está presente en el equipo que

se usó para el control de condiciones, el Nodemcu Esp 32, que perdía constantemente señal y generaba conflictos con la programación, causando la pérdida de datos y un funcionamiento inestable de los equipos conectados al mismo.

En este caso el uso del sistema fuzzy nos permitió un manejo de incertidumbre y además brinda la flexibilidad para la toma de decisiones por medio de las reglas anteriormente mencionadas las cuales fueron desarrolladas por nosotros mediante el uso del IF-THEN, el cual es en lenguaje básico de este sistema.

El uso de la IoT en este caso fue muy importante ya que permitió realizar un control y monitoreo mucho más adecuado sobre las condiciones de temperatura y humedad presentes dentro de la caja y además de entregarnos el comportamiento de la misma de manera inmediata, además de eso nos permitió automatizar tareas como el funcionamiento de la olla por medio de relés los cuales prendían o apagaban la resistencia de la estufa para evitar que se calentara mucho el vapor o caso contrario se enfriara demasiado, y por último permitió planear que para futuros desarrollos será necesario crear alarmas donde antes de que suceda algún inconveniente interno en la caja, ella lo notifique y haga la intervención necesaria

## BIBLIOGRAFIA

18. Miller, M. (2015). The Internet of Things: How Smart TVs, Smart Cars, Smart Homes, and Smart Cities Are Changing the World.
19. Kranz, M. (2016). Building the Internet of Things: Implement New Business Models, Disrupt Competitors, Transform Your Industry.
20. Schwab, K. (2017). The Fourth Industrial Revolution.
21. Greengard, S. (2015). The Internet of Things.
22. Buyya, R., Dastjerdi, A. V., & Srirama, S. S. (2016). Internet of Things: Principles and Paradigms.
23. Uckelmann, D., Harrison, M., & Michahelles, F. (2011). Architecting the Internet of Things.