



**UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
**CARRERA COMPUTACIÓN**

**TRABAJO DE TITULACIÓN COMO REQUISITO PREVIO**  
**PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE**  
**INGENIERO EN CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN**

**PROTOTIPO DE CAJA FERMENTADORA AUTOMATIZADA**  
**PARA CACAO EN LA FINCA “MENDOZA” DEL CANTÓN**  
**NARANJAL**

AUTORES:

**MENDOZA ORDOÑEZ GABRIELA ANDREA**  
**ROSALES CHAVEZ DIEGO JAVIER**

TUTOR:

**ING. MEDINA ROBAYO ANDRES ISRAEL, MSc.**

NARANJAL, ECUADOR

2026

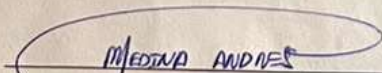


**UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
**PROGRAMA REGIONAL DE ENSEÑANZA NARANJAL**  
**CARRERA COMPUTACIÓN**

**APROBACIÓN DEL TUTOR**

El suscrito, docente de la Universidad Agraria del Ecuador, en mi calidad de Tutor, certifico que el presente trabajo de titulación: **PROTOTIPO DE CAJA FERMENTADORA AUTOMATIZADA PARA CACAO EN LA FINCA "MENDOZA" DEL CANTÓN NARANJAL**, realizado por los estudiantes **MENDOZA ORDOÑEZ GABRIELA ANDREA**; con cédula de identidad N° 0929429181 y **ROSALES CHAVEZ DIEGO JAVIER**; con cédula de identidad N° 0955907746 de la carrera **COMPUTACIÓN**, Facultad de Ciencias Agrarias **PROGRAMA REGIONAL DE ENSEÑANZA NARANJAL**, ha sido orientado y revisado durante su ejecución; y cumple con los requisitos técnicos y legales exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador; por lo tanto, se aprueba la presentación del mismo.

Atentamente,

  
Ing. Medina Robayo Andres Israel, Msc.

Naranjal, 9 de junio del 2026



**UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
**PROGRAMA REGIONAL DE ENSEÑANZA NARANJAL**  
**CARRERA COMPUTACIÓN**

**APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

Los abajo firmantes, docentes designados por el H. Consejo Directivo como miembros del Tribunal de Sustentación, aprobamos la defensa del trabajo de titulación: "PROTOTIPO DE CAJA FERMENTADORA AUTOMATIZADA PARA CACAO EN LA FINCA "MENDOZA" DEL CANTÓN NARANJAL", realizado por los estudiantes **MENDOZA ORDOÑEZ GABRIELA ANDREA Y ROSALES CHAVEZ DIEGO JAVIER**, el mismo que cumple con los requisitos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador.

Atentamente,

Ing. Beltrán Rosero Diego, M.Sc.

**PRESIDENTE**

Ing. Lascano Montes Ariana, M.Sc.

**EXAMINADOR PRINCIPAL**

Ing. Ostalza Clavijo Ginger, M.Sc.

**EXAMINADOR PRINCIPAL**

Ing. Medina Robayo Andres, M.Sc.

**EXAMINADOR SUPLENTE**

Guayaquil, 9 de junio del 2026

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo de investigación con profundo amor y agradecimiento primero a Dios quien guía cada paso, a mi padre Rodolfo Fernando Mendoza Fernández y a mi madre Mérida Lucia Ordoñez Toledo por su amor incondicional, por su dedicación constante, por creer en mí en los momentos más difíciles, por ser quienes han sido un apoyo inquebrantable a lo largo de este camino académico y personal. Su ejemplo de esfuerzo, responsabilidad y perseverancia me ha enseñado que con disciplina y perseverancia es posible alcanzar cualquier objetivo.

A mi hermano Jhon Mendoza Ordoñez por compartir conmigo cada paso del camino y apoyo.

De manera muy especial a mis dos hijas Aitana y Ainara, que son mi mayor motivación, fortaleza diaria y la razón más pura para superarme cada día, cada sacrificio lleva sus nombres porque le dan sentido a todo mi esfuerzo.

Este trabajo representa no solo el cumplimiento de una meta académica, sino también un reflejo de amor, unión y apoyo incondicional de mi familia.

A todos ustedes este logro, desde el fondo de mi corazón.

**Gabriela Mendoza O.**

## **DEDICATORIA**

Dedico esta tesis, en primer lugar, a Dios, por acompañarme y darme la fuerza necesaria para culminar esta etapa tan importante de mi vida. A mi mamá Doris Chávez, por su amor incondicional, su apoyo constante y por ser fundamental en cada momento de mi formación académica y personal. A mi papá Alex Rosales, por su apoyo, sus consejos y la ayuda económica brindada durante todo este proceso, la cual me permitió continuar y concluir mis estudios. A mis hermanos, por su compañía y palabras de ánimo que hicieron más llevadero este camino. Este logro es fruto de los sacrificios, el respaldo y la confianza de mi familia, quienes siempre estuvieron presentes. A todos ellos, dedico esta tesis con sincero agradecimiento.

**Diego Rosales C.**

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, expreso mi más profundo agradecimiento a Dios por sus infinitas bendiciones, por darme la fuerza, sabiduría para culminar este trabajo de investigación y potenciar mi formación académica y personal.

A mis padres por ese empujoncito constante que me dieron para culminar mis estudios y diciéndome cada día que no es tarde para volver empezar y superar todos los desafíos de este proceso, su amor y valores que me inculcaron.

A mis hijas por tener esa capacidad de entender que mama tenía que dejarlas solas para un futuro mejor.

De manera especial a mi tutor de tesis Ing. Andrés Medina Robayo, Msc., por su instrucciones, apoyo y valioso aporte profesional, que fueron fundamentales para el desarrollo y culminación de este trabajo de investigación.

Para concluir, expreso mi agradecimiento a la Institución Educativa Universidad Agraria Del Ecuador por brindarme las instalaciones, recursos y oportunidades necesarias para este logro académico, así como a todas las personas que directa o indirectamente colaboraron en la creación de este trabajo.

**Gabriela Mendoza O.**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por darme la fuerza, la sabiduría y la claridad necesarias para culminar esta etapa tan importante de mi vida. A mis padres, gracias por su apoyo constante, su comprensión y por estar siempre presentes en cada paso de mi formación académica. A mis hermanos, por sus palabras de ánimo, su compañía y por ser parte fundamental de este camino.

De manera especial, agradezco a mi amiga Nahomy, por su amistad sincera, su apoyo incondicional y por motivarme cuando más lo necesitaba. También quiero agradecer a mi amiga Puchis, por su apoyo, sus palabras de aliento y por estar presente en momentos importantes durante este proceso.

A Génesis, una persona muy especial e importante en mi vida, le agradezco por su apoyo, por los momentos compartidos y por haber sido parte de este camino. A pesar de las dificultades que hemos podido enfrentar, valoro mucho su presencia y el cariño que le tengo. También quiero agradecer a mi compañera de tesis Gabriela, por el trabajo en equipo, el compromiso y la dedicación que hicieron posible cumplir con este proyecto. Finalmente, agradezco a todas las personas que, de una u otra forma, contribuyeron a este logro. Cada palabra de apoyo, consejo y gesto de ayuda fue parte importante para llegar hasta aquí.

**Diego Rosales C.**

### Autorización de Autoría Intelectual

Nosotros, MENDOZA ORDOÑEZ GABRIELA ANDREA Y ROSALES CHAVEZ DIEGO JAVIER, en calidad de autores del proyecto realizado, sobre: "PROTOTIPO DE CAJA FERMENTADORA AUTOMATIZADA PARA CACAO EN LA FINCA "MENDOZA" DEL CANTÓN NARANJAL", para optar el título de INGENIERO/A EN CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN, por la presente autorizo a la UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR, hacer uso de todos los contenidos que me pertenecen o parte de los que contienen esta obra, con fines estrictamente académicos o de investigación.

Los derechos que como autor(a) me correspondan, con excepción de la presente autorización, seguirán vigentes a mi favor, de conformidad con lo establecido en los artículos 5, 6, 8; 19 y demás pertinentes de la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento.

Naranjal, 9 de junio del 2026

Gabriela Mendoza O.

Mendoza Ordoñez Gabriela Andrea

C.I: 0929429181

Diego Rosales

Rosales Chavez Diego Javier

C.I: 0955907746

## Resumen

La implementación de un sistema tecnológico para el monitoreo del proceso de fermentación del cacao, proporcionan una identificación más clara de los factores que afectan directamente al proceso de fermentación de cacao, ya que esta el ser un proceso que requiere principalmente la experiencia de un usuario para su correcto proceso no siempre se contara con la presencia de la persona durante este ciclo siendo esta una de las etapas más críticas para la obtención de un buen grano. La utilización y uso tradicionales que no generan el resultado que se requiere para que el cacao llegue a su punto de eficiencia y aroma, ya que no se cumplen los parámetros suficientes. La finalidad de este proyecto es sellar la brecha digital, demostrando que con la implementación de nuevas tecnologías pueden generar buenos y mejores resultados en los procesos que se lleven a cabo en los cultivos.

**Palabras clave:** *brecha digital, eficiencia, implementación, procesos, sistema tecnológico.*

### **Abstract**

Implementing a technological system to monitor the cacao fermentation process provides a clearer understanding of the factors directly affecting it. Since this process primarily requires user expertise for its proper execution, the individual will not always be present during this critical stage, which is essential for obtaining high-quality beans. Traditional methods in this process do not achieve the desired results for the cacao to reach its optimal efficiency and aroma, as they fail to meet sufficient parameters. The aim of this project is to bridge the digital divide and demonstrate that implementing new technologies can generate positive and improved results in cacao cultivation processes.

**Keywords:** *digital divide, implementation, processes, technological system.*

**ÍNDICE GENERAL**

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>14</b>
1.1 Antecedentes del problema .....	14
1.2 Planteamiento y formulación del problema.....	15
1.3 Justificación de la investigación .....	16
1.4 Delimitación de la investigación .....	17
1.5 Objetivo general .....	18
1.6 Objetivos específicos.....	18
<b>2. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>19</b>
2.1 Estado del arte .....	19
2.2 Bases científicas y teóricas de la temática .....	20
2.3 Marco legal.....	26
<b>3. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>28</b>
3.1 Enfoque de investigación .....	28
3.2 Metodología.....	28
<b>4. RESULTADOS.....</b>	<b>33</b>
<b>5. DISCUSIÓN.....</b>	<b>39</b>
<b>6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>41</b>
6.1. Conclusiones.....	41
6.2. Recomendaciones.....	42
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>43</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>46</b>

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo N° 1:</b> Figura 1. Termocupla tipo k.....	46
<b>Anexo N° 2:</b> Figura 2. Sensor de PH-4502C .....	46
<b>Anexo N° 3:</b> Figura 3. Diagrama de flujo .....	47
<b>Anexo N° 4:</b> Figura 4. Placa Esp32 .....	47
<b>Anexo N° 5:</b> Figura 5. Modulo relé .....	48
<b>Anexo N° 6:</b> Figura 6. Sensor CO2 - SCD30.....	48
<b>Anexo N° 7:</b> Figura 7. Motor 220V.....	49
<b>Anexo N° 8:</b> Figura 8. Pantalla Oled.....	49
<b>Anexo N° 9:</b> Figura 9. Componentes en el software Fritzing.....	50
<b>Anexo N° 10:</b> Figura 10. Diagrama UML del sistema a implementar .....	50
<b>Anexo N° 11:</b> Figura 11. Ventana principal de la aplicación móvil.....	51
<b>Anexo N° 12:</b> Figura 12. Ventana Secundaria de la aplicación móvil.....	51
<b>Anexo N° 13:</b> Figura 13. Codificación de la app desarrollada en la plataforma Flutter .....	52
<b>Anexo N° 14:</b> Figura 14. Base de datos del sistema .....	52
<b>Anexo N° 15:</b> Figura 15. Codificación del sistema en Idle Arduino de la app desarrollada en la plataforma Flutter .....	53
<b>Anexo N° 16:</b> Figura 16. Validación de los datos del sistema .....	53
<b>Anexo N° 17:</b> Figura 17. Encuesta realizada al propietario de la fincaificación del sistema en Idle Arduino .....	54
<b>Anexo N° 18:</b> Figura 18. Entrevista a trabajador .....	54
<b>Anexo N° 19:</b> Figura 19. Implementacion del prototipo junto con el tutor responsable .....	55
<b>Anexo N° 20:</b> Tabla 1. Componentes básicos para implementación .....	56
<b>Anexo N° 21:</b> Tabla 2. Componentes Electrónicos para el prototipo.....	56
<b>Anexo N° 22:</b> Tabla 3. Resultados de la encuesta realizada al propietario de la finca “Mendoza” .....	57
<b>Anexo N° 23:</b> Tabla 4. Datos Recolectados mediante la implementación del sistema.....	58

**INDICE DE APÉNDICES**

<b>Apéndice N° 1: Manual de usuario.....</b>	<b>71</b>
<b>Apéndice N° 2: Manual Técnico.....</b>	<b>88</b>

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Antecedentes del problema

La fermentación del cacao es una de las etapas más críticas en la producción de granos de calidad, ya que define en gran medida el perfil organoléptico final del chocolate, afectando características como el aroma, sabor y acidez. Tradicionalmente, este proceso se realiza de manera manual en cajas de madera, dependiendo principalmente de la experiencia del agricultor, las condiciones ambientales y el seguimiento empírico. En la finca "Mendoza", ubicada en el cantón Naranjal, este método artesanal presentó desafíos significativos en términos de uniformidad, eficiencia y control de variables críticas durante la fermentación.

La producción de cacao es una de las bases de mayor generación económica del país, se estima que una de las regiones que tiene mayor cultivo de este fruto es América Latina al contar con más de 400 mil hectáreas.

El proceso fermentativo consta de tres etapas importantes, la primera es la fermentación anaeróbica mediante la utilización de sensores (humedad y temperatura), la segunda la fermentación aerobia mediante sensores de (PH) y la tercera es la etapa oxidativa con la utilización de sensores de (humedad) para que se dé la descomposición interna del grano y se liberen pigmentos y compuestos como los polifenoles y alcaloides que junto con las enzimas endógenas incluidas la invertasa, glucosidasa, proteasa y polifenol oxidasa, generen precursores de sabor, olor y color. A lo largo de estas etapas la población microbiológica varía asociada a factores como la temperatura y pH. (García, 2021)

Los principales productores de cacao se encuentran ubicados en el continente africano (Ghana y Costa de Marfil), que contribuyen aproximadamente con el 70% de la producción mundial. En América, la producción se enfoca en cultivos de cacao fino y de aroma, especialmente en países como Ecuador, Perú, Brasil, Colombia, México, entre otros.

La falta de un control estricto de estos parámetros en la finca Mendoza generó inconsistencias en la calidad del cacao fermentado, afectando su valor comercial, especialmente en mercados donde se exigían diferentes estándares de calidad. La implementación del prototipo de caja de fermentación automatizada permitió registrar datos precisos de las variables (temperatura, oxígeno y PH), realizar ajustes automáticos en el proceso (aireación, volteo y

control térmico), generar historial de datos sobre variables de información que contribuyeron a la optimización de la producción posterior.

En los últimos años, los avances en sistemas de monitoreo y automatización de sistemas de fermentación han permitido el desarrollo de soluciones tecnológicas aplicadas al control de procesos agroindustriales. La automatización de la fermentación del cacao mediante un prototipo de caja fermentadora controlada permitió intervenir y regular de forma precisa las variables físicas y químicas que afectan el desarrollo microbiano y bioquímico de los granos. Entre estas variables, destacan:

**Temperatura:** La fermentación genera calor debido a la actividad microbiana. Un rango óptimo de temperatura (generalmente entre 45°C y 50°C) es esencial para garantizar una fermentación adecuada sin dañar las semillas.

**Humedad relativa:** Controlar la humedad evitó la desecación prematura o el exceso de humedad que emite el crecimiento de mohos.

**Concentración de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>):** La acumulación de CO<sub>2</sub> puede afectar negativamente la actividad microbiana, por lo que su monitoreo permitió evaluar la correcta aireación durante el proceso.

**pH:** Los cambios en el pH indicó el desarrollo de ácidos orgánicos esenciales para la descomposición de la pulpa mucilaginosa y la transformación de los precursores de sabor (Sandoval, 2020).

## **1.2 Planteamiento y formulación del problema**

### ***1.2.1 Planteamiento del problema***

Debido a la alta demanda del cacao, los proveedores y distribuidores se centraron en mejorar la productividad y calidad, en algunos casos este fue exportado sin el proceso de fermentación generando una pérdida en el valor comercial generado.

En la finca “Mendoza” el proceso de fermentación del cacao se vio intervenido por las variaciones climáticas que se presentaron actualmente en el país. Esto obligó al propietario a no realizar este proceso y proceder con la venta rápida generando una pérdida significativa en sus ingresos.

El tiempo de fermentación del cacao es de 5 a 7 días, Para este proceso el cacao se almacena en contenedores de madera, siendo comprimido e

impidiendo la entrada del aire, para un correcto proceso se debió cumplir las siguientes condiciones climáticas las cuales son de 40°C – 50°C de Temperatura y por debajo del 80% de humedad mientras que su grado de PH debe de estar en el rango de 5.0 a 5.5 y fue crucial llevar estas variables para obtener un buen resultado y un grano más sobresaliente en olor y sabor.

El propósito de este prototipo surge de la problemática del proceso tradicional de fermentación del cacao, donde la falta de variables como Temperatura, PH y CO<sub>2</sub> genera condiciones inestables y variaciones en la calidad del grano. Por ello, se planteó desarrollar un sistema de monitoreo que permita optimizar las condiciones del proceso y facilitar la toma de decisiones ante cambios ambientales, aportando mayor precisión y confiabilidad al proceso productivo.

### **1.2.2 Formulación del problema**

Una vez identificada la problemática presente en la finca “Mendoza”, se plantea la siguiente pregunta:

¿Cuál es la efectividad del prototipo automatizado en el monitoreo y control del proceso de fermentación del cacao en la finca “Mendoza” ubicada en vía Botija Paqui en el cantón Naranjal, provincia del Guayas?

### **1.3 Justificación de la investigación**

El presente proyecto consistió en el diseño e implementación de una caja fermentadora hermética con dimensiones de 1.5 m de largo, 1 m de ancho y 1.13 m de alto, destinada a permitir el desarrollo adecuado del proceso de fermentación del cacao. Estas dimensiones fueron establecidas considerando que, para una fermentación eficiente, el cacao debe mantenerse en condiciones controladas que favorezcan el incremento de la temperatura y la actividad microbiológica necesaria para la transformación del grano.

Tradicionalmente, la fermentación del cacao se ha realizado en cajas de madera, dependiendo en gran medida de la experiencia del productor y de las condiciones ambientales del entorno. Este método manual presentó como principal limitación la variabilidad en el control de variables críticas como la temperatura, la concentración de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y el pH, factores determinantes para el desarrollo adecuado del proceso fermentativo.

En el sistema tradicional, el proceso de fermentación se extendió entre 6 y 8 días, requiriendo revisiones periódicas, volteos manuales y sin un monitoreo continuo de las condiciones internas de la masa. Esta falta de control generó variaciones en la calidad de los lotes, mayor esfuerzo operativo y la posibilidad de fermentaciones incompletas o no homogéneas.

La implementación del sistema de monitoreo permitió el registro continuo de las variables internas, facilitando el control del proceso y la toma de decisiones oportunas. El mantenimiento de los parámetros dentro de rangos adecuados contribuyó a optimizar las condiciones micro ambientales de la fermentación, reduciendo desviaciones y mejorando la estabilidad del proceso.

Asimismo, la automatización del monitoreo disminuyó la intervención manual, redujo el margen de error humano y favoreció una mayor uniformidad en la calidad del cacao fermentado. La disponibilidad de información en tiempo real permitió al productor conocer el estado del proceso sin necesidad de realizar inspecciones constantes.

Desde el punto de vista productivo y comercial, el control de las condiciones de fermentación permitió mejorar la consistencia del grano, facilitando el cumplimiento de los estándares de calidad requeridos por el mercado. Esto contribuyó a optimizar el ciclo de producción, mejorar los tiempos de comercialización y aumentar la competitividad del producto.

Adicionalmente, el proyecto aportó al ámbito tecnológico mediante la aplicación de tecnologías de monitoreo basadas en sensores e integración con sistemas de almacenamiento y visualización de datos, promoviendo el uso de herramientas de automatización en procesos postcosecha del sector agrícola.

En este contexto, la implementación del sistema representó una alternativa tecnológica viable para mejorar el control del proceso de fermentación del cacao en la finca “Mendoza”, contribuyendo a la modernización de las prácticas productivas y a la generación de información útil para la mejora continua del proceso.

#### **1.4 Delimitación de la investigación**

- **Espacio:** Este trabajo se llevó a cabo en la finca “Mendoza”, ubicada en la vía Botija Paqui en el cantón Naranjal, provincia del Guayas. El área de trabajo fue de 20 metros, donde se instaló el prototipo de monitoreo de calidad del cacao.

- **Tiempo:** El presente trabajo de titulación tuvo un tiempo de 7 meses, desde el 7 de mayo del 2025 hasta el 1 de enero del 2026.
- **Población:** La finca “Mendoza” cuenta con el señor propietario Rodolfo Fernando Mendoza Fernández y actualmente con 3 trabajadores a los cuales se les aplicaron encuesta para la recolección de datos que nos ayudó a enfocar nuestro prototipo a sus necesidades.

### 1.5 Objetivo general

Desarrollar un prototipo automatizado para el proceso de fermentación del cacao mediante la aplicación de componentes electrónicos y procesos electromecánicos en la finca “Mendoza” ubicada en la vía Botija Paqui en el cantón Naranjal, provincia del Guayas.

### 1.6 Objetivos específicos

- Analizar las variables que influyeron en el proceso de fermentación del cacao mediante encuestas y consultas a trabajadores de la finca.
- Diseñar la arquitectura del prototipo electrónico utilizando Fritzing y diagramas UML para la comprensión del modelo y el funcionamiento del sistema de monitoreo.
- Desarrollar una aplicación móvil en Flutter para la visualización de los datos del proceso de fermentación.
- Implementar una base de datos SQL para el registro y almacenamiento eficiente de las variables (temperatura, humedad, y pH) recolectadas durante el proceso de fermentación.
- Validar la efectividad del prototipo de monitoreo comparando los datos recolectados con los parámetros óptimos de fermentación del cacao, y propusieron mejoras en el proceso para reducir la intervención manual y optimizar la calidad del cacao fermentado en la Finca “Mendoza”.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Estado del arte

La fermentación de cacao es la actividad principal y fundamental para mejorar la calidad de las almendras de cacao y, por lo tanto, en el chocolate, lo que tiene ventajas significativas para la industria alimentaria. El fermento no solo mejora el sabor del cacao, sino que también reduce la acidez y la amargura, mejora el perfil de sabor, lo convierte y lo hace más cómodo para el paladar y comercialmente atractivo.

La fermentación microbiana causa la muerte del embrión de cacao y causa reacciones bioquímicas en el cacao, lo que crea compuestos precursores aromáticos que tienen un efecto positivo en el sabor a chocolate, excluyendo adicionalmente el moco. El cacao fresco de cacao (CCF) y el moco tienen una variedad de propiedades físicas químicas, incluido el porcentaje de agua de 32, 4% de CCF y 79.20% a 84.20% muchos, 2.5% de azúcar CCF y hasta 15.90% de mucosa. Existen diferentes tipos de fermentación, pero el cacao incluye diferentes fenómenos, uno son reacciones bioquímicas internas en los gérmenes de granos y la otra fermentación microbiana (Celi y Chamorro, 2024).

La falta de reproducibilidad en la fermentación tradicional del cacao puede causar variaciones en las propiedades organolépticas del chocolate y es un desafío para mantener estándares uniformes. El impacto de la fermentación y los cultivos en la producción de chocolate ofrece un panorama general de factores que afecta su calidad organoléptica y se enfatiza la importancia de la fermentación y sus factores críticos.

La fermentación mejora la descomposición de la masa, aumenta la producción de los metabolitos deseados y enriqueciendo el sabor y aroma del chocolate. Finalmente, la introducción de las culturas de la iniciativa es la clave para mejorar la calidad y la consistencia del chocolate, lo que promueve la producción de chocolate de alta calidad (Rosales, García, Pérez y Contreras, 2024).

Los dispositivos de fermentación en términos de tipos, propiedades, formas y capacidades que son más adecuadas para el método de pobre agribusiness en la región de San Martín son fermentos de tambor giratorios de acero inoxidable metálico, que contiene un diseño de cuchilla que le da resultados en organolépticos.

Además, implica la inclusión de nuevas tecnologías, como sensores como el pH, la humedad y la temperatura asociados con la medición del software de recepción y tratamiento de datos, provoca alarmas o mecanismos regulatorios y de control para realizar el movimiento especificado (Ríos y Levano, 2022).

La tecnología IoT, consiste en una red de dispositivos interconectados que se comunican a través de internet para recopilar, analizar y compartir información en tiempo real, también encuentra aplicaciones en la acuaponía. En este campo, la tecnología IoT se emplea para monitorear y controlar parámetros críticos del sistema, como la calidad del agua, la temperatura y el pH (Arce y Valle, 2023).

La tecnología de los sensores juega un papel importante en la supervisión, lo que permite mediciones precisas y reales del entorno vegetal y las condiciones nutricionales. El tamaño específico de cada entorno de cultivo debe verificarse con precisión para garantizar un crecimiento óptimo de la planta. El objetivo es analizar los sistemas de información, teniendo en cuenta las restricciones en los cultivos. Estudios previos relacionados con el monitoreo, el control del clima, el uso y la ubicación del sensor en fermentado, análisis de datos y sistemas de control automatizados basados en la información obtenida (Restrepo, Paez y Peña, 2024).

Muchas aplicaciones móviles diseñadas para agricultores se basan en sistemas en la nube para almacenar datos y ofrecer servicios como recomendaciones de cultivos, seguimiento de inventario, gestión de la mano de obra y acceso a información sobre precios de productos.

La combinación de sistemas en las bases de datos con tecnologías como el IoT y la Inteligencia Artificial (IA) ha llevado a avances en la agricultura inteligente y la automatización. Los agricultores pueden monitorear y controlar de forma remota equipos agrícolas, sistemas de riego y condiciones ambientales en tiempo real, lo que les permite optimizar el uso de recursos y maximizar el rendimiento de los cultivos (Bowen y Medranda, 2024).

## **2.2 Bases científicas y teóricas de la temática**

### **2.2.1 Sistemas de monitoreo**

Los sistemas de monitoreo y de evaluación son herramientas de gestión responsables de proporcionar información sobre el rendimiento, para facilitar la toma de decisiones y mejorar las intervenciones y las autoridades públicas. Estos sistemas, que están estrechamente vinculados con los procesos de planificación

y presupuesto, se centran en determinar los resultados obtenidos, analizando tanto el logro de los objetivos como los recursos invertidos, así como procesos basados en la recopilación de información sistemática y regular (Winchester, 2021 ).

Su propósito es garantizar que el proceso sea confiable y estable, capaz de proporcionar los servicios que se desarrolla. El monitoreo sirve para determinar la salud y la capacidad del cultivo. Esto requiere varios datos para recopilar programas de interpretación. Además, el monitoreo del sistema genera una variedad de alarmas que ayudan a corregir cuando se produce una señal funcional (Castaños, 2023).

### **2.2.2 Fermentación del cacao**

En este proceso están involucrados diferentes microorganismos como levaduras, bacterias lácticas y acéticas, según lo reportado y factores como temperatura y pH, donde la pulpa se descompone hasta obtener únicamente la semilla del cacao por un proceso bioquímico que maximiza las propiedades organolépticas, generando ese sabor y olor característico de la fruta.

Existen tres tipos de fermentación:

- La primera es la fermentación anaeróbica y alcohólica, que desarrolla aprox. 48 horas con un pH de 4.5 para preferir el crecimiento de la levadura y el azúcar se convierte en etanol a medida que ocurre en la hidrólisis inicial de la sacarosa y, por lo tanto, aumenta el contenido de glucosa y fructosa, donde este último está en mayores condiciones que la glucosa. Mientras esto suceda, la temperatura comienza a aumentar y alcanza aprox. 45 ° C, además, cuando la masa comienza a liberar moco, que será un pH ácido mayor que 3 y tendrá un alto contenido de glucosa de aproximadamente 214 g/L, así como en el Gly.
- La segunda fase se da de la hora 48 a la 96, es una fermentación aeróbica con predominio de bacterias acéticas, entonces el alcohol producido en la etapa 1, empieza a ser transformado a ácido acético y este penetra las semillas y baja el pH interno a 4,5 y el de la pulpa sube a 6, además la temperatura aumenta entre 48 a 51°C
- La tercera fase es oxidativa, se da a partir de la hora 96, acá ya no hay más producción de ácido acético ya que se ha consumido el alcohol presente y

por el contrario el que estaba al interior del grano empieza a salir por lo que el pH empieza a aumentar.

Esta etapa es importante porque es donde hay disminución de alcaloides que reduce el sabor amargo del grano y se forman las quinonas que son las que le dan un color rojizo marrón al grano que es el indicador de calidad e indicador que la fermentación ha terminado (Rosero, 2021).

### **2.2.3 ¿Qué son los sensores?**

El sensor es un dispositivo que puede detectar diferentes tipos de materiales para enviar la señal y permitirme continuar el proceso o detectar cambios; Dependiendo de lo que sea. Es un dispositivo que proporciona la señal de salida de la energía media, que es una función de medida. La selección del sensor debe tener en cuenta una variedad de factores, como: forma del hogar, distancia de funcionamiento, datos eléctricos y conexiones (Carrillo, 2022).

### **2.2.4 Termocupla Tipo K**

Una termocupla tipo K es un sensor de temperatura formado por dos metales diferentes: cromel y alumel. Funciona generando un voltaje cuando hay una diferencia de temperatura entre sus extremos. Es uno de los tipos más comunes por su bajo costo y amplio rango de medición (aproximadamente de -200 °C a 1.260 °C). Se utiliza en aplicaciones industriales, científicas y electrónicas. Su precisión es aceptable para muchas tareas, aunque no tan alta como la de otros sensores (**Ver Anexo 1**).

El sensor proporciona datos digitales, que otros dispositivos no pueden leer ni procesar para realizar acciones especiales en respuesta a los cambios en la temperatura o la humedad (Parraga, 2024).

### **2.2.5 Sensor de PH (PH0-14)**

Los sensores de pH controlan la actividad de iones de hidrógeno en solución utilizando electrodos. Por lo tanto, el electrodo de medición mide el intercambio de iones a través de una capa de gel de la membrana de vidrio y lo compara con el voltaje medido en el electrodo de referencia interno. Los sensores de pH industrial tienen cuerpos de vidrio especializados con membranas de vidrio que utilizan una fórmula especial que es compatible con líquidos de proceso.

El sensor de pH modelo PH0-14 está diseñado para medir niveles de acidez o alcalinidad en soluciones líquidas, con un rango de medición de pH 0 a

pH 14, cubriendo todo el espectro desde lo altamente ácido hasta lo fuertemente alcalino. Funciona con una alimentación de 5V DC y puede operar en temperaturas de aproximadamente 0 a 80 °C, dependiendo del modelo específico (**Ver Anexo Figura 2**).

Además, el electrodo de referencia interno debe compararse eléctricamente con la solución medida. Esto se hace a través de una unión flotante. Los sindicatos se encuentran de muchas maneras de acuerdo con el tipo de sensor (como cerámica, agujero abierto, PTFE). Cada uno de estos electrodos es importante para calcular el valor de pH medido. Un transmisor o controlador de sensor digital inteligente realiza cálculos y proporciona lecturas de pH (Pineda, 2021).

#### **2.2.6 Módulo MAX6675**

El Módulo transmisor MAX6675 permite conectar una termocupla tipo K, incluye compensación de junta fría (cold junction), convierte la señal analógica a digital (ADC interno) con una excelente resolución de 12-bits en un rango de 0° hasta 1023°C. Posee interfaz de comunicación digital SPI por lo que puede trabajar fácilmente con Arduino, PIC y demás microcontroladores (Delgado, Alonso y Chávez, 2021).

#### **2.2.7 Placa esp8266**

La placa esp32 es un microcontrolador programable con Wi-Fi. Está diseñado para proyectos de electrónica, domótica e Internet de las Cosas (IoT). Tiene múltiples pines de entrada/salida, convertidores analógico-digital, y capacidad para leer sensores y controlar actuadores. Su programación se puede hacer en entornos como Arduino IDE o MicroPython. Es ideal para crear dispositivos conectados de forma inalámbrica (Rommel, Pablo, Carla y Fernando, 2024) (**Ver Anexo Figura 3**).

#### **2.2.8 Software Arduino Development Environment (IDE)**

El software Arduino Development Environment (IDE) se utiliza para desarrollar un programa para que el micro-controlador se comunique con varios sensores y otro hardware (Ramírez y Acosta, 2023).

#### **2.2.9 Flutter**

Flutter es el framework que satisface y cumple todos los requisitos para el despliegue, determinados en las directrices para garantizar una calidad para los

usuarios finales que exigen los portales de implementación Android Store y Apple App Store.

En Flutter se programa una sola versión de la aplicación para cada sistema operativo, simplificando el mantenimiento y garantiza que todos los sistemas compartan la misma funcionalidad (Torres y Sanchez, 2023).

#### **2.2.10 SQL Server**

Es un sistema gestión de base de datos relacional multihilo y multiusuario, se puede ejecutar en los sistemas operativos GNU/Linux, Windows y Mac; seguramente el más usado en aplicaciones creadas como software libre. Por ser distribuido bajo la licencia GPL existen diferentes Apis o interfaces de programación de aplicaciones para diversos lenguajes de programación para acceder a la base de datos de MySQL (Vaca, 2020).

#### **2.2.11 Aplicaciones Android – APK**

Un archivo APK es una aplicación para el sistema operativo Android, el sistema operativo móvil de Google Inc. Algunas aplicaciones vienen preinstaladas en los dispositivos, mientras que otras aplicaciones se pueden descargar desde Google Play sitio oficial de Google o inclusive de otras tiendas de aplicaciones.

Las aplicaciones descargadas de Google Play se instalan automáticamente en su dispositivo, mientras que las descargadas de otras fuentes deben instalarse manualmente (Rodriguez y Sidorov, 2020).

#### **2.2.12 Motor eléctrico LEESON P145K17DB3K**

El motor eléctrico LEESON P145K17DB3K es un motor de inducción monofásico de 1½ HP diseñado para operar con alimentación dual de 115/208–230 V a 60 Hz, ideal para aplicaciones en compresores, ventiladores y bombas. Funciona a una velocidad nominal de 1 800 RPM (1 740 RPM sin carga) y utiliza un sistema de arranque con capacitor start/run para proporcionar un alto par de arranque y mejorar la eficiencia energética (79 %). Cuenta con una carcasa tipo DP (drip-proof), aislamiento Clase B y rodamientos de bolas para operación continua en ambientes moderados hasta 40 °C. Su factor de servicio de 1.15 y protección contra sobrecarga permiten un uso confiable y prolongado en condiciones exigentes.

La función de rotación del motor sin contacto determina la rotación de los motores monofásicos y trifásicos en funcionamiento sin usar cables de prueba (Delgado y Lazarte, 2020) **(Ver Anexo Figura 7)**.

### **2.2.13 Modulo Relay**

El relé es un interruptor eléctrico que permite el paso de la corriente eléctrica cuando está cerrado e interrumpirla cuando está abierto, pero que es accionado eléctricamente, no manualmente **(Ver Anexo Figura 5)**.

El relé está compuesto de una bobina conectada a una corriente. Cuando la bobina se activa produce un campo electromagnético que hace que el contacto del relé que está normalmente abierto se cierre y permita el paso de la corriente por un circuito para, por ejemplo, encender una lámpara o arrancar un motor.

La función del módulo relé es actuar como un interruptor que permite controlar un voltaje alto (como 110V o 220V CA) mediante una señal de bajo voltaje (como 3.3V o 5V CC) proveniente de un microcontrolador. Es decir, aísla eléctricamente el circuito de control (bajo voltaje) del circuito de potencia (alto voltaje), permitiendo encender o apagar dispositivos de alto consumo sin que el microcontrolador reciba directamente esa carga, lo que protege los componentes electrónicos delicados (Brau, 2020).

### **2.2.14 Sensor Co2 - SCD 30**

El sensor SCD30 es un módulo de medición de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) desarrollado por Sensirion. Utiliza tecnología NDIR (infrarrojo no dispersivo) para obtener lecturas precisas de concentración de CO<sub>2</sub> en el aire. Además, incluye sensores de temperatura y humedad para compensar las mediciones. Tiene comunicación I<sup>2</sup>C y UART, facilitando su integración en sistemas como Arduino o ESP32. Es ideal para aplicaciones en ventilación, calidad del aire y monitoreo ambiental.

El sensor de CO<sub>2</sub> SCD30 es un dispositivo de alta precisión diseñado para medir concentraciones de dióxido de carbono en el aire. Su rango de medición va desde 400 ppm hasta 10,000 ppm, con una precisión típica de  $\pm (30 \text{ ppm} + 3\%)$  dentro de ese intervalo. Además, puede operar en condiciones ambientales exigentes, soportando temperaturas de -40 °C a +70 °C y niveles de humedad relativa de 0% a 95%, siempre que no haya condensación. Estas características lo hacen ideal para aplicaciones como el monitoreo ambiental, control de calidad

del aire, y sistemas automatizados en invernaderos o laboratorios (Neethirajan, 2020) **(Ver Figura 6)**.

### **2.2.15 Pantalla oled 1.3"**

Una pantalla OLED es un tipo de display que utiliza diodos orgánicos emisores de luz para generar imágenes. A diferencia de las pantallas LCD, no requiere retroiluminación, lo que permite un menor consumo de energía y mejor contraste. Ofrece colores más vivos, negros más profundos y ángulos de visión más amplios.

Su diseño delgado y flexible permite aplicaciones en dispositivos portátiles y pantallas curvas. Es comúnmente usada en relojes inteligentes, teléfonos móviles y proyectos con microcontroladores como Arduino (Santoyo, 2021).

## **2.3 Marco legal**

### **2.3.1 Ley de la propiedad intelectual**

Art. 8. La protección del derecho de autor recae sobre todas las obras del ingenio, en el ámbito literario o artístico, cualquiera que sea su género, forma de expresión, mérito o finalidad. Los derechos reconocidos por el presente título son independientes de la propiedad del objeto material en el cual está incorporada la obra y su goce o ejercicio no están supeditados al requisito del registro o al cumplimiento de cualquier otra formalidad. (Ley de Propiedad Intelectual., 2022, p. 5)

### **2.3.2 Ley orgánica de tierras rurales y territorios ancestrales**

Según el artículo 9, literal c) de la Ley Orgánica de Tierras Rurales y Territorios Ancestrales (2016), la política agraria ecuatoriana busca apoyar el desarrollo económico rural del sector agropecuario, en coherencia con los planes de desarrollo y ordenamiento territorial, el plan nacional agropecuario y la planificación hídrica. En ese sentido, el presente proyecto aporta a dicho objetivo al proponer una solución tecnológica que mejora los procesos postcosecha del cacao, optimizando la calidad del producto y fortaleciendo la producción rural local (p. 3).

### **2.3.3 Constitución de la república del Ecuador**

De acuerdo al Art. 22 de la Constitución de la República del Ecuador (2008):

*“Las personas tienen derecho a desarrollar su capacidad creativa, al ejercicio digno y sostenido de las actividades culturales y artísticas, y a beneficiarse de la protección de los derechos morales y patrimoniales que les correspondan por las producciones científicas, literarias o artísticas de su autoría.”* (p. 3).

### **2.3.4 Ley orgánica del régimen de la soberanía alimentaria**

Art. 9 establece que el Estado garantizará y promoverá la investigación científica y tecnológica en el sector agroalimentario, con el objetivo de mejorar la calidad nutricional, productividad y sanidad de los alimentos, así como proteger y enriquecer la agrobiodiversidad. Además, asegura la investigación aplicada y participativa, y la creación de sistemas de extensión para transferir tecnología y brindar asistencia técnica basada en el diálogo y el intercambio de saberes con pequeños y medianos productores, reconociendo el valor del conocimiento tanto de mujeres como de hombres. También protege los saberes ancestrales y colectivos de comunidades, pueblos y nacionalidades, prohibiendo su apropiación indebida. (Ley Orgánica del Régimen de la Soberanía Alimentaria, 2009, p. 2)

### **2.3.5 Ley orgánica de educación superior, LOES**

Según Ley Orgánica de Educación Superior (2010), indica en su artículo 8, literal i): *“Impulsar la generación de programas, proyectos y mecanismos para fortalecer la innovación, producción y transferencia científica y tecnológica en todos los ámbitos del conocimiento.”* (p.8).

### **2.3.6 Código orgánico del ambiente**

En el Art. 9. Principio de Ecoeficiencia (2017), toda actividad pública o privada, en particular las relacionadas con la gestión de residuos y los procesos productivos que generen impacto ambiental, deberán ejecutarse mediante programas o acciones que incrementen la productividad y competitividad, utilizando racionalmente los recursos naturales, con el propósito de minimizar los costos ambientales y promover recorridos virtuosamente ajustados a la economía verde (p.1).

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Enfoque de investigación

##### 3.1.1 Tipo y alcance de la investigación

**Descriptiva:** Durante el proceso y aplicación de este sistema se recopilaban datos relacionados con la fermentación del cacao, los cuales que fueron de utilidad durante y después de la aplicación del prototipo.

**Alcance:** Se realizó un análisis sobre los procesos basados en la fermentación del cacao que se realizaban actualmente en Ecuador, generando más oportunidades para la implementación de sistemas tecnológicos en la agricultura,

##### 3.1.2 Diseño de Investigación

**Investigación no experimental:** Este proyecto se consideró no experimental ya que se utilizó un sistema de sensores que permitió la recolección de proceso de fermentación, sin manipular deliberadamente las variables de estudio.

#### 3.2 Metodología

##### 3.2.1 Metodología Prototipada

La metodología de prototipado se utilizó para construir paso a paso un modelo del sistema y así poder observar cómo funcionaba antes de aplicarlo de forma definitiva. Primero se realizó el diseño general, luego se seleccionaron los sensores y los componentes electrónicos y se desarrolló la programación del microcontrolador. Después se armó el prototipo uniendo el hardware con el software y se realizaron varias pruebas, haciendo correcciones y mejoras hasta conseguir que trabajara de manera estable.

Gracias a este proceso fue posible desarrollar el sistema de una forma más rápida dentro del laboratorio y ver su comportamiento en diferentes situaciones. También permitió combinar conocimientos de informática, electrónica y un poco de mecánica, siguiendo un enfoque mecatrónico. Finalmente, el prototipo se probó en condiciones reales y se comprobó que cumplía con lo necesario para monitorear la fermentación del cacao y que podía ser utilizado sin problemas por el usuario. (Hoyos, 2023).

### **3.2.2 Recolección de datos**

#### **3.2.2.1. Recursos**

##### **Recursos Humanos**

- Tutor: Ing. Andrés Medina Robayo M.Sc.
- Investigadores: Gabriela Andrea Mendoza Ordoñez, Diego Javier Rosales Chávez

##### **Recursos Bibliográficos**

- Libros electrónicos
- Artículos científicos
- Revistas científicas
- Repositorios de Tesis
- Biblioteca virtual

##### **Recursos Tecnológicos**

- Laptop Intel(R) Core (TM) i7-10110U
- Impresora L355

##### **Recursos de Hardware**

- Placa esp8266
- Termocupla Tipo K
- Sensor PH (PH0-14)
- Sensor de CO2 (SCD30)
- Cables jumper
- Protoboard
- Motor a 220v
- Fuente 220v (motor) – 5v (Placa)
- Módulo Relay
- Pantalla Oled (**Ver Figura 8**).

#### **3.2.2.2. Presupuesto**

Para la elaboración de este sistema se llevó a cabo una tabla de valores en donde se describen los componentes que se utilizarán. Así mismo los materiales que se utilizarán tanto de software como de hardware, eso para generar el presupuesto final de la aplicación del proyecto tecnológico. (**Ver anexo Tabla 1. Y Tabla 2**).

### 3.2.2.3 Métodos y Técnicas

#### 3.2.2.3.1. Métodos.

- **Método Analítico**

Es un método de estudio que se basó en separar o dividir un fenómeno, problema o sistema en sus componentes o elementos individuales, con el fin de comprender su estructura, funcionamiento y relaciones internas.

- **Método Deductivo**

El método deductivo fue un enfoque lógico de razonamiento que parte de principios generales, leyes universales o teorías ya establecidas, para llegar a conclusiones específicas sobre un caso particular.

#### 3.2.2.3.2. Técnicas.

Se aplicó un enfoque cuantitativo mediante encuestas dirigidas al propietario y a los trabajadores de la finca. Además, se realizó una revisión de artículos científicos, tesis y libros, con el fin de fortalecer el marco teórico y orientar al desarrollo del prototipo.

El sistema desarrollado se estructuró en cinco módulos funcionales:

- **Módulo de inicio de sesión:** Se encargó de permitir el acceso al usuario mediante credenciales previamente registradas, para así evitar el robo de información y generar un ambiente más seguro para el propietario.
- **Módulo de Recolección de datos:** Mediante la implementación de sensores de temperatura, pH y CO<sub>2</sub>, se realizó el monitoreo del proceso de fermentación. Los datos fueron visualizados en una pantalla OLED y enviados a una base de datos en SQL, permitiendo el registro continuo de la información sin necesidad de manipular físicamente la caja durante el proceso.
- **Módulo de Sensores:** Los sensores permitieron el control de las variables monitoreadas, generando notificaciones cuando los valores registrados se encontraban fuera de los rangos establecidos. En caso de que las variables presentaran valores bajos o anormales, el sistema emitió una alarma indicando que el proceso no se estaba desarrollando correctamente. Por el contrario, cuando la temperatura alcanzó los 50 °C, el sistema generó una notificación señalando que el proceso de fermentación había finalizado satisfactoriamente. Estas alertas fueron enviadas al módulo de presentación de datos y visualizadas a través de la aplicación móvil.

Para el desarrollo de este módulo se utilizaron los siguientes implementos:

- Placa esp8266
  - Termocupla tipo k
  - Sensor de PH (PH0-14)
  - Cables Jumpers
  - Sensor de CO<sub>2</sub> (SCD30)
  - Pantalla Oled 1.3”
  - Motor
  - Relé
- **Módulo de presentación de los datos:** Mediante la aplicación desarrollada en Flutter se realizó la visualización de la información del prototipo sin necesidad de que el usuario se encuentre en el lugar donde está instalado el sistema. La aplicación obtuvo los datos desde la base de datos y los presentó en una interfaz amigable, mostrando los valores de las variables mediante gráficos y representaciones numéricas para facilitar su interpretación
  - **Módulo de Notificaciones:** Fue el encargado de informar al usuario sobre los valores de las variables monitoreadas, como temperatura, concentración de CO<sub>2</sub> y pH, a medida que se desarrolló el proceso de fermentación.

### **3.2.3 Población y muestra**

#### **3.2.3.1. Población**

El prototipo se llevó a cabo en la finca “Mendoza”, cuenta con el señor propietario Rodolfo Fernando Mendoza Fernández y actualmente con 3 trabajadores los cuales se encargan del proceso de cultivo y venta (en baba y seco) del cacao.

#### **3.2.3.2. Muestra**

Para el proceso de muestra se ocupó la cantidad de 312 L de cacao en baba el cual paso por el proceso de fermentación para poder realizar nuestra recolección y presentación de datos.

#### **3.2.4 Análisis estadístico**

Para tener un punto de partida en nuestro prototipo se llevó a cabo una encuesta tanto al dueño como a los trabajadores de la finca, enfocándose en los parámetros que son necesarios para el proceso de fermentación y así tener un

porcentaje neto de los datos requeridos para el correcto funcionamiento del sistema.

### **3.2.5 Diagrama de flujo**

Para tener una idea más clara sobre el prototipo del circuito se realizó un diagrama de flujo representando parte de los procesos que se llevaran a cabo dentro del circuito, entre ellos:

El sistema inició activando los sensores, el motor y la conexión a MySQL. Luego mide la temperatura dentro de la caja y el nivel de pH del cacao en fermentación. Estos datos se visualizaron en pantalla y se almacenaron en la base de datos con fecha y hora. Cada 24 horas se verificó si es necesario activar el motor para mezclar el cacao. Después, el sistema espera un intervalo de tiempo antes de repetir el ciclo de monitoreo de forma continua **(Ver Anexo Figura 3)**.

## 4. RESULTADOS

### 4.1 Análisis de las variables que influyeron en el proceso de fermentación del cacao mediante encuestas y consultas a trabajadores de la finca.

Tras realizar las encuestas y conversar directamente con el personal de la finca, pudimos documentar cómo se está manejando actualmente la fermentación del cacao. Se trata de un proceso netamente tradicional, una vez que se extraen los granos de las mazorcas, se pasan a cajones de madera y se tapan con sacos para que el calor natural haga su trabajo. Lo que llama la atención es que no se usa ninguna herramienta técnica para medir variables; todo queda en manos de la intuición y los sentidos. Los trabajadores deciden si el cacao va bien según el olor, el cambio de color o simplemente tocando la masa para notar si está fría o caliente. El volteo se hace a mano cada uno o dos días, pero siempre queda a juicio de quien esté de turno y de cómo se comporte el clima en ese momento.

El primer estudio estuvo dirigido al propietario con la intención de identificar los cambios de mayor impacto en este proceso desde su perspectiva y así obtener una visión más clara de cómo el sistema cubrirá las necesidades **(Ver Anexo Tabla 3)**.

La segunda encuesta fue dirigida a los tres trabajadores, se nota una falta de uniformidad en las responsabilidades. Mientras uno está presente en todo el ciclo, los otros dos tienen una participación limitada o nula, lo que significa que no hay una sola figura que centralice el control de la fermentación. Esta inconsistencia también se ve en los tiempos de espera. Ninguno de los consultados pudo asegurar que el proceso se cumpla siempre en el tiempo óptimo; algunos dicen que a veces se sacan los granos antes de tiempo, otros que se pasan de días, y otros simplemente no lo tienen claro. Esto confirma que no existen parámetros fijos y que todo depende de las circunstancias del día a día. **(Ver Anexo Figura 17 y Figura 18)**.

Este manejo empírico ha traído dificultades visibles. Se han reportado cambios bruscos en la temperatura interna de las cajas, olores desagradables y, en los peores casos, la aparición de moho. Es muy probable que estos fallos vengan de un exceso de humedad o de que el aire no circula bien por falta de volteos constantes, lo que termina por dañar el sabor y la calidad del grano final. A pesar de esto, hay una disposición positiva hacia el

cambio. Uno de los operarios propuso usar tecnología de apoyo y otro mencionó la importancia de capacitarse, lo que indica que no hay rechazo a modernizar la finca, siempre y cuando se respete la base tradicional.

Al contrastar lo que sucede en el día a día con los estándares técnicos, nos dimos cuenta de que el control de variables críticas como la temperatura, la humedad y los tiempos de fermentación es todavía una tarea pendiente. Estas metas de control no son cifras puestas al azar; son el resultado de un cruce entre el conocimiento de especialistas agrícolas, la experiencia acumulada del personal de postcosecha y lo que dictan las guías técnicas más exigentes del sector.

En las capacitaciones recibidas quedó muy claro que la calidad del cacao no es una cuestión de suerte. Para que el grano desarrolle esos perfiles de aroma y sabor que el mercado busca, la masa debe mantenerse idealmente entre 45°C y 50°C, con una humedad de entre el 60% y el 70%. Este proceso toma de 5 a 7 días y exige una disciplina de volteos cada 24 o 48 horas, factores que permiten que los microorganismos hagan su trabajo correctamente.

El problema de no medir estas variables con precisión es que el proceso queda vulnerable. Sin un control técnico, cualquier falla impacta de golpe en la calidad del grano y, por ende, en su valor comercial. Es una cadena: si la fermentación falla, la rentabilidad también.

En conclusión, aunque el saber empírico de los trabajadores es el corazón de la finca, ya no es suficiente por sí solo. Es necesario dar el siguiente paso y complementar esa tradición con herramientas de monitoreo y capacitación constante. Solo así lograremos estabilizar la producción, reducir el margen de error y hacer que el trabajo en el campo sea mucho más eficiente y rentable para todos.

#### **4.2 Diseño de la arquitectura del prototipo electrónico utilizando Fritzing y diagramas UML para la comprensión del modelo y el funcionamiento del sistema de monitoreo.**

Para contar con una guía de trabajo y evitar daños en los componentes durante el ensamblaje físico, primero se diseñó la arquitectura del sistema mediante el software Fritzing, el cual ofrece un entorno gráfico sencillo que permite organizar y verificar las conexiones del circuito antes del montaje

final. Para ello se instaló el programa junto con los elementos que formarían parte del sistema: sensor de pH, sensor de CO<sub>2</sub>, pantalla OLED, placa esp8266, termopar tipo K y motor DC.

Con el diseño establecido se pudo comprobar que la distribución de conexiones era la correcta, lo que permitió confirmar el funcionamiento esperado del proyecto. Aunque en esta etapa no se realizó la vinculación con la base de datos, sí se verificó la estructura del código y la coherencia de la arquitectura planteada. **(Ver Anexo Figura 9).**

Adicionalmente, se elaboró un diagrama UML en el que se describe el proceso que ejecutará el sistema: identificación de variables, recolección de datos, envío de la información a la base de datos y ejecución de acciones según las condiciones presentes durante la fermentación del cacao.

Para validar los procesos definidos en el diagrama, se realizaron pruebas de conexión entre la placa y la base de datos, con el fin de evitar inconsistencias o generación de datos erróneos durante el funcionamiento.

Esto permitió asegurar una estructura confiable tanto en la parte de software donde podrían presentarse problemas de comunicación o red como en la parte de hardware, considerando que una mala conexión podría ocasionar fallas o daños en los componentes. **(Ver Anexo Figura 10).**

#### **4.3 Desarrollo de una aplicación móvil en Flutter para la visualización de los datos del proceso de fermentación.**

Con la utilización de la plataforma Flutter diseñada para el desarrollo de apps Android y IOS, se procedió a la creación de la aplicación que sirvió para la representación de datos en tiempo real, la cual constó de dos ventanas:

La primera en la cual se validó los datos del usuario (Usuario y contraseña), los cuales darán acceso al panel de datos si son insertados correctamente **(Ver Anexo Figura 11).**

La segunda ventana constó de varios widgets en los cuales están representados los datos enviados desde la placa, representando los valores reales junto a un histograma que demostró los diferentes cambios en los mismos **(Ver Anexo Figura 12).**

Esta aplicación se desarrolló mediante un código, en el cual se declaró todas y cada una de las funciones que se quería obtener al lanzar la

app, como el ingreso de los datos del usuario, el estado de la conexión y el tiempo de actualización de los datos, todo para una mejor comprensión y manejo de parte del propietario (**Ver Anexo Figura 13**).

Mediante la virtualización de la plataforma para la verificación del funcionamiento de las apps creadas, se realizó pruebas del funcionamiento, de acorde a lo antes explicado durante el proceso de desarrollo de las diferentes ventanas que conforman esta aplicación. La app funciona con completa normalidad siendo un diseño básico para que el usuario no se sienta fatigado con el manejo de la misma, después de que el usuario logra ingresar su usuario y contraseña la app da acceso a la ventana en donde le muestra los valores de los sensores.

Con la primera versión de la app se pudo constatar su correcto funcionamiento, el cual es visualizar datos desde la base. Todo esto basado en los datos que le proporcionamos desde su código base en donde se describe cada funcionalidad que esta debe realizar.

En la segunda versión la cual se basó en el diseño que tendrá la aplicación móvil se desarrolló un entorno sencillo y amigable utilizando una interfaz y colores que no fatiguen en el manejo de la misma logrando así que el propietario sienta confianza y a su vez logrando cubrir las necesidades del mismo, presentando la información en tiempo real con una actualización de datos cada de 3 segundos.

#### **4.4 Implementación de una base de datos SQL para el registro y almacenamiento eficiente de las variables (temperatura, pH, Co<sub>2</sub>, Humedad Ambiente y Temperatura Ambiente) recolectadas durante el proceso de fermentación.**

Con el uso de la plataforma XAMPP se elaboró la base de datos del sistema en la cual se registraron todos los datos obtenidos mediante los sensores (en tiempo real), mediante la placa y una conexión Wifi estable, dentro de lo que la base se encuentra variables como:

Id: es el identificador de la placa con el cual la base referenció de donde llegan los datos.

Temperatura: En donde se guardó los datos recolectados de la termocupla.

Temperatura Ambiente: Uno de los 3 datos recolectados mediante el sensor de CO<sub>2</sub>, en donde nos facilitó saber la temperatura ambiente a la que está expuesta la caja fermentadora.

Co<sub>2</sub>: segundo de los 3 datos recolectados mediante el sensor de CO<sub>2</sub>, en donde nos facilitó el contenido de Co<sub>2</sub> en el interior de la caja.

Humedad Ambiente: tercero de los 3 datos recolectados mediante el sensor de CO<sub>2</sub>, en donde nos facilitó saber la humedad ambiente a la que está expuesta la caja fermentadora.

PH: Recolectado mediante el sensor de PH este dato es indispensable ya que con el podemos saber si el proceso se está llevando a cabo correctamente.

Todos estos datos se encuentran en la tabla del sistema en donde se pueden visualizar ya sea dentro de la interfaz de MySQL o desde el aplicativo móvil. **(Ver Anexo Tabla 4.)**

Al ser la base desarrollada en MYSQL se genera un ambiente de seguridad, eficacia, confiabilidad y rendimiento, ya que MYSQL es la clave detrás de un sinnúmero de empresas que resguardan sus datos en esta plataforma.

#### **4.5 Validación de la efectividad del prototipo de monitoreo comparando los datos recolectados con los parámetros óptimos de fermentación del cacao, y propusieron mejoras en el proceso para reducir la intervención manual y optimizar la calidad del cacao fermentado en la Finca “Mendoza”.**

Una vez instalado el sistema en la finca “Mendoza”, se procedió a su puesta en funcionamiento con el objetivo de evaluar su desempeño durante el proceso de fermentación del cacao. El sistema permitió el monitoreo continuo de las variables temperatura interna, pH, concentración de CO<sub>2</sub>, temperatura ambiente y humedad relativa.

Para validar la efectividad del prototipo, los datos registrados fueron comparados con los parámetros óptimos de fermentación establecidos en la literatura. Estos valores de referencia corresponden a una temperatura interna cercana a 50 °C, un pH en el rango de 5,0 a 7,5, una temperatura ambiente entre 25 °C y 30 °C, una humedad aproximada del 60 % y niveles adecuados de CO<sub>2</sub> durante el proceso **(Ver Anexo Figura 14)**.

Los resultados obtenidos mostraron que las variables monitoreadas se mantuvieron dentro de rangos aceptables para el desarrollo adecuado de la fermentación, lo que permitió confirmar el correcto funcionamiento del sistema y su capacidad para realizar el seguimiento del proceso en condiciones reales.

Así mismo, se verificó la correcta transmisión de los datos hacia la base de datos y su visualización en la aplicación móvil, permitiendo al usuario supervisar el estado del proceso en tiempo real. La estabilidad en la adquisición, almacenamiento y visualización de la información evidenció la confiabilidad del prototipo como herramienta de monitoreo **(Ver Anexo Figura 16)**.

Como parte del proceso de validación, el sistema fue presentado al propietario y al personal de la finca, quienes pudieron observar su funcionamiento y resolver dudas sobre la operación del mismo, obteniendo una valoración positiva respecto a su utilidad para el control del proceso.

Finalmente, a partir de la experiencia obtenida durante la implementación, se propusieron mejoras orientadas a optimizar el sistema, entre las cuales se incluyen la incorporación de actuadores para el control automático de la temperatura y la humedad, así como la integración de sensores adicionales que permitan un mayor control de las condiciones internas en escenarios de variabilidad climática.

En conjunto, los resultados demuestran que el prototipo cumple con su función de monitoreo y constituye una alternativa tecnológica viable para mejorar el control del proceso de fermentación del cacao en la finca “Mendoza”.

## 5. DISCUSIÓN

La fermentación del cacao es un proceso fundamental para el desarrollo de las características sensoriales del grano, ya que durante esta etapa se producen reacciones bioquímicas responsables del aroma y sabor característicos del cacao. En el presente estudio, el monitoreo de variables como temperatura, pH, concentración de CO<sub>2</sub>, temperatura ambiente y humedad permitió evaluar el comportamiento del proceso en condiciones reales. Los valores registrados se mantuvieron dentro de los rangos considerados óptimos para la fermentación, lo cual coincide con lo reportado por Intriago (2023), quien señala que el control adecuado de estas variables favorece la obtención de cacao de mejor calidad.

Los resultados obtenidos mostraron que la temperatura interna alcanzó valores cercanos a 50 °C, rango que es considerado adecuado para el desarrollo de la actividad microbiana responsable de la transformación del grano. Asimismo, el pH se mantuvo dentro de los niveles recomendados para una fermentación adecuada. Estos hallazgos son consistentes con estudios previos que indican que el control de las condiciones fisicoquímicas del proceso permite mejorar la estabilidad y uniformidad de la fermentación (Lagos y Vásquez, 2024).

El monitoreo continuo en tiempo real permitió reducir la incertidumbre asociada al método tradicional, en el cual el control de las condiciones depende principalmente de la experiencia del productor y de factores ambientales variables. La disponibilidad de información en tiempo real facilitó la supervisión del proceso y permitió identificar el comportamiento de las variables durante las diferentes etapas de la fermentación. Según Morejón (2020), la implementación de sistemas de monitoreo en procesos agrícolas contribuye a mejorar la toma de decisiones y a reducir la variabilidad en la calidad del producto.

A diferencia del método convencional, el sistema desarrollado permitió el registro automático de los datos, su almacenamiento en una base de datos y su visualización mediante una aplicación móvil. Esta funcionalidad representa un aporte tecnológico importante, ya que permite al productor conocer el estado del proceso sin necesidad de realizar inspecciones constantes. Además, la estabilidad en la adquisición, transmisión y visualización de la información

confirmó la confiabilidad del prototipo como herramienta de apoyo para el control del proceso.

No obstante, es importante señalar que el sistema desarrollado se limita al monitoreo de las variables y no realiza el control automático de las condiciones del proceso. Por lo tanto, el usuario debe intervenir manualmente en caso de que las variables se encuentren fuera de los rangos establecidos. En este sentido, una de las principales limitaciones del estudio es la ausencia de actuadores que permitan regular de forma automática la temperatura o la humedad durante la fermentación.

Como línea de mejora, se recomienda la incorporación de sistemas de control automático que permitan ajustar las condiciones del proceso en función de los datos registrados. Asimismo, la integración de sensores adicionales y fuentes de control térmico podría mejorar el desempeño del sistema en escenarios de variabilidad climática. Estas mejoras permitirían avanzar hacia un sistema más completo orientado al control integral del proceso.

En general, los resultados obtenidos demuestran que la implementación del sistema de monitoreo constituye una alternativa tecnológica viable para mejorar el seguimiento del proceso de fermentación del cacao, contribuyendo a la reducción de la incertidumbre operativa y al fortalecimiento de las prácticas de manejo poscosecha en la finca "Mendoza".

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

### 6.1. Conclusiones

El estudio de campo realizado mediante encuestas y observación directa en la finca “Mendoza” permitió identificar las principales condiciones y limitaciones del proceso tradicional de fermentación del cacao. Los resultados evidenciaron la ausencia de herramientas para el monitoreo de variables críticas como la temperatura, el pH, la concentración de CO<sub>2</sub> y la humedad, lo que generaba incertidumbre sobre el estado real del proceso. Esta información permitió definir los requerimientos del sistema y orientar el desarrollo del proyecto hacia una solución tecnológica que respondiera a las necesidades reales del productor.

El diseño de la arquitectura del prototipo mediante el software Fritzing permitió establecer de manera adecuada la conexión y distribución de los componentes electrónicos antes de su implementación física, reduciendo el riesgo de fallas durante el ensamblaje. Asimismo, la elaboración de diagramas UML facilitó la comprensión del funcionamiento general del sistema, permitiendo estructurar de forma organizada los procesos de adquisición de datos, almacenamiento y visualización de la información, lo que contribuyó a una implementación más eficiente y confiable

El desarrollo de la aplicación móvil en Flutter permitió la visualización de las variables del proceso en tiempo real, facilitando el seguimiento del estado de la fermentación sin necesidad de la presencia física del usuario en el lugar. Esta funcionalidad optimizó el tiempo de supervisión y permitió al productor acceder a información actualizada de forma remota, mejorando el control operativo y la toma de decisiones durante el proceso.

La implementación de una base de datos en MySQL permitió el almacenamiento, organización y consulta de la información generada por los sensores durante el proceso de fermentación. Este registro sistemático de los datos facilitó su análisis y comparación con los parámetros óptimos reportados en la literatura, contribuyendo a la validación del funcionamiento del sistema y proporcionando una fuente de información útil para el seguimiento histórico del proceso.

La implementación del sistema permitió el monitoreo continuo de las variables del proceso de fermentación, registrando valores que se mantuvieron dentro de rangos aceptables en comparación con los parámetros óptimos establecidos. Asimismo, se comprobó la correcta transmisión de los datos hacia la base de datos y su visualización en la aplicación móvil, lo que confirmó la estabilidad y confiabilidad del prototipo. En conjunto, los resultados obtenidos demuestran que el sistema desarrollado constituye una herramienta tecnológica viable para el seguimiento y supervisión del proceso de fermentación del cacao en la finca “Mendoza”.

## **6.2. Recomendaciones**

Se recomienda la utilización de sensores de mayor precisión y la realización de procesos de calibración periódica, con el fin de mejorar la exactitud de los datos obtenidos y garantizar la confiabilidad del sistema en aplicaciones futuras.

Como mejora del prototipo, se sugiere la incorporación de actuadores que permitan el control automático de variables como la temperatura y la humedad. Esto permitiría evolucionar el sistema de monitoreo hacia un sistema de control, reduciendo la dependencia de la intervención manual durante el proceso.

Es recomendable mantener el diseño de la aplicación móvil bajo criterios de simplicidad y facilidad de uso, considerando las condiciones operativas del entorno agrícola y el nivel de experiencia tecnológica de los usuarios, con el fin de garantizar su adecuada adopción.

Se sugiere implementar mecanismos de respaldo, seguridad y optimización en el entorno de la base de datos MySQL, con el propósito de garantizar la integridad de la información y permitir la escalabilidad del sistema ante el incremento del volumen de datos generados.

Finalmente, se recomienda realizar futuras pruebas del sistema en diferentes condiciones climáticas y operativas, así como durante varios ciclos de fermentación, con el fin de evaluar su desempeño a largo plazo y fortalecer su validación como herramienta de apoyo para la gestión del proceso.

## BIBLIOGRAFÍA

- Antolinez, Y., Almanza, J., y Polanco, E. (2020). Estado actual de la cacaocultura. Colombia.
- Arce, L., y Valle, A. (2023). Modelos matemáticos en sistemas acuícolas de recirculación. *Electro*, 8.
- Bowen, A., y Medranda, I. (2024). Impacto de los sistemas de información en la. *Ingenio Journal*, 20.
- Brau, R. (2020). El relé: Para qué es, para qué sirve y qué tipos existen. *Noticias y tendencias del mercado laboral, industria y empresas*.
- Cabdy, J. (2019, 28 de junio). ¿Qué sucede durante la fermentación del cacao? *Perfect Daily Grind*. <http://perfectdailygrind.com/es/2019/06/28/que-sucede-durante-la-fermentacion-del-cacao/>
- Cabrera, L., y Vidaurre, J. (2024). Oportunidades y retos para el cacao fino de aroma peruano. *Perú*.
- Carrillo, M. (2022). Sensores y arquitecturas IoT para caracterización de suelos: Revisión sistemática de literatura. *Rinderesu*, 16.
- Castaños, I. (2023). ¿En qué consiste la monitorización de sistemas? *Semantic Systems*. <https://www.semantic-systems.com/semantic-noticias/articulos-tecnologicos/en-que-consiste-la-monitorizacion-de-sistemas/>
- Celi, D., y Chamorro, C. (2024). Beneficios de la fermentación de cacao. *Tierra Infinita*, 12.
- Cobos, F., Alcívar, L. A., Alvarado, A., y Obando, M. (2022). Índices de calidad en la comercialización del cacao. *Journal of Science and Research: Revista Ciencia e Investigación*, 19.
- Delgado, F., Alonso, A., y Chávez, F. (2021). Nuevo diseño de fixture para la medición de fuerza axial y temperatura para la obtención de parámetros de soldadura en estado sólido, 7.
- Delgado, R., y Lazarte, J. (2020). Diseño de fermentador de cacao automático basado en proceso tradicional. *Investigación Aplicada e Innovación*, 12.
- Freshliance. (2024). Monitoreo de temperatura durante la fermentación del cacao. <https://www.esfreshliance.com/index.php?m=home&c=view&a=index&aid=592>

- García, L. (2021). Optimización de la fermentación de cacao [Tesis de grado/postgrado]. Departamento de Microbiología Industrial, Bogotá.
- Gómez, E., Parra, A., y Guzmán, J. (2025). Sistema de trazabilidad de cacao soportado en Internet de las Cosas. *Rcta*, 12.
- Hoyos, J. (2023). Una revisión sistemática a las aplicaciones en prototipado rápido para control. *Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje*, 11.
- Intriago, G. (2023). Mejoramiento de los procesos de fermentación para la elaboración de chocolate del Centro Agrícola del cantón Quevedo. Quevedo.
- Lagos, M., y Vásquez, E. (2024). Fermentación de cacao. Cienfuegos.
- Ley Orgánica del Ecuador. (2008). Constitución de la República del Ecuador. Registro Oficial No. 449.
- Ley Orgánica del Ecuador. (2009). Ley Orgánica del Régimen de la Soberanía Alimentaria. Registro Oficial No. 583.
- Ley Orgánica del Ecuador. (2010). Ley Orgánica de Educación Superior [LOES]. Registro Oficial Suplemento 298.
- Ley Orgánica del Ecuador. (2016). Ley Orgánica de Tierras Rurales y Territorios Ancestrales. Registro Oficial Suplemento 711.
- Ley Orgánica del Ecuador. (2017). Código Orgánico del Ambiente. Registro Oficial Suplemento.
- Morejón, R. (2020). Técnicas para mitigar y reducir el cadmio en Theobroma cacao. Trujillo.
- Neethirajan, S. (2020). Importancia de la capnografía durante el monitoreo anestésico. *Reciamuc*, 24.
- Parraga, R. (2024). Selección visual en frutas: Revisión sistemática de la literatura. *Revista Científica de Sistemas e Informática*, 24.
- Pineda, Y. (2021). Enseñanza del concepto de pH desde la perspectiva del pensamiento científico: Una revisión sistemática exploratoria. *Revista Pensamiento y Acción*, 14.
- Ramírez, N., y Acosta, A. (2023). Alternativas de agricultura urbana como respuesta a la responsabilidad social universitaria. *Inventum*, 12.
- Restrepo, S., Paez, D., y Peña, A. (2024). Sistemas, sensores y monitoreo para un cultivo hidropónico: Una revisión de literatura. *Innventiva*, 14.

- Rios, J., y Levano, D. (2022). Importancia de los dispositivos usados en la fermentación de cacao. *Agrotec*, 10.
- Rodriguez, H., y Sidorov, G. (2020). Técnicas de procesamiento de lenguaje natural. *Computing Science*, 11.
- Rommel, S., Pablo, C., Carla, Q., y Fernando, J. (2024). Una revisión de las plataformas IoT utilizadas para realizar el monitoreo en tiempo real de sistemas fotovoltaicos. *Revista Nexos Científicos*, 13.
- Rosales, B., García, L., Pérez, G., y Contreras, E. (2024). Influencia de la fermentación del cacao y del uso de cultivos iniciadores sobre las características organolépticas del chocolate. *Padi*, 13.
- Rosero, V. (2021). Optimización de la fermentación de cacao (*Theobroma cacao*), Bogotá.
- Sandoval, E. Y. (2020). Estado actual de la cacaocultura. *Revista Ciencia y Agricultura*, 11.
- Santoyo. (2021). Realidad virtual en el estudio del miedo y la ansiedad, 39.
- Torres, M., y Sanchez, R. (2023). Sistema de información móvil usando frameworks de desarrollo multiplataforma. *Cibernética e Informática*, 7.
- Vaca, P. (2020). Manejo de indicadores comerciales en empresas. *Tecnólogo en Análisis y Desarrollo de Sistemas de Información*, 21.
- Winchester, L. (2021). Introducción a los sistemas de monitoreo y evaluación. *Ilpes*, 7.

## ANEXOS

Figura 1.

*Termocupla tipo k*



Fuente: Avelectronics, (2026)

Figura 2.

*Sensor de PH-4502C*



Fuente: Mecatrónica, (2026)



Figura 5.

**Modulo relé**



Fuente: Electrónica JNC, (2026)

Figura 6.

**Sensor CO2 - SCD30**



Fuente: Sensirion, (2026)

Figura 7.

*Motor 220V*



Fuente: eBay, (2026)

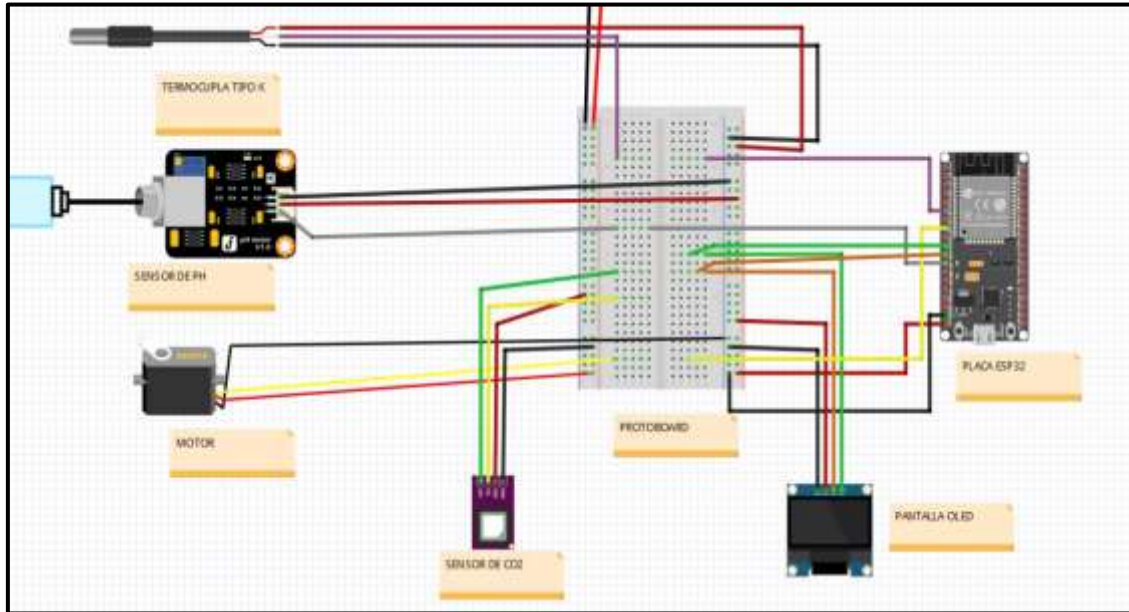
Figura 8.

*Pantalla Oled*



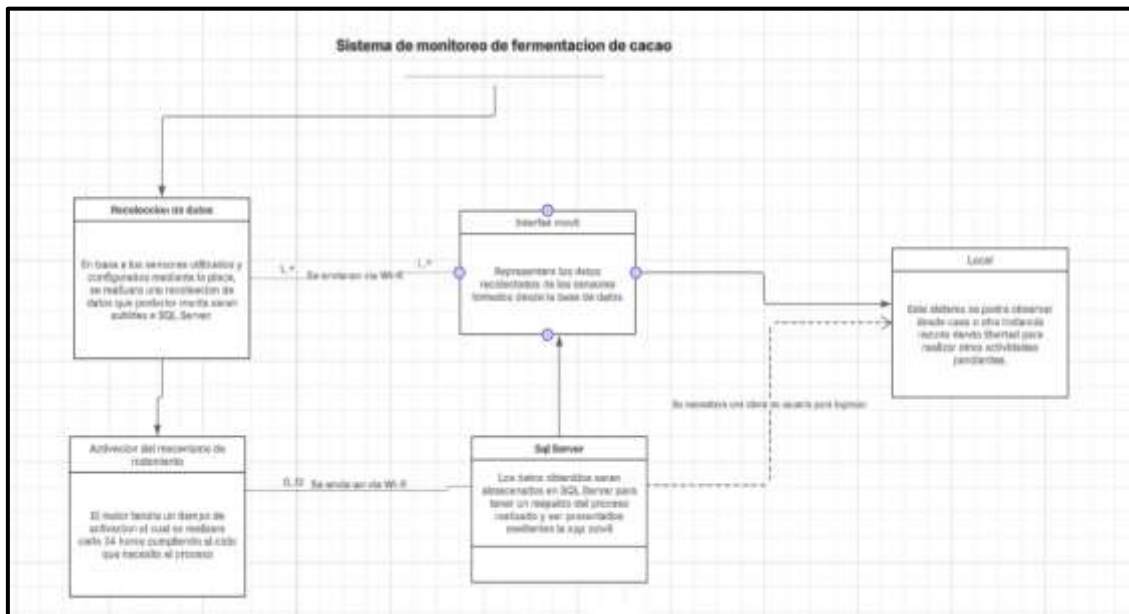
Fuente: Novatronic, (2026)

**Figura 9.**  
**Componentes en el software Fritzing.**



Elaborado por: Los Autores, 2026

**Figura 10.**  
**Diagrama UML del sistema a implementar**



Elaborado por: Los Autores, 2026

Figura 11.

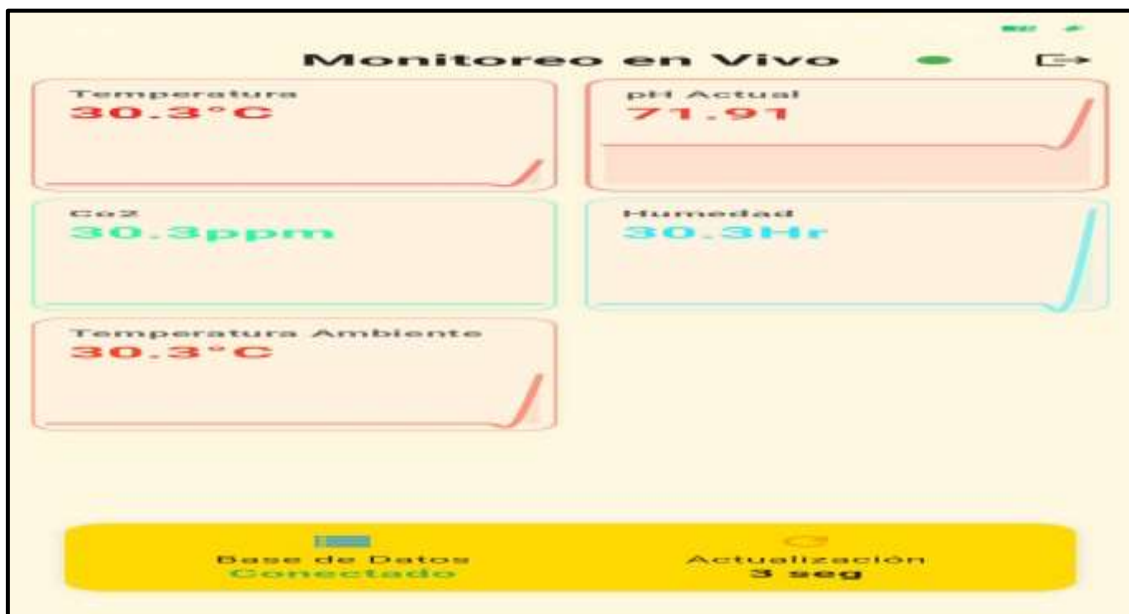
*Ventana principal de la aplicación móvil.*



Elaborado por: Los Autores, 2026

Figura 12.

*Ventana Secundaria de la aplicación móvil.*



Elaborado por: Los Autores, 2026

Figura 13.

### Codificación de la app desarrollada en la plataforma Flutter

```

main.dart > ...
1  import 'dart:async';
2  import 'dart:convert';
3  import 'package:flutter/material.dart';
4  import 'package:fl_chart/fl_chart.dart';
5  import 'package:http/http.dart' as http;
6
7  Run | Debug | Profile
8  void main() {
9    runApp(const SensorApp());
10 }
11 // ===== APP =====
12
13 class SensorApp extends StatelessWidget {
14   const SensorApp({super.key});
15
16   @override
17   Widget build(BuildContext context) {
18     return MaterialApp(
19       debugShowCheckedModeBanner: false,
20       title: 'Finca Mendoza',
21       theme: ThemeData.light().copyWith(
22         scaffoldBackgroundColor: const Color(0xFFFFF8E1),
23         primaryColor: Colors.deepOrange,
24       ),
25       home: const PantallaLogin(),
26     ); // MaterialApp
27   }
28 }

```

Elaborado por: Los Autores, 2026

Figura 14.

### Base de datos del sistema

Mostrando filas 5 - 24 (total de 1740). La consulta tardó 0.0105 segundos. [Susp. Ambiente: 33.33... - 30.47...]

SELECT \* FROM lecturas ORDER BY temperatura DESC

Permisos: [Editar en línea] [Editar] [Copiar SQL] [Crear índice PHP] [Actualizar]

	id	temperatura	gh	fecha	total	humedad	temperatura
Editar	1191	30.25	15.25	2020-01-14 13:41:12	752	63.65	33.53
Editar	1192	30.25	15.25	2020-01-14 13:41:20	743	63.10	32.00
Editar	1193	30.25	15.25	2020-01-14 13:41:30	740	67.87	32.41
Editar	1194	30.5	16.25	2020-01-14 13:41:40	739	68.00	32.13
Editar	1195	30.4	15.25	2020-01-14 13:41:50	748	68.96	31.91
Editar	1196	30.25	15.25	2020-01-14 13:42:00	746	69.76	31.75
Editar	1197	30.75	15.25	2020-01-14 13:42:10	748	70.30	31.54
Editar	1198	30.75	15.25	2020-01-14 13:42:24	748	70.90	31.30
Editar	1199	30.3	15.25	2020-01-14 13:42:31	746	71.42	31.20
Editar	1200	30.25	15.25	2020-01-14 13:42:41	739	73.91	31.14
Editar	1201	30.25	15.25	2020-01-14 13:20:49	794	66.90	30.90
Editar	1202	30.75	15.25	2020-01-14 13:20:58	791	67.44	30.77
Editar	1188	30	15.25	2020-01-14 13:30:48	785	75.2	30.6
Editar	1187	30.25	15.25	2020-01-14 13:30:57	799	75.74	30.6
Editar	1185	30.25	15.25	2020-01-14 13:30:30	785	75.25	30.50
Editar	1186	30.4	15.25	2020-01-14 13:29:57	796	75.2	30.60
Editar	1189	30.4	15.25	2020-01-14 13:29:17	798	73.22	30.64
Editar	1190	30.5	16.25	2020-01-14 13:30:27	784	76.13	30.60
Editar	1153	30.25	15.24	2020-01-14 13:30:10	754	75.3	30.50
Editar	1129	30.5	15.25	2020-01-14 13:29:01	773	69.51	30.55
Editar	1184	30.25	15.25	2020-01-14 13:30:26	785	75.25	30.55
Editar	1183	30.25	15.25	2020-01-14 13:30:00	788	75.41	30.50

Elaborado por: Los Autores, 2026

Figura 15.

**Codificación del sistema en Idle Arduino**

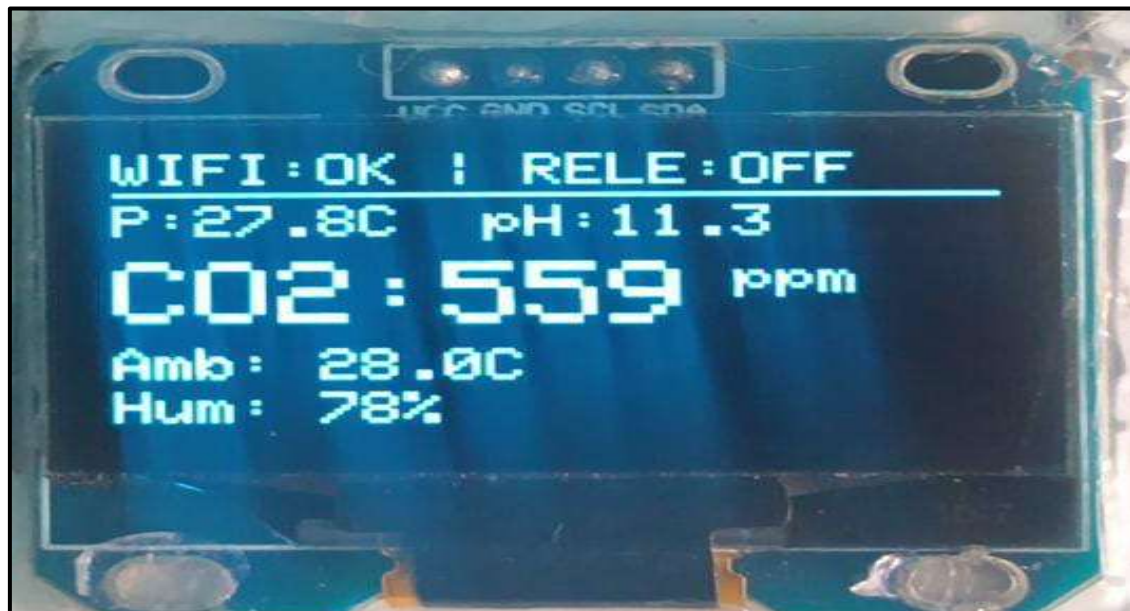
```

Codigo_Sistema.ino
1  #include <Arduino.h>
2  #include <SPI.h>
3  #include <Wire.h>
4  #include <WiFi.h>
5  #include <HTTPClient.h>
6  #include <Adafruit_GFX.h>
7  #include <Adafruit_SHT110X.h>
8  #include <SensirionI2cScd4x.h>
9  #include "max6675.h"
10
11  const char* ssid = "INTERCOM_EMILIO";
12  const char* password = "EMILIO2015";
13  const char* serverName = "http://192.168.1.16/Fermentadora_db/envio.php";
14
15  #define I2c_Address 0x3c
16  Adafruit_SHT1106G display = Adafruit_SHT1106G(128, 64, &Wire, -1);
17
18  SensirionI2cScd4x sensor;
19
20  int thermoDO = 19;
21  int thermoCS = 5;
22  int thermoCLK = 18;
23  MAX6675 thermocouple(thermoCLK, thermoCS, thermoDO);
24
25  #define PH_PIN 34
26  #define RELAY_PIN 26
27  float voltajeNeutro = 2.5;
28  float sensibilidad = 3.3;
29
30  const unsigned long relayInterval = 86400000;
31  const unsigned long relayDuration = 60000;
32  unsigned long lastRelayTime = 0;
33  bool relaystate = false;
34

```

Elaborado por: Los Autores, 2026

Figura 16.

**Validación de los datos del sistema**

Elaborado por: Los Autores, 2026

**Figura 17.**

***Encuesta realizada al propietario de la finca***



**Elaborado por: Los Autores, 2026**

**Figura 18.**

***Entrevista a trabajador***



**Elaborado por: Los Autores, 2026**

**Figura 19.**

***Implementación del prototipo junto con el tutor responsable***



**Elaborado por: Los Autores, 2026**

**Tabla 1.*****Componentes básicos para implementación***

CONCEPTO	CANTIDAD	TOTAL
Computadora	1	\$700,00
Internet	1	\$40,00
Hosting	1	\$40,00
Impresora	1	\$250,00
TOTAL		\$1.030,00

**Elaborado por: Los Autores, 2026****Tabla 2.*****Componentes Electrónicos para el prototipo***

CONCEPTO	CANTIDAD	P.U
Esp32	1	\$5,00
Termocupla tipo k	1	\$15,00
Cables jumper	3	\$2,75
Sensor PH-4502C	1	\$20,44
Sensor CO2 - SCD30	1	\$31,00
Pantalla Oled 1.3 "	1	\$15,00
Relé	2	\$18,00
Protoboard	1	\$5,00
Motor 110V	1	\$340,00
	Total	\$412,75

**Elaborado por: Los Autores, 2026**

Tabla 3.

**Resultados de la encuesta realizada al propietario de la finca “Mendoza”**

Preguntas	Respuesta del propietario
<b>¿Con qué frecuencia realiza la fermentación del cacao en su finca?</b>	La fermentación la hago cada vez que tenemos una cosecha suficiente, normalmente una a dos veces por semana. Cuando el clima se pone inestable toca detener todo porque con frío o humedad el cacao no fermenta.
<b>¿Qué método utiliza para fermentar el cacao?</b>	Trabajar con cajas de madera, como se ha hecho siempre, es un método tradicional pero sí que tiene limitaciones ya que dependemos totalmente del clima y del ojo del productor.
<b>¿Cuáles son los principales problemas que se han observado durante la fermentación?</b>	A veces la temperatura no sube como debería de ser al contrario se eleva demasiado. En otras ocasiones se junta mucha humedad dentro de la caja y aparece moho. Es difícil controlar el tiempo exacto, no puedo saber con una simple vista el PH o el nivel de gases.
<b>¿Qué impacto cree que tienen esos problemas en la calidad del grano fermentado?</b>	Cuando las cosas no salen bien, el cacao lo resiente, el sabor no se desarrolla como debería, el aroma cambia y el grano no queda parejo. A veces toca vender un precio menor.
<b>¿Ha considerado o implementado algún tipo de tecnología para mejorar el proceso de fermentación?</b>	Sí, de hecho, por eso me interesa el prototipo. Con tantos cambios en el clima, ya no basta la experiencia, se necesita apoyo tecnológico. Me interesa poder ver las temperaturas exactas como el PH, el nivel de gases y recibir alertas cuando algo salga de lo normal.

**Elaborado por: Los Autores, 2026**

**Análisis:** Con el resultado de esta encuesta se captaron los procesos de fermentación realizados en la finca “Mendoza”, donde se producen varios desperfectos al momento de plantear los factores necesario para el inicio de la misma, las temperaturas no son las correctas, hay conflictos al realizar un buen movimiento del cacao y así mismo como el control del tiempo para realizar este proceso debido a esto la propuesta de este proyecto tubo gran acogida de parte del dueño ya que al ser un sistema que ofrece un control completo de las variables que influyen en el proceso de fermentación dando una solución directa a su problemática.

Tabla 4.

**Datos Recolectados mediante la implementación del sistema.**

id	temperatura	pH	fecha	co2	humedad	tempAmbiente
1	27.75 °C	12 pH	15/1/2026	530 ppm	75.07 %	27.72 °C
2	27.75 °C	12.79 pH	15/1/2026	530 ppm	75.11 %	27.73 °C
3	27.25 °C	11.87 pH	15/1/2026	529 ppm	75.04 %	27.76 °C
4	27.25 °C	12.45 pH	15/1/2026	529 ppm	75.01 %	27.78 °C
5	27.75 °C	12.69 pH	15/1/2026	529 ppm	75.03 %	27.79 °C
6	27.75 °C	12.72 pH	15/1/2026	530 ppm	74.98 %	27.78 °C
7	28 °C	11.27 pH	15/1/2026	530 ppm	75.03 %	27.8 °C
8	28 °C	11.12 pH	15/1/2026	530 ppm	75 %	27.83 °C
9	27.75 °C	12.77 pH	15/1/2026	530 ppm	74.98 %	27.83 °C
10	27.75 °C	12.57 pH	15/1/2026	531 ppm	75.06 %	27.83 °C
11	27 °C	12.4 pH	15/1/2026	529 ppm	74.98 %	27.86 °C
12	27.75 °C	12.49 pH	15/1/2026	530 ppm	74.96 %	27.88 °C
13	27.75 °C	11.31 pH	15/1/2026	530 ppm	74.91 %	27.9 °C
14	27.5 °C	12.76 pH	15/1/2026	529 ppm	74.96 %	27.92 °C
15	27.5 °C	11.88 pH	15/1/2026	529 ppm	74.87 %	27.91 °C
16	27.75 °C	12.77 pH	15/1/2026	529 ppm	74.85 %	27.96 °C
17	27.5 °C	11.04 pH	15/1/2026	529 ppm	74.85 %	27.98 °C
18	27.75 °C	12.72 pH	15/1/2026	530 ppm	74.85 %	28.01 °C
19	28 °C	12.34 pH	15/1/2026	530 ppm	74.8 %	28.03 °C
20	28 °C	12.79 pH	15/1/2026	530 ppm	74.79 %	28.04 °C
2139	28 °C	12.33 pH	15/1/2026	557 ppm	75.41 %	28.16 °C
2140	27.75 °C	11.87 pH	15/1/2026	557 ppm	75.41 %	28.15 °C
2141	27.75 °C	12.72 pH	15/1/2026	556 ppm	75.41 %	28.15 °C
2142	28 °C	12.77 pH	15/1/2026	556 ppm	75.36 %	28.16 °C
2143	28 °C	12.82 pH	15/1/2026	555 ppm	75.23 %	28.22 °C
2144	28 °C	12.71 pH	15/1/2026	555 ppm	75.22 %	28.25 °C
2145	27.75 °C	12.81 pH	15/1/2026	555 ppm	75.22 %	28.21 °C
2146	27.5 °C	12.77 pH	15/1/2026	554 ppm	75.29 %	28.19 °C
2147	27.75 °C	12.48 pH	15/1/2026	554 ppm	75.31 %	28.18 °C
2148	27.75 °C	11.1 pH	15/1/2026	553 ppm	75.27 %	28.18 °C
2149	28 °C	11.84 pH	15/1/2026	552 ppm	75.27 %	28.18 °C
2150	28.5 °C	12.43 pH	15/1/2026	551 ppm	75.23 %	28.21 °C
2151	27.5 °C	12.83 pH	15/1/2026	551 ppm	75.13 %	28.24 °C
2152	28 °C	12.83 pH	15/1/2026	549 ppm	75.18 %	28.27 °C

Elaborado por: Los Autores, 2026

**Anexo N°12: Modelo de encuesta dirigida al propietario de la finca**

**UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
PROGRAMA REGIONAL DE ENSEÑANZA  
NARANJAL  
CARRERA COMPUTACIÓN**

**ENTREVISTA DIRIGIDA AL PROPIETARIO DE LA FINCA “MENDOZA”****Entrevistador:** Diego Rosales**Entrevistado:** Rodolfo Mendoza

**Objetivo:** Recopilar información sobre el proceso de la recolección y fermentación: Tiempo, método y problemas actuales del cacao en la finca “Mendoza”.

**1. ¿Con qué frecuencia realiza la fermentación del cacao en su finca?**

---

**2. ¿Qué método utiliza para fermentar el cacao?**

---

**3. ¿Cuáles son los principales problemas que ha observado durante la fermentación?**

---

**4. ¿Qué impacto cree que tienen esos problemas en la calidad del grano fermentado?**

---

**5. ¿Ha considerado o implementado algún tipo de tecnología para mejorar el proceso de fermentación?**


---

**Elaborado por: Los Autores, 2026**

Anexo N° 13. Resultado de la encuesta realizada al propietario de la finca  
"Mendoza"

Figura 22.

Respuesta parte 1

  
 UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR  
 FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
 PROGRAMA REGIONAL DE ENSEÑANZA  
 NARANJAL  
 CARRERA COMPUTACIÓN  
 ENTREVISTA DIRIGIDA AL PROPIETARIO DE LA FINCA "MENDOZA"  
 Entrevistador: Diego Rosales  
 Entrevistado: Rodolfo Mendoza  
 Objetivo: Recopilar información sobre el proceso de la recolección y fermentación: Tiempo, método y problemas actuales del cacao en la finca "Mendoza".

1. ¿Con qué frecuencia realiza la fermentación del cacao en su finca?  
*La fermentación la hago cada vez que tenemos una cosecha suficiente, normalmente una o dos veces por año cuando el clima se pone inestable con detenes todo porque con frío o humedad el cacao no fermenta.*
2. ¿Qué método utiliza para fermentar el cacao?  
*Trabaja con cajas de madera, como se ha hecho siempre, es un método tradicional pero sí que tiene limitaciones ya que dependemos totalmente del clima y del ojo del productor.*
3. ¿Cuáles son los principales problemas que ha observado durante la fermentación?  
*A veces la temperatura me afecta como debería, el con-*

Elaborado por: Los Autores, 2026

Figura 23.

Respuesta parte 2

*tao se eleva demasiado. En otras ocasiones se junta mucha humedad dentro de la caja y aparece moho. Es difícil controlar el tiempo exacto, no puedo saber a simple vista el PH o el nivel de gases.*

4. ¿Qué impacto cree que tienen esos problemas en la calidad del grano fermentado?  
*Cuando los cosas no salen bien, el cacao lo acorta, el sabor no se desarrolla como debería, el aroma con húa y el grano no queda pareja. A veces tira acortado a menor peso.*
5. ¿Ha considerado o implementado algún tipo de tecnología para mejorar el proceso de fermentación?  
*Sí, de hecho por eso me interesa el prototipo. Con tantos cambios en el clima, ya no basta la experiencia, se necesita ayuda tecnológica. Me interesa poder ver las temperaturas exactas como el PH, el nivel de gases y recibir alertas cuando algo salga de lo normal.*

Elaborado por: Los Autores, 2026

**Anexo N°13: Modelo de encuesta Dirigida a los trabajadores de la finca****UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
“DR. JACOBO BUCARAM ORTIZ”****CARRERA COMPUTACIÓN****ENTREVISTA DIRIGIDA A LOS TRABAJADORES DE LA FINCA  
“MENDOZA”**

**Entrevistador:** Diego Rosales

**Objetivo:** Identificar mediante este método los factores influyentes en el proceso de fermentación de cacao por parte del personal de trabajo y su participación en este ante los problemas que se puedan presentar durante el desarrollo.

**1. ¿Participa directamente en el proceso de fermentación del cacao?**

- a) Sí, en todas las etapas
- b) Solo en algunas tareas
- c) No participo directamente

**2. ¿Qué dificultades encuentra al manejar el cacao durante la fermentación?**

- a) El cacao está muy caliente o muy frío
- b) Es difícil mover o voltear el cacao
- c) Hay mal olor o presencia de moho
- d) Las cajas o recipientes están en mal estado

**3. ¿Cree que el proceso se realiza con el tiempo necesario para una buena fermentación?**

- a) Sí, siempre
- b) A veces se apresura
- c) A veces se deja más tiempo del necesario
- d) No lo sé

**4. ¿Cuenta con herramientas adecuadas para realizar su trabajo durante la fermentación?**

- a) Sí
- b) No
- c) Algunas veces

**5. ¿Qué sugerencias daría para mejorar el proceso de fermentación del cacao en la finca?**


- a) Usar complementos tecnológicos para el proceso de fermentación
- b) Evitar el uso de la tecnología porque echaría a perder este proceso
- c) Recibir capacitaciones sobre cómo puede influir los proyectos tecnológicos.
- d) No lo sé

**Elaborado por: Los Autores, 2026**

**Anexo 14. Resultado de la encuesta realizada a los trabajadores de la finca "Mendoza".**

**Figura 24.**

**Primera respuesta parte 1**

  
**UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
**PROGRAMA REGIONAL DE ENSEÑANZA NARANJAL**  
**CARRERA COMPUTACIÓN**  
**ENTREVISTA DIRIGIDA A LOS TRABAJADORES DE LA FINCA**  
**"MENDOZA"**

Entrevistador: Gabriela Mendoza

Objetivo: Identificar mediante este método los factores influyentes en el proceso de fermentación de cacao por parte del personal de trabajo y su participación en este ante los problemas que se puedan presentar durante el desarrollo.

1. ¿Participa directamente en el proceso de fermentación del cacao?

a) Sí, en todas las etapas  
 b) Solo en algunas tareas  
 c) No participo directamente

2. ¿Qué dificultades encuentra al manejar el cacao durante la fermentación?

a) El cacao está muy caliente o muy frío  
 b) Es difícil mover o voltear el cacao  
 c) Hay mal olor o presencia de moho  
 d) Las cajas o recipientes están en mal estado

3. ¿Cree que el proceso se realiza con el tiempo necesario para una buena fermentación?

a) Sí, siempre  
 b) A veces se apresura  
 c) A veces se deja más tiempo del necesario  
 d) No lo sé

Elaborado por: Los Autores, 2026

**Figura 25.**

**Primera respuesta parte 2**

4. ¿Cuenta con herramientas adecuadas para realizar su trabajo durante la fermentación?

a) Sí  
 b) No  
 c) Algunas veces

5. ¿Qué sugerencias daría para mejorar el proceso de fermentación del cacao en la finca?

a) Usar complementos tecnológicos para el proceso de fermentación  
 b) Evitar el uso de la tecnología porque echaría a perder este proceso  
 c) Recibir capacitaciones sobre cómo puede influir los proyectos tecnológicos.  
 d) No lo sé

Elaborado por: Los Autores, 2026

Figura 26.

**Segunda respuesta parte 1**

  
**UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
**PROGRAMA REGIONAL DE ENSEÑANZA NARANJAL**  
**CARRERA COMPUTACIÓN**  
**ENTREVISTA DIRIGIDA A LOS TRABAJADORES DE LA FINCA**  
**"MENDOZA"**

Entrevistador: Gabriela Mendoza

Objetivo: Identificar mediante este método los factores influyentes en el proceso de fermentación de cacao por parte del personal de trabajo y su participación en este ante los problemas que se puedan presentar durante el desarrollo.

1. ¿Participa directamente en el proceso de fermentación del cacao?

- Si, en todas las etapas
- Solo en algunas tareas
- No participo directamente

2. ¿Qué dificultades encuentra al manejar el cacao durante la fermentación?

- El cacao está muy caliente o muy frío
- Es difícil mover o voltear el cacao
- Hay mal olor o presencia de moho
- Las cajas o recipientes están en mal estado

3. ¿Cree que el proceso se realiza con el tiempo necesario para una buena fermentación?

- Si, siempre
- A veces se apresura
- A veces se deja más tiempo del necesario
- No lo sé

Elaborado por: Los Autores, 2026

Figura 27.

**Segunda respuesta parte 2**

4. ¿Cuenta con herramientas adecuadas para realizar su trabajo durante la fermentación?

- Si
- No
- Algunas veces


5. ¿Qué sugerencias daría para mejorar el proceso de fermentación del cacao en la finca?

- Usar complementos tecnológicos para el proceso de fermentación
- Evitar el uso de la tecnología porque echaría a perder este proceso
- Recibir capacitaciones sobre cómo puede influir los proyectos tecnológicos.
- No lo sé

Elaborado por: Los Autores, 2026

Figura 28.

*Tercera respuesta parte 1*

  
**UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
**PROGRAMA REGIONAL DE ENSEÑANZA NARANJAL**  
**CARRERA COMPUTACIÓN**  
**ENTREVISTA DIRIGIDA A LOS TRABAJADORES DE LA FINCA**  
**"MENDOZA"**

Entrevistador: Gabriela Mendoza

Objetivo: Identificar mediante este método los factores influyentes en el proceso de fermentación de cacao por parte del personal de trabajo y su participación en este ante los problemas que se puedan presentar durante el desarrollo.

1. ¿Participa directamente en el proceso de fermentación del cacao?

- Si, en todas las etapas
- Solo en algunas tareas
- No participo directamente

2. ¿Qué dificultades encuentra al manejar el cacao durante la fermentación?

- El cacao está muy caliente o muy frío
- Es difícil mover o voltear el cacao
- Hay mal olor o presencia de moho
- Las cajas o recipientes están en mal estado

3. ¿Cree que el proceso se realiza con el tiempo necesario para una buena fermentación?

- Si, siempre
- A veces se apresura
- A veces se deja más tiempo del necesario
- No lo sé

Elaborado por: Los Autores, 2026

Figura 29.

*Tercera respuesta parte 2*

4. ¿Cuenta con herramientas adecuadas para realizar su trabajo durante la fermentación?

- Si
- No
- Algunas veces

5. ¿Qué sugerencias daría para mejorar el proceso de fermentación del cacao en la finca?

- Usar complementos tecnológicos para el proceso de fermentación
- Evitar el uso de la tecnología porque echaría a perder este proceso
- Recibir capacitaciones sobre cómo puede influir los proyectos tecnológicos.
- No lo sé

Elaborado por: Los Autores, 2026

## Anexo N° 15: Resultado de la encuesta realizada a los trabajadores de la finca “Mendoza”

### 1. ¿Participa directamente en el proceso de fermentación del cacao?

Tabla 5.

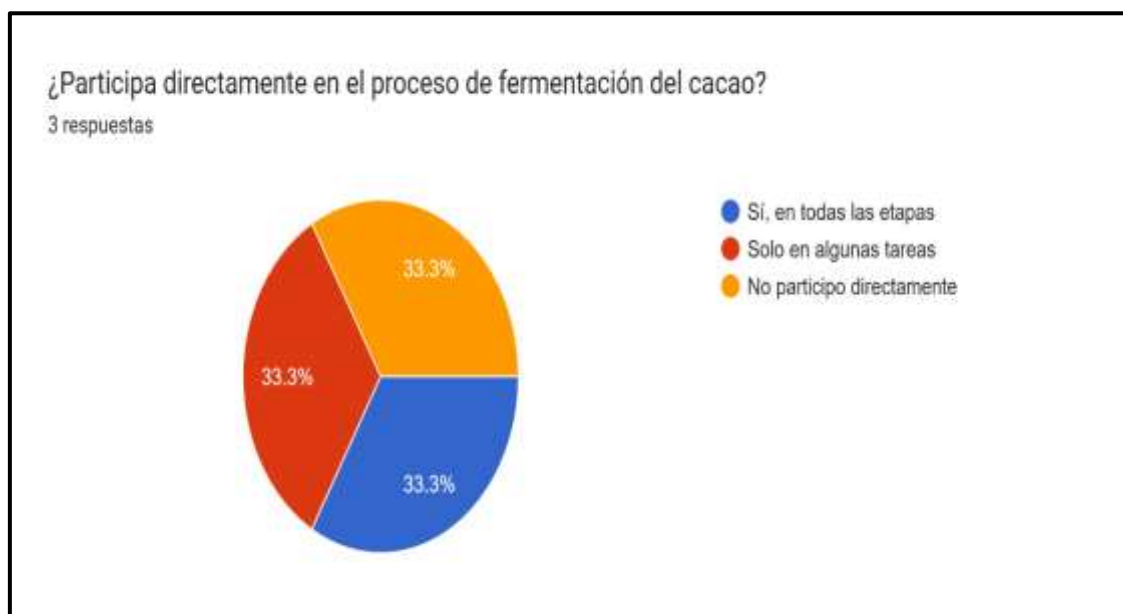
#### *Participación en el proceso de fermentación*

Alternativa	Frecuencia	Porcentaje
Sí, en todas las etapas	1	33.3%
Solo en algunas tareas	1	33.3%
No participo directamente	1	33.3%
<b>Total</b>	3	100%

Elaborado por: Los Autores, 2026

Figura 30.

#### *Participación en el proceso de fermentación*



Elaborado por: Los Autores, 2026

**Análisis:** Gracias a esta pregunta podemos saber cuántos, y cuáles de los trabajadores participa directamente en el proceso de fermentación, esto es de mucha ayuda para saber el nivel de conocimiento que tiene sobre este proceso. Teniendo que el 66.6% de los trabajadores tiene los conocimientos básicos y el 33.3% recibirá una pequeña capacitación para ponerlo a tanto de las acciones que el sistema captará.

## 2. ¿Qué dificultades encuentra al manejar el cacao durante la fermentación?

Tabla 6.

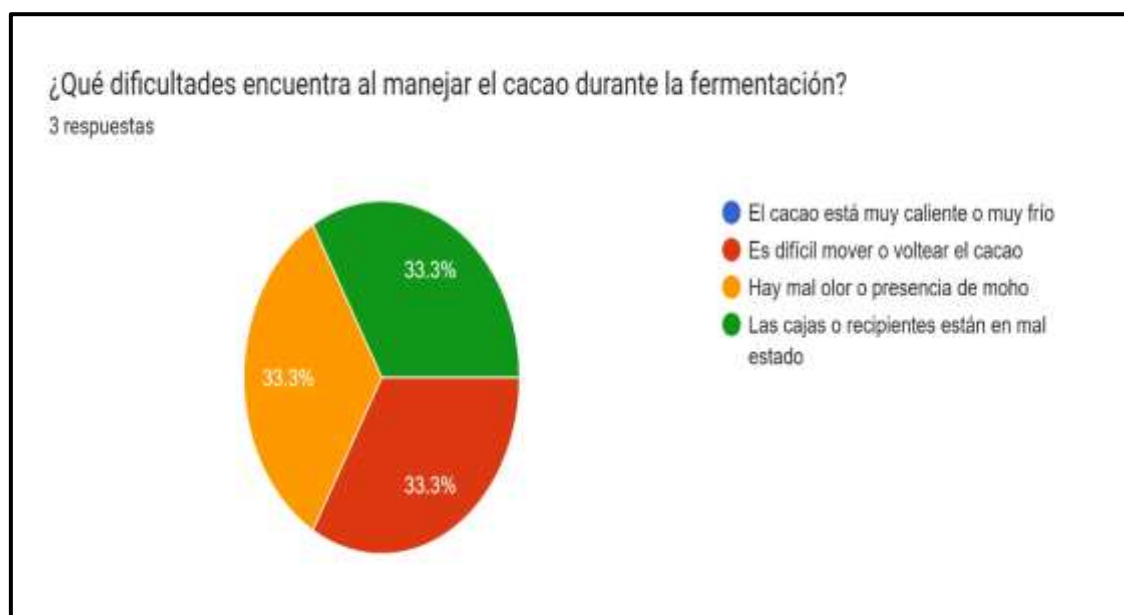
### *Dificultades al manejar el cacao durante la fermentación*

Alternativa	Frecuencia	Porcentaje
El cacao está muy caliente o muy frío	0	0%
Es difícil mover o voltear el cacao	1	33.3%
Hay mal olor o presencia de moho	1	33.3%
Las cajas o recipientes están en mal estado	1	33.3%
Total	3	100%

Elaborado por: Los Autores, 2026

Figura 31.

### *Dificultades al manejar el cacao durante la fermentación*



Elaborado por: Los Autores, 2026

**Análisis:** Debido a los resultados de esta encuesta constatamos que hay un 33.3% en cada uno de los problemas presentados y que la implementación de este sistema será una mejora clave para este proceso, facilitando muchos de los procesos que se hacen manualmente, generando soluciones a sus inconvenientes.

## 3. ¿Cree que el proceso se realiza con el tiempo necesario para una buena fermentación?

Tabla 7.

***El proceso se realiza con el tiempo necesario para una buena fermentación***

Alternativa	Frecuencia	Porcentaje
Sí, siempre	0	0%
A veces se apresura	1	33.3%
A veces se deja más tiempo del necesario	1	33.3%
No lo se	1	33.3%
<b>Total</b>	<b>3</b>	<b>100%</b>

Elaborado por: Los Autores, 2026

Figura 32.

***El proceso se realiza con el tiempo necesario para una buena fermentación***

Elaborado por: Los Autores, 2026

**Análisis:** En los resultados de esta preguntan se observó que la finca no cuenta con un tiempo controlado para el proceso de fermentación de cacao, su proceso no sabe cuándo se tiene que voltear o dar por finalizado, gracias a este sistema ese problema no se volverá a presentar ya que el proyecto cuando con una hora interna que al cumplirse realizará el proceso por sí mismo, así como indicar el tiempo para dar por finalizado el proceso

#### 4. ¿Cuenta con herramientas adecuadas para realizar su trabajo durante la fermentación?

Tabla 8.

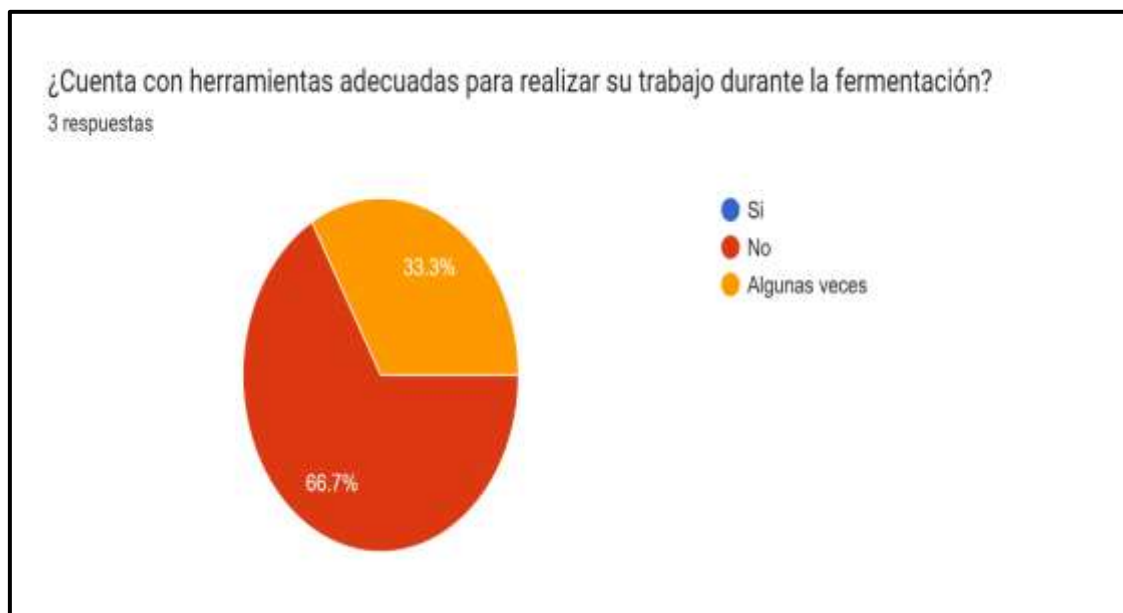
##### *Herramientas adecuadas para realizar su trabajo de la fermentación*

Alternativa	Frecuencia	Porcentaje
Sí	0	0%
No	2	66.6%
Algunas veces	1	33.3%
<b>Total</b>	<b>3</b>	<b>100%</b>

Elaborado por: Los Autores, 2026

Figura 33.

##### *Herramientas adecuadas para realizar su trabajo de la fermentación*



Elaborado por: Los Autores, 2026

**Análisis:** Como resultado de esta pregunta vemos la falta de herramientas para el monitoreo en el proceso de fermentación, tales como: sensores, motor dispositivo donde ver los datos. Al introducir este sistema que ya contara con todas estas herramientas, facilitara el monitoreo de forma en que los participantes no tengan problemas con saber el estado del mismo.

## 5. ¿Qué sugerencias daría para mejorar el proceso de fermentación del cacao en la finca?

Tabla 9.

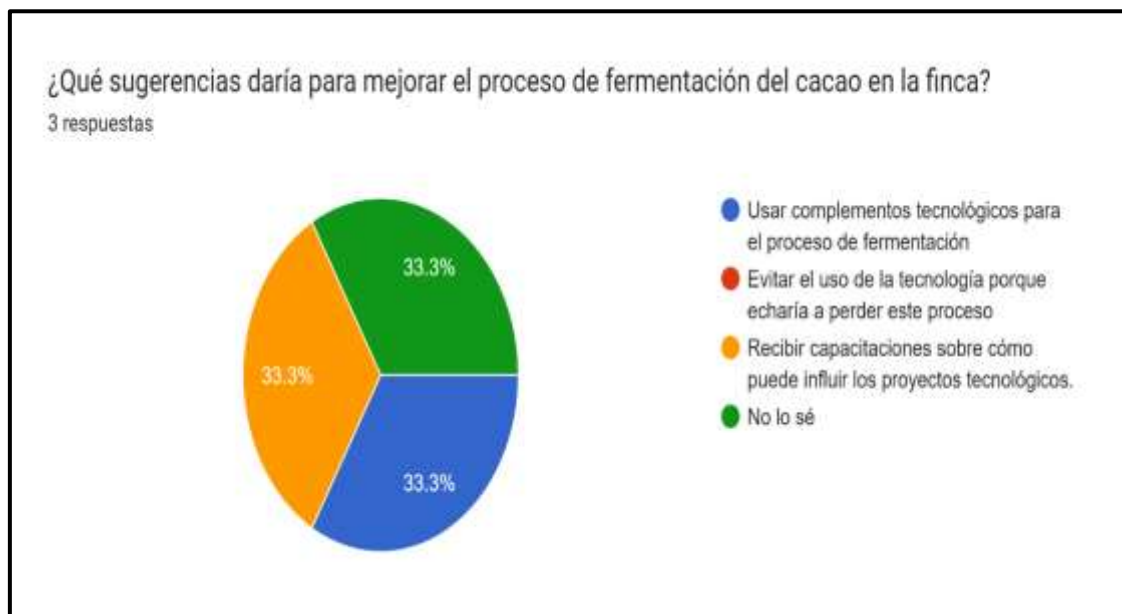
### Sugerencias

Alternativa	Frecuencia	Porcentaje
Usar complementos tecnológicos para el proceso de fermentación	1	33.3%
Evitar el uso de la tecnología porque echaría a perder este proceso	0	0%
Recibir capacitaciones sobre cómo puede influir los proyectos tecnológicos.	1	33.3%
No lo sé	1	33.3%
<b>Total</b>	<b>3</b>	<b>100%</b>

Elaborado por: Los Autores, 2026

Figura 34.

### Sugerencias



Elaborado por: Los Autores, 2026

**Análisis:** Mediante este resultado podemos apreciar que los trabajadores están dispuestos a recibir el sistema, juntos con las respectivas capacitaciones para comprender el funcionamiento del mismo. Dando un visto bueno a la implementación de la tecnología en los procesos de los cultivos y procesos derivados del mismo como lo es la fermentación del cacao

## APÉNDICES

### Apéndice N° 1: Manual de usuario



# **MANUAL DE USUARIO BASADO EN LA INSTALACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE LA APLICACIÓN MÓVIL**

## Manual de Usuario

### Introducción

El presente manual de usuario está orientado al proceso de instalación, ingreso y visualización de datos en la app móvil desarrollada para el proceso de monitoreo en la fermentación de cacao en la finca “Mendoza”

Esta aplicación fue desarrollada en Flutter una plataforma líder en la creación de aplicaciones móviles que posee un amplio repertorio de librerías y extensiones que nos ayudan en el diseño de nuestra app. Para esto se tubo el nombre de las variables de los sensores en la base de datos y una interfaz amigable para el manejo del usuario

A continuación, se presentarán los datos para el proceso de instalación de la apk desarrollada:

### Requerimientos del sistema

Requerimientos sobre el software y hardware:

- Dispositivo móvil con Android 13 o superior
- Conexión estable a internet

### Explicación sobre el procedimiento

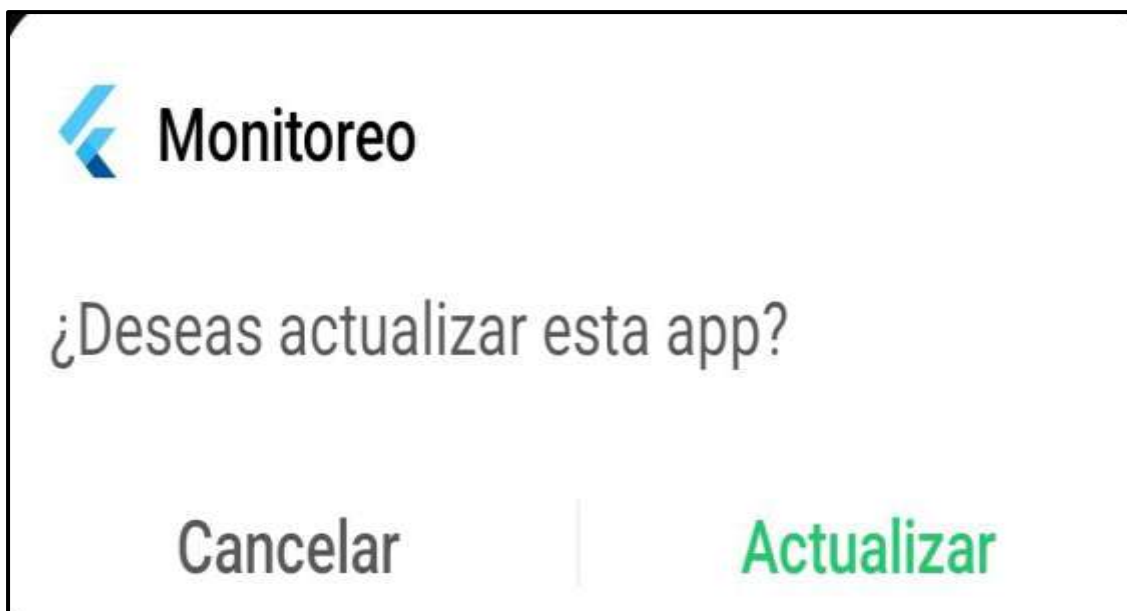
#### **1. Descargamos la APK proporcionada por los desarrolladores en este caso los encargados de la evaporación del sistema.**

Esta apk la genera la plataforma Flutter una vez que nuestro código este correctamente definido, para crearla se usa el comando Flutter build apk – release, el cual realiza actualización que implementamos en el código y las compila de tal forma de presentar una apk actualizada al momento.



## 2. Presionamos para iniciar con la instalación.

Una vez ya que ya tengamos la apk en el dispositivo procedemos con la instalación, en algunos dispositivos móviles abran apps secundarias como Google parental los cuales escanearan la aplicación en busca de virus o datos maliciosos, lo cual omitimos con total confianza ya que al ser una app desarrollada por nosotros podemos tener la certeza de no poseer tales archivos.



**3. Una vez que la aplicación ya se haya instalado y la abrimos nos presentara la ventana de validación en donde debemos ingresar un usuario y contraseña para poder ingresar.**

Al iniciar la aplicación, esta abrirá la ventana de login, los datos para acceder a los datos son definidos en el código de la app, lo cual promueve seguridad al acceso de personas externas.



Se deben ingresar los datos correctos, en caso de no hacerlo la app negara el ingreso y mostrará el siguiente mensaje en donde ya no se podrá hacer mas que ingresar los datos correctos o cerrar la app.

The image shows a dark gray rectangular box with the text "Usuario o contraseña incorrectos" written in a large, white, sans-serif font. The text is centered and slightly blurred, giving it a soft appearance.

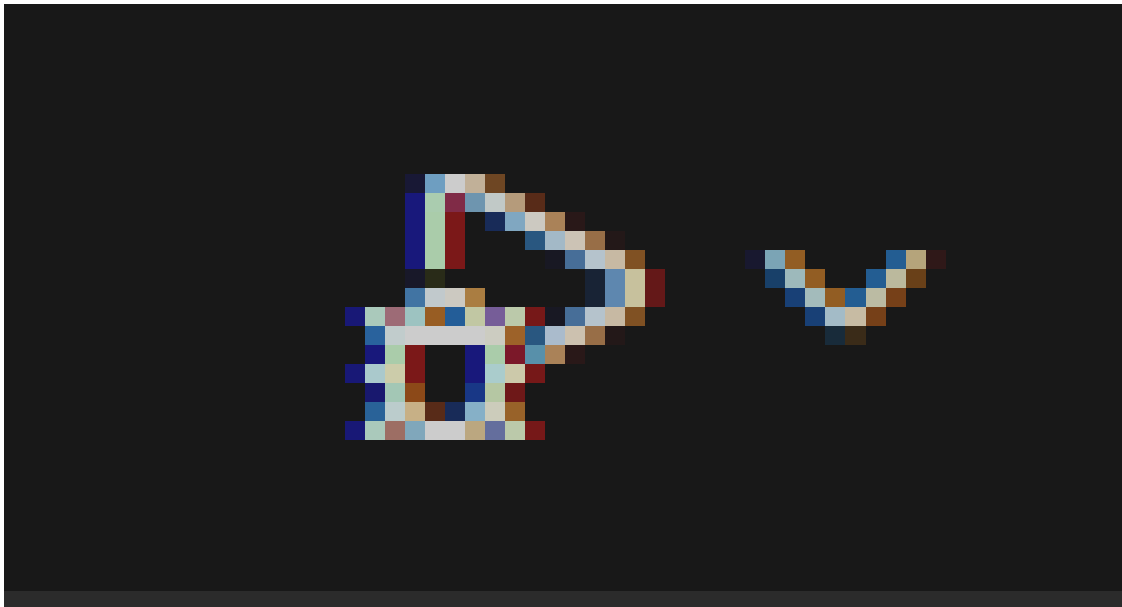
**4. Una vez ingresado los datos correctamente, la app mostrara los datos de los distintos sensores en la siguiente ventana.**

La aplicación ya tiene otorgado el permiso a acceso de internet desde su desarrollo así que no es necesario tal paso, lo único que hay que tener en cuenta es que la misma red a la que está conectada tanto la base como la aplicación, tiene que ser la del dispositivo móvil, ya que de no ser así las direcciones ip no coinciden y habrá un conflicto de red en donde la aplicación no presentará los datos de la base.

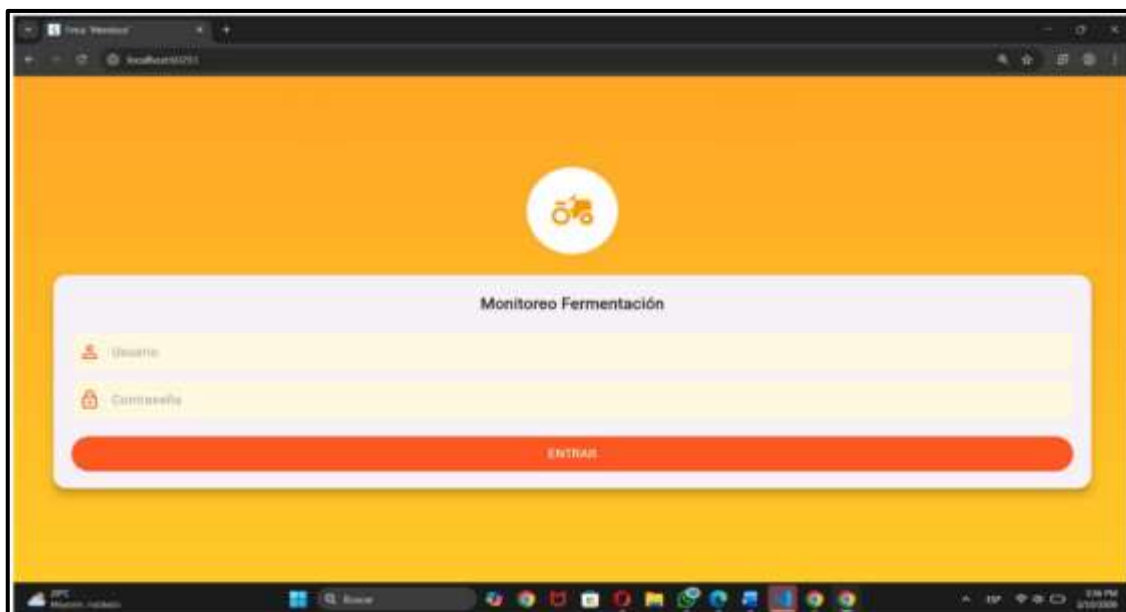


**5. como opción ah no tener un dispositivo móvil al momento de estar presente la app tambien puede visualizarse mediante el navegador Chrome para esto:**

En la ventana donde modificamos las variables del código damos clic en el botor ejecutar y compilar.



Una vez que demos clic en ese icono, Flutter nos redijirá automáticamente a una pestaña en el navegador Chrome, donde podremos visualizar los datos sin necesidad de tener un dispositivo móvil presente.



## 6. Código desarrollado para el lanzamiento de la aplicación.

El siguiente código presentado define las variables, conexiones, diseño y acceso de la aplicación creada en Flutter.

```
import 'package:flutter/material.dart';
import 'dart:convert';
import 'package:http/http.dart' as http;

void main() => runApp(const MyApp());

class MyApp extends StatelessWidget {
  const MyApp({super.key});

  @override
  Widget build(BuildContext context) {
    return MaterialApp(
      debugShowCheckedModeBanner: false,
      title: 'Monitoreo Maíz',
      theme: ThemeData(
        primarySwatch: Colors.green,
        scaffoldBackgroundColor: Colors.white,
        appBarTheme: const AppBarTheme(
          backgroundColor: Colors.green,
          foregroundColor: Colors.white,
          elevation: 0,
        ),
      ),
      home: const LoginPage(),
    );
  }
}
```

```
// --- 1. PANTALLA DE LOGIN (Con validación de usuario) ---
class LoginPage extends StatefulWidget {
  const LoginPage({super.key});

  @override
  State<LoginPage> createState() => _LoginPageState();
}

class _LoginPageState extends State<LoginPage> {
  // CONTROLADORES PARA CAPTURAR TEXTO
  final TextEditingController _userController = TextEditingController();
  final TextEditingController _passController = TextEditingController();

  // --- MODIFICA AQUÍ TUS CREDENCIALES ---
  final String usuarioCorrecto = "mercedes";
  final String claveCorrecta = "maiz2026";

  void _intentarLogin() {
    if (_userController.text == usuarioCorrecto y _passController.text ==
claveCorrecta) {
      Navigator.push(
        context,
        MaterialPageRoute(builder: (context) => const SelectionPage()),
      );
    } else {
      ScaffoldMessenger.of(context).showSnackBar(
        const SnackBar(
          content: Text("Usuario o contraseña incorrectos"),
          backgroundColor: Colors.red,
          behavior: SnackBarBehavior.floating,

```

```

    ),
  );
}
}

```

```
@override
```

```

Widget build(BuildContext context) {
  return Scaffold(
    body: Container(
      width: double.infinity,
      decoration: BoxDecoration(
        gradient: LinearGradient(
          begin: Alignment.topCenter,
          end: Alignment.bottomCenter,
          colors: [Colors.green.shade100, Colors.white],
        ),
      ),
    ),
    child: Padding(
      padding: const EdgeInsets.all(30.0),
      child: SingleChildScrollView(
        child: Column(
          mainAxisAlignment: MainAxisAlignment.center,
          children: [
            const SizedBox(height: 80),
            const Text("☁", style: TextStyle(fontSize: 100)),
            const Text(
              "SISTEMA MAÍZ",
              style: TextStyle(fontSize: 28, fontWeight: FontWeight.bold, color:
Colors.green, letterSpacing: 2),
            ),
            const SizedBox(height: 40),

```

```

TextField(
  controller: _userController,
  decoration: InputDecoration(
    labelText: "Usuario",
    filled: true,
    fillColor: Colors.white,
    border: OutlineInputBorder(borderRadius:
BorderRadius.circular(15)),
    prefixIcon: const Icon(Icons.person, color: Colors.green),
  ),
),
const SizedBox(height: 15),
TextField(
  controller: _passController,
  obscureText: true,
  decoration: InputDecoration(
    labelText: "Contraseña",
    filled: true,
    fillColor: Colors.white,
    border: OutlineInputBorder(borderRadius:
BorderRadius.circular(15)),
    prefixIcon: const Icon(Icons.lock, color: Colors.green),
  ),
),
const SizedBox(height: 30),
ElevatedButton(
  style: ElevatedButton.styleFrom(
    backgroundColor: Colors.green,
    foregroundColor: Colors.white,
    minimumSize: const Size(double.infinity, 55),
    shape: RoundedRectangleBorder(borderRadius:
BorderRadius.circular(15)),

```

```

    ),
    onPressed: _intentarLogin,
    child: const Text("INGRESAR", style: TextStyle(fontSize: 18,
fontWeight: FontWeight.bold)),
  ),
  const SizedBox(height: 80),
],
),
),
),
),
);
}
}

```

// --- 2. PANTALLA DE SELECCIÓN DE PLACA ---

```

class SelectionPage extends StatelessWidget {
  const SelectionPage({super.key});

  @override
  Widget build(BuildContext context) {
    return Scaffold(
      appBar: AppBar(title: const Text("Mis Parcelas")),
      body: Padding(
        padding: const EdgeInsets.symmetric(horizontal: 20.0),
        child: Column(
          mainAxisAlignment: MainAxisAlignment.center,
          children: [
            const Icon(Icons.eco, color: Colors.green, size: 60),
            const SizedBox(height: 10),
            const Text(

```

```

        "Monitoreo en Tiempo Real",
        style: TextStyle(fontSize: 18, fontWeight: FontWeight.w500, color:
Colors.grey),
    ),
    const SizedBox(height: 40),
    _buildPlacaButton(context, "PLACA A - SECTOR NORTE", "ESP32_A",
Colors.green),
    const SizedBox(height: 20),
    _buildPlacaButton(context, "PLACA B - SECTOR SUR", "ESP32_B",
Colors.green.shade700),
    ],
    ),
    ),
);
}

```

```

Widget _buildPlacaButton(BuildContext context, String label, String id, Color
color) {
    return ElevatedButton(
        style: ElevatedButton.styleFrom(
            backgroundColor: color,
            foregroundColor: Colors.white,
            minimumSize: const Size(double.infinity, 65),
            shape: RoundedRectangleBorder(borderRadius:
BorderRadius.circular(20)),
            elevation: 5,
        ),
        onPressed: () => Navigator.push(
            context,
            MaterialPageRoute(builder: (context) => DataPage(idPlaca: id))
        ),
        child: Row(

```

```

        mainAxisAlignment: MainAxisAlignment.center,
        children: [
            const Icon(Icons.sensors),
            const SizedBox(width: 15),
            Text(label, style: const TextStyle(fontSize: 16, fontWeight:
FontWeight.bold)),
        ],
    ),
);
}
}

```

// --- 3. PANTALLA DE INFORMACIÓN DETALLADA ---

```

class DataPage extends StatefulWidget {
    final String idPlaca;
    const DataPage({super.key, required this.idPlaca});

    @override
    State<DataPage> createState() => _DataPageState();
}

class _DataPageState extends State<DataPage> {
    // IMPORTANTE: Cambia esta IP por la de tu PC servidor
    final String url = "http://192.168.1.16/red_sensores/enviar.php";

    Future<Map<String, dynamic>?> fetchData() async {
        try {
            final response = await http.get(Uri.parse(url));
            if (response.statusCode == 200) {
                List<dynamic> allData = json.decode(response.body);
                // Retorna la última lectura que coincida con el ID enviado
            }
        }
    }
}

```

```

    return allData.firstWhere((item) => item['id_placa'] == widget.idPlaca, orElse:
() => null);
  }
} catch (e) {
  debugPrint("Error de conexión: $e");
}
return null;
}

```

```
@override
```

```

Widget build(BuildContext context) {
  return Scaffold(
    appBar: AppBar(title: Text("Estado: ${widget.idPlaca}")),
    body: FutureBuilder(
      future: fetchData(),
      builder: (context, AsyncSnapshot<Map<String, dynamic>?> snapshot) {
        if (snapshot.connectionState == ConnectionState.waiting) {
          return const Center(child: CircularProgressIndicator(color: Colors.green));
        }
        if (!snapshot.hasData || snapshot.data == null) {
          return const Center(child: Text("No hay datos recientes de esta placa"));
        }

        var data = snapshot.data!;
        return ListView(
          padding: const EdgeInsets.all(20),
          children: [
            _infoCard("Temperatura Aire", "${data['TemAmbiente']}°C",
Icons.thermostat, Colors.orange),
            _infoCard("Humedad Aire", "${data['humAmbiente']}%",
Icons.water_drop, Colors.blue),

```

```

        _infoCard("Humedad del Suelo", "${data['humSuelo']}%", Icons.grass,
Colors.brown),
        _infoCard("Temperatura Suelo", "${data['tempSuelo']}°C",
Icons.shutter_speed, Colors.red),
        const SizedBox(height: 30),
        Container(
          padding: const EdgeInsets.all(15),
          decoration: BoxDecoration(
            color: Colors.green.shade50,
            borderRadius: BorderRadius.circular(10)
          ),
          child: Column(
            children: [
              const Text("Sincronizado con Base de Datos", style:
TextStyle(fontSize: 10, color: Colors.grey)),
              Text(
                "${data['fecha']}",
                textAlign: TextAlign.center,
                style: const TextStyle(color: Colors.green, fontWeight:
FontWeight.bold),
              ),
            ],
          ),
        ),
      ],
    );
  },
),
);
}

```

```

Widget _infoCard(String title, String value, IconData icon, Color iconColor) {

```

```

return Card(
  elevation: 3,
  margin: const EdgeInsets.only(bottom: 15),
  shape: RoundedRectangleBorder(borderRadius: BorderRadius.circular(15)),
  child: ListTile(
    leading: CircleAvatar(
      backgroundColor: iconColor.withOpacity(0.1),
      child: Icon(icon, color: iconColor),
    ),
    title: Text(title, style: const TextStyle(fontWeight: FontWeight.bold)),
    trailing: Text(
      value,
      style: const TextStyle(fontSize: 18, fontWeight: FontWeight.bold, color:
Colors.green)
    ),
  ),
);
}
}

```

**Nota:** En este código se definen diseño, variables de los sensores, distribución de las ventanas de login y de datos.

## 7. Código en PHP para la comunicación entre la base y la app.

```

<?php
header('Content-Type: application/json; charset=utf-8');
header('Access-Control-Allow-Origin: *');
ini_set('display_errors', 0);
error_reporting(0);

$conn = new mysqli("localhost", "root", "", "fermentadora_db");

```

```
if ($conn->connect_error) {  
    echo json_encode([]);  
    exit;  
}
```

```
$sql = "
```

```
SELECT
```

```
    CAST(IFNULL(temperatura,0) AS DECIMAL(10,2)) AS temperatura,
```

```
    CAST(IFNULL(ph,7) AS DECIMAL(10,2)) AS ph,
```

```
    CAST(IFNULL(co2,0) AS DECIMAL(10,2)) AS co2,
```

```
    CAST(IFNULL(humedad,0) AS DECIMAL(10,2)) AS humedad,
```

```
    CAST(IFNULL(tempAmbiente,0) AS DECIMAL(10,2)) AS tempAmbiente
```

```
FROM lecturas
```

```
ORDER BY id DESC
```

```
LIMIT 1
```

```
";
```

```
$r = $conn->query($sql);
```

```
echo json_encode($r->fetch_assoc());
```

```
$conn->close();
```

```
?>
```

**Nota: el código realiza la conexión base de datos / app mediante la dirección de la base junto con la orden de consulta.**

Apéndice N° 2: Manual Técnico



# Manual de técnico del sistema de monitoreo

## Manual Técnico

### Introducción:

La implementación del sistema de monitoreo del proceso de fermentación del cacao en la finca “Mendoza”, Como parte del proceso de validación, el sistema fue presentado al propietario y al personal de la finca, quienes pudieron observar su funcionamiento y resolver dudas sobre la operación del mismo, el sistema permitió el monitoreo continuo de las variables temperatura interna, pH, concentración de CO<sub>2</sub>, temperatura ambiente y humedad relativa.

Al ser un sistema automatizado, este no requiere la intervención del personal durante el proceso de fermentado, la placa esp32 de se encarga de recolectar los datos de los sensores distribuidos por la caja fermentadora y enviarlos a la baje para que esta los presente en la respectiva aplicación adicionalmente el sistema envía la orden de volteo de la caja, volviendo este proceso aún más autónomo para la finca “Mendoza”.

### Tabla 10

Requisitos electrónicos para el sistema de monitoreo

Requisito	CONCEPTO
Microcontrolador	Esp32
Sensor de temperatura interna	Termocupla tipo k
Conexiones	Cables jumper
Sensor de captación de pH	Sensor PH-4502C
Sensor de captación de Co2-humedad y temperatura ambiente	Sensor CO2 - SCD30
Pantalla de presentación	Pantalla Oled 1.3 ”
Modulo controlador de corriente	Relé
Tabla de conexión	Protoboard
Movimiento	Motor 220V
Alimentación eléctrica	3.3v
Conectividad	Wi-fi
Respaldo	MySQL
Presentación de datos	App Movil

**Elaborador por: Los Autores, (2026)**

## **Estructura general del sistema fermentado automatizado**

### **Módulo de recolección de datos**

La placa esp32 recolecta los datos de los sensores configurados mediante la codificación y conectados a la placa a través de la Protoboard, esta almacena sus datos en la su memoria interna, estos datos son presentados en el monitor serial y pantalla oled para su previa visualización previa.

A continuación se muestra el código para la recolección de datos de cada sensor:

#### **Termocupla**

##### **Código utilizado para el funcionamiento del sensor**

```
tempProceso = thermocouple.readCelsius();
if (isnan(tempProceso)) tempProceso = 0.0;
```

```
unsigned long readingSum = 0;
for(int i = 0; i < 20; i++) {
  readingSum += analogRead(PH_PIN);
  delay(1);
```

#### **Sensor Co2**

##### **Código utilizado para el funcionamiento del sensor**

```
if (currentMillis - lastTimeSensor > 5000) {
  bool dataReady = false;
  if (sensor.getDataReadyStatus(dataReady) == 0 yy dataReady) {
    sensor.readMeasurement(co2, tempAmbiente, humedad);
    Serial.printf("[SCD4x] CO2: %u | Amb: %.1fC | Hum: %.1f%%\n", co2,
tempAmbiente, humedad);
  }
  lastTimeSensor = currentMillis;
```

#### **Sensor PH**

##### **Código utilizado para el funcionamiento del sensor**

```
float voltage = (readingSum / 20.0) * (3.3 / 4095.0);
phValue = 7.0 + ((voltajeNeutro - voltage) * sensibilidad);
```

## Capa de Conversión de datos

Los datos adquiridos están en valores crudos, es decir valores de fabrica pre configurados en los sensores por lo que la placa esp32 realizara una conversión de datos mostrándolos en porcentaje, gratos, ppm y pH respectivamente:

**Tabla 11**

**Tabla de conversión de datos**

Sensor	Lectura Directa (Cruda)	Valor Convertido	Unidad
Sensor de pH	2.50 V	7.00	pH
Termocupla (Tipo K)	10.151 mV	250.0	°C
Sensor CO2	1.20 V	800	ppm
Humedad	0x6A42	45.5	%RH
Temp. Ambiente	0x65C2	24.2	°C

Elaborador por: Los Autores, (2026)

### Capa de conexión

Definiendo una dirección ip, un SSID y Contraseña de red, se establece y permite la conexión de la esp32 a internet, lo cual también permite que los datos sean enviados vía Wi-Fi a la base y respectivamente a la aplicación móvil.

### Capa de Envío de datos a la base

Una vez que el microcontrolador obtenga los valores respectivos, estos a través de una codificación en php para la comunicación con MYSQL son enviados a la base de datos fermentadora\_db, en donde serán respaldados y almacenados para consultas futuras.

### Capa de actuadores

El microcontrolador Esp32 al ser de bajo voltaje no puede emitir una orden directa a un motor 220v, por esto la conexión se realiza a través de un módulo Relay, el cual soporta un voltaje de hasta 250V siendo este actuador el que genera el movimiento rotativo de la caja fermentadora.

### Módulo de presentación de datos

La app desarrollada en Flutter crea consultas directamente a la bases de datos del sistema, estos datos ya convertidos en valor entendibles, son presentados en la ventana de la aplicación, pero previo a este la app requiere del login del usuario para evitar que estos datos puedan ser mal informados.

### **Código general de la placa esp32**

```
#include <Arduino.h>
#include <SPI.h>
#include <Wire.h>
#include <WiFi.h>
#include <HTTPClient.h>
#include <Adafruit_GFX.h>
#include <Adafruit_SH110X.h>
#include <SensirionI2cScd4x.h>
#include "max6675.h"

const char* ssid = "JIXONNET-EL ANINADO 5G";
const char* password = "Miasol1913";
const char* serverName = "http://192.168.1.12/fermentadora_db/envio.php";

#define i2c_Address 0x3c
Adafruit_SH1106G display = Adafruit_SH1106G(128, 64, yWire, -1);

SensirionI2cScd4x sensor;

int thermoDO = 19;
int thermoCS = 5;
int thermoCLK = 18;
MAX6675 thermocouple(thermoCLK, thermoCS, thermoDO);

#define PH_PIN 34
#define RELAY_PIN 26
float voltajeNeutro = 2.5;
float sensibilidad = 3.3;
```

```
const unsigned long relayInterval = 86400000;
const unsigned long relayDuration = 60000;
unsigned long lastRelayTime = 0;
bool relayState = false;

uint16_t co2 = 0;
float tempAmbiente = 0.0, humedad = 0.0, tempProceso = 0.0, pHValue = 0.0;

unsigned long lastTimeWifi = 0;
unsigned long timerDelayWifi = 10000;
unsigned long lastTimeSensor = 0;

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  pinMode(RELAY_PIN, OUTPUT);
  digitalWrite(RELAY_PIN, LOW);
  Wire.begin();

  display.begin(i2c_Address, true);
  display.clearDisplay();
  display.setTextColor(SH110X_WHITE);
  display.display();

  sensor.begin(Wire, SCD41_I2C_ADDR_62);
  sensor.stopPeriodicMeasurement();
  sensor.startPeriodicMeasurement();

  WiFi.begin(ssid, password);
  pinMode(PH_PIN, INPUT);
```

```

Serial.println("--- SISTEMA INICIADO ---");
}

void loop() {
  unsigned long currentMillis = millis();

  if (currentMillis - lastTimeSensor > 5000) {
    bool dataReady = false;
    if (sensor.getDataReadyStatus(dataReady) == 0 yy dataReady) {
      sensor.readMeasurement(co2, tempAmbiente, humedad);
      Serial.printf("[SCD4x] CO2: %u | Amb: %.1fC | Hum: %.1f%%\n", co2,
tempAmbiente, humedad);
    }
    lastTimeSensor = currentMillis;
  }

  tempProceso = thermocouple.readCelsius();
  if (isnan(tempProceso)) tempProceso = 0.0;

  unsigned long readingSum = 0;
  for(int i = 0; i < 20; i++) {
    readingSum += analogRead(PH_PIN);
    delay(1);
  }
  float voltage = (readingSum / 20.0) * (3.3 / 4095.0);
  phValue = 7.0 + ((voltajeNeutro - voltage) * sensibilidad);

  if (!relayState yy (currentMillis - lastRelayTime >= relayInterval)) {
    digitalWrite(RELAY_PIN, HIGH);
    relayState = true;
    lastRelayTime = currentMillis;
  }
}

```

```

    Serial.println("[RELE] ENCENDIDO");
}
if (relayState yy (currentMillis - lastRelayTime >= relayDuration)) {
    digitalWrite(RELAY_PIN, LOW);
    relayState = false;
    Serial.println("[RELE] APAGADO");
}

display.clearDisplay();
display.setTextSize(1);
display.setCursor(0,0);
                    display.printf("WIFI:%s          |          RELE:%s",
(WiFi.status()==WL_CONNECTED?"OK":"NO"), (relayState?"ON":"OFF"));
display.drawLine(0, 9, 128, 9, SH110X_WHITE);
display.setCursor(0, 12);
display.printf("P:%.1fC  pH:%.1f", tempProceso, pHValue);
display.setCursor(0, 25);
display.setTextSize(2);
display.printf("CO2:%u", co2);
display.setTextSize(1); display.print(" ppm");
display.setCursor(0, 45);
display.printf("Amb: %.1fC", tempAmbiente);
display.setCursor(0, 55);
display.printf("Hum: %.0f%%", humedad);
display.display();

if ((currentMillis - lastTimeWifi) > timerDelayWifi) {
    Serial.printf("[DATOS] P:%.1fC | pH:%.1f | WiFi: %d\n", tempProceso,
pHValue, WiFi.status());
    if(WiFi.status() == WL_CONNECTED){
        WiFiClient client;

```

```
HTTPClient http;
http.begin(client, serverName);
http.addHeader("Content-Type", "application/x-www-form-urlencoded");
    String data = "temperatura=" + String(tempProceso) + "yph=" +
String(phValue) +
        "yco2=" + String(co2) + "yhumedad=" + String(humedad) +
        "ytempAmbiente=" + String(tempAmbiente);
int httpCode = http.POST(data);
Serial.printf("[HTTP] Respuesta servidor: %d\n", httpCode);
http.end();
}
    lastTimeWifi = currentMillis;
}
delay(200);
}
```