

**Universidad Peruana de Ciencias
Aplicadas**

Facultad de Ingeniería
Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica



Proyecto Electrónico 2

Trabajo Final

**“Desarrollo de una cámara de ambiente controlado,
orientada a la crianza, monitoreo y estudio de
Chirimachas”**

Integrantes

Sullca Pineda, Rossana Nieves

Urueta Cardenas, Sebastian Jesus

Profesor: Christian Del Carpio Damián

28 de diciembre de 2022

1.-Situación Problemática y Problema General

1.1.1. Descripción de la problemática

La problemática se presenta específicamente en recintos de crianza e investigación de Chirimachas (*Triatoma infestans*) en laboratorios nacionales. El uso de estos insectos puede servir para la elaboración de pruebas mediante xenodiagnos, las cuales presentan un nivel de efectividad del 98% a 100 % en la etapa aguda, y de 50% a 70% en crónica en condiciones óptimas. (Luquetti & Schmuñis, 2017). Así como para investigaciones sobre la enfermedad de Chagas y otro tipo de enfermedades tropicales que llegan a transmitir; también para la prueba de nuevos insecticidas que sean efectivos en el control y erradicación de este vector. Pero para poder criarlos, se necesita un nivel de temperatura de 28 °C y una humedad relativa de 60%, así como un ambiente protegido de la luz. (Lily Arrojo*, 2001). Lo cual se puede lograr utilizando criaderos automatizados que se encarguen de mantener los parámetros de temperatura y humedad. Lamentablemente, en laboratorios nacionales, como el laboratorio de bioquímica y serología parasitaria, presentan equipos rudimentarios para la crianza de estos insectos. Puesto que se emplea un armario de madera en dónde; gracias a un foco y un vaso de agua, se logra un control manual de las variables deseadas. Estos son medidos cada cierto tiempo con la finalidad de verificar si deben de efectuar un cambio en los parámetros, ya sea apagando el foco o retirando el vaso de agua.

1.1.2. Problema identificado

Según lo expuesto anteriormente sobre la situación, se determina el problema general como: **“Ineficiencias en el método de monitoreo, control de temperatura y humedad para el desarrollo y crecimiento en los recintos de crianza de las *Triatoma infestans* o chirimachas”.**

1.1.3. Enunciado del problema general y el árbol del problema

Con la identificación de estos problemas se generó el árbol de problemas, el cual cuenta como consecuencia principal la baja producción de chirimachas que pueden ser utilizadas para investigaciones. En la Figura 1 se observa el árbol de problemas.

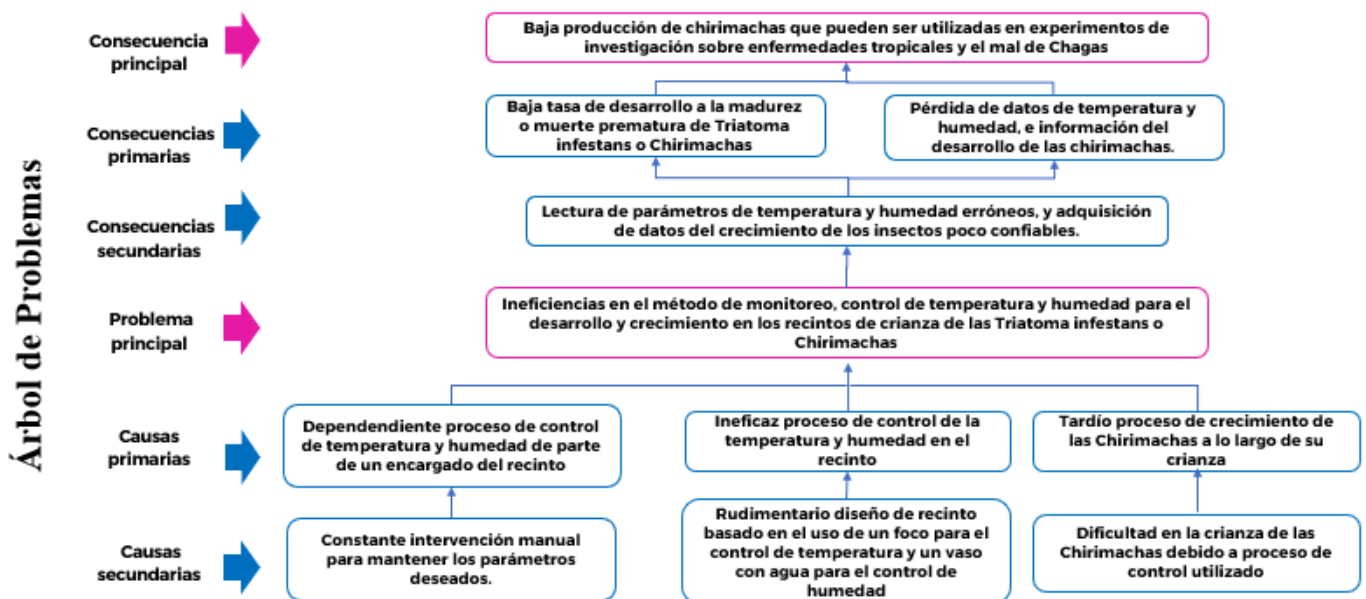


Figura 1: Árbol de Problemas. Elaboración Propia

2.-Objetivos

2.1.1. Problema identificado

Ante las problemáticas mostradas, se tiene como objetivo principal el de **“Desarrollar un recinto de crianza de *Triatoma infestans* o Chirimachas con la capacidad de control, monitoreo y de crecimiento a través de adquisición de datos con la finalidad de permitir un desarrollo más eficiente.**

2.1.2.Árbol de objetivos

Con esta problemática se desarrolló el árbol de problemas que se puede observar en la Figura 2 muestra el árbol de objetivos. El cual cuenta como logro principal generar un mayor porcentaje de éxito en la crianza e investigación desarrolladas en el recinto.

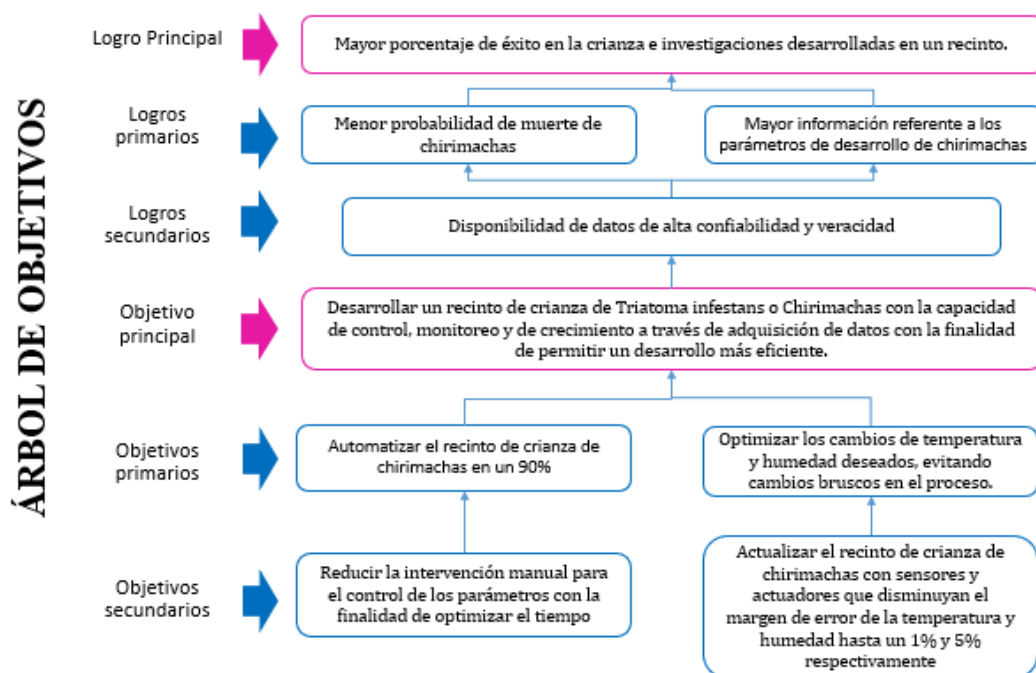


Figura 2: Árbol de Objetivos. Elaboración Propia

2.1.3. Objetivos específicos

Entre los objetivos específicos se cuenta con los siguientes. Siendo sus indicadores

	Objetivo específico de desarrollo e implementación	Indicador de cumplimiento	Medio de verificación y/o Validación (especificando interpretación y significado)	Resultados obtenidos (cuantitativo y cualitativo)
	Investigar cómo se manifiestan visualmente las características físicas de las chirimachas según sus etapas.	Reporte descriptivo que contenga la caracterización visual de las etapas de las chirimachas para poder tener una mayor precisión en su identificación por medio de procesamiento de imágenes.	Se verifica una vez se compruebe que los autores tengan en claro los criterios morfológicos que diferencian los estadios de las chirimachas y como emplearlo en el sistema.	Se tienen los datos necesarios para detectar el estadio de las chirimachas según los criterios morfológicos seleccionados
	Desarrollar un recinto de crianza de <i>Triatoma infestans</i> o Chirimachas con la capacidad de control, monitoreo y de crecimiento a través de adquisición de datos con la finalidad de permitir un desarrollo más eficiente	Recinto con dimensiones máximas de (40x90x90) cm con espacio para: los actuadores, sensores, las cámaras, la iluminación interna y los circuitos electrónicos.	Se verifica una vez se cuente con el recinto de crianza ensamblado.	Se tiene un recinto de crianza con las dimensiones (18x77x35) cm. Contando con los espacios necesarios para el área de crianza, adquisición de datos y software.
	Desarrollar un algoritmo de control y de procesamiento de imágenes que permita mejorar la eficiencia en el crecimiento de la población de Chirimachas, así como facilitar su estudio y el de otros insectos que necesitan un ambiente controlado.	Creación de un algoritmo PI y de procesamiento de imágenes que ayuda al crecimiento de las Chirimachas por medio del control de los parámetros ambientales utilizados a lo largo del tiempo.	Se verifica una vez se cuente con los algoritmos de control y detección morfológica de chirimachas.	Se desarrollo un algoritmo PI capaz de mantener la temperatura y humedad de manera estable, así como un algoritmo de detección de estadio y morfología de las chirimachas.
	Elaborar un circuito por medio de sistema embebido compuesto de actuadores, microprocesadores, sensores y una cámara que permita optimizar los cambios de temperatura y humedad deseados; así como la	Un sistema de control PI que de los parámetros deseados de una manera óptima; así como el uso de actuadores como resistencias caloríficas y humidificadores. También el uso de una cámara que, por	Se verifica una vez se cuente con el circuito implementado y acondicionado en el recinto de crianza.	Se implemento el circuito con los actuadores óptimos para le proceso de control, probando que el sistema cuente con

identificación de los estadios de las Chirimachas.	medio de un raspberry pi, identificara el estadio de las Chirimachas según sus estadísticas resaltantes.		un correcto funcionamiento.
--	--	--	-----------------------------

3.-Breve Descripción del Producto Desarrollado

Se describe brevemente el producto desarrollado hasta la fecha, esto implica:

- **Diagrama de bloques.**

En la Figura 2 se puede apreciar el diagrama de bloques del proyecto, mostrando los alcances que se desean cumplir para brindar la solución deseada.

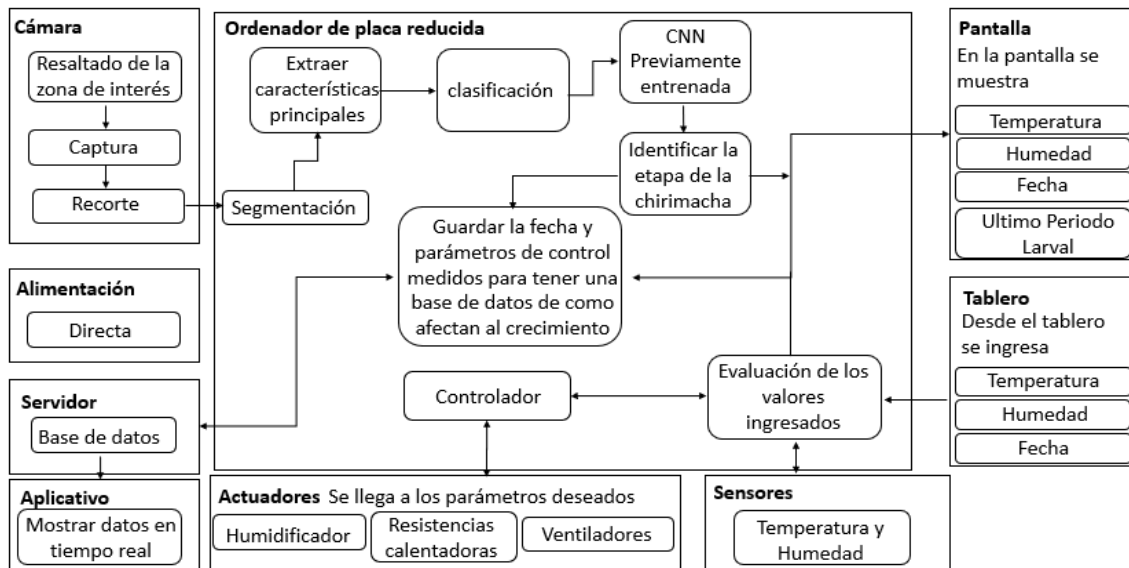


Figura 3: Diagrama de bloques de la solución propuesta. Elaboración propia

- **Especificaciones técnicas del producto.**
- **Funcionamiento.**

1. Ingreso de datos para configuración del equipo

- Se ingresará la fecha al equipo.
- Se ingresará los valores de temperatura y humedad deseados.

2. Sensores y actuadores para el control de temperatura y humedad

- Se utilizará un sensor de temperatura y humedad.
- Se usarán actuadores para modificar los valores de la temperatura y humedad según lo configurado.

3. Ordenador de placa reducida, procesamiento de imágenes y sistema de control PID

- Se utilizará un controlador PID para la activación de actuadores acorde a la información enviada por los sensores.

4. Almacenamiento de datos

- Se enviarán los parámetros de temperatura y humedad a una base de datos junto con la fecha.

- **Limitaciones y alcances del producto**

- El sistema no indica si una Chirimacha murió debido a una falla técnica.
- El sistema no alimenta de forma directa a los insectos dentro del recinto, estos tienen que ser cuidados por un personal calificado.
- El sistema estará diseñado para trabajar en ambientes con una temperatura mínima de 15°C y una máxima de 40 °C en ese sentido, el sistema no funcionará de manera óptima en aquellas zonas donde no cumpla esa condición.
- El sistema no contará con una batería que sirva como respaldo de energía.
- El peso máximo del dispositivo debería ser de aproximadamente 10 kg.
- El sistema no actúa de forma automática ante la falla.
- La toma de imágenes se realizará de forma manual, ubicando la Chirimacha en un ambiente especial del recinto donde se procederá a tomar capturas para su identificación del estadio.
- El usuario debe de colocar la chirimacha en una placa Petri para poder realizar su captura.

- **Tareas y actividades pendientes** por cada objetivo específico de desarrollo e implementación. Se presenta esta información en la tabla siguiente:

Objetivo General:	
Objetivo específico de desarrollo e implementación.	Actividades y tareas pendientes que no pudieron ser completadas
Investigar cómo se manifiestan visualmente las características físicas de las chirimachas según sus etapas.	No se logró trabajar con chirimachas vivas.
Desarrollar un recinto de crianza de <i>Triatoma infestans</i> o Chirimachas con la capacidad de control, monitoreo y de crecimiento a través de adquisición de datos con la finalidad de permitir un desarrollo más eficiente	No se logró utilizar policarbonato como material de carcasa para el recinto.
Desarrollar un algoritmo de control y de procesamiento de imágenes que permita mejorar la eficiencia en el crecimiento de la población de Chirimachas, así como facilitar su estudio y el de otros insectos que necesitan un ambiente controlado.	No se pudo desarrollar la detección y extracción de las alas en las chirimachas, así como su diferenciación según su sexo.
Elaborar un circuito por medio de sistema embebido compuesto de actuadores, microprocesadores, sensores y una cámara que permita optimizar los cambios de temperatura y humedad deseados; así como la identificación de los estadios de las Chirimachas.	No se logró implementar un mejor sistema de ventilación en lugar de ser necesario.

Ilustración del Producto Final Terminado.

Se observa en la Figura 4 el producto final estimado en funcionamiento en un laboratorio.

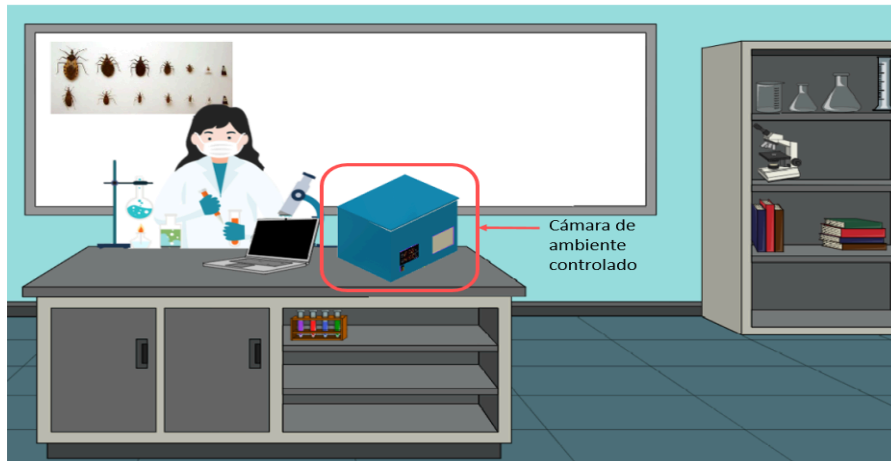


Figura 4: Ilustración del producto final estimado. Elaboración propia

4.-Aportes del Proyecto y Cronogramas de Actividades

Los aportes finales del proyecto pueden ser de diferente índole y deberá de ser indicado:

Ingenieril:

Existe aporte ingenieril de los autores del proyecto si es que han diseñado circuitos, algoritmos y soluciones propias (que no han sido tomados de ninguna otra fuente) basadas en los fundamentos y principios de la ingeniería electrónica. Las fuentes pueden proveer la base, los fundamentos, los principios y el estado del arte para estos diseños.

Social:

El proyecto ayuda al crecimiento y detección de los estadios de las chirimachas; las cuales en sus estadios 2 y 3 son utilizadas para la detección del mal de chagas y, en el estadio 4, para la prueba de pesticidas.

Económico:

El proyecto tiene un menor costo a comparación de las cámaras de crianza de insectos comerciales.

Educativo

El proyecto tiene como fin generar una menor tasa de mortalidad de las chirimachas en los laboratorios de estudio; lo que permitirá una mejora en las investigaciones realizadas en enfermedades tropicales; tales como el mal de chagas en las que se necesita insectos en el estadio 2 y 3.

Cronograma de actividades en diagrama de Gantt.

En los siguientes diagramas de Gantt en las Tablas 1 y 2 se puede observar los avances por objetivos respecto a las semanas para los cursos de Proyecto Electrónico 1 y 2, respectivamente.

Tabla 1. Diagrama de Gantt de avances del curso de Proyecto Electrónico 1. Elaboración Propia

Proyecto Electrónico 1									
Proyecto		Desarrollo de una cámara de ambiente controlado, orientada a la crianza, monitoreo y estudio de Chirimachas							
Autores		Sebastian Jesús Urueta Cardenas y Rossana Nieves Sullca Pineda							
Objetivos específicos		9	10	11	12	13	14	15	16
1	Analizar los estudios sobre el crecimiento e identificación de Chirimachas, así como los efectos de la temperatura y humedad en su crianza.								
2	Desarrollar la carcasa prototipo y profesional que albergará el hardware de la solución y el recinto de crianza para Chirimachas.								
3	Desarrollar un sistema embebido para el control de temperatura y humedad, así como de adquisición y procesamiento de imágenes para el correcto funcionamiento de la cámara de ambiente controlado para Chirimachas.								
4	Desarrollar los algoritmos necesarios para el sistema PID digital, así como la clasificación de estadios de la Chirimacha mediante el procesamiento digital de imágenes.								
5	Desarrollo de una cámara de ambiente controlado, orientada a la crianza, monitoreo y estudio de Chirimachas								

	Sin avance		Avance Parcial		Avance Total
--	------------	--	----------------	--	--------------

Tabla 2. Diagrama de Gantt de avances del curso de Proyecto Electrónico 2. Elaboración Propia

. Descripción del Hardware Propuesto

5.1.- Introducción:

El producto por presentar consta de un área de crianza para las Chirimachas donde se realizará el sistema de control de temperatura y humedad; un área de adquisición de imágenes donde se ubicará una Chirimacha con la finalidad de detectar su estadio y características morfológicas y un área de hardware donde se encontrará todos los componentes necesarios para el funcionamiento del circuito. Para la alimentación del circuito se hará uso de dos fuentes de 24V de 3A y 5V de 6A, así mismo se utilizará un módulo pulldown con la finalidad de reducir voltaje proveniente de la fuente de 24V a 12V con la finalidad de alimentar los ventiladores del circuito. Para el área de crianza se hará uso de cuatro resistencias calefactoras de 50W de potencia; dos ventiladores para repartir el calor y uno para desfogue; un humidificador para controlar la humedad y dos sensores DHT22 para medir la temperatura y humedad. Estos estarán conectados a un ESP32, el cual por medio de un dimmer digital controlará la potencia de las resistencias calefactoras, controlado de esta manera la temperatura. Al mismo tiempo, tanto el humidificador como el ventilador de desfogue están conectados a un módulo relé con la finalidad de controlar su activación en caso sea necesario. Así mismo, se hará uso de un Raspberry Pi 4 integrado con una cámara con la finalidad de ejecutar los algoritmos de identificación de las características morfológicas de las Chirimachas.

5.2.- Materiales y componentes:

- **ESP32 y Rasperry pi 4B**

El ESP32 es un ordenador de placa reducida que cuenta con capacidad Wi Fi y Bluetooth 4.0, perfecto para casi cualquier proyecto de IoT. Este microprocesador es el sucesor del ESP8266, ordenador desarrollado en China por Espressif. Debido a que puede ejecutar códigos por medio de Arduino IDE este cuenta con una plataforma de código abierto y librerías que facilitan la implementación de distintos componentes. En la Tabla 3 se muestra un cuadro comparativo de algunos ordenadores de placa reducida.

- *Tabla 3.* Cuadro comparativo entre Arduino Uno, ESP32 y Rasperry Pi 4B

Características	Arduino Uno R3	ESP32	Rasperry Pi 4B
Precio	S/45 ✓	S/40 ✓	S/407 (1GB) ✗
Dimensión	54 mm×68 mm ✓	54 mm×23 mm ✓	85mm x 53mm
Voltaje de operación	5VDC ✓	3.3VDC ✓	3.3VDC ✓
Voltaje de entrada	7V~12VDC ✓	5VDC ✓	5VDC ✓
Memoria	2KB SRAM ✗	520 KB SRAM ✓	1GB, 2 GB, 4 GB y 8GB ✓
GPIO	20 ✗	38 ✓	40 ✓
Velocidad	16 MHz ✗	240Mhz ✓	1.5GHz ✓
Soporte de comunicación inalámbrica	Sin soporte ✗	WIFI 2.4 GHz hasta 150 Mbit/s (IEEE 802.11b/g/n/ac) y Bluetooth v4.2 BR/EDR ✓	WIFI 2.4 GHz y 5.0 GHz (IEEE 802.11b/g/n/ac) y Bluetooth v5.0 ✓

--	--	--	--

Para la utilización del ESP32 se debe considerar algunos componentes como su tamaño, una memoria suficiente para abarcar el algoritmo del PID, la cantidad de salidas y entradas, el precio del equipo, conexión remota y la fuente de alimentación adecuada que se requiere para su funcionamiento según el modelo elegido. Mientras que para el procesamiento de imágenes es necesario un microprocesador de mayor potencia, siendo el modelo 4 de 2GB de RAM el elegido debido a su precio accesible a comparación de otros modelos y a la potencia que llega a brindar.

- **Sensores DHT22**

Debido que para el producto final se busca la medición de los valores de temperatura y humedad relativa dentro del recinto, se buscó la existencia de sensores que logran medir dichos parámetros. Entre estos sensores se encuentran el DHT11, DHT21 y DHT22; los cuales destacan por su precisión y por facilitar la comunicación serial entre el microprocesador y el sensor. En caso de este proyecto se trabajará con el DHT22. La comparación de las características se puede apreciar en la Tabla 4

- *Tabla 4.* Cuadro comparativo de los sensores DHT. Elaboración Propia

	DHT11	DHT21	DHT22
Rango de humedad relativa	(20 - 90) % RH ✓	(0 - 99.9) % RH ✓	(0 - 100) % RH ✓
Rango de temperatura	0°C ~ 50 °C ✗	-40°C ~ 80 °C ✗	-40°C ~ 125 °C ✓
Precisión	HR: ± 4 % ✓ T: ± 2°C	HR: ± 3 % ✓ T: ± 0.3°C	HR: ± 2 % ✓ T: ± 0.5°C
Sensibilidad	HR: ± 1 % ✓ T: ± 0.1°C	HR: ± 0.1 % ✓ T: ± 0.1°C	HR: ± 0.1 % ✓ T: ± 0.1°C
Tiempo de respuesta	HR: < 10 seg ✗ T: < 10 seg	HR: < 6 seg ✓ T: < 10 seg	HR: < 5 seg ✓ T: < 10 seg
Voltaje de alimentación	3.3 ~ 5.5V DC ✓	3.3 ~ 5.5V DC ✓	3.3 ~ 6V DC ✓

Se escogió el sensor DHT22 debido a que cuenta con una mayor precisión, teniendo un porcentaje de error de ± 0.5°C en temperatura y un ± 2 % de humedad; un mejor tiempo de respuesta de humedad, 5 segundos; y una mayor presencia en el mercado local. Otro de los motivos por el cual se eligió este modelo de sensor es debido a su fácil funcionamiento, conectándose de manera sencilla al esp32.

- **Dimmer digital**

Como se desea realizar el control de un sistema de control PID de temperatura es necesario el uso de un regulador de voltaje, de manera que se pueda controlar la potencia de salida del. Por lo tanto, se necesita del dispositivo que cumpla con la función. De bajo costo y disponible en el mercado peruano. El dispositivo que cumple con dichas características es el dimmer digital y analógico, este circuito permite la modulación del voltaje por medio de un triac, un puente de diodos, temporizador y relay. En el mercado domina el dimmer analógico ya que es de bajo costo y es ampliamente utilizado en circuitos electrónicos básicos, por otro lado, el dimmer digital es menos común. La comparación de características se encuentra en la Tabla 5.

- *Tabla 5. Especificaciones técnicas de los dimmers.*

	Dimmer digital	Dimmer analógico
Voltaje de control	3.3 – 5.5V DC ✓	No tiene ✗
Voltaje de carga	110/220V AC ✓	200V AC ✗
Frecuencia AC	50/60 Hz ✓	50/60 Hz ✓
Corriente nominal carga	2A ✓	25A ✗
Potencia de carga	400W ✓	2000W ✓

Se escogió trabajar con el dimmer digital principalmente porque éste se puede adicionar a un microcontrolador para su control, a diferencia del dimmer analógico que es controlado por un potenciómetro, en otros aspectos tiene menor carga y se ajusta mejor al proyecto elaborado.

- **Resistencias caloríficas**

Para la generación del ambiente deseado se requiere un actuador que genera la temperatura deseada a lo largo del tiempo. Por ello, se necesita un dispositivo que logre cumplir con la necesidad, siendo de bajo costo, un manejo no complejo del dispositivo. Entre las formas de generar calor se tiene el uso de bombillas, resistencias caloríficas, infrarrojo, celdas peltier e incluso un ventilador de aire caliente. Pero la que más domina en el mercado vendría a ser las resistencias caloríficas. Estas llegan a generar altas temperatura por medio de la inducción de voltaje a lo largo del tiempo, y mientras más potencia reciban mayor será el tiempo de reacción. La comparación de las características de los actuadores se puede apreciar en la Tabla 5.

- *Tabla 5. Especificaciones técnicas de las resistencias caloríficas.*

	Resistencia Calentador De Aire de Cerámica	Placa de calefacción de cerámica AC DC 220v	Lampara De Calor De Cerámica 220v

Rango de temperatura	0~200°C✓	0~240°C✓	0~52°C✓
Tiempo de respuesta	15 minutos✓	<1 hora✘	15 minutos✓
Potencia	50W✓	100W✓	100w✓
Voltaje de alimentación	220 V✓	220V✓	220V✓
Tiempo de vida	3-5 años✓	2años✓	10000 horas✘

En este caso se trabajó con una resistencia calentadora de aire de cerámica de 220v debido a la facilidad de acceso, así como a su menor tiempo de respuesta para llegar a su temperatura máxima, que en este caso es más de lo necesario para el ambiente de temperatura deseado, un consumo de potencia relativamente menor y su largo tiempo de vida. Si bien, existen otras opciones de actuadores que pueden servir; se optó por esta debido su presencia en el mercado, así como el hecho de que es de fácil reemplazo para las personas encargadas del recinto en caso llegue a ser necesario.

- **Cámara Rasperry pi 8MP**

De acuerdo con los criterios para la detección de las características morfológicas de las chirimachas es necesario una cámara de una resolución de píxeles alta. Por ello, se realizó una comparativa en la Tabla 6.

- *Tabla 6.* Características de las cámaras a seleccionar. Elaboración propia.

Características	Cámara Raspberry Pi V2	Cámara WEB Logitech HD C270	Cámara Imx219
Precio	S/127✓	S/125 ✓	S/145✓
Campo visual	62.2✓	55° ✓	77°✓
Conexión	Cable USB 2.0✓	Cable USB-A ✓	Cable USB 2.0 ✓
Resolución	8MP ✓	3MP ✘	8MP✓

Para este proyecto se eligió la cámara Raspberry Pi V2 debido a su resolución de 8MP, la cual es suficiente para poder analizar las características morfológicas de las chirimachas. Además, cabe mencionar que, al ser una cámara de rasperry pi, está cuenta con librerías que facilitan su configuración.

- **Humidificador**

Para mantener una humedad adecuada para el recinto se requiere de un actuador que genere el ambiente deseado. Para lo cual se requiere de un dispositivo de bajo costo y resistente por los continuos cambios de estado. Se encontraron distintos tipos de humidificador, pero en su mayoría comerciales, los cuales son difíciles de

adaptar para este proyecto, sin embargo, se encontró una opción distinta a las comerciales. Dichas diferencias se pueden apreciar en la Tabla 7.

- *Tabla 7. Especificaciones técnicas de humidificadores.*

	Humidificador ultrasónico vapor (comercial)	Humidificador acuario blanco Deerma DEM-F325 (comercial)	Humidificador Mist Maker
Capacidad	130ml~300ml ✘	5L ✓	dependiendo del contenedor ✓
Tamaño	11.5cm x 11cm ✘	22cm x 22cm x 28.5cm ✘	4.5cm x 4.5cm ✓
Potencia	14W ✘	25W ✘	24W ✓
Voltaje de alimentación	12V ✘	220V ✓	24V ✓
Peso	1kg ✘	1.5kg ~ 6.5kg ✘	600gr ✓

Respecto a la comparación realizada en la Tabla 7 se elige utilizar el humidificador Mist Maker por diferentes razones. En primer lugar, tiene un tamaño y peso menor a diferencia de los humidificadores comerciales, ya que este no presenta una carcasa, lo cual también favorece para la implementación del proyecto. Por otro lado, la capacidad del humidificador depende de la carcasa de este pero el último humidificador en la tabla requiere de un recipiente externo donde se cubra completamente de agua. De manera que se selecciona este último por su versatilidad para la aplicación en el proyecto.

- **Fuentes de voltaje**

Para el diseño del circuito fue necesario conseguir fuentes de alimentación que lograran dar la potencia necesaria. Debido a que el circuito cuenta con cuatro tipos de voltaje, 220V, 24V, 12V y 5V; fue necesaria la adquisición de dos fuentes de 24V y 5V y un módulo Pulldown de 12V. Estas fuentes fueron elegidas por medio de un cálculo de potencia de componentes, teniendo una consideración del 30% de potencia.

5.3.- Diseño e implementación:

Como se puede observar en la Figura 5 el recinto propuesto consta de 3 áreas, el área para Hardware, el área de crianza y el área de adquisición de imágenes; la implementación del hardware se encuentra distribuido entre estas áreas. De manera que la implementación se realizará por partes tal y como se muestra en la Figura 6.

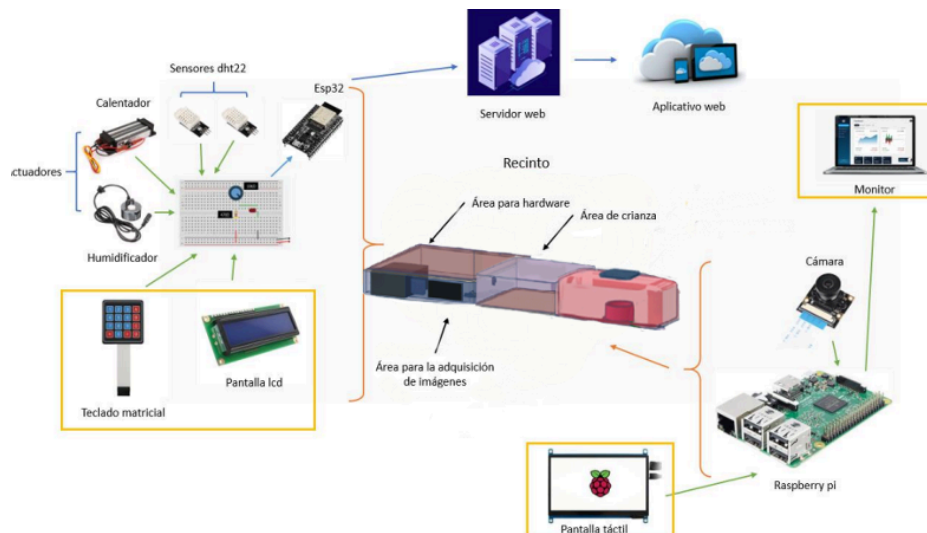


Figura 5. Diagrama pictórico del producto final estimado. Elaboración propia

Como se observa en la Figura N, los bloques que comprenden el hardware están divididos en 3, la etapa para el control de temperatura y humedad, la etapa enfocada en la adquisición de imágenes y la etapa para la visualización de una interfaz para el ingreso y parámetros y vista de los resultados.

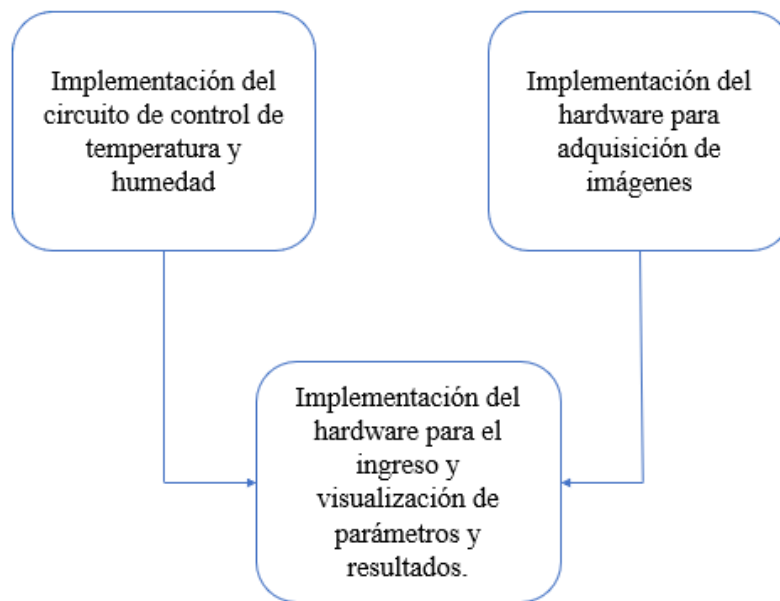


Figura 6. Diagrama de bloques de la implementación del hardware. Elaboración propia

A) Implementación del circuito de control de temperatura y humedad

Para el diseño del diagrama circuital fue necesario el cálculo de las potencias por componentes y etapas, de manera que se pueda elegir adecuadamente fuentes y módulos necesarios que permitan la correcta alimentación del sistema. Los cálculos para las potencias se realizan con las ecuaciones N y N.

Ecuación de la potencia:

$$P = V \times I \quad (1)$$

Donde:

- P: Potencia (W)
- V: Tensión (V)
- I: Amperaje (A)

Potencia requerida:

$$Pf = P + 30\%P \quad (2)$$

Donde:

- Pf: Potencia final (W)

Para los cálculos de potencias finales se hace uso de la ecuación 1, de manera que se obtiene los siguientes resultados:

Para componentes con voltajes de 24V:

- Humidificador: amperaje 1A, Ph (Potencia de humidificador)

$$P_h = 24V \times 1A \quad (3)$$

$$P_h = 24W \quad (4)$$

Para componentes con voltajes de 12V:

- Ventiladores 5x5 (2): amperios 0.07A, Pv (Potencia de ventilador)

$$P_{v1} = 2 \times 12V \times 0.07A \quad (5)$$

$$P_{v1} = 1.68W \quad (6)$$

- Ventiladores 8x8 (2): amperios 0.15A, Pv (Potencia de ventilador)

$$P_{v2} = 2 \times 12V \times 0.15A \quad (7)$$

$$P_{v2} = 3.6W \quad (8)$$

Para componentes con voltajes de 5V:

- ESP32: amperios 180mA, Pe (Potencia de ESP32)

$$P_e = 5V \times 180mA \quad (9)$$

$$P_e = 900mW \quad (10)$$

$$P_e = 0.9W \quad (11)$$

- DHT22 (2): amperios 50uA, Pd (Potencia de DHT22)

$$P_d = 2 \times 5V \times 50uA \quad (12)$$

$$P_d = 0.5 \times 10^{-3} W \quad (13)$$

Para los cálculos de potencias finales se hace uso de la ecuación 2, de manera que se obtiene los siguientes resultados:

- Potencia de 24V final: P1

$$P_1 = P_h + 30\%P_h \quad (14)$$

$$P_1 = 24 + 30\%(24) \quad (15)$$

$$P_1 = 29.76W \quad (16)$$

- Potencia de 12V final: P2

$$P_2 = P_{v1} + P_{v2} + 30\%(P_{v1} + P_{v2}) \quad (17)$$

$$P_2 = 1.68 + 3.6 + 30\%(1.68 + 3.6) \quad (18)$$

$$P_2 = 3.86W \quad (19)$$

- Potencia de 5V final: P3

$$P_3 = P_e + P_d + 30\%(P_e + P_d) \quad (20)$$

$$P_3 = 0.9 + 0.5 \times 10^{-3} + 30\%(0.9 + 0.5 \times 10^{-3}) \quad (21)$$

$$P_3 = 1.17W \quad (22)$$

Acorde a los valores obtenidos se decide utilizar una fuente de 24V y 3A, otra fuente de 5V y 6A, y un Step Down para nivelar un voltaje a 12V conectado desde la fuente de 24V.

Como se observa en la Figura 7. El diagrama esquemático de las conexiones comprende 2 sensores de temperatura y humedad, con el fin de obtener una medida promedio de temperatura y humedad dentro del área de crianza. El hardware de control de temperatura está comprendido por dos calentadores en el área de actuación conectado a un dimmer, junto a dos ventiladores que permitirá la disipación del aire caliente dentro del recinto y un ventilador de desfogue para la disipación de calor; esto debido a que los calentadores al ser componentes que trabajan en diferentes potencias pueden ser controlados por un dimmer y permitir una mejor acentuación de la temperatura dentro del área de crianza. Por otro lado, el hardware de control de humedad está compuesto por un humidificador y un ventilador para la disipación de humedad dentro del recinto, y conectado a relés que permitirán el encendido y apagado de cada componente acorde a los parámetros ingresados. Todos estos componentes se encuentran conectados a un microcontrolador ESP32 el cual se encargará del funcionamiento de cada etapa.

En la implementación de dicha etapa se tuvo cierta dificultad en el cableado del circuito, esto debido a que los componentes son módulos y requieren algunas conexiones soldadas y otras por cables jumpers, de manera que la organización y el posicionamiento de los componentes fue complicado. Por lo cual se optó por fijar cada componente a la base del

área y realizar el cableado pegado posible al piso del recinto, de manera que no se pueda desconectar ni generar falsos contactos. En la Figura 7 se observa el circuito implementado del proyecto final.



Figura 7. Circuito implementando con las fuentes correspondientes. Fuente: Propia

B) Implementación del hardware para la adquisición de imágenes

Para la captura de imágenes, es necesario conocer el ángulo de visión de la cámara. Esto con la finalidad de saber el espacio que es posible capturar a cierta distancia deseada. Esto se puede lograr por medio de una semejanza de triángulos como se observa en la Figura 8, el cual relaciona el ángulo de visión con el campo de visión y la distancia de este al lente de la cámara, logrando obtener de esta manera la ecuación 23.

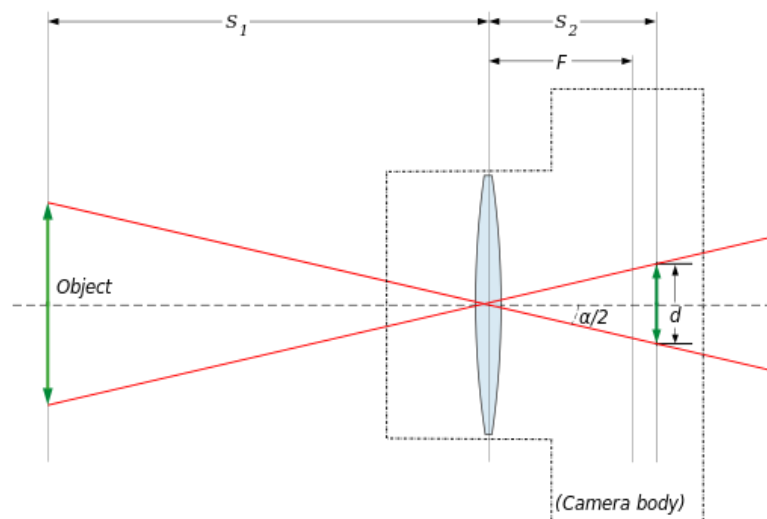


Figura 8. Representación de las reglas de rayos. Adaptado de “Cálculo del ángulo de visión”, Recuperado de https://hmong.es/wiki/Angle_of_view

$$Av = 2 \times \tan^{-1} \left(\frac{d}{D} \right) \quad (23)$$

Donde:

- Av: Ángulo de visión diagonal
- d: longitud de la diagonal del sensor
- D: distancia focal

De manera que la ecuación 24 se aplica para el caso del proyecto, con el diámetro de las placas Petri adquiridas es de 6cm. Puesto que el tamaño máximo de la chirimacha es de 3cm, por lo cual se considera como referencia un diámetro menor al de la placa, esto debido a que se necesita una buena resolución para poder captar mejor sus detalles. Por otro lado, la cámara adquirida cuenta con un ángulo de visión de 62.2° diagonal. Teniendo en cuenta estos parámetros, se puede determinar la altura del recinto para que la cámara capture el área deseada.

$$62.2 = 2 \times \tan^{-1} \left(\frac{5 \text{ cm}}{D} \right) \quad (24)$$

$$D = 5 \text{ cm} \quad (25)$$

C) Implementación del hardware para el ingreso y visualización de datos

Para la implementación de la pantalla que permita al usuario ingresar los datos con una GUI fue necesaria la implementación de comunicación serial entre el raspberry pi y el ESP32. Esto debido a que permite una comunicación bidireccional entre los dos componentes de una manera sencilla y sin problemas si se trabaja con una cantidad de data. De esta manera, los valores leídos por los sensores serían enviados por el ESP32 hacia el raspberry para ser vistos en pantalla, mientras que los valores ingresados por el usuario mediante la GUI en el raspberry para ser utilizados en el sistema de control de ESP32. En la Figura 9 se observa la comunicación serial.

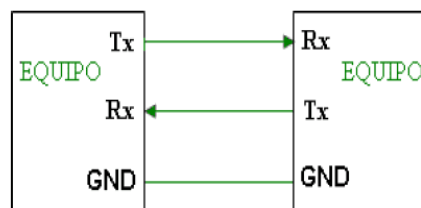


Figura 9. Ejemplo de comunicación serial. Recuperado de <https://cursos.mcielectronics.cl/2022/08/28/comunicacion-de-arduino-c-on-puerto-serie/>

D) Comentarios

Se observó que para un mejor control de temperatura uniforme en el recinto es necesario la implementación de un mayor número de actuadores. así mismo, la pantalla implementada puede ser mejorada por una de mayor tamaño para facilitar al usuario.

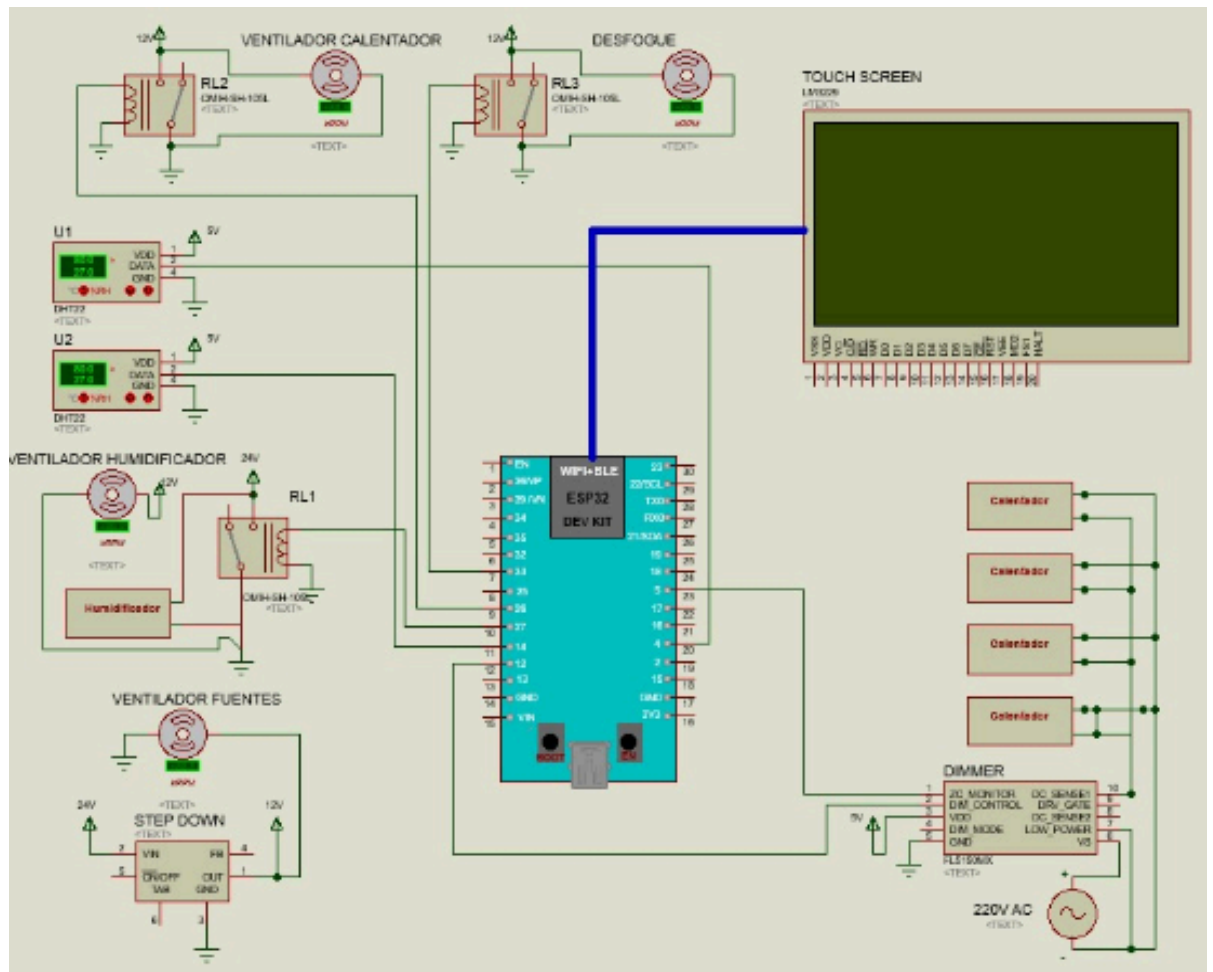


Figura 10. Plano electrico general del hardware. Elaboración propia.

6. Descripción del Software Propuesto

6.1.- Introducción:

Para el desarrollo del sistema propuesto se requiere de 3 algoritmos. El primero está enfocado en el sistema de control de temperatura y humedad, estos a su vez comprende 2 tipos de controladores. El sistema de control de humedad está enfocado en un sistema de control On/Off respecto a un umbral para el encendido y apagado del humidificador. Para el sistema de control para la temperatura se diseña un controlador PID de manera que acorde a la curva de reacción de los calentadores se pueda evaluar los mejores valores para las variables de control de la parte Proporcional, Integradora y Derivativa de dicho controlador.

El segundo algoritmo está enfocado en el procesamiento de imágenes con el fin de clasificar y caracterizar numéricamente al insecto, de manera que se utilizan operaciones morfológicas, operaciones aritméticas, filtros y clasificadores para mejorar y segmentar la imagen. Así también de un algoritmo de machine learning para la clasificación de imágenes por estadios de crecimiento.

Finalmente, se requiere de un software para el envío de los datos obtenidos a una base de datos y la visualización de estos en una página web, de manera que se pueda monitorear a distancia los valores como temperatura y humedad del recinto de crianza, y los datos obtenidos por el procesamiento de imágenes y la clasificación de estadios de crecimiento.

6.2.- Diseño e implementación:

Como se puede observar en la Figura 11, el software tiene dos partes en el procesador el área de procesamiento de imágenes y el área de control; por otro lado, y quien integra ambas partes es un GUI y el envío de los datos a una base de datos y monitoreo remoto por una página web. El área de control se encuentra comprendido por la implementación de un sistema de control PI programado en el software de Arduino ya que éste se encuentra funcionando en un ESP32. Mientras que el área

de procesamiento de imágenes se encuentra programado en un Raspberry pi, ya que permite un buen funcionamiento en el procesamiento de imágenes y la clasificación por machine learning. Finalmente, el ingreso de parámetros se desarrolla por una GUI programada en el Raspberry pi y el envío de datos se da por una comunicación serial entre el Raspberry pi y el ESP32, quien finalmente enviara los parámetros medidos, ingresados y resultantes a una base de datos.

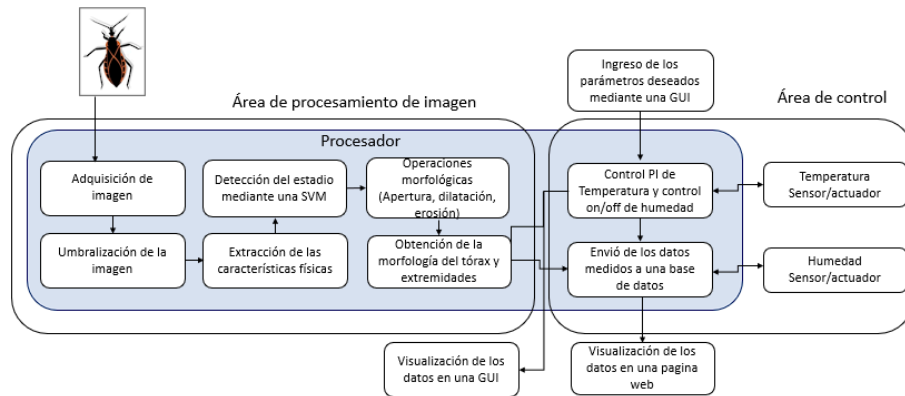


Figura 11. Ilustración del producto final estimado. Elaboración propia

A continuación, se presentan los pasos y los componentes del software a utilizar para el correcto desarrollo de dicha etapa.

1. Ingreso de datos para configuración del equipo
 - Se ingresará la fecha al equipo.
 - Se ingresará los valores de temperatura y humedad deseados.
2. Sensores y actuadores para el control de temperatura y humedad
 - Se utilizará un sensor de temperatura y humedad.
 - Se usarán actuadores para modificar los valores de la temperatura y humedad según lo configurado.
3. Ordenador de placa reducida, procesamiento de imágenes y sistema de control PID
 - Se utilizará un controlador PID para la activación de actuadores acorde a la información enviada por los sensores.
4. Almacenamiento de datos
 - Se enviarán los parámetros de temperatura y humedad a una base de datos junto con la fecha.

A) Área de control

Cálculo de la función de transferencia de la planta de temperatura

Se trabajó con 4 actuadores para el control de temperatura por ello, para la obtención de la función de transferencia se realizó una adquisición de los valores de temperatura de manera experimental con el nuevo sistema, los cuales se guardan y grafican posteriormente por el software de Matlab. Dicho resultado se observa en la Figura 12 a continuación:

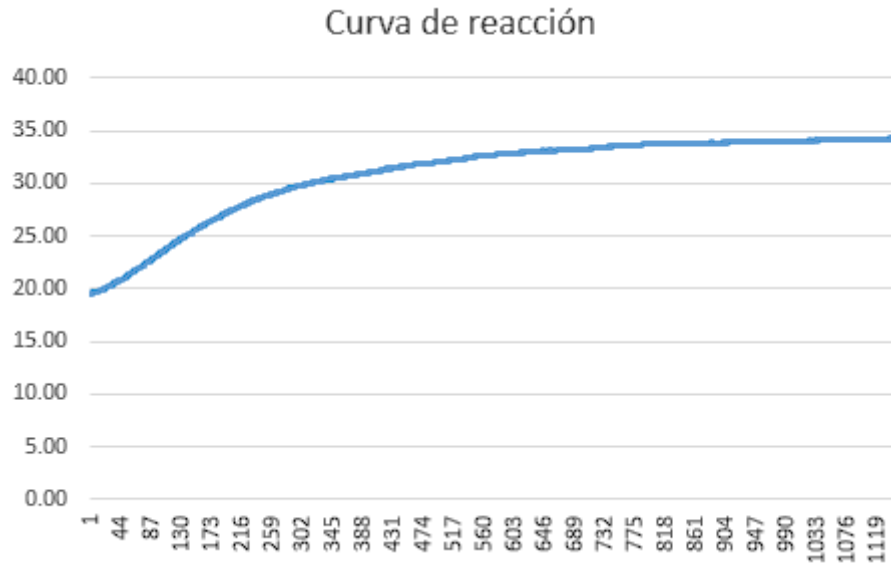


Figura 12: Curva de reacción de la planta del calentador PTC (temperatura vs tiempo).
Elaboración propia

A partir de la curva de reacción mediante el método de 63.2% se halla la función de transferencia de la planta. De manera que se utiliza la ecuación para determinar el valor de la temperatura a un 63.2%, considerando que el valor inicial de temperatura es 17.5°C y el final de 27.7°C.

$$y_{63.2\%} = 19.45 + 0.632(34.30 - 19.45) \quad (26)$$

$$y_{63.2\%} = 28.83^{\circ}\text{C} \quad (27)$$

Con el resultado se determina la constante de tiempo estimada, de manera que se traza una perpendicular respecto al eje del tiempo en la gráfica. Tal como se muestra en la Figura 13.

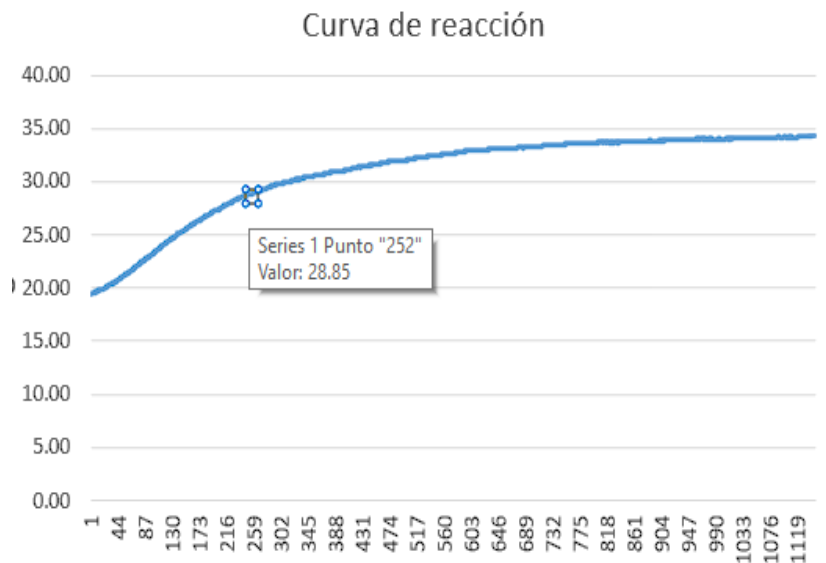


Figura 13. Curva de reacción de la planta de la lámpara De Calor De cerámica (temperatura vs tiempo). Elaboración propia

De tal forma que el tiempo estimado se define como:

$$T = 250 \text{ s} \quad (28)$$

Posteriormente se aplica la ecuación para determinar la ganancia estimada, la cual es una resta de los valores inicial y final de la temperatura experimental, obteniendo de esta manera la ecuación 27.

$$k_0 = 34.30 - 19.45 \quad (29)$$

$$k_0 = 14.85 \text{ }^\circ\text{C} \quad (30)$$

Finalmente, con todos los datos necesarios se define la función de transferencia de la planta. Obteniendo la ecuación 29 en el proceso.

$$G(s) = \frac{14.85}{250s+1} \quad (31)$$

Se despeja 'S' para ponerla en base a la fórmula general:

$$G(s) = \frac{0.059}{s+0.004} \quad (32)$$

Para el diseño de este controlador se decidió que se deberá tener una sobreelongación máxima $MP\%$ menor o igual al 5%, un tiempo de asentamiento t_s menor o igual a cinco mil segundos y un criterio del 5%. Con estas especificaciones de diseño se pueden obtener el valor de amortiguamiento y frecuencia natural gracias a la fórmula definida como:

$$0.05 = 100e^{-(\zeta/\sqrt{1-\zeta^2})\pi} \quad (33)$$

$$\zeta = 0.69 \quad (33)$$

Como se trabaja con un criterio del 5% y un $t_s < 900$ entonces se aplica las ecuaciones:

$$900 = \frac{4}{\zeta w_n} \quad (34)$$

$$\zeta w_n = 4.44 \times 10^{-3} \quad (35)$$

$$w_n = 6.43 \times 10^{-3} \quad (36)$$

Entonces:

La función de transferencia en lazo abierto es:

$$C_{pid}(s)G(s) = \left(Kp + \frac{Ki}{s} + Kd * s \right) \left(\frac{0.059}{s+0.004} \right) \quad (37)$$

La función de transferencia en lazo cerrado es:

$$\frac{C_{pid}(s)G(s)}{1+C_{pid}(s)G(s)} = \frac{0.059 \times Kd \times s^2 + 0.059 \times kp + 0.059 \times ki}{(1+0.059 \times Kd)s^2 + (0.004 + 0.004 \times kp)s + 0.059 \times ki} \quad (38)$$

La ecuación característica es:

$$(1 + 0.059 \times Kd)s^2 + (0.004 + 0.0596 \times kp)s + 0.059 \times ki = 0 \quad (39)$$

Al comparar la ecuación característica con el denominador de:

$$s^2 + 2\zeta w_n + w_n^2 = (1 + 0.059)s^2 + (0.004 + 0.059)s + 0.004 \quad (40)$$

Se obtiene:

$$1 = 1 + 0.059 \times kd \quad (41)$$

Donde:

$$\begin{aligned} kd &= 0 \\ td &= 0 \end{aligned}$$

Por otro lado

$$\zeta w_n = 4.44 \times 10^{-3} = \frac{0.004}{2} + \frac{0.059}{2} k_p \quad (42)$$

Donde:

$$k_p = 0.6102$$

Por último:

$$w_n^2 = (6.43 \times 10^{-3})^2 = 0.0059 \times k_i \quad (43)$$

$$k_i = 0.0142 \quad (44)$$

$$t_i = \frac{1}{k_i} \quad (45)$$

$$t_i = 1420 \quad (46)$$

Entonces, como el Kd es cero, el controlador PI de la planta de temperatura es:

$$C(s) = (0.6102 + \frac{0.142}{s}) \quad (47)$$

Por otro lado, la función de transferencia, en lazo cerrado, de la planta de temperatura es:

$$\frac{C_{pid}(s)G(s)}{1+C_{pid}(s)G(s)} = \frac{0.036+8.399 \times 10^{-5}}{s^2+0.004+8.339 \times 10^{-5}} \quad (48)$$

Por otro lado, se halla función de transferencia de la planta obtendremos la ecuación 48 y 49, la cual sería su modelo en discreta

$$G(z) = \frac{0.059}{(\frac{2}{T} \times \frac{z-1}{z+1}) + 0.004} \quad (49)$$

$$G(z) = \frac{3.532z + 3.532}{z - 0.521} \quad (50)$$

En la Figura 14. Se puede observar la prueba del sistema de control analógica y digital acorde a cómo funciona ante un escalón unitario.

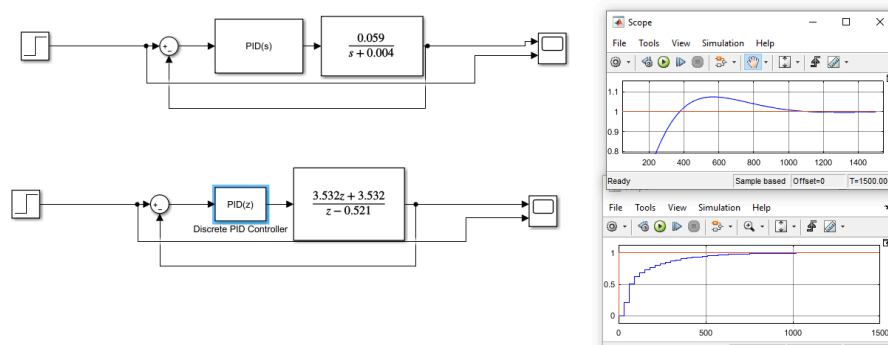


Figura 14. Reacción del sistema ante un escalón unitario (temperatura vs tiempo). Elaboración propia

La etapa de control PI de temperatura está enfocada en mantener la temperatura en el parámetro ingresado, puesto que esta variable es importante y determinante para el crecimiento de la chirimacha. Así también se considera que las chirimachas pueden soportar hasta $\pm 2^{\circ}\text{C}$ de variación en su temperatura por lo cual se necesita precisión y poca oscilación al momento de controlar la temperatura, un controlador PID permite obtener una curva de reacción con amortiguamiento y establecimiento en el parámetro. Por otro lado, la humedad permite un rango de variación de $\pm 5\%$ por lo cual se opta por un sistema de control On/Off ya que si bien este presenta oscilación es menor al rango medio de la variación permitida.

El algoritmo de control de temperatura funciona de tal forma que al recibir el ingreso de la temperatura deseada está compensa la salida de la potencia para llegar a dicho valor de manera eficiente retro alimentándose constantemente del valor promedio de la temperatura sensada. De manera que mientras el valor sensado se encuentre lejos del valor deseado el controlador enviará una potencia mayor y cuando esta diferencia se acentúa el valor de salida también hasta que se logre llegar a una constante.

Respecto a los problemas encontrados en el sistema de control fueron enfocados en el tiempo que demoraba en calentar el recinto, ya que este proceso se tardaba excesivamente, por lo cual se optó por mejorar el sistema de control añadiendo 2 calentadores adicionales respecto al planteamiento inicial, de manera que el tiempo se reduzca considerablemente. Así también se optó por cambiar la posición de los calentadores y humidificador, esto con el fin de evitar accidentes con el agua que se usa en el sistema de control de humedad, la nueva posición de ambas etapas sobre todo la última se encuentran alejadas del circuito central.

B) Área de procesamiento de imágenes

Como se observa en la Figura 15, para el inicio del algoritmo de imágenes fue necesario una evaluación de las componentes de la imagen para determinar el pre procesamiento y mejora de imagen.

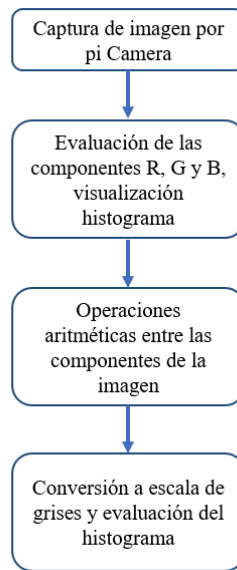


Figura 15. Diagrama de bloques de evaluación y pre procesamiento de imágenes.
Elaboración propia

El modelo de color es una representación del espectro del color perceptible, dicho modelo se representa en un sistema coordinado que permite estandarizar y clasificar los colores (Gonzalez y Woods, 2018). Existen distintos modelos de color, lo más utilizados son: RGB, CMYK, HSV, YCbCr. La captura de imágenes en Raspberry se realiza en el formato RGB.

Posterior a esto se puede realizar operaciones aritméticas entre imágenes, las cuales están definidas como en las ecuaciones que definen operaciones como suma, resta, multiplicación o función:

$$R(x, y) = A(x, y) + a \quad (51)$$

$$R(x, y) = A(x, y) - a \quad (52)$$

$$R(x, y) = a \times A(x, y) \quad (53)$$

$$R(x, y) = f(A(x, y)) \quad (54)$$

La evaluación de las componentes se puede observar en las Figuras 16 y 17 en las cuales se aprecian la imagen original y la imagen por componentes R, G y B, estas no presentan mucha diferencia sin embargo se pueden realizar cambios con las operaciones aritméticas, resaltando las áreas de interés.



Figura 16. Imagen de chirimacha estadio 1 evaluada. Elaboración propia



Figura 17. Componente B, G y R respectivamente. Elaboración propia

En la Figura 18 se puede observar el histograma de una imagen en escala de grises de una chirimacha de estadio 2, tal y como se observa la imagen se concentra en los valores pequeños, mientras que los blancos son los predominantes.

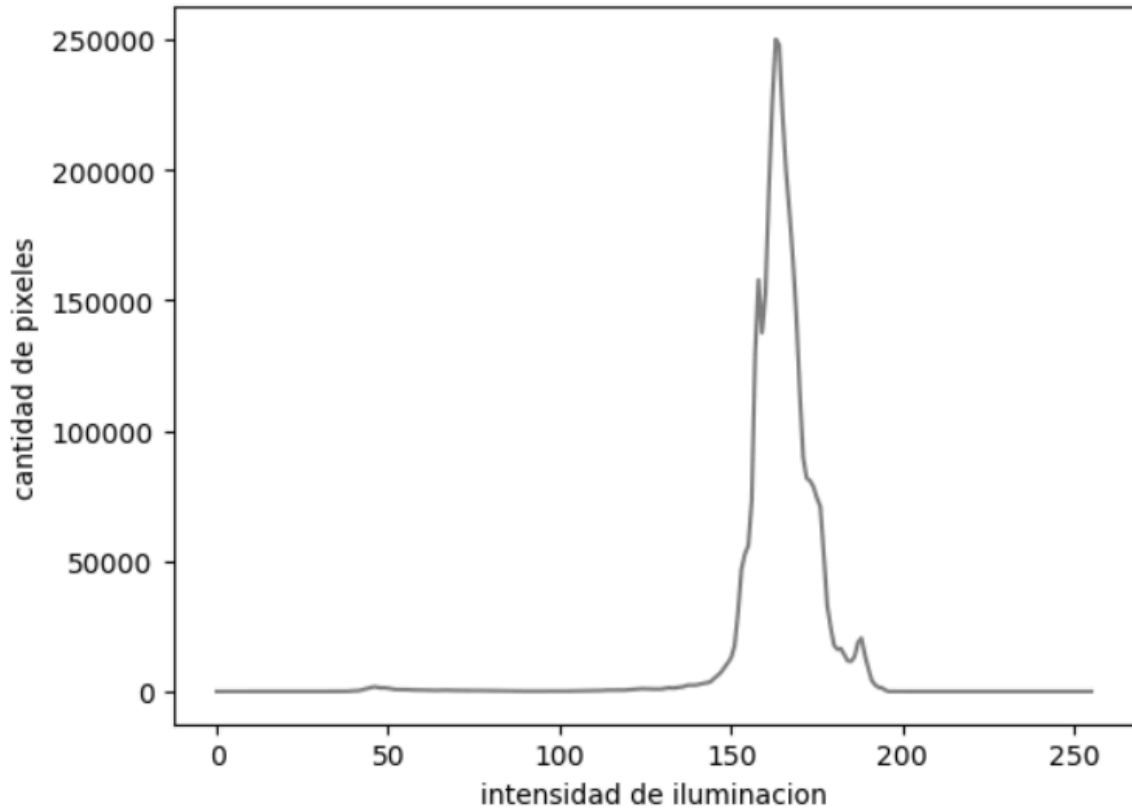


Figura 18. Histograma de escala de grises chirimacha estadio 2. Elaboración propia

Posterior a la evaluación previa se desarrollan las operaciones morfológicas para obtener la imagen mejorada, obtener las características del tórax e iniciar una clasificación por SVM.

Se considera que la resolución de la imagen capturada es de 1920 x 1920, con un tamaño de pixel de 1.12um y 1.12um y un modelo RGB. Se separa la imagen en sus componentes RGB tal como se muestran en las ecuaciones:

$$R(x, y) = R(x + x_0, y + y_0) \quad (55)$$

$$G(x, y) = G(x + x_0, y + y_0) \quad (56)$$

$$B(x, y) = B(x + x_0, y + y_0) \quad (57)$$

$$x = 0, 1, \dots, M - 1, \quad y = 0, 1, \dots, N - 1$$

Se realiza operaciones aritméticas con las componentes R y B con la finalidad de reducir el ruido, se aprecia la ecuación:

$$I(x, y) = R(x, y) - B(x, y) \quad (58)$$

$$x = 0, 1, \dots, M - 1, \quad y = 0, 1, \dots, N - 1$$

Posteriormente se realiza una mejora con el filtro Gaussiano definido como:

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \quad (59)$$

En la cual desviación estándar es 1 y la matriz es una de 11x11

Para la binarización se hace uso del método threshold el cual elimina el ruido, se define como:

$$P_r(r_q) = \frac{n_q}{N}$$

$$q = 0, 1, 2, \dots, L - 1$$
(60)

Con el método Otsu el cual está definido como la ecuación y dando como resultado la imagen de la ecuación:

$$\sigma_B^2 = w_0 * (\mu_0 - \mu_T)^2 + w_1 * (\mu_1 - \mu_T)^2$$
(61)

$$I_1(x, y) = \begin{cases} \maxVal I(x, y) & \text{if } I(x, y) > \sigma_B^2 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$
(62)

La resultante debe ser invertida y seguidamente se realiza la operación morfológica de apertura en la cual se obtiene el tórax, para dicha operación se hace uso de dos matrices rectangulares de 50x10 y 10x40. Se obtiene la máscara de la Figura 19.



Figura 19. Máscara con ruido del tórax. Elaboración propia

En consecuencia, se somete a la imagen a un umbral en RGB para eliminar el ruido y obtener la máscara que enfoca al tórax, de manera que la Figura 20 es la imagen resultante.

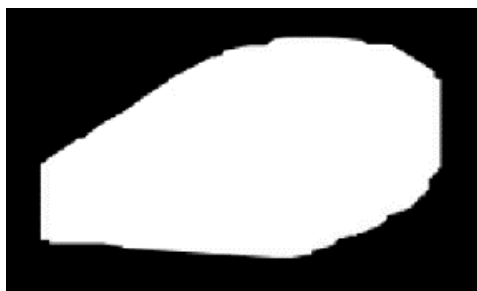


Figura 20. Máscara con ruido del tórax. Elaboración propia

Dicha imagen es utilizada para la obtención de los valores de área y perímetro con los cuales se podrán hallar descriptores para la clasificación de cada estadio.

La SVM se inicia con las ecuaciones de hipótesis y la función lineal definidas en las ecuaciones:

$$h(x) = \text{sign}(f(x))$$
(63)

$$f(x) = w^T x + b \quad (64)$$

De los cuales se calcula la ecuación para el margen del hiperplano definido en la ecuación

$$\gamma_i = y_i(w^T x_i + b) \quad (65)$$

Con dichos valores se evalúa un hiperplano de multi clase para los 5 estadios descritos, dando como resultante la Figura 21:

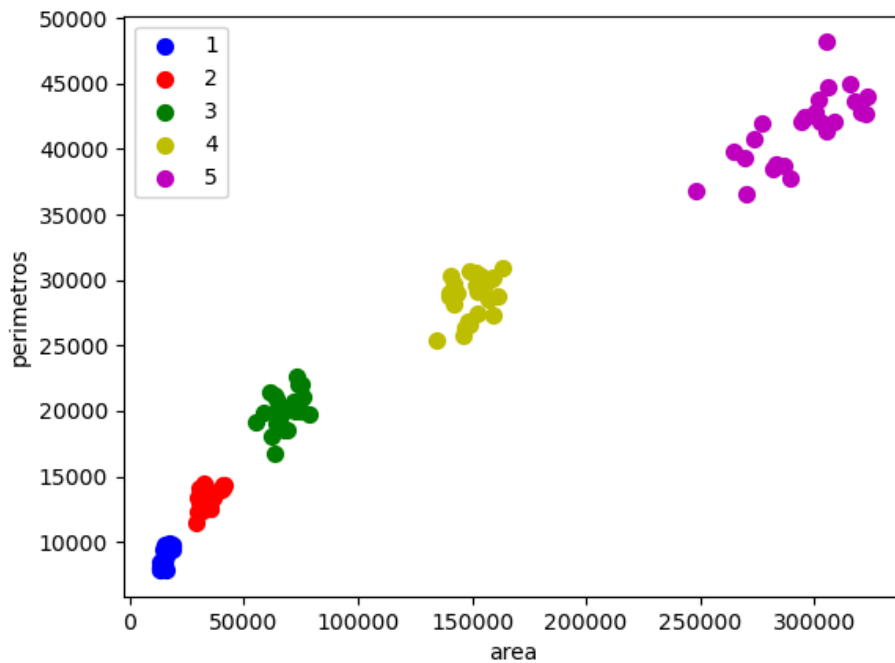


Figura 21. Hiperplano multiclase

El área de procesamiento de imágenes está comprendida por una etapa de pre procesamiento de imágenes con el fin de mejorar la imagen a procesar. Para dicha etapa se evaluó inicialmente las componentes R, G y B de la imagen por medio de histogramas, así también se realizó operaciones aritméticas para mejorar la imagen, una conversión de grises y su consecuente evaluación en el histograma, para definir el área de interés. Con los datos inicialmente evaluados se realizó la binarización de la imagen, un filtrado de ruido, operaciones morfológicas hasta la obtención del torso de las chirimachas, de tal forma que se obtuvo 2 características iniciales área y perímetro. Con las cuales se ingresará a una etapa de clasificación de estadios por medio de una SVM y los dos descriptores. Posterior a la clasificación de estadios cada chirimacha puede ser evaluada de mejor forma para la obtención de las patas y evaluar los tamaños del cuerpo y el tórax.

C) Comunicación serial y envío a la base de datos

Para el desarrollo de la interfaz fue necesario el uso de la librería TKinter de Python. Tiene como finalidad el desarrollo de aplicaciones de interfaz gráfica del usuario (GUI) para sistemas operativos como Windows, Linux y MacOS. Esta interfaz cuenta con la capacidad de ingresar los setpoints tanto de la temperatura como humedad por medio de sliders dentro de un rango establecido. Aparte, tiene la opción de ver los gráficos de cómo varían estos parámetros medidos con el tiempo y

compararlos con el setpoint ingresado. Además, en la parte inferior de color naranja podemos observar los valores medidos de los parámetros, así como el setpoint ingresado. Así también se adiciona en la GUI la captura de imagen y la muestra del procesamiento de imágenes por medio de 2 imágenes y los datos resultantes. Por otro lado, la GUI tiene la opción para enviar los datos a una base de datos y la muestra de estos en una interfaz web.

Para lograr la implementación de la GUI en el Raspberry pi es necesario que haya una comunicación entre el ESP 32 y el Raspberry, de manera que se resuelve un diagrama de flujo en la Figura 22 que muestra dicha lógica.

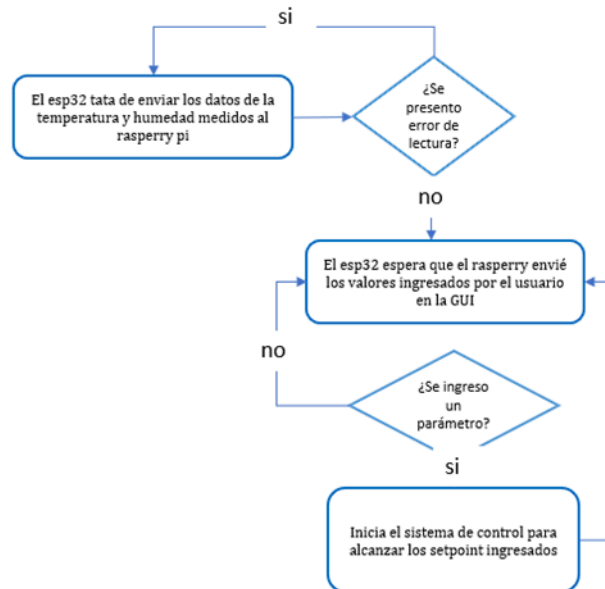


Figura 22. Proceso para el funcionamiento del sistema de control por medio de comunicación serial. Elaboración propia

En la Figura 23 se observa el GUI desarrollado para la detección de la morfología y estadio de la chirimachas y en la Figura 24 para el seteo del sistema de control PID.



Figura 23. GUI de la detección morfológica y de estadio de la chirimacha. Elaboración propia

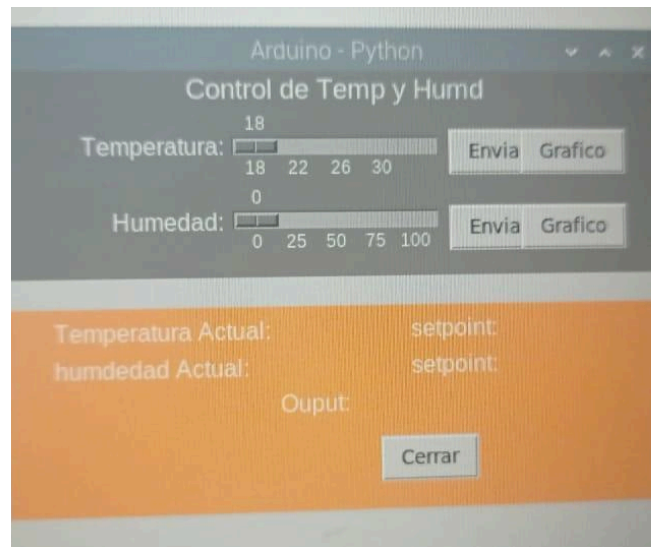


Figura 24. GUI del controlador de temperatura y humedad. Elaboración propia

En la implementación de la etapa de software se tuvieron diferentes problemas respecto a las librerías y fallas con el SO del Raspberry pi, se logró solucionar por reinstalaciones y búsqueda en foros, ya que dichos errores son nuevos debido al cambio de SO reciente en el Raspberry Pi.

7. Resultados: Mediciones de variables y parámetros

Se realizan estas mediciones a fin de definir si las especificaciones técnicas de las variables y parámetros se han cumplido. Se presentan las mediciones obtenidas por implementación y/o simulación. Las mediciones deben ser presentadas de la siguiente forma:

7.1.- Variables o parámetros a medir.

El ancho y largo del tórax con la finalidad de verificar si cumplen con lo dado por el algoritmo y con el tamaño promedio por estadio

7.2.- Lugar y fecha de la prueba.

San Miguel, 22 de octubre del 2022.

7.3.- Equipamiento y materiales utilizados

- Camara Raspberry pi módulo V2
- Raspberry Pi 4
- Bernil digital
- Placa petri
- Laptop
- Fuente de 5V 3A
- Fuente de 12V 1A
- Recinto de captura de imagen
- Tira de leds de 12v

7.4.- Procedimiento de medición (Paso a Paso)

Paso 1: Se prepara la conexión de los dispositivos.

Paso 2: Se prepara la chirimacha en la placa Petri para la captura de imagen

Paso 3: Se pone la chirimacha patas arriba con la finalidad de que el programa la capte bien

Paso 4: Se procede a tomar las medidas con el bernil digital para anotarlas

Paso 5: Se ingresa a la chirimacha a recinto y se ejecuta el algoritmo para capturar la señal.

Paso 6: Se verifica que los datos obtenidos sean los mismos que los medidos, así como que cumpla con el criterio de su estadio.

7.5.- Resultados en tablas y/o figuras (debidamente rotuladas y señalizadas). Se analizan dichos resultados estableciéndose estudios comparativos, interpretaciones y determinación de errores.

Se midieron diversas chirimachas con el bernil digital para comprobar si el algoritmo lograba brindar los valores del tórax, así como predecir el estadio en el que se encuentra. Esto se puede apreciar en las siguientes figuras:



Figura 25 y 26: Ancho y alto del tórax de un estadio 5. Fuente: Propia



Figura 27: Ancho y alto del tórax obtenidos por el algoritmo. Fuente: Propia



Figura 28 y 29: Ancho y alto del tórax de un estadio 4. Fuente: Propia



Figura 30: Ancho y alto del tórax obtenidos por el algoritmo. Fuente: Propia



Figura 31 y 32: Ancho y alto del tórax de un estadio 3. Fuente: Propia



Figura 33: Ancho y alto del tórax obtenido por el algoritmo. Fuente: Propia

Se realizaron una cantidad total de 85 pruebas de captura divididas entre todos los estadios. Esto con la finalidad de verificar si cumplía con lo medido. Esto se puede apreciar en la Tabla 3:

Estadio	# De pruebas	% de diferencia entre ancho y alto del tórax obtenido con el medido
Estadio 5	20	Alto del tórax: 1% Ancho del tórax: 1%

Estadio 4	20	Alto del tórax: 1% Ancho del tórax: 1%
Estadio 3	18	Alto del tórax: 1% Ancho del tórax: 1%
Estadio 2	12	Alto del tórax: 2% Ancho del tórax: 2%
Estadio 1	15	Alto del tórax: 3% Ancho del tórax: 3%

7.6.-Comentarios y Conclusiones

Se pudo apreciar que los estadios que presentan mayor error son los más chicos, en especial el estadio 1. Esto debido a su tamaño y lo difícil que llega a ser segmentarlo de manera correcta.

8.- Resultados: Validación y evaluación de desempeño

8.1.-Nombre de la prueba realizada

Medida de error del tamaño de las chirimachas

8.2.-Lugar y fecha de la prueba.

San miguel, 26/11/2022

8.3.-Equipamiento y materiales.

- Camara Raspberry pi modulo V2

- Raspberry Pi 4

- Bernal digital

- Placa petri

- Laptop

- Fuente de 5V 3A

- Fuente de 12V 1A

- Recinto de captura de imagen

- Tira de leds de 12v

8.4.-Variable(s) o parámetro(s) a validar: Descripción.

- Se validarán los tamaños de ancho y alto del tórax de la chirimacha, dichas variables medidas en milímetros y se utilizará un Vernier digital para la validación de las medidas.

8.5.-Medición o prueba de referencia (Gold Standar).

- Para la identificación del estadio y medición del tamaño del tórax de la chirimacha se utilizó Vernier digital. Se utilizó la interfaz visual para poder observar el valor que nos entrega el algoritmo.

Acorde a la medida obtenida se utilizó la fórmula del error relativo para la validación de los resultados.

8.6.-Métrica de medición de desempeño

Como métrica de validación se opta por el error relativo entre los valores de las chirimachas obtenidos por el dispositivo algoritmo y los obtenidos por el bernil digital. Para ello se emplea la ecuación 1 y 2

$$\% \varepsilon_w = \frac{|W_m - W|}{W_m} \times 100 \quad (1)$$

$$\% \varepsilon_h = \frac{|H_m - H|}{H_m} \times 100 \quad (69)$$

Donde:

Wm: Ancho medido por el bernil

W: Ancho obtenido por el algoritmo

Hm: Alto medido por el bernil

H: Alto medido por el algoritmo.

8.7.-Resultados

Estadio	# De pruebas	% de diferencia entre ancho y alto del tórax obtenido con el medido
Estadio 5	20	Alto del tórax: 1% Ancho del tórax: 1%
Estadio 4	20	Alto del tórax: 1% Ancho del tórax: 1%
Estadio 3	18	Alto del tórax: 1% Ancho del tórax: 1%
Estadio 2	12	Alto del tórax: 2% Ancho del tórax: 2%
Estadio 1	15	Alto del tórax: 3% Ancho del tórax: 3%

8.8.-Comentarios y Conclusiones

Se aprecia un mayor porcentaje de error en los estadios 1 y 2, se evalúa que dichos errores se deben en su mayoría a que el tamaño del insecto es muy pequeño y el color del mismo es más parecido al fondo con la iluminación por lo cual al realizar el procesamiento de imágenes existe cierta pérdida de información y se añade ruido a la imagen.

8.9. Fotos y video de Evidencias

En la Figura 34 se observa las capturas de las áreas del equipo desarrollado final y en la Figura 35 se observa el equipo en su totalidad.



Figura 34. a) Área de humidificador. b) Área de crianza y sistema de calentador. c) Área de hardware.



Figura 35. Imagen total del equipo desarrollado.

En la Figura 36 se puede observar el aplicativo web donde se monitorea los datos de temperatura y humedad, así como el de los datos obtenidos por el procesamiento de imágenes.



Figura 36. a) Interfaz web para el control de temperatura y humedad. b) Interfaz web para el monitoreo de los datos obtenidos en la adquisición de imágenes.

En la Figura 37 se observa la carta firmada por el especialista para la validación del equipo desarrollado, en el cual se indica el día, las pruebas realizadas y la conformidad de dichas pruebas.

Acta de ejecución del producto

Especialista: Fernando Málaga Chávez

Cargo: Responsable del Control y Vigilancia de vectores de la Dirección de Salud Ambiental Gerencia Regional de Salud de Arequipa (GERESA)

Fecha: 25/11/22

Alumnos:

- Sebastián Jesús Urueta Cárdenas
- Rossana Nieves Sulca Pineda

Se realizó una demostración al especialista del funcionamiento del algoritmo para la validación del proceso de detección de estadios de crecimiento y resultados morfológicos. Durante esta demostración se evidenció la detección de los estadios de las chirimachas por medio de procesamiento de imágenes, obteniendo como resultado los atributos morfológicos como el ancho y largo del insecto, ancho y largo del tórax, y excentricidad del tórax. Dicho proceso fue presentado por medio de una interfaz visual en la cual se puede observar la imagen original y del proceso de segmentación, así como los atributos morfológicos representados numéricamente. Por otro lado, se realizó una explicación del equipo implementado, las partes que lo componen y funcionamiento general.

De manera que se obtuvo la validación positiva por parte del especialista, comentarios y recomendaciones.



GERENCIA REGIONAL DE AREQUIPA
DIRECCIÓN REGIONAL DE SALUD AREQUIPA
DIRECCIÓN REGIONAL DE SALUD AMBIENTAL
FERNANDO MÁLAGA CHÁVEZ
RESP. VIGILANCIA Y CONTROL VECTORIAL
C.B.P. 0000

Figura 37. Acta de ejecución con el especialista

9.- Cuadros económicos

- La Tabla 11 muestra los bienes y servicios que han sido adquiridos por los autores del proyecto

Tabla 11: Cuadro económico de los bienes y servicios adquiridos. Elaboración Propia

Bienes y servicios adquiridos

Ítem	Ítem	Precios + IGV(S/)
Plancha de trupan + Corte laser	1	S/. 80
ESP32	2	S/. 40
Raspberry Pi 4B 4GB	1	S/. 360
Sensor de temperatura y humedad DHT22	2	S/. 34
Módulo relé de 5v	2	S/. 12
Resistencias calefactoras de 220v	4	S/120
Humificador	1	S/35
Fuente de 24V/3A	1	S/35
Fuente de 5V/6A	1	S/30
Dimmer Digital	2	S/25
Módulo Pulldown	1	S/11
Ventiladores de 12V	5	S/30
Cámara Rasperry pi V2	1	S/125
Pantalla rasperry pi 3 pulgadas	1	S/150
Placa petri	3	S/20
Tira de Leds SMD-5050	1	S/50.00
Matlab	2	Sin costo
Inversión total(S/) - Incluido IGV		1027

- Precio comercial del producto indicando y justificando el margen de utilidad y ganancia.

10.- Conclusiones y comentarios finales

Objetivo específico 1: Analizar los estudios sobre el crecimiento e identificación de Chirimachas, así como los efectos de la temperatura y humedad en su crianza.

- Se logró realizar un análisis de los estudios sobre el crecimiento e identificación de Chirimachas y la importancia del control de temperatura y humedad en su crianza, ya que estos factores son determinantes respecto al tiempo de crecimiento de la chirimacha junto a la alimentación.

Objetivo específico 2: Desarrollar la carcasa prototipo y profesional que albergará el hardware de la solución y el recinto de crianza para Chirimachas.

- Se desarrolló un recinto final que compone 3 áreas necesarias para el equipo, el área de crianza, el área de hardware y el de adquisición de imágenes. Si bien se realizaron distintos

recintos se logró diseñar un recinto final que cumpla con las especificaciones y funcione adecuadamente.

Objetivo específico 3: Desarrollar un sistema embebido para el control de temperatura y humedad, así como de adquisición y procesamiento de imágenes para el correcto funcionamiento de la cámara de ambiente controlado para Chirimachas.

- Se logró desarrollar un sistema embebido capaz de controlar la humedad y temperatura del recinto y mantener los parámetros ingresados a lo largo del tiempo. Cabe resaltar que los valores de humedad presentan mayor oscilación debido a la acción de la temperatura sobre la humedad.

Objetivo específico 4: Desarrollar los algoritmos necesarios para el sistema de control digital, así como la clasificación de estadios de la Chirimacha mediante el procesamiento digital de imágenes.

- Se logró un algoritmo de procesamiento de imágenes y clasificación capaz de determinar el estadio de crecimiento de la chirimacha y separar el torax de las patas, así como de obtener las características como tamaño del largo y ancho del cuerpo y tórax. Se puede mejorar el código para eliminar el ruido aún si varían los tamaños y la posición de la chirimacha en el recinto de adquisición.

Objetivo específico 5: Validar la correcta medición de la temperatura y humedad en el recinto monitoreado comparando los resultados con un dispositivo de referencia y el desempeño en la clasificación en los estadios de las Chirimachas comparando los resultados de la solución propuesta con los resultados de la inspección visual por parte de los especialistas.

- Los valores de temperatura son los que presentan menor variación a largo plazo, esto debido a que el recinto se va adecuando a la temperatura deseada con el tiempo. Por otro lado, los valores de humedad presentan una mayor variación. Esto debido a que la misma temperatura elevada disminuye la humedad del recinto, y al ser activado el humidificador está llega a subir bruscamente para volver a descender con el tiempo.
- La prueba de validación para el análisis de los estadios de las chirimachas devolvió un resultado óptimo para los 5 estadios.
- Se logró determinar el tamaño de largo y ancho del cuerpo y tórax de las chirimachas en los 5 estadios.

11.- Recomendaciones para trabajo futuros

- Se debe considerar el riesgo de trabajar con estos insectos sin el debido especialista. Al mismo tiempo, se debe considerar que estos insectos, al ser sensibles a temperaturas frías, pueden de manera rápida si no son criados de la manera correcta.
- Quedo como pendiente la categorización por sexo, así como la obtención de las alas y patas del insecto
- Se recomienda la adquisición de una potente que no pierda la calidad al enfocar objetos de tamaño pequeño.

12.-Lecciones aprendidas

En esta sección colocar todo aquello bueno o malo que sucedió durante el proceso de desarrollo del proyecto y el trabajo colaborativo, que merezca registrarlo para mejorar el proceso. Las respuestas a las preguntas de la tabla 1 serán también colocadas en esta sección en la columna de comentarios:

Tabla 1

Preguntas reflexivas

Preguntas reflexivas	Comentarios
¿Qué aprendieron?	Conectar los conocimientos teóricos de la asignatura al trabajo que se realizó. Discutir cómo las decisiones

	técnicas en el grupo reflejan la aplicación de las principales teorías del contenido.
¿Que sintieron al realizar el trabajo? ¿Cuáles fueron las contribuciones más importantes?	Describir las opiniones consensuadas sobre el proyecto, incluidas las decisiones técnicas que se tomaron y su curso de acción.
¿No estuvo de acuerdo con los puntos? En caso afirmativo, ¿cómo resolvió estos problemas?	Como el trabajo es colaborativo, discutir las opiniones de los miembros del grupo y que acciones se tomaron para llegar al consenso.
¿Cuál fue el resultado del proceso?	Evaluar críticamente el éxito o fracaso del desarrollo de la solución. Indicar las formas en que se beneficiará a los usuarios y el cumplimiento con los objetivos del proyecto. No importa errar sino no saber en dónde.
¿Cuáles fueron tus fortalezas y debilidades del trabajo colaborativo que fueron encontradas? ¿Qué áreas de habilidades se necesitan desarrollar?	Evaluar no solo aspectos académicos sino el trabajo en grupo, los aspectos actitudinales, lo emocional, el hacerse responsables de su aprendizaje, permitiendo el desarrollo de valores como el respeto, la tolerancia, capacidad de aprender de otros, tomar una postura sobre el tema y exponer de forma respetuosa sus argumentos, como fortalezas o como debilidades.
¿Cómo grupo que se haría diferente la próxima vez?	Evaluar mejoras en el proceso de desarrollo del proyecto

13.- Referencias Bibliográficas

- Para las citas y referenciación bibliográfica se deberá utilizar el esquema APA. Los detalles de este formato son especificados en un documento que está disponible en el aula virtual.
- Debe de aplicarse la referenciación de párrafos de texto, figuras y tablas en este informe.

Apéndices

En los apéndices se coloca información complementaria a lo descrito en los párrafos anteriores. Puede ser un código de programa, certificados de validación, constancias, tablas matemáticas muy utilizadas en el proyecto, resultados de encuestas, certificados de congresos y eventos participados, Se colocan **10 actas** más importantes con los asesores especializados, actas de reunión con profesionales o instituciones especializadas, etc. Las actas serán las **originadas en los dos cursos, PE1 (5 actas) y PE2 (5 actas)**

Avance final del proyecto

1.1. Avance No. 1

1.1.1. Avances de Objetivo Específico 2: Desarrollar un recinto prototipo y profesional que albergará el hardware de la solución y el recinto de crianza para Chirimachas.

1.1.2. Actividades implementadas:

- Diseño del posible modelo final del recinto elaborado en un software profesional. Mediante pruebas se realizarán cambios en el recinto en caso sea necesarios.

- Presentación del segundo prototipo del recinto, elaborado con materiales que permitan la modificación de la estructura. Acorde a los cambios necesarios, se presentará un nuevo prototipo que se adapte a lo requerido
- **Presentación del recinto final acorde a las modificaciones necesarias, se encuentra compuesta por las áreas de crianza, adquisición de imágenes y hardware, debidamente acondicionado (iluminación, forro, color, marcas). Cada parte se encuentra elaborada con materiales idóneos para el correcto funcionamiento.**

1.1.3. Estado de avance de la actividad:

La actividad se encuentra parcialmente avanzada

1.1.4. Semanas de desarrollo de la actividad:

Semana 9 hasta semana 13

1.1.5. Implementación de la actividad

1.1.5.1. Estudios comparativos para la elección de componentes o dispositivos (si es que verdaderamente se requiere o es muy importante para esta actividad).

Material de estructura

En la estructura de recintos de incubación o invernaderos se utilizan generalmente materiales como madera y aluminio. Debido a que ambos materiales permiten una estructura sólida y firme para sostener al material de cobertura. Las diferencias se concentran mayormente en el peso que soportan y en la dificultad de implementación, de manera que se cataloga al material de aluminio con mayor firmeza, pero también mayor dificultad en el armado de la estructura. Para esta nueva versión del recinto se decidió hacer un cambio de material de estructura. Para ello, se realizó una nueva comparativa de características de distintos materiales que se puede apreciar en la Tabla 3.

Tabla 3. Cuadro comparativo de materiales de estructura. Elaboración Propia

Propiedades térmicas de materiales de estructura				
Material	Dureza [HB]	Densidad (Kg/m ³)	Calor específico(J/(kg·K))	Conductividad térmica (W/(m·K))
Trupan	60✓	830✓	800✓	0.14✓
Aluminio	75✓	26✗	898✓	201✗
Latón	150✗	85✗	375✗	120✗

Se eligió material de estructura el trupán considerando la comparación realizada en la Tabla 3 ya que el trupán presenta menor dureza y densidad que el acero, aluminio y latón, lo cual facilitará la construcción de la

estructura. Así también, la conductividad térmica es un factor importante para la elección del trupan, puesto que así se logrará el efecto invernadero deseado

Material de cobertura

Para el uso de incubadoras o invernaderos existen tres tipos de materiales mayormente usados debido a su factor de aislamiento. Estos vendrían a ser el vidrio, el polietileno y el policarbonato. Si bien, las tres soportan un rango de temperaturas similar, de -30°C a 120°C . Tanto el calor específico como la conductividad térmica varían según el material. La comparación de las características de los distintos materiales de cobertura se puede apreciar en la Tabla 4.

Tabla 4. Cuadro comparativo de materiales de cobertura. Elaboración Propia

Propiedades térmicas de materiales de construcción y aislantes				
Material	Resistencia [Mpa]	Densidad (kg/m ³)	Calor específico(J/(kg·K))	Conductividad térmica(W/(m·K))
Vidrio	7 ✘	2500 ✘	833 ✘	0.81 ✓
polietileno	50 ✓	550 ✓	1550 ✓	0.5 ✓
policarbonato	80 ✓	1200 ✓	1200 ✓	0.2 ✘

Entre los materiales analizados destacan los films de polietileno debido a su fácil manejo, bajo costo, mayor resistencia, mayor maleabilidad, mayor aislamiento térmico, una difusión térmica aceptable y un peso más ligero. Debido a esto se optó como material de cobertura para el recinto.

1.1.6. Normas, recomendaciones y estándares técnicos y de ingeniería

No se han considerado estándares ni normas técnicas.

1.1.7. Implementación

1.1.7.1. Ilustración general del producto implementado

En la Figura 4 se observa el diagrama de bloques de la implementación de las actividades 1 y 2.

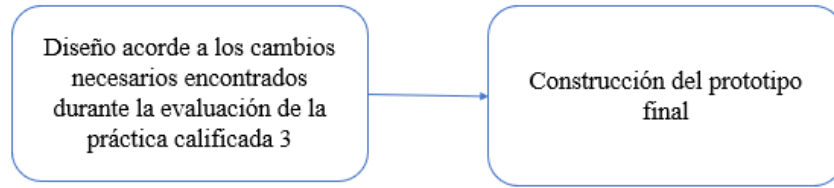


Figura 4: Diagrama de bloques del objetivo específico 2 actividad 3. Elaboración propia

1.1.7.2. Descripción de las etapas o partes del producto Implementado

A. Presentación del recinto final acorde a las modificaciones necesarias

A.1 Ilustración específica de la etapa o parte implementada

Mediante las pruebas realizadas con el segundo prototipo se observaron cambios necesarios para el recinto. Entre estos cambios se encuentran el distanciamiento del humidificador con respecto a área del hardware para evitar inconvenientes y el aumento de una cámara aislante interna de calor. Estos cambios se pueden observar en la Figura 5.

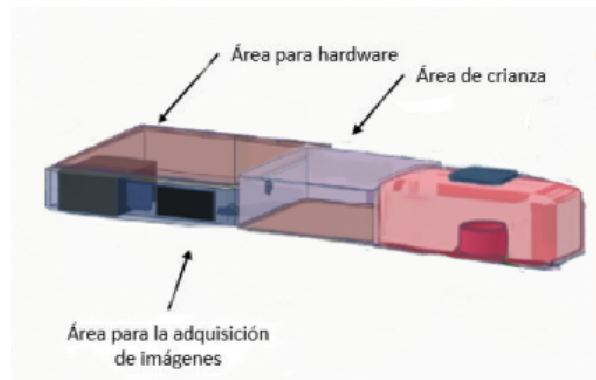


Figura 5. Ilustración del recinto, componentes y áreas. Elaboración propia

Para la implementación del nuevo recinto se tuvo que redimensionar por completo. Esto se puede observar en las Figuras 6 y 7, con sus respectivas nuevas medidas en centímetros.

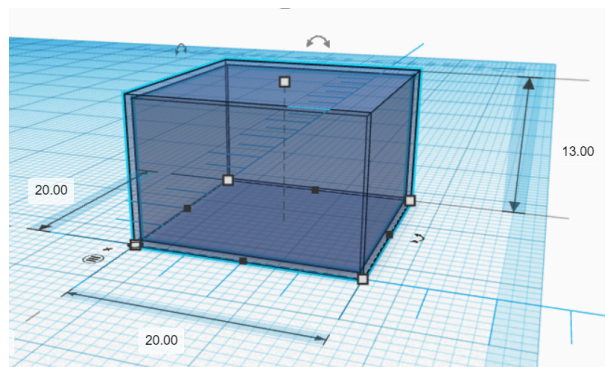


Figura 6. Modelo del área de adquisición de imágenes.
Elaboración propia

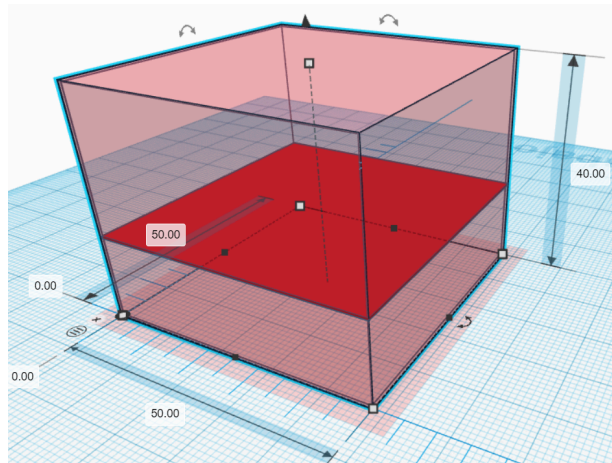


Figura 7. Modelo del recinto. Elaboración propia

Así en consecuencia con los modelos elaborados de manera tridimensional se hizo un modelo esquemático bidimensional en el software de AutoCAD con los cambios respectivos. En las Figuras 8 y 9 se aprecian los esquemáticos para el recinto modelo de las Figuras 6 y 7 respectivamente.

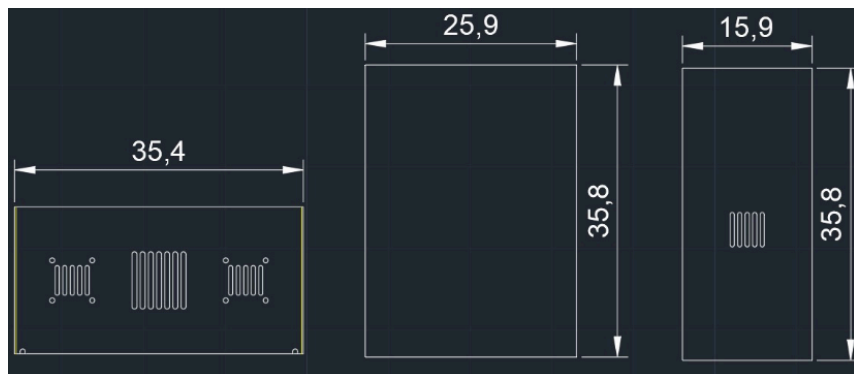


Figura 8. Esquemático de la cámara hermética interna del recinto.
Elaboración propia

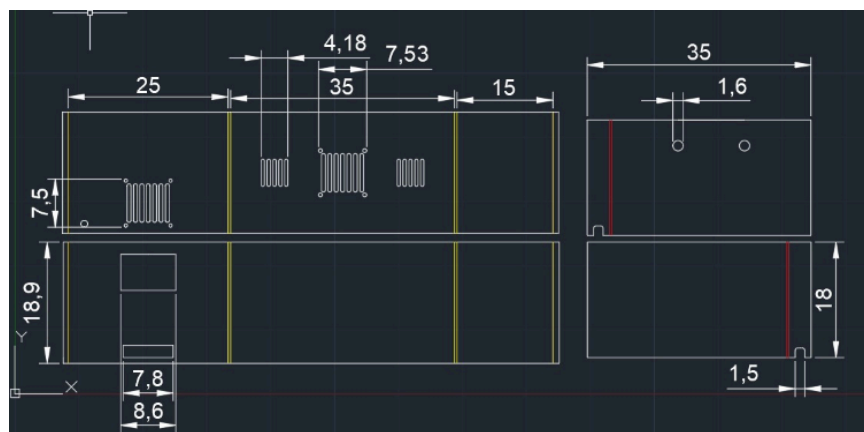


Figura 9. Esquemático del recinto general. Elaboración propia

A.2 Fotos de evidencias

En las Figuras 10 y 11 se puede observar el proceso de construcción del segundo prototipo del recinto con las nuevas piezas elaboradas de trupán y una puerta de plástico para poder observar a través de ella.

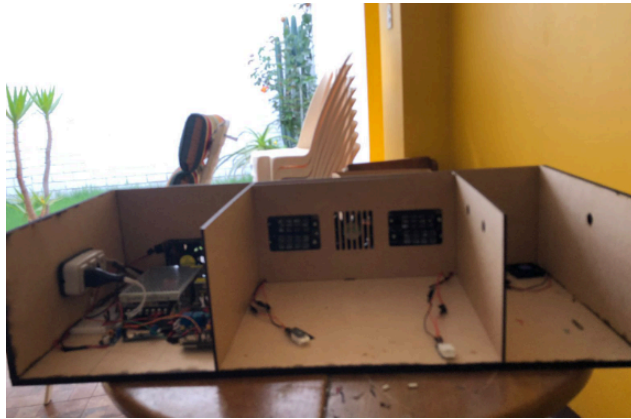


Figura 10. Implementación de los cambios al recinto. Elaboración propia



Figura 11. Construcción del tercer prototipo del recinto, vista posterior.
Elaboración propia

1.2. Avance No. 2

1.2.1. Avances de Objetivo Específico 4: Desarrollar los algoritmos necesarios para el sistema de control digital, así como la clasificación de los estadios de la Chirimacha mediante el procesamiento digital de imágenes.

1.2.2. Actividades implementadas:

- Funcionamiento del sistema de control en el área de crianza indicado. Los valores de temperatura y humedad deseados serán ingresados por el cliente por medio de un teclado. Se evaluará la configuración y el ingreso de los parámetros de temperatura y humedad por una pantalla táctil.
- Evaluación de los posibles algoritmos para la clasificación de estadios y muestras de imágenes que servirán para el entrenamiento del algoritmo. Se realizará la adquisición de una base de datos inicial sobre los estadios de las Chirimachas. Se presentará la base de datos final con las imágenes seleccionadas y utilizadas para el entrenamiento del algoritmo.
- Algoritmo para determinar las características morfológicas de los insectos. Desarrollo del algoritmo que permite diferenciar los estadios de crecimiento de las chirimachas con una precisión mayor al 0.85. Se mostrará la precisión del algoritmo para diferenciar los estadios de crecimiento 3 y 4. Desarrollo de una interfaz web para poder visualizar estos resultados y las características morfológicas, así como el monitoreo de los parámetros de control, temperatura y humedad. Se evaluará el funcionamiento del algoritmo por medio de una pantalla, ya sea táctil o externa. **Se puede observar los valores de temperatura y humedad de manera remota desde la interfaz web, así como las características morfológicas más resaltantes de la Chirimacha detectada por el algoritmo.**

1.2.3. Estado de avance de la actividad:

La actividad se encuentra parcialmente avanzada

1.2.4. Semanas de desarrollo de la actividad:

Semana 9 hasta semana 13

1.2.5. Implementación de la actividad

1.2.5.1. Requerimientos técnicos para el producto resultante de la actividad.

Los requerimientos para el producto resultante de la actividad son los siguientes:

- Algoritmo de Procesamiento Digital de Imágenes capaz de identificar el estadio de crecimiento de las Chirimachas
- Creación de una pagina web capaz de ser utilizada para el monitoreo del sistema.

1.2.5.2. Implementación

1.2.5.2.1. Ilustración general del producto implementado

En la Figura 22 se puede observar un diagrama de bloques de la actividad implementada

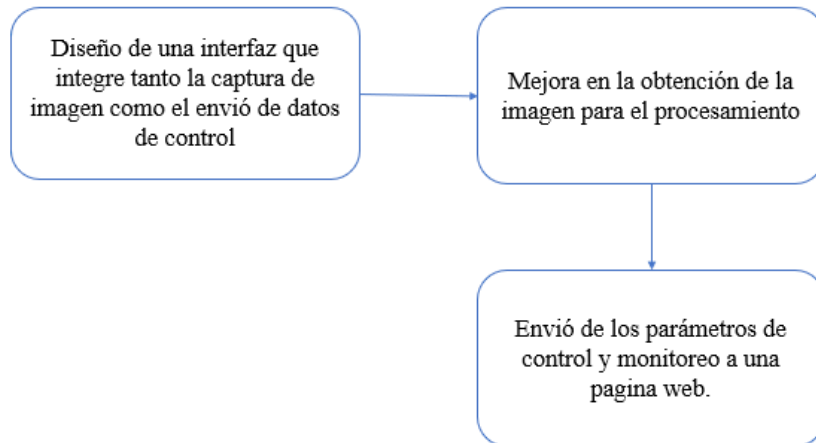


Figura 22: Desarrollo de la actividad. Elaboración propia

1.2.5.2.2. Descripción de las etapas o partes del producto Implementado

A. Diseño de una interfaz que integre tanto la captura de imagen como él envío de datos de control

A1. Ilustración específica de la etapa o parte implementada

Para esta etapa se desarrolló una nueva GUI capaz de abarcar tanto el procesamiento de imágenes como el sistema de control al mismo tiempo. Para ello, se hizo uso de hilos que facilitaban el llamado de funciones que tenían que ejecutarse en paralelo, tales como la toma constante de valores de temperatura y humedad o la muestra de la imagen en tiempo real para la captura. Esta GUI se puede observar en la figura 23.

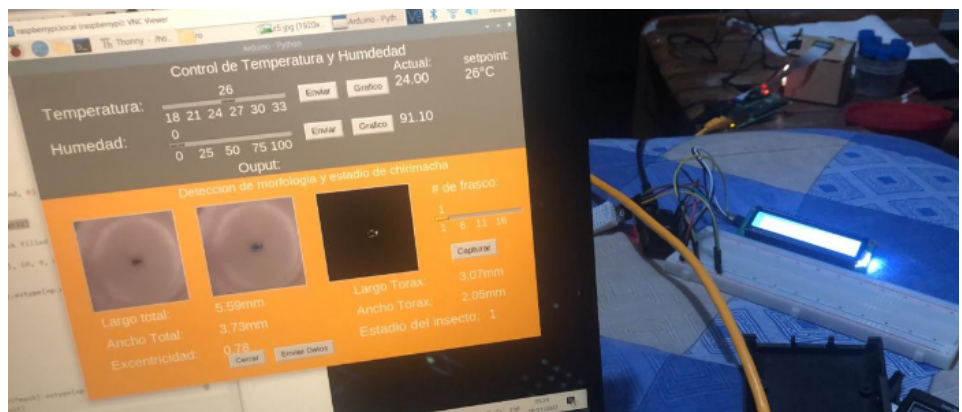


Figura 23. GUI para la comunicación entre ESP32 y Raspberry Pi. Elaboración propia

A2. Marco teórico de la etapa o parte desarrollada

Para el desarrollo de la interfaz fue necesario el uso de la librería TKinter de Python. Tiene como finalidad el desarrollo de aplicaciones de interfaz gráfica del usuario (GUI) para sistemas operativos como Windows, Linux y MacOS. Esta interfaz cuenta con la capacidad de ingresar los setpoints tanto de la temperatura como humedad por medio de sliders dentro de un rango establecido. Aparte, tiene la opción de ver los gráficos de cómo varían estos parámetros medidos con el tiempo y compararlos con el setpoint ingresado. Además, en la parte inferior de color naranja podemos observar los valores medidos de los parámetros, así como el setpoint ingresado.

A.3. Fotos de evidencia

En la Figura 24 se puede observar la implementación de la pantalla táctil con la GUI elaborada.

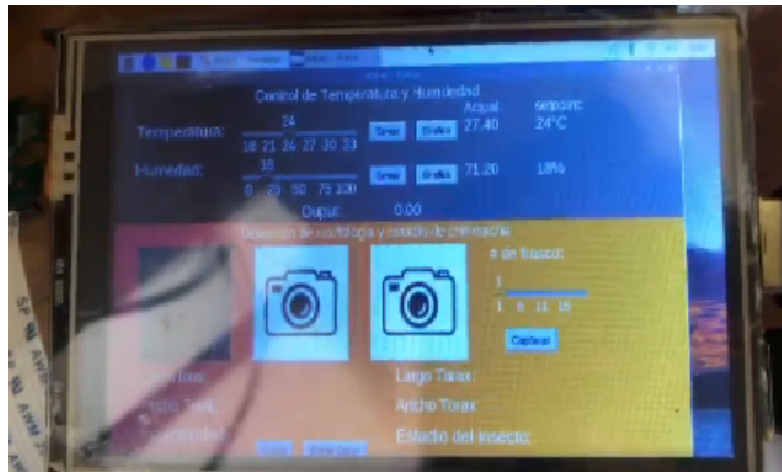


Figura 24. Diagrama de flujo de funcionamiento del algoritmo de caracterización. Elaboración propia

D. -Procesamiento de imágenes.

D1. Ilustración específica de la etapa o parte implementada

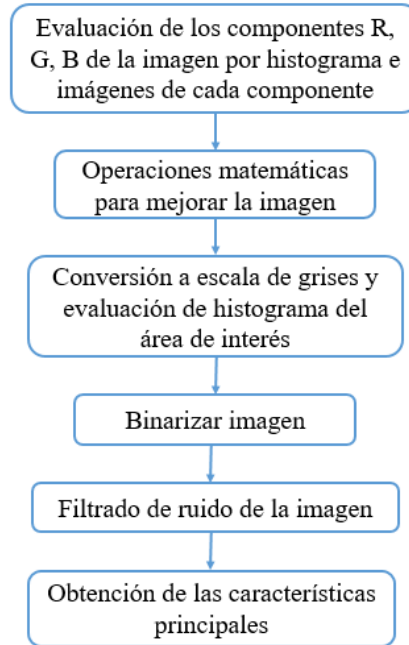


Figura 38. Diagrama de flujo de procesamiento y algoritmo de detección. Fuente propia

D2. Marco teórico de la etapa o parte desarrollada

- **Histograma**

Los histogramas de una imagen digital son un diagrama de frecuencia de dominio unidimensional en el rango de la cantidad de números de píxeles de la imagen, el cual indica la aparición de nivel de grises (Catalán Urzúa, n.d.). Así también una herramienta importante para respecto a los histogramas es la ecualización, el cual permite expandir el rango de manera uniforme sobre un intervalo, de manera que se obtiene un rango dinámico y se muestra un incremento en el contraste de la imagen evaluada (Depaoli et al., n.d.). Dicho efecto se puede observar en la Figura 37.

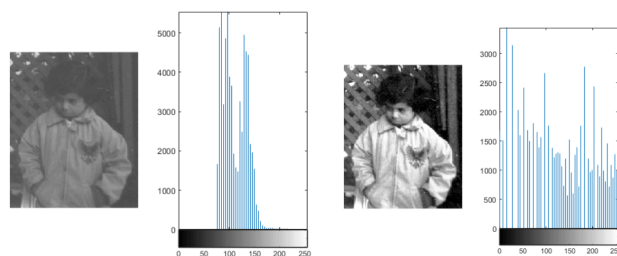


Figura 37. Efecto de la ecualización de histograma. Adaptado de <https://la.mathworks.com/help/images/histogram-equalization.html>

- **Binarización**

Consiste en llevar una imagen en escala de grises a una binaria, de manera que los algoritmos pueden reconocerlas y se reduce el volumen de datos. De manera que se obtiene una imagen en blanco y negro, tal como se observa en la figura N, pero mantiene sus propiedades esenciales. Por medio de un histograma se puede obtener una imagen binarizada en un valor adecuado, ya que el histograma permite determinar un umbral.



Figura 37. Binarización de imagen. Adaptado de <http://ic-info.blogspot.com/2009/03/binarizacion-de-imagenes-codigo.html>

- **Filtros**

Consisten en reducir el ruido en las imágenes, es decir, los efectos como consecuencia de la digitalización, captura y transmisión. Existen diferentes algoritmos que permiten mejorar la calidad de la imagen y reducir el ruido, tales como:

1. **Filtros lineales:** son filtros que realizan operaciones de convolución entre la imagen y una máscara, generalmente genera la difuminación de los bordes. Entre estos se tienen los filtros de la media, filtro Gaussiano, entre otros.
2. **Filtros no lineales:** como el filtro de la mediana, el cual consiste en generar una nueva imagen calculando la mediana de un conjunto de píxeles del entorno de una vecindad, se busca homogeneizar la intensidad de los píxeles.

Filtro Gaussiano: Es un filtro similar al de la media, disminuye la nitidez y aumenta la difuminación, genera pérdida de detalles y

suaviza uniformemente la imagen. Permite utilizar dos máscaras dimensionales. Se define como:

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \quad (8)$$

Donde:

- σ : es la desviación estándar
- x : distancia desde el origen en el eje x
- y : distancia desde el origen en el eje y

- **SVM (Máquina de soporte vectorial)**

Es un algoritmo de aprendizaje automático supervisado que permite realizar clasificaciones, ya que permite separar objetos por clases en un hiperplano multidimensional.

Se enfoca en determinar el mejor límite de decisión que separe a las clases, de manera que se pueda introducir nuevos datos acorde a la clase a la que pertenecen.

Acorde a lo expuesto, el mejor límite se considera el hiperplano y la dimensión de esta dependerá de las características de la base de datos y las clases.

Los vectores de soporte son los puntos que se encuentran más cerca al hiperplano y que tienen un efecto en la posición, puesto que son compatibles con el hiperplano.

En la Figura 38 se puede apreciar dos gráficas la primera con los posible hiperplanos y en la siguiente la óptima definida por los vectores de soporte.

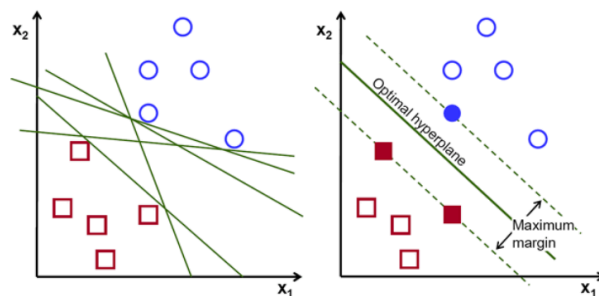


Figura 38. Binarización de imagen. Adaptado de <https://towardsdatascience.com/support-vector-machine-introduction-to-machine-learning-algorithms-934a444fca47>

En la Figura 39 se observa los diferentes valores y posiciones que puede tener un vector de soporte dando como resultado un margen mayor o menor entre clases.

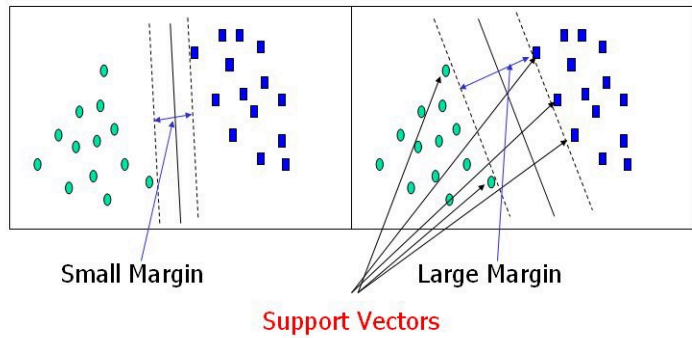


Figura 39. Vector de soporte

<https://towardsdatascience.com/support-vector-machine-introduction-to-machine-learning-algorithms-934a444fca47>

Para el diseño de una SVM es necesario el kernel pues permite lidiar con conjuntos de datos complejos, ya que se encarga de recibirlos y transformarlos. Existen diferentes tipos de kernels, tales como: lineal, polinomio, base radial y sigmoidea.

Así pues, se puede definir como:

- Fórmula para Kernel Linear

$$F(x, x_j) = \Sigma(x \cdot x_j) \quad (9)$$

Donde:

x, x_j: datos para clasificar

- Fórmula para Kernel Polinomio

$$F(x, x_j) = (x \cdot x_j + 1)^d \quad (10)$$

Donde:

x, x_j: datos para clasificar

d: grado de polinomio

- Fórmula para Kernel Sigmoidea

$$F(x, x_j) = \tanh(\alpha x y + c) \quad (11)$$

Donde:

x, xj: datos para clasificar

C3. Aplicación de marco teórico y criterios ingenieriles

Se realizó una evaluación inicial al instalar la cámara para determinar los valores óptimos para capturar la base de datos, de manera que se realizó configuraciones de parámetros fijos en la cámara con el fin de que todas las capturas mantengan la misma configuración y por ende calidad de la imagen. Las configuraciones se realizaron en la resolución de la imagen, brillo, contraste y saturación.

C4. Fotos de Evidencias

Como se puede observar en la figura 40 se tiene la imagen de una chirimachas de estadio 4, la cual se encuentra en una placa Petri, dicha imagen es procesada para su obtener datos para el algoritmo de procesamiento.



Figura 40. Captura de imagen chirimacha en estadio 4. Fuente propia

Posteriormente se evalúa las componentes R, G y B de la imagen tanto visualmente como por un histograma, en este último se puede apreciar que las componentes R y G son muy similares. Con dicha información se procede a realizar operaciones aritméticas entre estos componentes para obtener una imagen que permita segmentar la figura de la chirimacha.

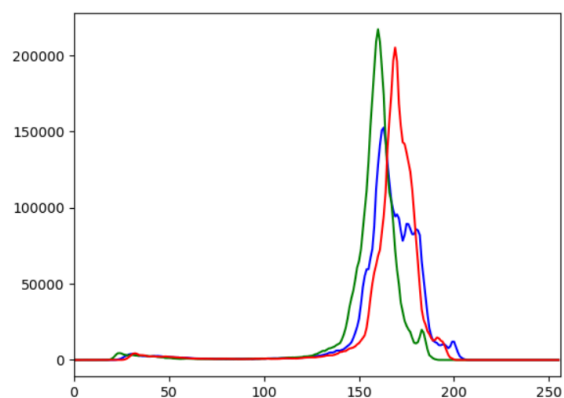


Figura 41. Histograma de las componentes R, G y B. Fuente propia

Se realiza la siguiente operación aritmética:

$$M = G - 0.5 \times R$$

De manera que se obtenga una imagen más oscura pero que permita diferenciar el fondo de la chirimacha, tal y como se observa en la Figura 42.



Figura 42. Imagen resultante de operación matemática. Fuente propia

Seguidamente se hace una conversión de la imagen obtenida a grises, de tal forma que se pueda graficar el histograma y umbralizar para la posterior binarización. En la imagen 43 se aprecia la gráfica del histograma, de este se puede determinar que los valores sobre 50 hasta 90 aproximadamente son el fondo de la imagen.

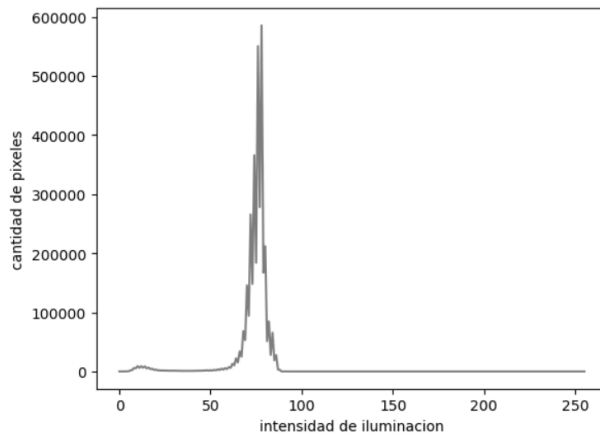


Figura 43. Histograma en escala de grises. Fuente propia

Con el respectivo umbral se puede binarizar de manera adecuada la imagen en escala de grises. Se utiliza el método Otsu el cual determina un valor de umbral óptimo en base al histograma, dando como resultado la Figura 44, donde se aprecia la figura de la chirimacha. Seguidamente se debe invertir la imagen para poder realizar los cálculos de área y perímetro de la chirimacha como se aprecia en la Figura 45.

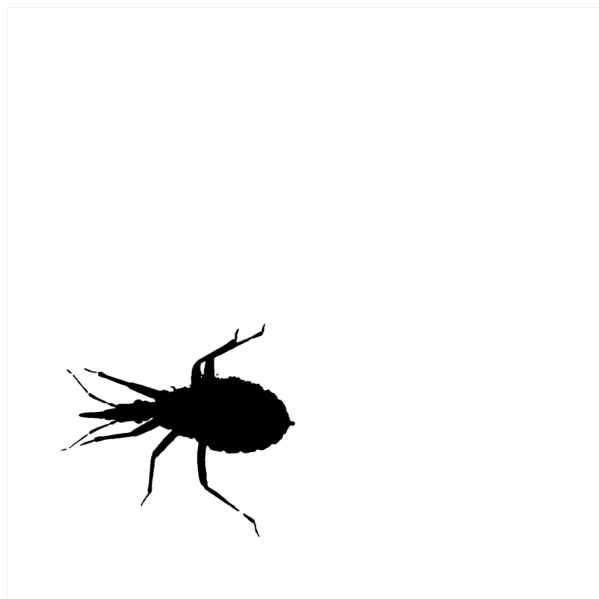


Figura 44. Imagen binaria. Fuente propia

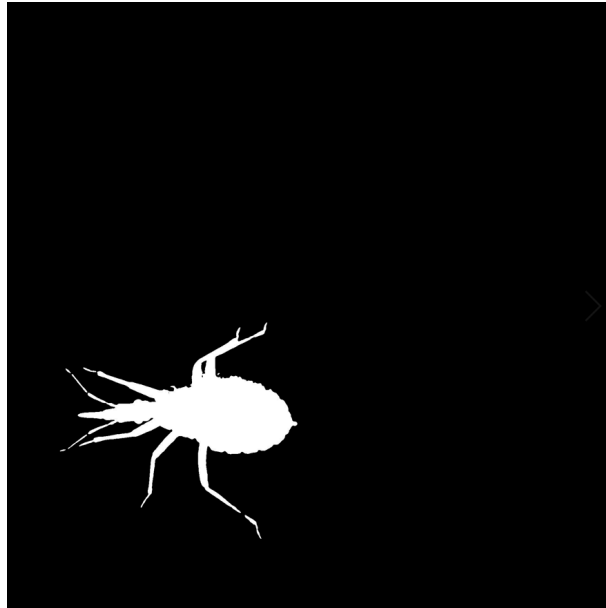


Figura 45. Imagen binaria negada. Fuente propia

Aparte, para hallar su perímetro aplicamos el algoritmo de Canny con la finalidad de quedarnos solo con los bordes. Esto lo podemos observar en la figura 46

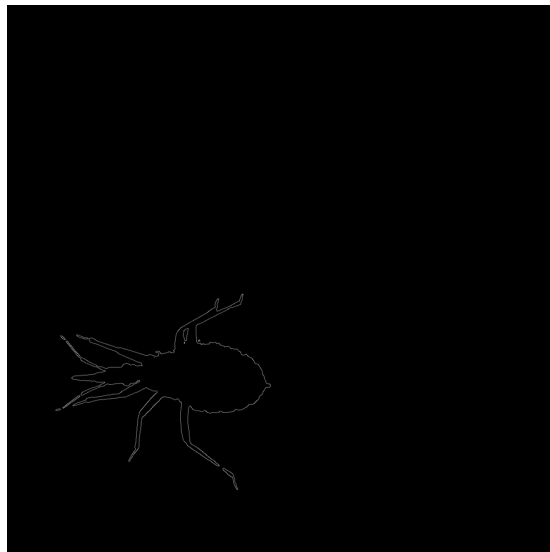


Figura 46. Imagen con filtro de . Fuente propia

Con esos parámetros hallados comenzamos a entrenar a la SVM con la finalidad de poder diferenciar los estadios de las chirimachas. Esto se puede observar en las figuras 47 y 48.

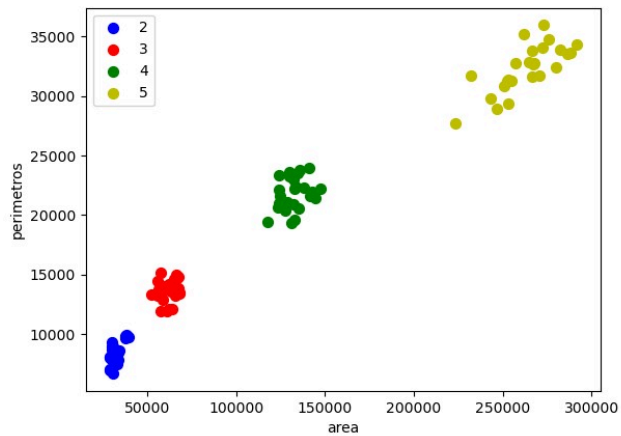


Figura 47. Entrenamiento de la SVM. Fuente propia

Confusion matrix, without normalization

```
[[25 0 0 0]
 [ 0 25 0 0]
 [ 0 0 25 0]
 [ 0 0 0 25]]
```

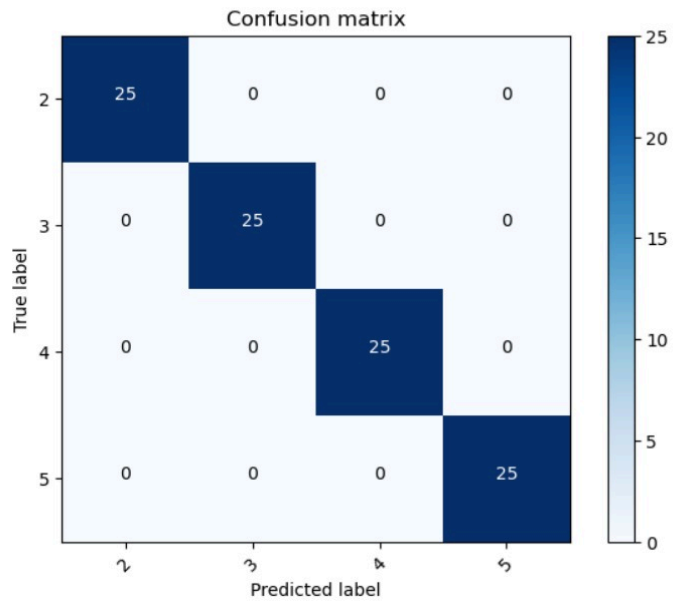


Figura 48. Matriz de confusión. Fuente propia

C. -Creación de la página web para observar los parámetros de crianza de forma remota

C1. Ilustración específica de la etapa o parte implementada

En la Figura 49 se observa el diagrama de flujo de la lógica de envío de datos al servidor web.host

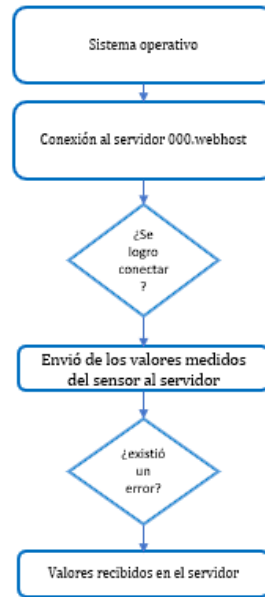


Figura 50. Diagrama de flujo de la lógica de envío de datos. Elaboración Propia

C2. Marco teórico de la etapa o parte desarrollada

Por medio de la librería HTTP.cient el esp32 es capaz de enviar y recibir datos de páginas web. Debido a ello, se elaboró un php sencillo que espere los datos enviados por el esp32 con la finalidad de ser convertidos en una base de datos mediante el uso de SQL. Al mismo tiempo, se el rasperry pi por medio de un POST envia los datos captados del las chirimachas a otro PHP con la finalidad de ser guardados en otra base de datos.

C3. Fotos de Evidencias

En la figura 51 se puede observar la base de datos elaborada por los valores medidos del sensor.

Control de temperatura y humedad

TEMPERATURA 29.75 C°	HUMEDAD 58 %	Dia 27-11-2022	Hora 03:52:59
--------------------------------	------------------------	--------------------------	-------------------------

fecha

Dia seleccionado 2022-11-26	Temp Maxima 838	Humd Maxima 86
---------------------------------------	---------------------------	--------------------------

Datos obtenidos de Chirimachas

Numero del frasco

# de frasco	Estadio	Largo total (mm)	Ancho Total (mm)	Largo del torax (mm)	Ancho del torax (mm)	Excentricidad	Fecha
2	5	13.7375	7.47204	22.8606	19.4739	0.851693	2022-11-24 20:01:10.0
2	1	2.80901	1.54521	6.1385	4.55096	0.850973	2022-11-25 06:53:25.0

Figura 51. Página web del proyecto. Elaboración Propia

- 1.1.6.- Resultados: Mediciones de variables y parámetros
 - 1.1.6.1.- Variables o parámetros a medir.
 - 1.1.6.2.- Lugar y fecha de la prueba.
 - 1.1.6.3.- Equipamiento y materiales utilizados
 - 1.1.6.4.- Procedimiento de medición (Paso a Paso)
 - 1.1.6.5.- Resultados en tablas y/o figuras (debidamente rotuladas y señalizadas).
 - 1.1.6.6.-Comentarios y Conclusiones

- 1.1.7.- Resultados: Validación y evaluación de desempeño
 - 1.1.7.1.-Nombre de la prueba realizada (si es realizada en función de un estándar o norma se debe especificar el nombre, número y siglas correspondientes).
 - 1.1.7.2.-Lugar y fecha de la prueba.
 - 1.1.7.3.-Equipamiento y materiales.
 - 1.1.7.4.-Variable o parámetro a validar.
 - 1.1.7.5.-Medición o prueba de referencia (Gold Standard).
 - 1.1.7.6.-Métrica de medición de desempeño
 - 1.1.7.7.-Resultados
 - 1.1.7.8.-Comentarios y Conclusiones

1.2.- Resultados: Mediciones de variables y parámetros

Se presentan las mediciones obtenidas por implementación y/o simulación. Las mediciones deben ser presentadas de la siguiente forma:

- 1.2.1.- Variables o parámetros a medir.
- 1.2.2.- Lugar y fecha de la prueba.
- 1.2.3.- Equipamiento y materiales utilizados
- 1.2.4.- Procedimiento de medición (Paso a Paso)
 - Se describe brevemente paso a paso el método o procedimiento de medición (paso1, paso 2, etc.).
- 1.2.5.- Resultados en tablas y/o figuras (debidamente rotuladas y señalizadas).
- 1.2.6.-Comentarios y Conclusiones
 - Se establecen comentarios y conclusiones respecto a las mediciones presentadas en tablas y figuras.

1.3.- Resultados: Validación y evaluación de desempeño

- 1.3.1.-Nombre de la prueba realizada (si es realizada en función de un estándar o norma se debe especificar el nombre, número y siglas correspondientes).
- 1.3.2.-Lugar y fecha de la prueba.
- 1.3.3.-Equipamiento y materiales.
- 1.3.4.-Variable o parámetro a validar.
- 1.3.5.-Medición o prueba de referencia (Gold Standar).
- 1.3.6.-Métrica de medición de desempeño
- 1.3.7.-Resultados
- 1.3.8.-Comentarios y Conclusiones