

Desarrollo de un espectrofotómetro portátil para detectar adulteración en miel

Atoche Enseñat José Ramón*, Cahuich Catzín Edwin Antonio, Enriquez Mendoza Juan Diego, Herrera Hernández Carlos Mario, Madera Bacab Ángel Omar, Magnolia Alejandra Blanco Valdez, Martínez Escalante Gustavo Alonso.

Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Tecnológico Nacional de México/ IT Mérida, Av. Tecnológico S/N Km. 4.5 C.P. 97118, Mérida Yuc.

Fecha de recepción: 7 de febrero de 2025 - Fecha de aceptación: 28 de agosto de 2025

Resumen

La adulteración de la miel representa un problema serio en la industria apícola, ya que afecta su calidad y credibilidad en el mercado nacional e internacional. Este artículo presenta el desarrollo de un espectrofotómetro portátil y fácil de usar, diseñado para detectar adulteraciones en muestras de miel mediante la medición de la absorbancia. El dispositivo opera con una fuente de luz LED de 495 nm, un sensor TSL2561, y utiliza el método de Bradford para la cuantificación de proteínas como indicador de pureza. Para validar su funcionamiento, se empleó un espectrofotómetro de laboratorio como referencia: el Biofotómetro Eppendorf. Los resultados obtenidos fueron consistentes con los valores esperados, lo que demuestra la efectividad y viabilidad del prototipo. Su aplicación resulta especialmente útil para apicultores, exportadores y compradores que requieren una herramienta confiable y portátil en zonas sin acceso a laboratorios especializados.

Palabras claves: Control de calidad, adulteración, espectrofotometría.

Development of a portable spectrophotometer for detecting honey adulteration

Abstract

The adulteration of honey represents a serious issue in the beekeeping industry, as it affects its quality and credibility in both national and international markets. This article presents the development of a portable and user-friendly spectrophotometer designed to detect adulteration in honey samples through absorbance measurement. The device operates with a 495 nm LED light source, a TSL2561 sensor, and employs the Bradford method for protein quantification as an indicator of purity. To validate its performance, a laboratory spectrophotometer was used as a reference: the Eppendorf BioPhotometer. The results obtained were consistent with expected values, demonstrating the effectiveness and feasibility of the prototype. Its application is especially useful for beekeepers, exporters, and buyers who require a reliable and portable tool in areas without access to specialized laboratories.

*jose.ae@merida.tecnm.mx

Key words: Quality control, adulteration, spectrophotometry.

1. Introducción

En México, al año se producen alrededor de 70 mil toneladas de miel, con un valor de 2 mil 500 millones de pesos. En cuanto a los estados productores, destacan Yucatán y Campeche, en donde al igual que en otros estados, se realizan buenas prácticas para asegurar la calidad de su producto [1].

La apicultura es una de las actividades agropecuarias de enorme importancia económica y social para Yucatán, siendo el principal productor y exportador de miel de abeja de México [1].

La miel es un producto constituido principalmente de carbohidratos como fructosa (41%), glucosa (34%) y 2% de sacarosa. Además, la miel contiene otros componentes minoritarios como minerales, flavonoides y proteínas, estas

últimas se encuentran alrededor del 0.7%, dichos componentes son constantes y son los responsables de las características organolépticas y bioactivas de este alimento [2] [3]. No obstante, el sector apícola yucateco enfrenta en la actualidad una amenaza creciente: la adulteración de la miel. Este problema no solo vulnera la integridad del producto y la economía de los productores, sino que también compromete la salud de los consumidores y debilita la imagen internacional de la miel mexicana. La adulteración consiste, en la mayoría de los casos, en la adición de sustancias como jarabes de maíz de alta fructosa, glucosa, sacarosa u otros azúcares, con el fin de aumentar el volumen del producto y reducir los costos de producción. Al respecto, los métodos más populares para llevar a cabo este proceso se resumen en la Figura 1 donde se puede observar que existen tres principales: adulteración directa, indirecta y la mezcla [2].

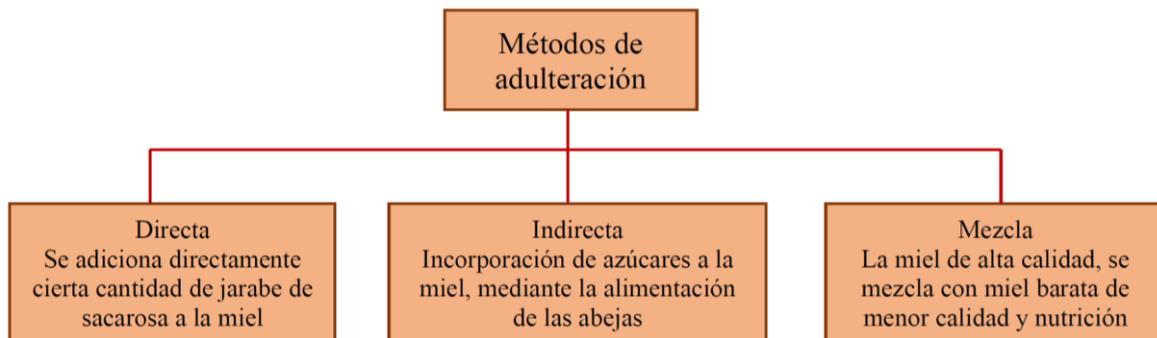


Figura 1. Métodos de adulteración en miel [2].

La consecuencia inmediata de esta problemática es la afectación directa al ingreso de los apicultores, quienes ven disminuida la rentabilidad de su actividad frente a productos adulterados comercializados a precios más bajos. A largo plazo, este fenómeno ha causado el rechazo de lotes de miel en puertos de destino y la imposición de mayores controles de calidad, afectando las exportaciones.

Por otra parte, el consumo de miel adulterada

también representa un riesgo para la salud pública. Según estudios recientes, el consumo frecuente de miel con altos niveles de jarabes industriales puede contribuir al desarrollo de enfermedades metabólicas como la diabetes tipo 2, obesidad y alteraciones cardiovasculares [3].

Ante este escenario, es imperativo contar con herramientas tecnológicas que permitan a los productores verificar la autenticidad de su miel de forma accesible, rápida y confiable. En respuesta a esta necesidad, se ha desarrollado un

espectrofotómetro portátil basado en el método colorimétrico de Bradford, utilizando el principio de la adulteración por jarabes fructosado los cuales disminuirán la concentración constante de proteína que contiene la miel, por lo que el equipo es adaptado específicamente para la detección de adulteración en miel. Este dispositivo, diseñado para ser utilizado sin necesidad de conocimientos técnicos avanzados, permite realizar pruebas in situ para identificar la presencia de proteínas anómalas en la muestra, indicativo de posibles adulterantes.

El método de Bradford se basa en la interacción del colorante azul de Coomassie con las proteínas, generando un cambio de color medible mediante absorbancia. Este principio, aplicado en un espectrofotómetro portátil, brinda la capacidad de identificar adulteración en cuestión de minutos, lo que resulta especialmente útil para pequeños y medianos productores que no pueden costear análisis en laboratorios especializados.

La incorporación de esta tecnología representa una solución práctica y viable para fortalecer la trazabilidad y transparencia de la cadena de valor de la miel yucateca. Además de facilitar el control de calidad a nivel local, mejora la capacidad de respuesta de los productores frente a los estándares internacionales, reduciendo el riesgo de sanciones comerciales y fomentando la confianza en el producto mexicano.

2. Metodología

El espectrofotómetro portátil desarrollado tiene como propósito principal detectar adulteraciones en miel de manera rápida y precisa mediante la cuantificación de proteínas a través del método de Bradford. Este dispositivo está diseñado para ayudar a exportadores y productores a asegurar la calidad de su miel, un criterio importante para mercados internacionales donde la pureza es clave para la aceptación del producto.

2.1. Soporte teórico de la técnica utilizada

$$\log_{10} \left(\frac{I_0}{I} \right) = A = \epsilon cl \quad (1)$$

Donde I_0 es la intensidad de la radiación incidente, I es la intensidad de la radiación

2.1.1. Método de Bradford

El método de Bradford es una técnica colorimétrica ampliamente utilizada para la detección y cuantificación de proteínas, reconocida por su rapidez, simplicidad, bajo costo y eficacia. Este método se basa en la unión no covalente del colorante Coomassie Brilliant Blue G-250 con residuos específicos de aminoácidos presentes en las proteínas, como arginina, lisina, histidina, tirosina, triptófano y fenilalanina. En ausencia de proteínas, el reactivo presenta una coloración rojo- pálida y una absorbancia máxima cercana a los 465 nm. Sin embargo, al interactuar con proteínas cargadas positivamente, el reactivo sufre un cambio estructural que le otorga una tonalidad azul intensa, cuya absorbancia máxima se encuentra entre los 590 y 595 nm. La intensidad de esta coloración azul es proporcional a la concentración de proteínas presentes en la muestra, y se determina mediante espectrofotometría, utilizando una curva de calibración elaborada con soluciones estándar, comúnmente de albúmina sérica bovina (BSA) [4].

2.1.2. Ley de Beer-Lambert

La ley de Bouguer-Beer-Lambert, o simplemente la ley de Beer-Lambert, postula que la cantidad de luz absorbida por una solución que contiene una sustancia absorbente es directamente proporcional a la concentración y a la longitud del trayecto de la luz a través de la solución, lo que ilustra una relación lineal entre la absorbancia y la concentración [5].

Cuando una luz monocromática atraviesa una solución que contiene una sustancia absorbente, la disminución de la intensidad de la luz con la longitud del trayecto es proporcional a la concentración de la solución y a la intensidad de la luz. [5].

atenuada, A es la absorbancia, ϵ es el coeficiente de extinción molar, c es la concentración de la

especie absorbente y l es la longitud del trayecto óptico [5]. En la Figura 2 se observa la representación de la Ley de Beer-Lambert.

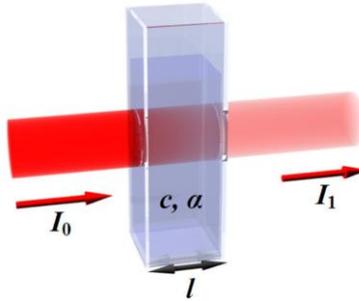


Figura 2. Representación de la Ley de Beer-Lambert.

Para una sustancia en particular, el coeficiente de extinción molar ϵ mide qué tan intensamente una especie química o sustancia absorbe luz a una longitud de onda específica. Este coeficiente depende de su composición y estructura química [5].

2.2. Proceso de medición

El proceso de análisis que realiza el espectrofotómetro comienza con la medición de la transmitancia de la luz a través de una muestra de miel. Para ello, el dispositivo emite un haz de

luz con una longitud de onda de 595 nm que atraviesa la muestra, y, mediante un sensor de luz, se mide la cantidad de luz transmitida al otro lado. Luego, se calcula la absorbancia, un valor que refleja la cantidad de luz absorbida por la muestra. Este valor de absorbancia se compara con estándares previamente establecidos, tomando como referencia los valores obtenidos en un espectrofotómetro de laboratorio. Con ello, se determina si la miel ha sido adulterada. El espectrofotómetro de laboratorio empleado como referencia es el Biofotómetro Eppendorf, el cual se muestra en la Figura 3.



Figura 3. Biofotómetro Eppendorf [6].

La lógica del proceso se basa en el principio de que la presencia de adulterantes en la miel afecta la cantidad de luz absorbida; a mayor absorbancia, es probable que existan más adulterantes en la muestra. Con una interfaz intuitiva, el dispositivo proporciona al usuario una indicación de la pureza de la miel mediante

un sistema de alertas visuales, permitiendo a personas sin experiencia en espectrofotometría comprender los resultados. Se desarrolló un diagrama de flujo del proceso de medición que realiza el dispositivo, tal como se muestra en la Figura 4.

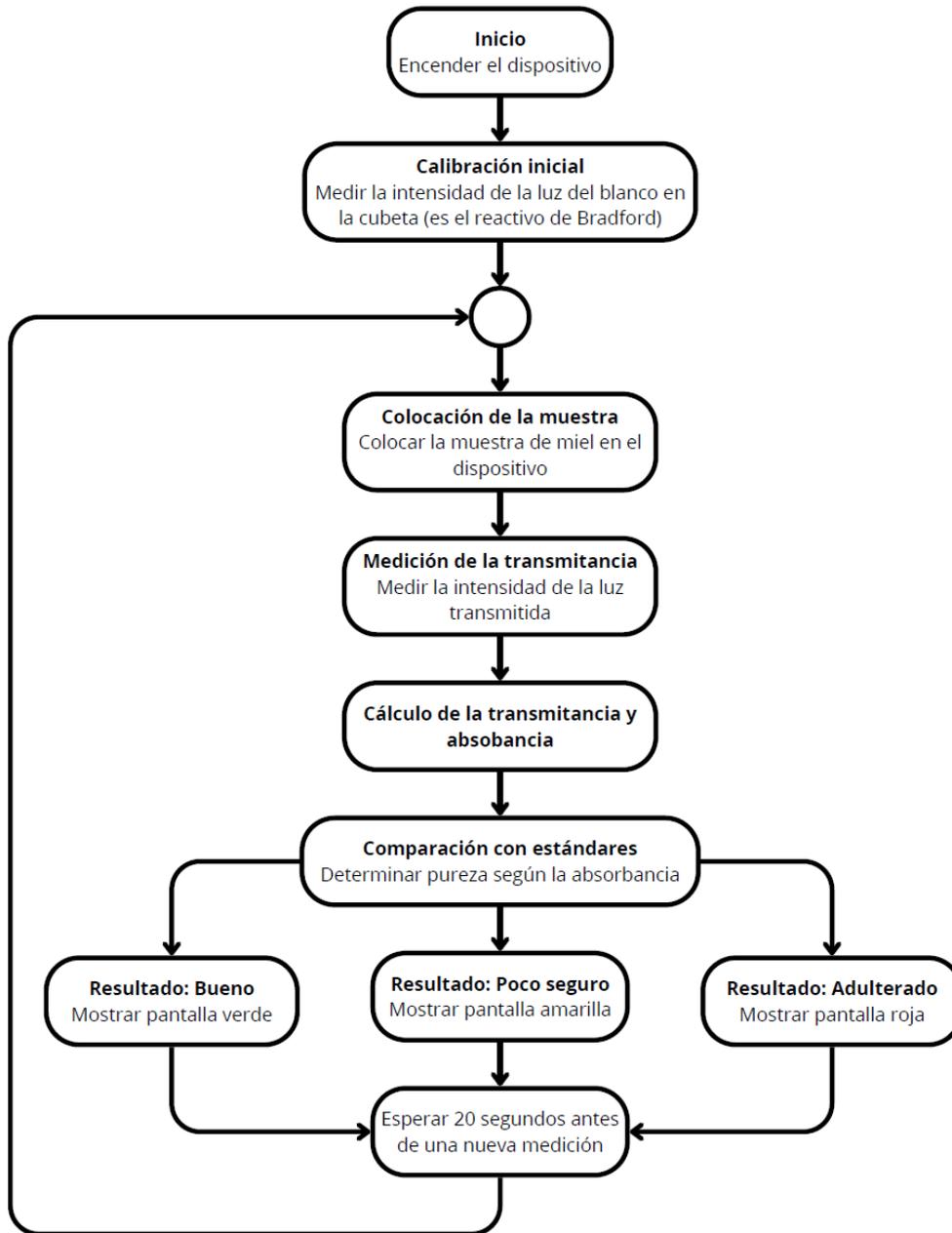


Figura 4. Diagrama de flujo del proceso del proyecto.

Se desarrolló un diagrama de bloques no lineal para representar de manera clara y estructurada la arquitectura funcional del espectrofotómetro portátil, destacando las interacciones críticas

entre los principales componentes del sistema, este se puede observar en la Figura 5. Este enfoque visual permite detallar el flujo de información y los procesos involucrados, con

énfasis en la medición de la transmitancia de luz y el cálculo de la absorbancia. Además de mejorar la comprensión del funcionamiento interno del dispositivo, el diagrama proporciona

una herramienta para identificar posibles áreas de optimización en el diseño, contribuyendo a una interpretación más precisa y eficiente del proceso de detección de adulterantes en la miel.

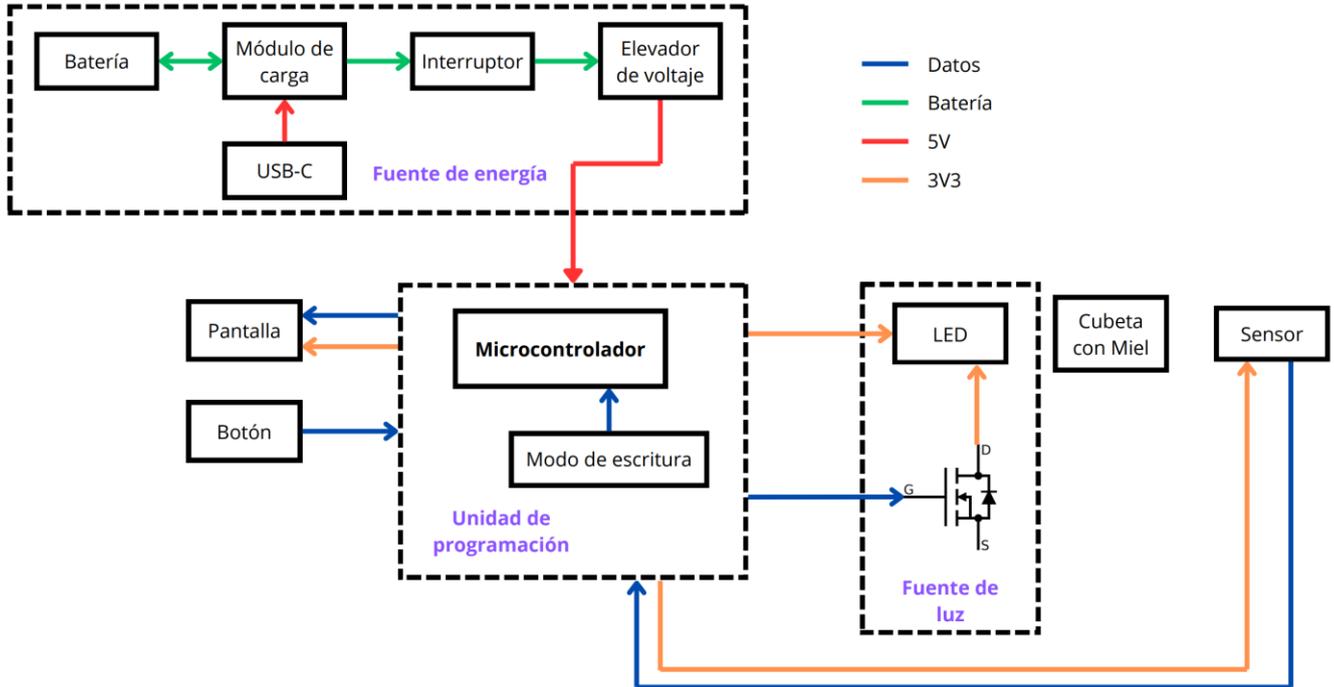


Figura 5. Diagrama a bloques no lineal del proyecto.

2.3. Unidad de programación

La unidad de programación es fundamental para garantizar el correcto funcionamiento del sistema, ya que gestiona la interacción entre el microcontrolador y el código necesario para las operaciones. Se utilizó CircuitPython por su facilidad de uso y soporte en microcontroladores. Dada la estructura de este lenguaje, se implementó una lógica que permite alternar entre el modo de carga de código y el modo de escritura de datos en memoria, asegurando la integridad del sistema de archivos y facilitando el almacenamiento de resultados.

2.3.1. Microcontrolador

Se seleccionó el microcontrolador Raspberry Pi Pico (ver Figura 6) por sus siguientes características:

- Tamaño compacto
- Microcontrolador RP2040 con Dual-core ARM Cortex-M0+
- 26 pines GPIO
- Programación en C/C++ y MicroPython
- Gran documentación y comunidad activa
- Bajo consumo energético
- Interfaz USB para programación y comunicación
- Soporte para I2C, SPI, UART, ADC y PWM
- Actualizaciones de firmware sencillas

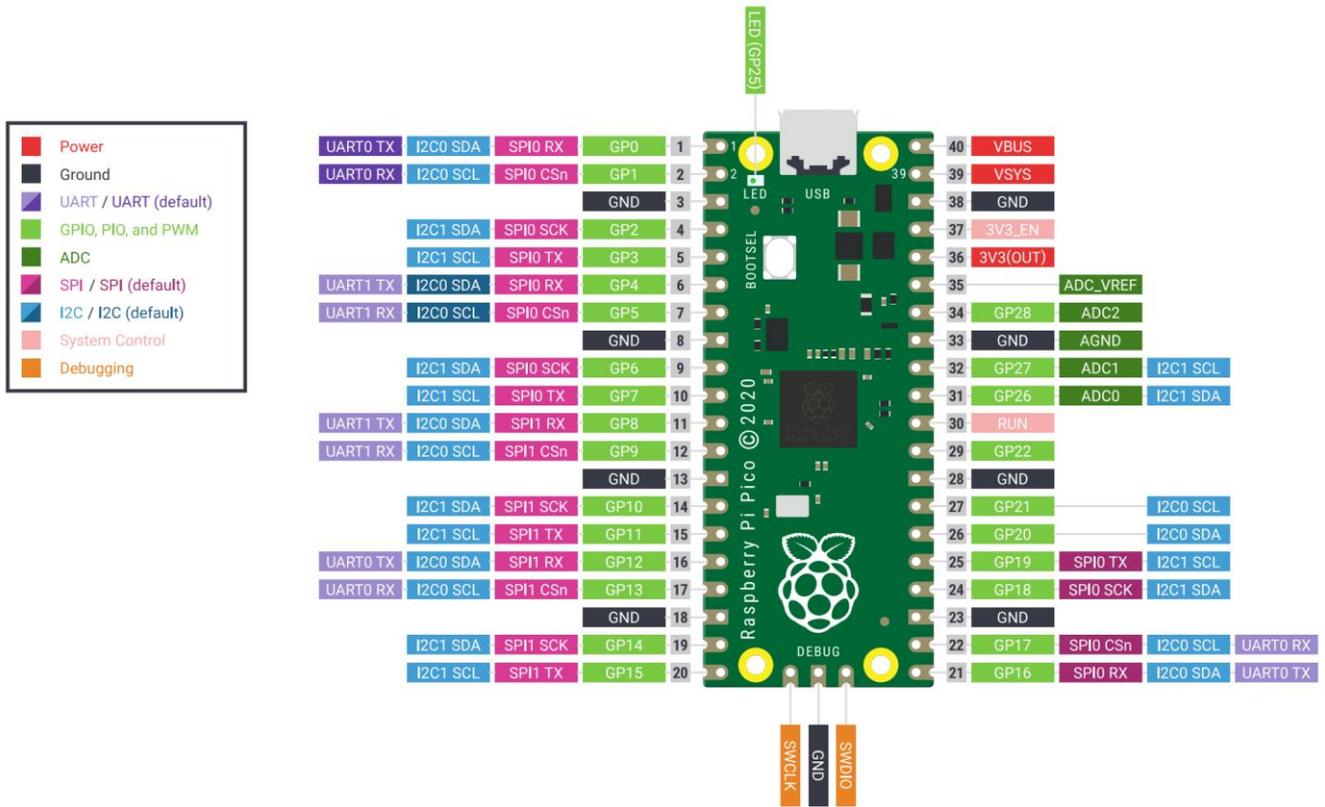


Figura 6. Tarjeta de desarrollo Raspberry pi pico [7].

El microcontrolador Raspberry Pi Pico cumple un rol central en el control y procesamiento de todo el sistema. Este microcontrolador se utiliza por su tamaño compacto, bajo consumo energético y su capacidad de procesamiento dual-core ARM Cortex-M0+, lo que permite una operación eficiente y estable. Además, soporta múltiples interfaces de comunicación (como I2C, SPI y UART), que facilitan la integración con el sensor de luz TSL2561 y otros componentes electrónicos para el funcionamiento del proyecto.

El Raspberry Pi Pico procesa los datos capturados por el sensor y controla el encendido y apagado del LED, que actúa como fuente de luz para medir la transmitancia y la absorbancia en la muestra de miel. Además, mediante un algoritmo, realiza los cálculos necesarios para determinar la pureza de la miel y muestra los resultados en una pantalla TFT, proporcionando una interfaz amigable para el usuario final.

2.3.2. Modo de escritura

En CircuitPython (el lenguaje Python adaptado

para microcontroladores), no es posible cargar código desde la computadora y escribir datos en la memoria del microcontrolador al mismo tiempo, ya que esto podría corromper el sistema de archivos por razones de seguridad. Por ello, el modo de escritura está deshabilitado por defecto.

Para habilitarlo, es necesario modificar algunas líneas de código que, mediante un pin configurado, permiten alternar entre el modo de carga de código desde la computadora y el modo en el que el microcontrolador puede escribir datos en su memoria, uno a la vez.

2.4. Fuente de energía

La Raspberry Pi Pico y los periféricos utilizados en este dispositivo operan a una tensión de 5 V. Para garantizar la portabilidad del sistema, se seleccionó una fuente de energía basada en baterías recargables. Dado que las baterías de litio de

3.7 V ofrecen una solución compacta, eficiente y ampliamente disponible, se optó por utilizarlas como fuente de alimentación primaria,

complementada con un convertidor elevador de tensión para satisfacer los requerimientos eléctricos del dispositivo.

2.4.1. Elevador de voltaje MT3608

Aunque una celda de litio proporciona suficiente energía para alimentar el dispositivo, su nivel de tensión nominal de 3.7 V no es adecuado para los requerimientos del sistema. Por esta razón, se integró un convertidor elevador de tensión (boost converter), específicamente el modelo MT3608 (ver Figura 7), que incrementa la tensión de salida de 3.7 V a 5 V. Este módulo garantiza una salida constante de 5 V, incluso cuando la tensión de entrada, correspondiente al nivel de carga de

la batería, desciende por debajo de 3 V.

El MT3608 se caracteriza por su alta eficiencia de conversión en comparación con reguladores lineales, gracias a su topología de conmutación. A diferencia de los reguladores lineales, que disipan el exceso de voltaje en forma de calor, este módulo utiliza un sistema basado en inducción y conmutación para convertir la energía de manera eficiente, minimizando las pérdidas. Bajo condiciones óptimas, la eficiencia de conversión del MT3608 puede alcanzar valores del 90-95%, lo que lo convierte en una solución ideal para aplicaciones donde se requiere maximizar el aprovechamiento de la energía disponible.



Figura 7. Módulo elevador de tensión MT3608 [8].

2.4.2. Módulo de carga TP4056

El módulo TP4056 (ver Figura 8) integra una protección contra sobredescarga que desconecta automáticamente la alimentación de la carga cuando el voltaje de la celda de litio cae por debajo de 3 V. Esta protección se reactiva automáticamente al recargarse la batería y superar los 3 V, asegurando un manejo seguro del ciclo de descarga. El rango operativo óptimo para una celda de litio es de 3.7 V a 4.2 V, y el módulo TP4056 garantiza que este intervalo se mantenga, prolongando la vida útil de la batería mediante la protección antes mencionada.

El proceso de carga de una celda de litio requiere dos fases principales, gestionadas completamente por el TP4056. En la primera fase, si el voltaje de la celda es inferior a 3 V, el

módulo suministra una corriente constante de 100 mA hasta alcanzar dicho nivel. Una vez superado, la corriente de carga aumenta a 1 A, permitiendo que la celda alcance los 4.2 V. En este punto, el módulo cambia a la segunda fase, aplicando una tensión constante de 4.2 V mientras la corriente de carga disminuye gradualmente. El proceso finaliza cuando la corriente cae por debajo de 100 mA, indicando que la celda está completamente cargada.

Durante la carga, el módulo dispone de un indicador visual mediante LEDs: un LED rojo permanece encendido mientras la celda está en proceso de carga. Al completarse la carga, el LED rojo se apaga y se activa un LED verde, señalando que el proceso ha concluido satisfactoriamente.

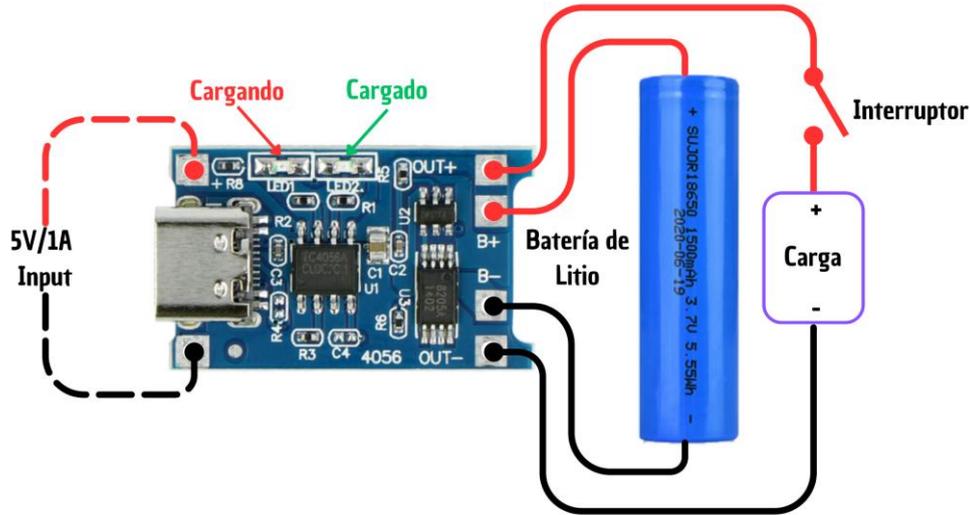


Figura 8. Módulo de carga TP4056 para la carga segura de celdas de litio.

El módulo se alimenta mediante un puerto USB tipo C, un conector ampliamente estandarizado en la mayoría de los dispositivos electrónicos portátiles actuales.

2.5. Sensor

El sensor de luz empleado en el proyecto es un convertidor de luz a digital y es crucial para

medir la intensidad de luz que atraviesa la muestra de miel.

El TSL2561 (ver Figura 9) opera con dos fotodiodos: uno mide la luz visible e infrarroja (canal CH0), y el otro únicamente la luz infrarroja (canal CH1). Esta configuración permite al sensor compensar la luz ambiental, logrando mayor precisión en la medición de luz transmitida.



Figura 9. Sensor TSL2561 [9].

2.5.1. Medición de la absorbancia

El procesamiento de datos (ver Figura 10) obtenidos por el sensor TSL2561 se divide en tres etapas principales: medición inicial, filtrado de datos y cálculo de promedio, lo que garantiza resultados confiables para calcular la absorbancia

de las muestras de miel. Este flujo asegura que las lecturas sean consistentes y reduzcan el impacto de factores externos como ruido o variaciones ambientales.

En la primera etapa, el sistema realiza una serie de mediciones iniciales para calcular la mediana

de los valores obtenidos. Se recopilan 200 muestras de luz (lux) del sensor TSL2561, lo que permite capturar una representación general de las condiciones lumínicas actuales. Los valores son ordenados para determinar la mediana, una métrica robusta que minimiza la influencia de valores atípicos o lecturas erróneas. Este cálculo inicial es esencial, ya que establece un punto de referencia para las mediciones posteriores, optimizando la precisión y estabilidad del proceso.

Posteriormente, el flujo entra en la etapa de filtrado de datos, donde se recopilan nuevas mediciones de luz transmitida y se seleccionan únicamente aquellas que se encuentran dentro de un rango permitido de $\pm 10\%$ alrededor de la mediana calculada previamente. Este enfoque permite descartar valores que puedan haber sido afectados por perturbaciones, como

interferencias lumínicas externas o fallos del sensor, asegurando que solo se utilicen datos representativos y confiables en el análisis.

Finalmente, en la última etapa, se calcula el promedio de las muestras válidas filtradas. Este promedio se utiliza como el valor final de luz transmitida (lux), el cual se empleará posteriormente para calcular la transmitancia y absorbancia de la muestra. El promedio obtenido refleja con precisión las condiciones lumínicas en el dispositivo, proporcionando una base sólida para los cálculos espectrofotométricos. Adicionalmente, este flujo de procesamiento es diseñado para ofrecer resultados consistentes y reproducibles, asegurando que las mediciones sean adecuadas para detectar adulteraciones en la miel con alta fiabilidad.

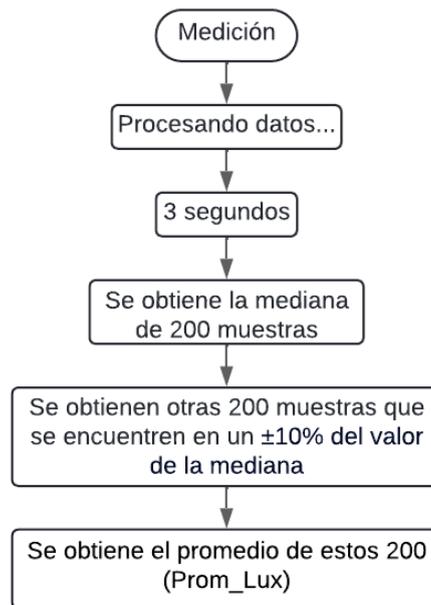


Figura 10. Etapa inicial/Procesamiento de datos.

En las etapas posteriores al procesamiento inicial, los valores de luz obtenidos del sensor TSL2561 se utilizan para calcular la transmitancia y la absorbancia, parámetros clave en la espectrofotometría. La transmitancia se determina dividiendo el promedio de luz transmitida (I) por la luz incidente de referencia

(I₀), lo que permite evaluar qué proporción de la luz atraviesa la muestra. Con este resultado, se calcula la absorbancia mediante la fórmula $A = -\log_{10}(T)$, que refleja la cantidad de luz absorbida por la muestra. En la figura 11 se puede apreciar mejor este proceso.

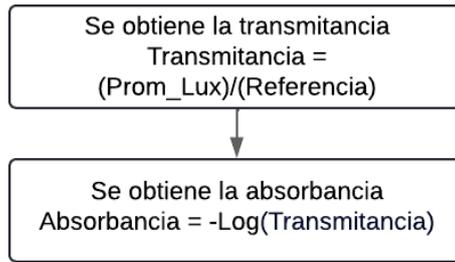


Figura 11. Cálculo de transmitancia y absorbancia.

2.6. Pantalla

El dispositivo cuenta con una pantalla TFT LCD de 1.14 pulgadas (ver Figura 12), con una resolución de 135x240 píxeles que facilita la

interacción y comprensión de los resultados para el usuario. La pantalla, controlada mediante un bus SPI y un controlador ST7789, permite mostrar el mensaje de bienvenida, indicación de calibración y los resultados de las mediciones de absorbancia.



Figura 12. Pantalla TFT LCD [10].

Para ofrecer un uso intuitivo, el dispositivo emplea un sistema de colores (ver Figura 13) que indica la pureza de la muestra. Cuando el valor de absorbancia está en el rango de pureza aceptable ($0.40 \leq A < 0.65$), el fondo de la pantalla cambia a color verde con la etiqueta "BUENO". Si el valor cae en un rango de riesgo moderado ($0.35 \leq A < 0.40$), el fondo es amarillo con la etiqueta "POCO SEGURO". Finalmente, para valores que indican adulteración ($A < 0.35$ o $A \geq 0.65$), el fondo se torna rojo y muestra "ADULTERADO". Este sistema visual reduce la necesidad de interpretación técnica, haciéndolo accesible

incluso para usuarios sin experiencia previa en espectrofotometría.

Los valores de absorbancia para determinar si la miel es buena, aceptable o adulterada fueron proporcionados por el Departamento de Microbiología Aplicada y Molecular del Instituto Tecnológico de Mérida, ya que cuentan con un espectrofotómetro de laboratorio con el cual se realizaron pruebas en mieles con diferentes niveles de adulteración, a fin de obtener dichos valores de absorbancia.

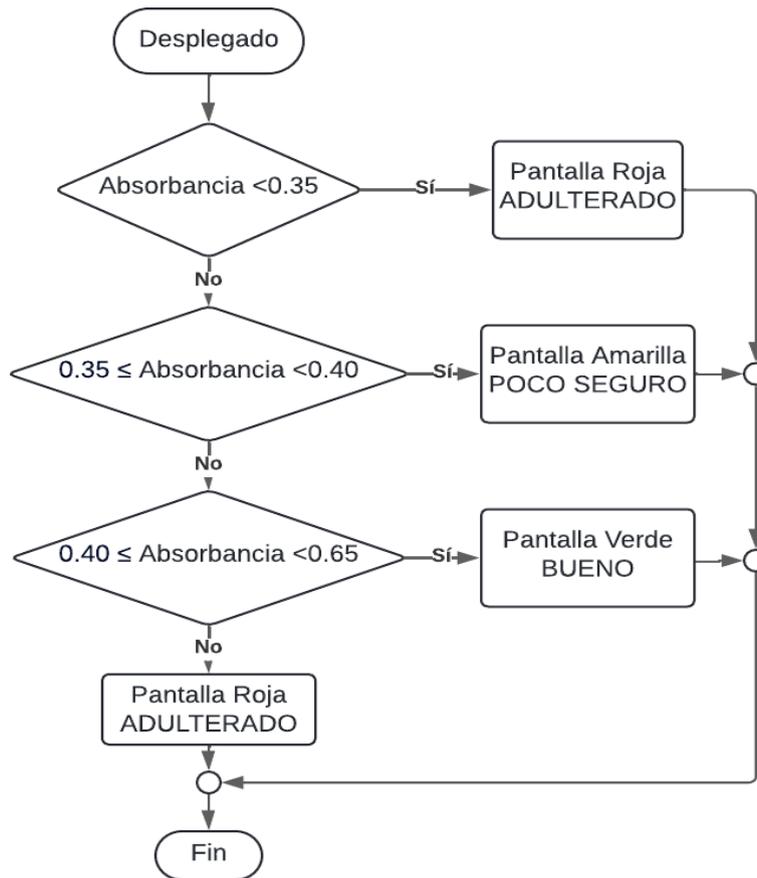


Figura 13. Sistema de colores interfaz de usuario

Además, en el modo desarrollador, la pantalla despliega información detallada como la intensidad de luz incidente y transmitida, la transmitancia y la absorbancia calculada. Este enfoque hace que el dispositivo sea versátil, útil tanto para validaciones rápidas como para análisis más detallados.

2.7. Fuente de luz

El LED seleccionado emite luz visible con una longitud de onda en el rango de 590 nm a 595

nm (Ver figura 14), cumpliendo con la especificación de 595 nm necesaria para la aplicación en espectrofotometría. El dispositivo opera con una potencia nominal de 3 W, una corriente directa (IF) de 1 A y un voltaje directo (VF) de 3 V. Sin embargo, para esta aplicación, se implementaron valores ajustados de tensión y corriente, optimizados según los resultados obtenidos durante las pruebas y ajustes del prototipo.

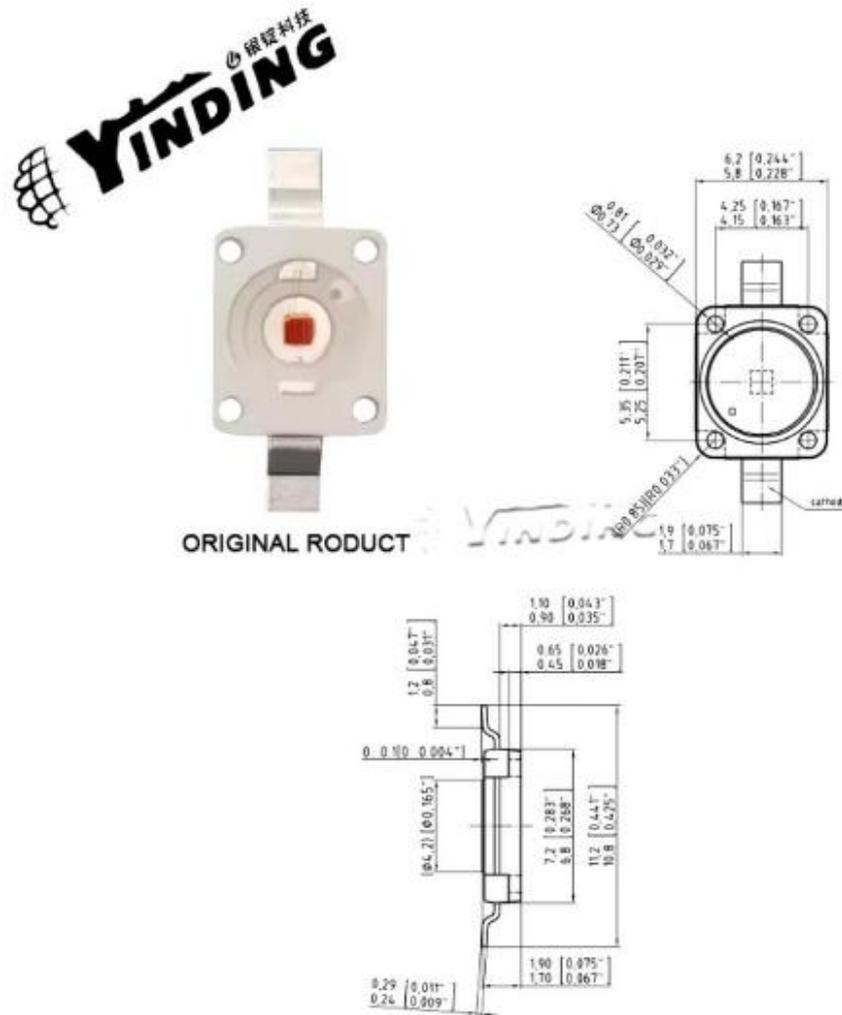


Figura 14. LED de 590 nm - 595 nm [11].

Para la activación del LED mediante el microcontrolador, se implementó una etapa de potencia, debido a que los pines GPIO de la Raspberry Pi Pico tienen una capacidad de corriente máxima de 20 mA, insuficiente para operar directamente el LED.

El encendido y apagado del LED se gestionó a través de un interruptor electrónico basado en un MOSFET, seleccionado por sus características de conmutación, las cuales son adecuadas para los

requerimientos de esta aplicación, en la Figura 15 se observa el diagrama esquemático del interruptor electrónico empleado.

La corriente de operación del LED se ajustó a 53 mA con una tensión de 2 V, valores determinados a partir de pruebas realizadas con prototipos del dispositivo final. Para garantizar la estabilidad de la corriente, esta se regula mediante una resistencia de 24 Ω , que limita la corriente de manera constante y precisa.

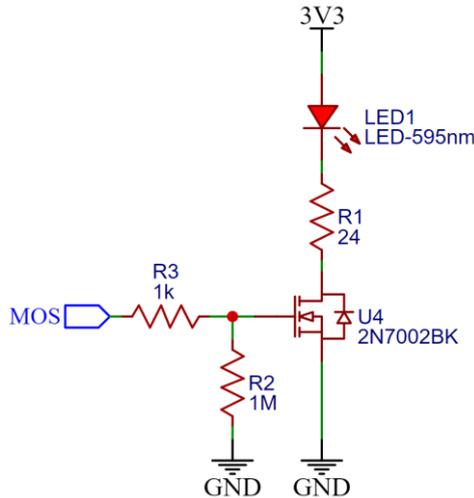


Figura 15. El MOSFET como interruptor.

2.8. Diseño electrónico

El diseño tanto del diagrama esquemático (ver Figura 16) como de la PCB fue desarrollado utilizando la plataforma en línea EasyEDA. En las siguientes secciones se detallan el diagrama esquemático y las distintas etapas del diseño de la PCB, abarcando la visualización de la capa superior (ver Figura 17), la capa inferior (ver Figura 18) y el modelo tridimensional de la PCB

tal como se observa en la Figura 19 y 20).

Adicionalmente, se diseñó una PCB dedicada exclusivamente a la fuente de luz (LED) (ver Figura 21), con dimensiones de 1 cm x 1.6 cm, en la cual se encuentra únicamente el LED. Este diseño no solo cumple la función eléctrica, sino que también proporciona soporte mecánico dentro de la estructura fabricada en PLA.

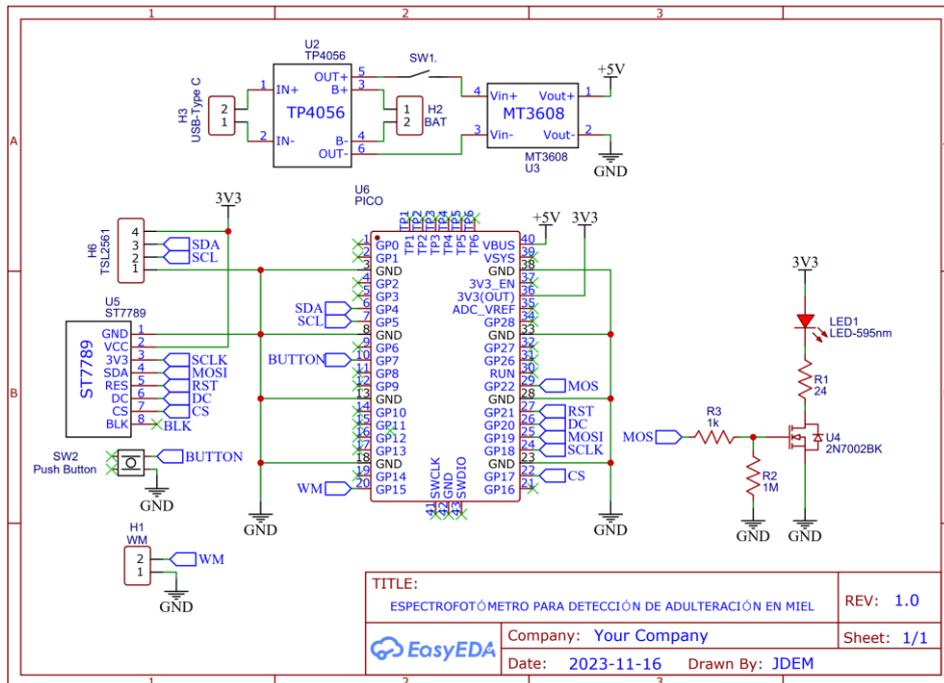


Figura 16. Diagrama esquemático.

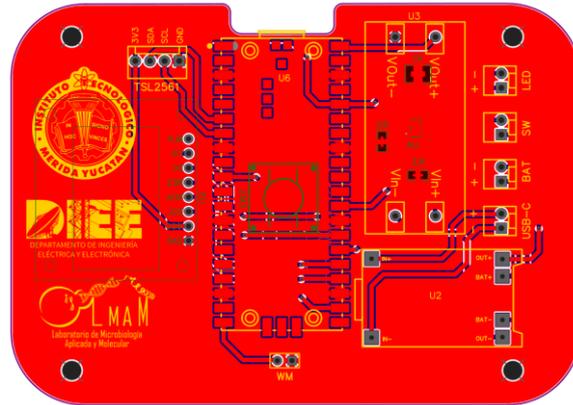


Figura 17. Capa superior de la PCB.

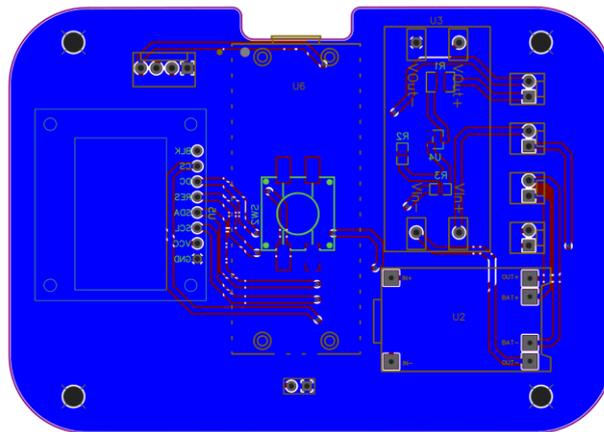


Figura 18. Capa inferior de la PCB.

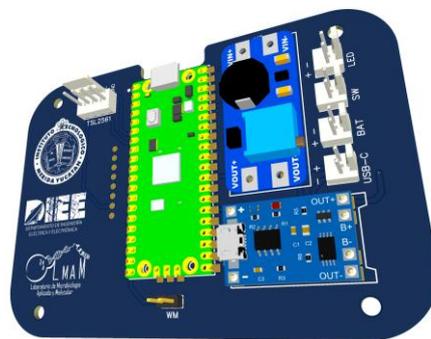


Figura 19. Modelo 3D de la PCB (Cara superior).

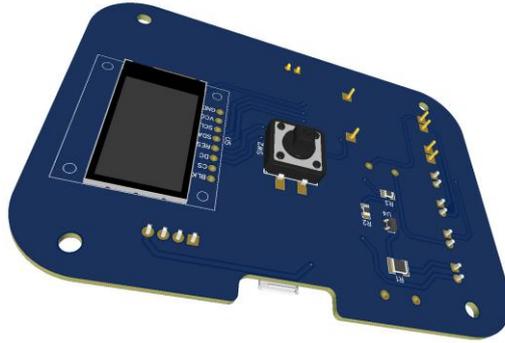


Figura 20. Modelo 3D de la PCB (Cara inferior).

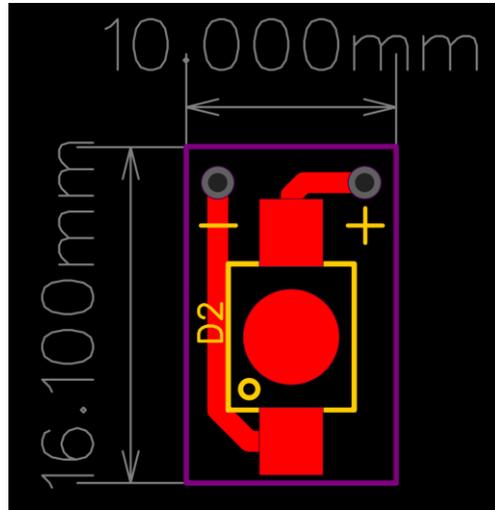


Figura 21. diseño de la PCB del led.

2.9. Diseño 3D del gabinete

El modelo 3D del gabinete (ver Figura 22) se diseñó buscando un estilo moderno que brinde portabilidad y ergonomía al equipo, adaptándose a la tendencia de diseños minimalistas. Para lograr esto, se evitaron ángulos rectos y se optó

por un tamaño portátil pero no demasiado pequeño, incorporando elementos en la interfaz que permiten un uso cómodo del equipo. Como se puede apreciar en las Figuras 23 y 24, el gabinete tiene un tamaño aproximado al de la palma de una mano, buscando que el modelo sea lo más compacto posible.

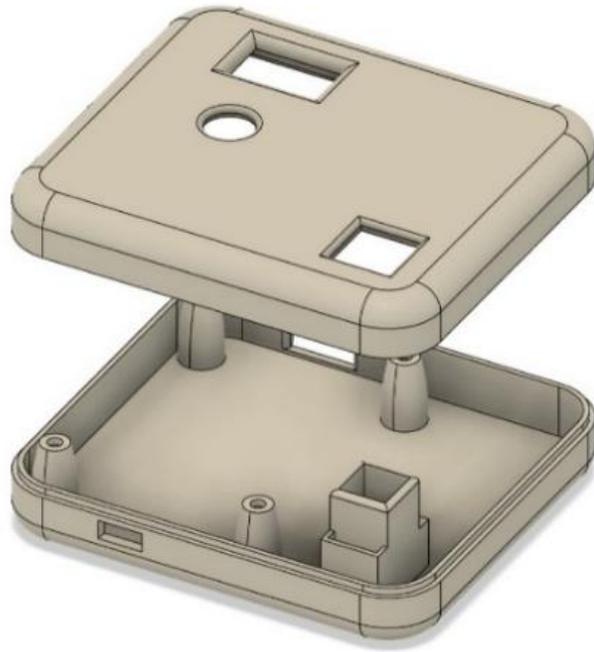


Figura 22. Diseño 3D de la carcasa en Fusion 360.

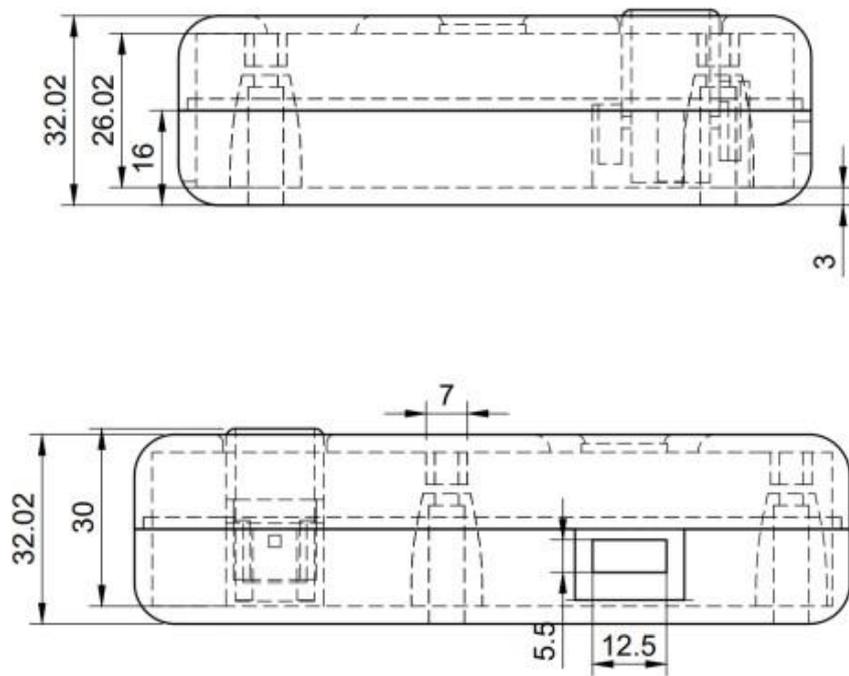


Figura 23. Planos del diseño 3D de la carcasa.

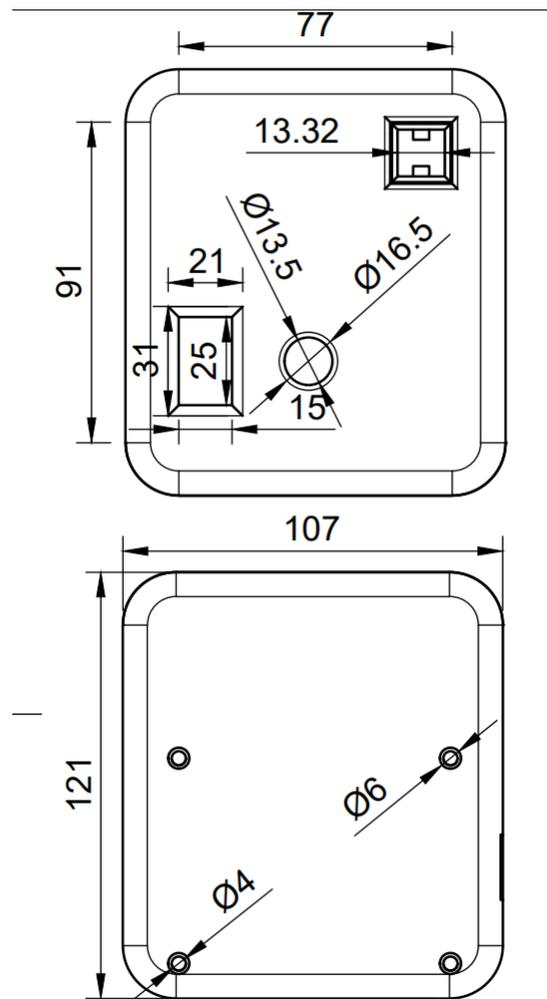


Figura 24. Planos del diseño 3D de la carcasa.

3. Resultados

En esta sección se presentan los resultados obtenidos durante el desarrollo del proyecto, los cuales validan las decisiones técnicas tomadas en cada etapa del diseño e implementación. Los hallazgos evidencian el cumplimiento de los objetivos mediante pruebas funcionales y de calidad realizadas al sistema, destacando cómo cada componente y proceso contribuyó al desempeño final. De este modo, se asegura que los resultados reflejen la efectividad del diseño propuesto y su alineación con los estándares establecidos, respaldando la viabilidad técnica

del proyecto.

3.1. Montaje de las PCB's

El diseño de la PCB incorpora una combinación de componentes de montaje de agujero pasante (THT) y de montaje superficial (SMD), con el propósito de optimizar el espacio y minimizar las dimensiones del dispositivo final. El proceso de ensamblaje comienza con la soldadura de los componentes SMD, dado que presentan una altura reducida en comparación con los THT, como se ilustra en la Figura 25.

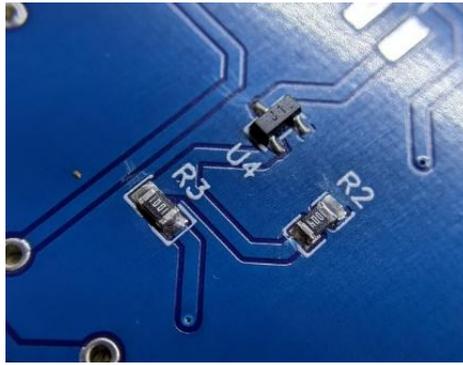


Figura 25. Componentes que conforman la etapa de potencia que activa la fuente de luz.

En la parte superior de la PCB se integraron los módulos TP4056 y MT3608, los cuales fueron ensamblados utilizando una regleta de pines header macho. El microcontrolador Raspberry Pi Pico fue montado en la PCB mediante una configuración de soldadura SMD, aprovechando los terminales diseñados específicamente para

esta técnica en la tarjeta de desarrollo. Además, se utilizaron conectores tipo JST para la interconexión de los componentes externos al circuito. Estos conectores garantizan una conexión rápida, eficiente y confiable. El resultado de este ensamblaje se presenta en la Figura 26.



Figura 26. Montaje de la parte superior de la PCB.

En la parte inferior de la PCB se encuentran diversos componentes SMD, el botón multifuncional y la pantalla encargada de mostrar los resultados de los análisis realizados por el espectrofotómetro. El botón, originalmente diseñado para montaje THT, fue modificado

mediante el doblado de sus terminales para ser ensamblado en configuración SMD. Por otro lado, el display se montó utilizando una regleta de pines header macho. Los resultados de este proceso de ensamblaje se presentan en la Figura 27.

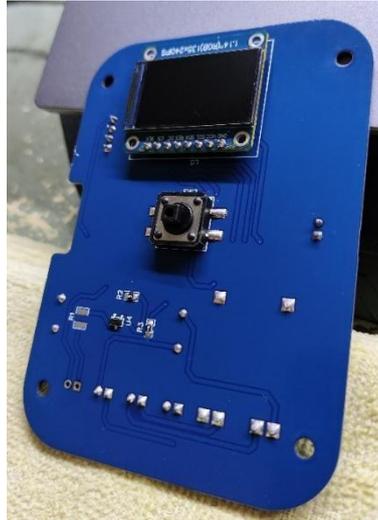


Figura 27. Montaje de la parte inferior de la PCB.

Como se detalló en el desarrollo de este artículo, se diseñó una PCB para la fuente de luz con dimensiones de 1 cm x 1.6 cm. Debido a su tamaño compacto, el ensamblaje se llevó a cabo mediante un proceso de soldadura utilizando una plancha térmica con control de temperatura ajustable. Se aplicó soldadura en pasta, con un punto de fusión de 138 °C, sobre la PCB destinada al LED, y luego se colocó el LED en su posición correspondiente. Posteriormente, se

ajustó la plancha a una temperatura de 150 °C. Una vez alcanzada la temperatura deseada, la PCB se colocó sobre la plancha térmica y se mantuvo durante 10 segundos para completar el proceso de soldadura. Finalmente, se retiró la PCB de la plancha y se dejó enfriar en un ambiente controlado, asegurando una solidificación adecuada de la soldadura. El resultado de este ensamblaje se presenta en la Figura 28.



Figura 28. Montaje de la PCB del LED.

3.2. Montaje del chasis

El primer paso consistió en soldar los cables correspondientes con sus respectivos conectores JST hembra al interruptor, al conector USB tipo

C y a la batería de litio, tal como se ilustra en la Figura 29. Posteriormente, se colocó el LED bicolor, encargado de indicar el proceso de carga y el estado de carga completa, junto con su base de montaje para el chasis, así como se ilustra en la figura 30.



Figura 29. Conexiones eléctricas dentro del chasis.



Figura 30. Colocación del puerto USB tipo C, así como el indicador de carga en el chasis del proyecto.

Para garantizar el cierre del chasis y asegurar que todos los componentes queden integrados en una sola pieza, se utilizaron injertos metálicos para tornillos de métrica M3 (ver Figura 31). Estos injertos se instalaron mediante

un proceso de aplicación de calor, fundiendo el plástico circundante. Una vez enfriados, los injertos proporcionan un excelente soporte mecánico, como se ilustra en la Figura 32.



Figura 31. Injerto metálico con la zona donde será colocado por medio de calor.



Figura 32. Injertos metálicos instalados.

El siguiente paso consistió en la instalación del LED y del sensor de luz en sus ubicaciones designadas, específicamente diseñadas para garantizar el correcto desempeño de sus funciones. Los cables correspondientes se soldaron a cada PCB, asegurando una conexión

eléctrica confiable. Posteriormente, se integraron conectores JST para facilitar una conexión rápida y segura con la PCB principal. Este proceso se detalla en la Figura 33.

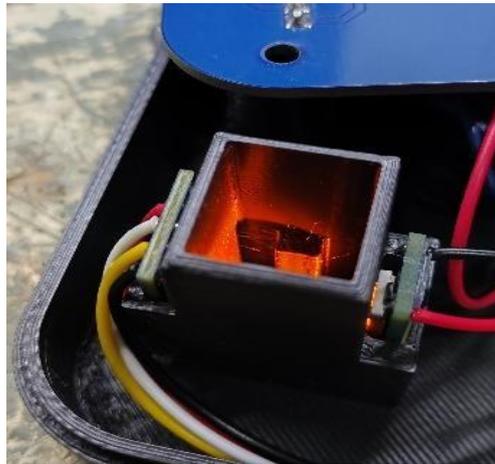


Figura 33. instalación del sensor de luz y led en sus ubicaciones designadas.

3.3. Pruebas de funcionamiento

En este proyecto se evaluaron diferentes muestras de miel utilizando tanto un Biofotómetro Eppendorf como el espectrofotómetro desarrollado en el proyecto, con el objetivo de comparar los resultados y validar la precisión del dispositivo portátil.

Se realizaron tres mediciones por muestra tanto con el Biofotómetro Eppendorf (Expec) como con el dispositivo del proyecto (Proyecto), tal como se observa en la Tabla 1. Cada muestra fue medida bajo las mismas condiciones para ambos dispositivos.

Tabla 1. Resultados obtenidos en el laboratorio.

Miel	Expec 1	Proyecto 1	Expec 2	Proyecto 2	Expec 3	Proyecto 3
R-07	1.278	1.38	1.275	1.2	1.239	1.2
R-01	1.358	1.46	1.333	1.44	1.301	1.44
R-08	1.104	1.13	1.117	1.31	1.074	1.1
L-1018	1.57	1.31	1.613	1.56	1.65	1.56
L-1118	1.528	1.49	1.542	1.25	1.586	1.26
YU-3	1.446	1.21	1.454	1.22	1.442	1.44
YU-1	1.314	1.17	1.332	1.17	1.379	1.4
YU-6	1.273	1.33	1.328	1.25	1.286	1.16
YAOCO-1	1.275	1.35	1.282	1.35	1.259	1.34
YU-7	0.89	1.04	0.868	1.01	0.896	1.05
L-3421	1.382	1.4	1.343	1.35	1.349	1.38

Los valores obtenidos con el espectrofotómetro del proyecto fueron consistentes, presentando una diferencia promedio aceptable en comparación con los resultados del Biofotómetro Eppendorf. La diferencia promedio calculada entre las mediciones de los dispositivos fue de 0.02 unidades de absorbancia que representa un error del 0.4% promedio con una varianza del 10.68%, lo cual es aceptable para la aplicación de detección de adulteración en miel.

Si bien el espectrofotómetro del proyecto no alcanzó la precisión absoluta del dispositivo profesional, los resultados indican que el dispositivo es preciso con una varianza del 10.68%, suficiente para detectar diferencias

significativas en la pureza de la miel. En particular, para las muestras con mayores adulteraciones (valores de absorbancia alejados de la norma), el dispositivo mostró una buena correlación con los resultados del Biofotómetro Eppendorf, como se aprecia gráficamente en las Figuras 34, 35 y 36.

En algunos casos, las diferencias entre los dispositivos fueron más notables, lo que podría deberse a errores humanos, variaciones ambientales o limitaciones en la precisión del sensor empleado en el dispositivo del proyecto. Sin embargo, estas variaciones no afectaron significativamente la conclusión general sobre la adulteración de la miel.

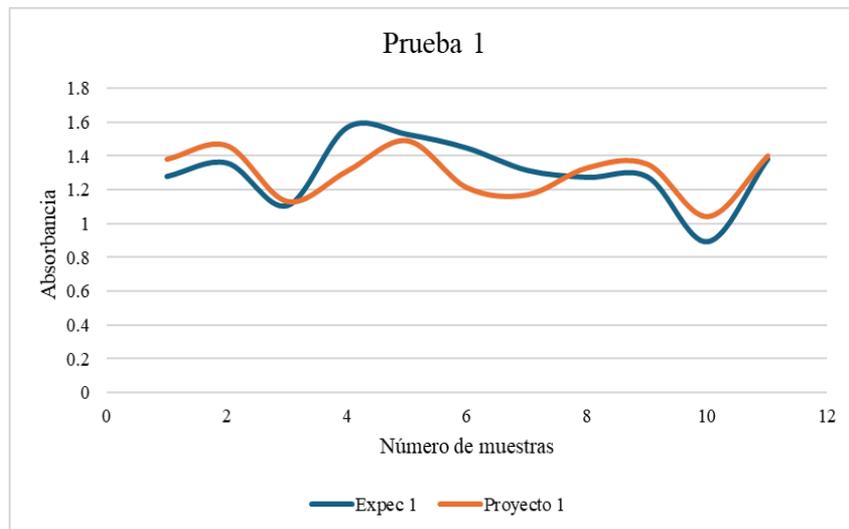


Figura 34. Prueba 1.

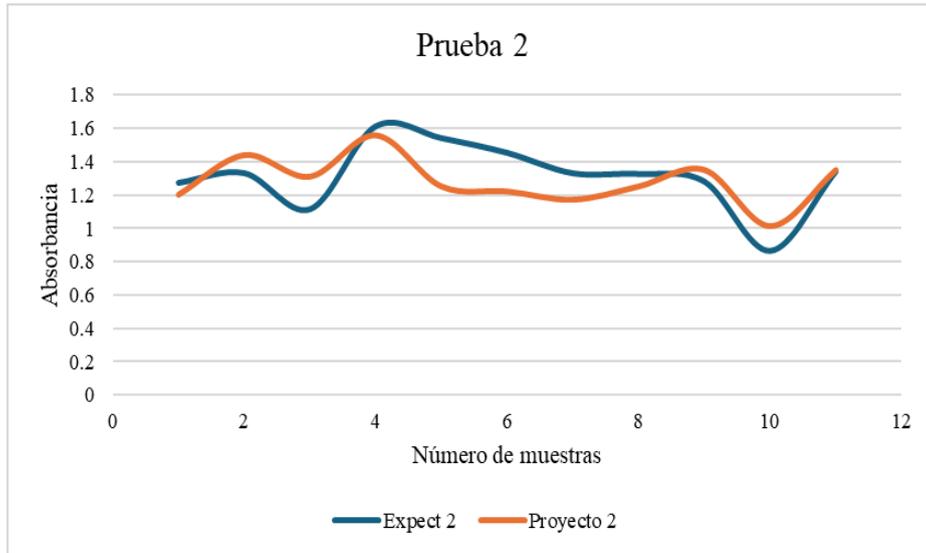


Figura 35. Prueba 2.

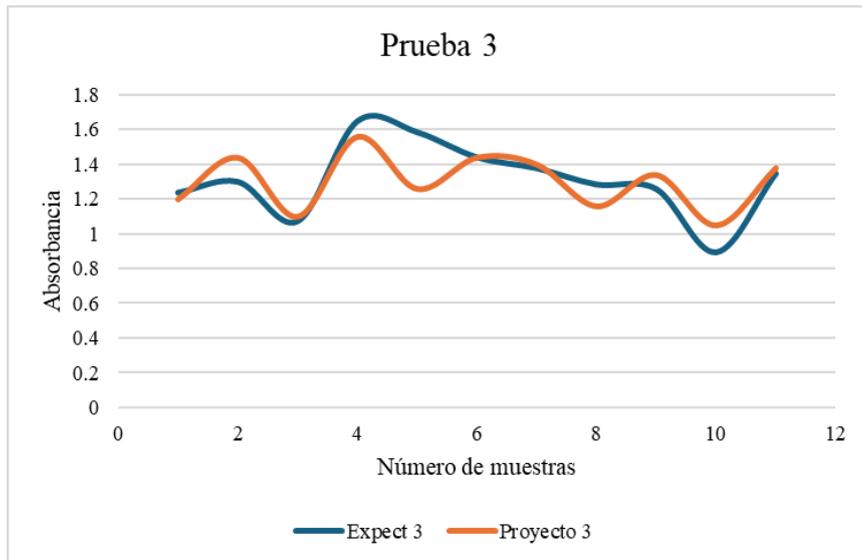


Figura 36. Prueba 3.

3.4. Resultado final

Una vez completadas todas las etapas del proceso de ensamblaje y pruebas de funcionamiento, se

obtuvo el dispositivo finalizado, tal como se muestra en la Figura 37. El resultado es un sistema completamente ensamblado que cumple con las especificaciones funcionales y técnicas para las cuales fue diseñado.



Figura 37. Resultado final del ensamblaje del proyecto.

4. Conclusiones

Nuestro trabajo demuestra que es posible desarrollar herramientas precisas y funcionales para detectar adulteraciones en productos alimenticios, como la miel, contribuyendo significativamente al control de calidad en la industria apícola. Este espectrofotómetro portátil permite a los productores y exportadores garantizar la pureza del producto, aumentando la confianza de los consumidores y fortaleciendo la competitividad en mercados internacionales.

Además de cumplir con los objetivos planteados, el dispositivo destaca por su diseño modular y

su enfoque en la facilidad de uso, lo que lo convierte en una herramienta versátil tanto para validaciones rápidas como para análisis más detallados. Este proyecto sienta las bases para futuros desarrollos tecnológicos en el ámbito de la espectrofotometría portátil.

En trabajos futuros, se buscará mejorar el dispositivo mediante la incorporación de conectividad inalámbrica, como Wi-Fi o Bluetooth, para la transmisión y almacenamiento en tiempo real de los datos recolectados. También se plantea explorar la posibilidad de adaptar el equipo para analizar otros productos líquidos, expandiendo su aplicación a nuevas industrias y mercados.

5. Referencias

- [1] Gobierno de México, «Apicultura, actividad de gran importancia económica y social en Yucatán,» 2017. [En línea]. Available: <https://www.gob.mx/agricultura%7Cyucatan/articulos/apicultura-actividad-de-gran-importancia-economica-y-social-en-yucatan#:~:text=en%20el%20mundo.-,La%20apicultura%20es%20una%20de%20las%20actividades%20agropecuarias%20de%20enor,principalmente%20a%20la%2>.
- [2] M. L. García Pérez y C. Fong Reynoso, «Los sistemas de información como estrategia contra la adulteración de la miel mexicana,» 2023. [En línea]. Available: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2395-91692023000200113.
- [3] D. Castillo, «¿Cuáles son los riesgos de comer miel "pirata"?» [En línea]. Available: <https://www.eluniversal.com.mx/menu/cuales-son-los-riesgos-de-comer-miel-pirata/>.
- [4] N. Avendaño Troncoso y . V. González Salinas, «Cuantificación de proteínas mediante método Bradford,» 2019. [En línea]. Available: https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/88881826/Lab_4_Cuantificacion_04_1_.docx-libre.pdf?1658563013=&response-content-

[disposition=inline%3B+filename%3DCuantificacion_de_proteinas_mediante_met.pdf&Expires=1743965354&Signature=Wq7XQM0WINyGYVSGyKZ46z-ITdysCI.](https://www.researchgate.net/publication/383868466_Insight_into_the_Bouguer-Beer-Lambert_Law_A_review)

- [5] M. Kayanda Kiteto y C. Achisa Mecha, «Insight into the Bouguer-Beer-Lambert Law: A review,» 2024. [En línea]. Available: https://www.researchgate.net/publication/383868466_Insight_into_the_Bouguer-Beer-Lambert_Law_A_review.
- [6] INSTRUMENTACIÓN CIENTÍFICA TÉCNICA, S.L., «Biofotómetros Eppendorf,» [En línea]. Available: <https://www.ictsl.net/productos/aparatos/0000009f3a13199b9.html>.
- [7] Raspberry Pi Pico Datasheet, «Raspberry Pi,» 2024. [En línea]. Available: <https://datasheets.raspberrypi.com/pico/pico-datasheet.pdf>. [Último acceso: 1 Diciembre 2024].
- [8] MT3608 Datasheet, «AEROSEMI,» [En línea]. Available: <https://www.olimex.com/Products/Breadboarding/BB-PWR-3608/resources/MT3608.pdf>. [Último acceso: 1 Diciembre 2024].
- [9] TLS2561 Datasheet, «TAOS,» 2024. [En línea]. Available: <https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/TSL2561.pdf>. [Último acceso: 1 Diciembre 2024].
- [10] . M. LeBlanc Williams, «Adafruit 1.14" 240x135 Color TFT Breakout LCD Display,» 2025. [En línea]. Available: <https://cdn-learn.adafruit.com/downloads/pdf/adafruit-1-14-240x135-color-tft-breakout.pdf>.
- [11] LY W5SN Datasheet, «OSRAM Opto Semiconductors,» 2010. [En línea]. Available: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/1038343/OSRAM/LY-W5SN.html>. [Último acceso: 1 Diciembre 2024].
- [12] TP4056 Datasheet, «NanJing Top Power ASIC Corp.,» 2024. [En línea]. Available: <https://dlnmh9ip6v2uc.cloudfront.net/datasheets/Prototyping/TP4056.pdf>. [Último acceso: 1 Diciembre 2024].
- [13] Tafere, D. A., Chemical composition and uses of Honey: A Review, vol. 4, Research, Journal of Food Science and Nutrition, 2021, pp. 194-201.
- [14] Ramón-Sierra, J. M.; Martínez-Guevara, J. L.; Pool-Yam, L.; Magaña-Ortiz, D.; Yam-Puc, A.; Ortiz-Vázquez, E., Effects of phenolic and protein extracts from Melipona beecheii honey on pathogenic strains of Escherichia coli and Staphylococcus aureus, vol. 29, Food Science and Biotechnology, 2020, pp. 1013-1021.