



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 SISTEMA DE ALERTA PARA DETECTAR
GASES TÓXICOS EN ALMACENAMIENTO DE CACAO DEL
COMERCIAL ESPINOZA, CANTÓN NARANJAL

AUTOR:

ORTIZ HIDALGO JOSEPH JHAIR

TUTOR:

ING. TERÁN GUAJALA GEANELLA NICOLE, MSC.

NARANJAL, ECUADOR

2026



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

APROBACIÓN DEL TUTOR

La suscrita, docente de la Universidad Agraria del Ecuador, en mi calidad de Tutora, certifico que el presente trabajo de titulación: **PROTOTIPO DE SISTEMA DE ALERTA PARA DETECTAR GASES TÓXICOS EN ALMACENAMIENTO DE CACAO DEL COMERCIAL ESPINOZA, CANTÓN NARANJAL**, realizado por el estudiante **ORTIZ HIDALGO JOSEPH JHAIR**; con cédula de identidad **N°0928038454** de la carrera COMPUTACIÓN Unidad Académica **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.Terán Guajala Geanella Nicole, MSc.

Milagro, 19 de mayo del 2026



**UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
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 SISTEMA DE ALERTA PARA DETECTAR GASES TÓXICOS EN ALMACENAMIENTO DE CACAO DEL COMERCIAL ESPINOZA, CANTÓN NARANJAL**, realizado por el estudiante **ORTIZ HIDALGO JOSEPH JHAIR**, el mismo que cumple con los requisitos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador.

Atentamente,

Ing. Medina Robayo Andrés, MSc.
PRESIDENTE

Ing. Lascano Montes Ariana, MSc.
EXAMINADOR PRINCIPAL

Ing. Ostaiza Clavijo Ginger, MSc.
EXAMINADOR PRINCIPAL

Milagro, 19 de mayo del 2026

DEDICATORIA

Dedico esta tesis primeramente a Dios, por su infinita sabiduría y guía, quien me ha dado la fortaleza, la paciencia y la perseverancia necesarias para culminar este importante capítulo de mi vida académica. Su presencia constante ha sido mi luz en los momentos de duda y mi refugio en los desafíos, inspirándome a dar siempre lo mejor de mí. Asimismo, quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mis queridos padres, Otilia Clemencia Hidalgo Gutama y Manuel Eduardo Ortiz Bravo, por su amor incondicional, su apoyo constante y los valiosos consejos que me han formado como persona. Su dedicación, sacrificio y ejemplo han sido la base sobre la cual he construido mis sueños, motivándome a superar obstáculos y a luchar por mis metas con determinación. A todos ellos va dedicada esta tesis, como testimonio de mi gratitud, amor y reconocimiento a quienes han sido mi fuerza y mi inspiración. Que este logro también sea reflejo de su esfuerzo, su guía y su confianza en mí, valores que llevaré siempre conmigo en cada paso de mi camino.

AGRADECIMIENTO

Dedico esta tesis primeramente a Dios, por su infinita sabiduría y guía, quien me ha dado la fortaleza, la paciencia y la perseverancia necesarias para culminar este importante capítulo de mi vida académica. Su presencia constante ha sido mi luz en los momentos de duda y mi refugio en los desafíos, inspirándome a dar siempre lo mejor de mí. Asimismo, quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mis queridos padres, Otilia Clemencia Hidalgo Gutama y Manuel Eduardo Ortiz Bravo, por su amor incondicional, su apoyo constante y los valiosos consejos que me han formado como persona. Su dedicación, sacrificio y ejemplo han sido la base sobre la cual he construido mis sueños, motivándome a superar obstáculos y a luchar por mis metas con determinación. A todos ellos va dedicada esta tesis, como testimonio de mi gratitud, amor y reconocimiento a quienes han sido mi fuerza y mi inspiración. Que este logro también sea reflejo de su esfuerzo, su guía y su confianza en mí, valores que llevaré siempre conmigo en cada paso de mi camino.

Autorización de Autoría Intelectual

Yo, **ORTIZ HIDALGO JOSEPH JHAIR**, en calidad de autor del proyecto realizado, sobre **“PROTOTIPO DE SISTEMA DE ALERTA PARA DETECTAR GASES TÓXICOS EN ALMACENAMIENTO DE CACAO DEL COMERCIAL ESPINOZA, CANTÓN NARANJAL.”** para optar el título de **INGENIERÍA 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.

Milagro, mayo 19 del 2026

ORTIZ HIDALGO JOSEPH JHAIR

C.I. 0928038454

RESUMEN

El objetivo de este proyecto fue desarrollar un prototipo de sistema de alerta para la detección de gases tóxicos en el área de almacenamiento de cacao del Comercial Espinoza, con el propósito de mejorar la seguridad del entorno laboral y contribuir a la conservación del producto almacenado. Para el levantamiento de información se emplearon técnicas de observación directa y entrevistas informales, lo que permitió identificar las condiciones ambientales del lugar y definir los requerimientos funcionales del sistema. El desarrollo del prototipo se realizó bajo un enfoque de investigación aplicada y de campo, integrando sensores de gases tipo MQ con un microcontrolador ESP32, lo que permitió la lectura continua de las concentraciones de gases presentes en el ambiente. El sistema fue programado utilizando el entorno Arduino IDE y se diseñó para activar de manera automática un sistema de ventilación cuando los niveles de gases superaban los umbrales establecidos. Asimismo, el sistema incorporó conectividad a una plataforma en la nube mediante Firebase, lo que permitió el almacenamiento y consulta de datos históricos, además de la generación de alertas en tiempo real a través de la aplicación Telegram. Una vez implementado el prototipo, se realizaron pruebas de funcionamiento para verificar la correcta detección de gases, la activación del sistema de ventilación y el envío oportuno de notificaciones al usuario. La implementación del sistema de alerta permitió mejorar el control de la calidad del aire en el área de almacenamiento de cacao, facilitando la detección temprana de gases tóxicos y reduciendo los riesgos asociados a la exposición del personal. De esta manera, el proyecto contribuyó a optimizar las condiciones de seguridad y a fortalecer la gestión del almacenamiento del producto, cumpliendo con los objetivos planteados en la investigación.

Palabras clave: *almacenamiento, alerta, ESP32, gases, sensores.*

ABSTRACT

The objective of this project was to develop a prototype alert system to detect toxic gases in the cocoa storage area at Comercial Espinoza, thereby improving workplace safety and preserving the stored product. Data collection involved direct observation and informal interviews, allowing for the identification of the site's environmental conditions and the definition of the system's functional requirements. The prototype was developed using an applied field research approach, integrating MQ-type gas sensors with an ESP32 microcontroller to enable continuous monitoring of environmental gas concentrations. The system was programmed using the Arduino IDE and designed to automatically activate a ventilation system when gas levels exceeded predefined thresholds. Furthermore, the system incorporated connectivity to a cloud platform via Firebase, enabling storage and retrieval of historical data and the generation of real-time alerts via Telegram. Once the prototype was implemented, functional tests were conducted to verify proper gas detection, activation of the ventilation system, and timely notification delivery to the user. The implementation of the alert system improved air quality control in the cocoa storage area, facilitating early detection of toxic gases and reducing the risk of personnel exposure. In this way, the project contributed to optimizing safety conditions and strengthening product storage management, fulfilling the research objectives.

Keywords: *alert, gases, sensors, ESP32, storage.*

ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN	12
1.1 Antecedentes del problema	12
1.2 Planteamiento y formulación del problema.....	13
1.3 Justificación de la investigación.....	14
1.4 Delimitación de la investigación	14
1.5 Objetivo general	14
1.6 Objetivos específicos.....	15
2. MARCO TEÓRICO	16
2.1 Estado del arte	16
2.2 Bases científicas y teóricas de la temática	17
2.3 Marco legal.....	19
3. MATERIALES Y MÉTODOS	21
3.1 Enfoque de la investigación	21
3.2 Metodología	21
4. RESULTADOS	28
5. DISCUSIÓN	33
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	35
BIBLIOGRAFÍA	37
ANEXOS	40
APÉNDICES	52

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo N° 1: Figura 1. Sensor de calidad del aire SCD30 (CO ₂ , temperatura y humedad)	40
Anexo N° 2: Figura 2. Sensor láser de partículas PMS5003 PM2.5 + PM10	40
Anexo N° 3: Figura 3. Sensor de temperatura y humedad DHT22/AM2302	41
Anexo N° 4: Figura 4. Kit de sensores de gases tipo MQ (MQ-2, MQ-3, MQ-4, MQ-5, MQ-6, MQ-7, MQ-8, MQ-9, MQ-135).....	41
Anexo N° 5: Figura 5. Módulo de relé de 5V de 4 canales con optoacoplador .	42
Anexo N° 6: Figura 6. Cables Dupont (120 piezas, macho–macho y hembra–hembra).....	42
Anexo N° 7: Figura 7. Microcontrolador ESP32-WROOM (paquete de 2)	43
Anexo N° 8: Figura 8. Ventilador de Pared	43
Anexo N° 9: Figura 9. Esquema	44
Anexo N° 10: Figura 10. Esquema de red	44
Anexo N° 11: Figura 11. Encuesta Realizada al propietario.....	45
Anexo N° 12: Figura 12. Pantalla de muestra de Firebase	46
Anexo N° 13: Figura 13. Umbrales del sistema	47
Anexo N° 14: Figura 14 Foto en el lugar.....	47
Anexo N° 15: Figura 15 Vista general del sistema de monitoreo ambiental.	66
Anexo N° 16: Figura 16 Flujo general de funcionamiento del sistema.....	67
Anexo N° 17: Figura 17 Visualización de datos ambientales en la plataforma web.....	68
Anexo N° 18: Figura 18 Ejemplo de alerta enviada mediante Telegram.....	69
Anexo N° 19: Figura 19 Estado del sistema de ventilación automática	70
Anexo N° 20: Tabla 1 Costo de los materiales de la propuesta tecnológica.....	48
Anexo N° 21: Tabla 2 Requerimientos del sistema automatizado	56

ÍNDICE DE APÉNDICES

Apéndice N° 1: Manual Técnico.....	55
Apéndice N° 2: Manual de usuario.....	65

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes del problema

El almacenamiento de cacao es una fase crítica en la cadena de producción, donde las condiciones ambientales juegan un papel determinante en la conservación de la calidad del grano. Diversos estudios han identificado que la fermentación y descomposición de residuos orgánicos en los almacenes generan gases como dióxido de carbono (CO_2), etanol y amoníaco, los cuales pueden comprometer la seguridad de los trabajadores y afectar la calidad del producto. Investigaciones realizadas en centros de almacenamiento han demostrado que una ventilación deficiente y la falta de monitoreo adecuado pueden provocar la acumulación de estos gases, generando riesgos de toxicidad y deterioro del cacao (Apodaca, 2023).

A nivel internacional, la implementación de sensores de monitoreo ambiental en la industria agrícola ha demostrado ser una solución eficiente para el control de atmósferas en espacios cerrados. Estudios realizados en países productores de cacao, como Ghana y Costa de Marfil, han señalado la necesidad de establecer sistemas automatizados que detecten concentraciones peligrosas de gases y activen mecanismos de ventilación o alarmas para prevenir incidentes. La aplicación de sensores de dióxido de carbono (CO_2), compuestos orgánicos volátiles (COV) y amoníaco (NH_3) ha permitido reducir pérdidas en la calidad del grano y mejorar las condiciones laborales en almacenes de granos y semillas (Lojano y Méndez, 2023).

En Ecuador, la producción de cacao representa una parte fundamental de la economía agrícola, siendo uno de los principales productos de exportación. Sin embargo, los estudios locales sobre calidad del aire en almacenes de cacao son limitados, lo que genera una brecha en la identificación y control de gases potencialmente nocivos en estos espacios. Algunas investigaciones han resaltado la importancia de establecer estándares de ventilación y seguridad en los centros de almacenamiento, pero la mayoría de estos estudios han estado enfocados en el control de temperatura y humedad, dejando de lado el impacto de los gases emitidos en la conservación del cacao y en la salud ocupacional de los trabajadores (Ciifen, 2022).

Uno de los principales desafíos en el monitoreo de gases en almacenes agrícolas es la falta de sistemas automatizados de detección y respuesta, lo que

genera una dependencia de inspecciones manuales poco precisas. En otros sectores industriales, el uso de tecnologías IoT (Internet de las Cosas) ha permitido implementar redes de sensores que miden continuamente la calidad del aire y generan alertas en tiempo real en caso de detectar concentraciones peligrosas de gases. La adaptación de estas tecnologías al almacenamiento de cacao permitiría optimizar los procesos de conservación y mejorar la seguridad en estos espacios (Casella, 2021).

Pese a los avances en monitoreo ambiental en la agroindustria, en Ecuador aún no se ha desarrollado un sistema eficiente y accesible que permita la detección automática de gases en almacenes de cacao de pequeña y mediana escala. La implementación de un sistema de alerta temprana con sensores de gas facilitaría la identificación de riesgos antes de que alcancen niveles críticos, asegurando así la calidad del cacao almacenado y la protección de los trabajadores expuestos a estos ambientes.

El desarrollo de un sistema de monitoreo basado en sensores permitiría no solo detectar gases tóxicos en tiempo real, sino también generar registros históricos de la calidad del aire, lo que contribuiría a la trazabilidad del cacao almacenado y al cumplimiento de normativas de seguridad. Además, la integración de estos sistemas con plataformas digitales facilitaría la toma de decisiones y la implementación de estrategias de prevención en la gestión de almacenes (Freire et al., 2023).

1.2 Planteamiento y formulación del problema

1.2.1 Planteamiento del problema

En el Comercial Espinoza, ubicado en el cantón Naranjal, se identificó una acumulación recurrente de gases contaminantes como monóxido de carbono (CO) y metano (CH₄), producto de la descomposición orgánica durante el almacenamiento del cacao. Esta condición representó un riesgo tanto para la calidad del grano como para la salud de los trabajadores. A pesar de la importancia de mantener un ambiente controlado, anteriormente no existía un sistema automatizado de detección de gases ni mecanismos que registraran y alertaran estos riesgos de manera oportuna.

El control ambiental dependía exclusivamente de revisiones manuales y percepciones empíricas, lo que limitaba la capacidad de respuesta ante acumulaciones peligrosas. Esta situación evidenció la necesidad de implementar

un sistema inteligente y automatizado que no solo detectará concentraciones de gases, sino que registrará cada evento, activará mecanismos de ventilación y emitiera alertas mediante una aplicación móvil inmediata al usuario. De esta manera, se garantizó una conservación más segura del cacao y una mayor protección para el personal del almacén.

1.2.2 Formulación del problema

¿Cómo benefició la implementación de un prototipo de sistema de alerta, basado en sensores de gases tipo MQ y controlado por un microcontrolador ESP32, a la conservación del cacao y las condiciones de seguridad laboral en el área de almacenamiento del Comercial Espinoza, cantón Naranjal?

1.3 Justificación de la investigación

La investigación planteó el desarrollo e implementación de un sistema automatizado de alerta para el monitoreo de gases contaminantes en espacios de almacenamiento agrícola, utilizando sensores MQ integrados con un microcontrolador ESP32, que detectó concentraciones de gases como monóxido de carbono (CO) y metano (CH₄). El sistema registró la información de toxicidad del ambiente en una base de datos (Firebase) y envió alertas a través de un bot en Telegram cuando se identificaron niveles peligrosos.

La implementación de este sistema benefició directamente al Comercial Espinoza al mejorar la seguridad de su ambiente de almacenamiento, la conservación del cacao y reducir el riesgo para los trabajadores. Además, por su bajo costo y escalabilidad, este modelo pudo ser replicado en otros almacenes de cacao, ya sea de pequeña o mediana escala.

1.4 Delimitación de la investigación

- **Espacio:** El estudio se llevó a cabo en el almacén de cacao del comercial Espinoza, en un área de trabajo de 2m².
- **Tiempo:** La investigación tuvo una duración de 7 meses
- **Población:** La recolección de datos se realizó en el comercial Espinoza, con la participación del propietario y los 2 trabajadores del lugar.

1.5 Objetivo general

Implementar un prototipo de sistema de alerta que detecte gases tóxicos, con sensores MQ y microcontrolador para que automatice la ventilación y mejore la calidad del aire en el Comercial Espinoza, cantón Naranjal.

1.6 Objetivos específicos

- Diseñar un prototipo de sistema de alerta basado en sensores MQ y microcontrolador ESP32, elaborando un esquema electrónico.
- Desarrollar una base de datos en Firebase que registre periódicamente las concentraciones de gases, el estado del sistema y envíe alertas.
- Implementar el prototipo automatizado que active de forma autónoma el sistema de ventilación y envíe alertas mediante Telegram, ante la detección de niveles críticos de gases contaminantes.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Estado del arte

En la actualidad, el uso de sistemas IoT con sensores inteligentes para la detección de gases tóxicos y monitoreo ambiental ha ganado relevancia como estrategia efectiva. Dentro de ella destacan estudios recientes sobre sensores ópticos e infrarrojos aplicados a la agricultura inteligente que permiten la detección no invasiva de compuestos peligrosos en tiempo real (Aguacundo y Jiménez , 2024).

Se han presentado dispositivos IoT implementados en vertederos que integran sensores de metano, temperatura y humedad, acoplados a microcontroladores que transmiten datos a plataformas en línea, logrando integridad de datos y precisión suficiente para alertar automáticamente sobre cambios en la concentración de gases.

Un estudio relevante para el contexto ecuatoriano es el diseño de una red de sensores aplicada a la calidad del aire en Esmeraldas, donde se utilizó una arquitectura escalable basada en controladores con sensores inalámbricos y tecnologías IoT para medir CO₂, conectando nodos distribuidos sin incurrir en altos costos operativos (Sampietro et al., 2022) En el país se ha realizado una revisión sobre el monitoreo de contaminación en ciudades como Ibarra y Guayaquil, concluyendo que el uso de sensores de bajo costo y tecnologías como Wi-Fi o LoRa permite decisiones en tiempo real y estrategias efectivas de mitigación (Santana, 2022).

Desde una perspectiva técnica, se han desarrollado sistemas para detección de gases como GLP y monóxido de carbono que integran microcontroladores con plataformas de almacenamiento en la nube, demostrando que los prototipos de bajo costo pueden operar de forma remota con alertas automatizadas. En otras propuestas, se ha validado el uso de sensores de gas combustible en microcontroladores AVR, confirmando su sensibilidad y viabilidad económica tanto para aplicaciones industriales como domésticas (Nieto et al., 2025).

En un enfoque urbano, se han implementado sistemas para calibración de sensores de bajo costo orientados a contaminantes como partículas MQ 2, MQ10 y dióxido de nitrógeno, alcanzando niveles de precisión cercanos a los de los equipos profesionales de referencia. Finalmente, desde el campo de la

agricultura de precisión, investigaciones recientes han revisado cómo la integración de sensores de humedad, pH del suelo y detección de estrés vegetal con plataformas IoT habilita el monitoreo remoto, el análisis automático mediante inteligencia artificial y la toma de decisiones predictivas para mejorar la eficiencia y sostenibilidad. (Flores et al., 2021).

Esto demuestra que la combinación de sensores electrónicos, microcontroladores y arquitecturas IoT conectadas a plataformas en la nube constituye una solución viable, escalable y económica para el monitoreo de gases y parámetros ambientales, mejorando la conservación de productos agrícolas y protegiendo la salud de los trabajadores en entornos rurales y urbanos.

2.2 Bases científicas y teóricas de la temática

2.2.1 *Compuestos Orgánicos Volátiles (COV)*

Los compuestos orgánicos volátiles (COV) son sustancias químicas que tienen una alta presión de vapor a temperatura ambiente, lo que les permite evaporarse con facilidad y mezclarse con el aire (Bormans et al., 2021). Estos compuestos son liberados por materiales orgánicos, procesos de descomposición, combustión o fermentación, y en ambientes cerrados pueden representar un riesgo tanto para la salud humana como para la integridad de los productos almacenados. En el sector agroindustrial, los COV suelen estar presentes en bodegas de granos, cacao o productos alimenticios cuando se producen fermentaciones no controladas o proliferación de microorganismos (Haick, 2024). La acumulación de estos gases en espacios sin ventilación adecuada puede generar efectos negativos como pérdida de calidad del producto, riesgo de inhalación tóxica y corrosión de superficies.

2.2.2 *Monitoreo*

El monitoreo ambiental consiste en la observación continua, sistemática y tecnológicamente asistida de parámetros físicos, químicos o biológicos de un entorno determinado (AlBiajawi et al., 2022). En los procesos agroindustriales, donde se requiere mantener condiciones específicas para la conservación de los productos, el monitoreo cumple un papel preventivo, ya que permite advertir a tiempo la presencia de cambios indeseables como variaciones de temperatura, humedad excesiva o presencia de gases tóxicos. La ventaja del monitoreo moderno radica en que ya no depende únicamente de la supervisión humana,

sino que emplea sistemas electrónicos automatizados capaces de emitir alertas y registrar datos (Frontiers in Horticulture, 2024). En este punto, los sistemas de monitoreo ambiental basados en tecnología juegan un rol estratégico, ya que contribuyen a garantizar condiciones óptimas que preserven las propiedades organolépticas, nutricionales y sanitarias del producto. Además, la digitalización en la agroindustria permite establecer trazabilidad en los procesos, cumplir con normativas nacionales e internacionales y reducir el margen de error humano.

2.2.3 Agroindustria

La agroindustria comprende todas las actividades económicas relacionadas con la transformación de materias primas agrícolas en productos elaborados o semielaborados. Para lograr altos niveles de productividad y asegurar la inocuidad de los alimentos, se requiere no solo el procesamiento eficiente, sino también el control de calidad durante el almacenamiento (Priyadharshini, 2024). El uso de dispositivos inteligentes, sensores inalámbricos e integración con plataformas web se ha convertido en una solución escalable, económica y eficiente para las pequeñas y medianas agroindustrias.

2.2.4 ESP32 Wi-Fi micro-USB

El ESP32 es una placa de desarrollo que combina un microcontrolador con capacidad de conexión inalámbrica (Wi-Fi), lo cual lo hace ideal para proyectos que requieren conectividad remota y bajo consumo de energía. Su bajo costo, tamaño compacto y compatibilidad con entornos de programación como Arduino IDE lo han convertido en una herramienta muy popular en proyectos de automatización, monitoreo e IoT. Además, puede trabajar en redes inalámbricas domésticas o industriales, enviando datos a servidores locales o servicios en la nube (Szeląg et al., 2025). Su arquitectura permite conectar múltiples sensores y manejar interrupciones o eventos en tiempo real. En esta investigación, el NodeMCU es el componente central del sistema, ya que recibe información de los sensores de calidad del aire, la procesa y la transmite para que pueda ser visualizada por el usuario (Bhoomika y Karthik, 2024). También puede ser configurado para activar alertas cuando se detecten niveles peligrosos de gases, lo que lo convierte en una solución potente y accesible para aplicaciones en el entorno agroindustrial.

2.2.5 Internet de las Cosas (IoT)

El Internet de las Cosas (IoT, por sus siglas en inglés) es un modelo tecnológico que permite la interconexión de dispositivos físicos mediante redes de datos, facilitando la automatización, control y monitoreo en tiempo real. Su aplicación en el ámbito agrícola y agroindustrial ha generado una revolución en la forma en que se gestionan los recursos y se supervisan las condiciones ambientales. Mediante sensores, microcontroladores y plataformas en la nube, el IoT permite obtener información en tiempo real sobre variables como humedad, temperatura, gases o iluminación, y ejecutar acciones automáticas en función de los resultados (Dange et al., 2023). Esto disminuye la dependencia de operadores humanos, ya que el sistema puede funcionar de forma automática sin requerir supervisión constante. Al automatizar tareas repetitivas o críticas, se incrementa la eficiencia general del proceso, ya que se reducen errores, se optimiza el uso de recursos y se ahorra tiempo (Aijun et al., 2022). Además, permite reaccionar de manera inmediata frente a situaciones imprevistas o condiciones desfavorables, como fallos técnicos o variaciones ambientales, lo que contribuye a mantener la seguridad y estabilidad del sistema (Pradyumna et al., 2020). En el presente proyecto, el IoT permite que el sistema de monitoreo no solo detecte la presencia de gases como los COV, sino que también alerte a los usuarios a través de plataformas digitales y registre la información para su análisis posterior. Esta integración convierte al sistema en una herramienta de prevención y control adaptada a las necesidades actuales de la agroindustria.

2.3 Marco legal

Este apartado argumentó y expuso la base legal en la que se sustentó la investigación, recurriendo a la norma suprema, leyes, reglamentos, decretos, acuerdos y normas nacionales e internacionales vigentes. Se especificaron los artículos pertinentes que guardaron relación directa con el estudio.

La Constitución de la República del Ecuador reconoció el derecho de la población a un entorno ambiental saludable, estableciendo lo siguiente:

Art. 14.- Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, Sumak Kawsay. Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados.

Art. 326, numeral 5.- Toda persona tendrá derecho a desarrollar sus labores en un ambiente adecuado y propicio, que garantice su salud, integridad, seguridad, higiene y bienestar. (Asamblea Nacional, 2008, pp. 41-163)

Por su parte, el Código de Trabajo reforzó la obligación del empleador de implementar medidas preventivas para salvaguardar la integridad de los trabajadores:

Art. 415.- Los empleadores deberán tomar las precauciones necesarias para proteger la vida, la salud y la integridad física de los trabajadores. (Código del trabajo, 2005, p. 215)

Finalmente, el Decreto Ejecutivo 2393, en el marco de la Ley de Seguridad y Salud de los Trabajadores, exigió la instalación de sistemas que mitigaran riesgos por la inhalación de gases, indicando:

Art. 8.- Instalar sistemas de alarma y ventilación que prevengan accidentes por inhalación de gases nocivos. (Seguro General De Riesgos Del Trabajo, 1986, p. 3)

Estas disposiciones legales respaldaron la implementación de sistemas de detección de gases en entornos de almacenamiento agrícola, garantizando la protección de la salud de los trabajadores y el cumplimiento de las normas vigentes.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Enfoque de la investigación

El tipo de enfoque que se utilizó en el proyecto fue cualitativo, ya que permitió observar y comprender las condiciones reales del ambiente de almacenamiento de cacao en el Comercial Espinoza. Este enfoque resultó adecuado para identificar de forma directa los riesgos presentes en el lugar, como la acumulación de gases tóxicos, y evaluar cómo la implementación de un prototipo tecnológico contribuyó a mejorar la seguridad del entorno. A través de técnicas como la observación y el registro del funcionamiento del sistema, se describió de manera concreta el comportamiento del prototipo y los beneficios que generó en el contexto real, sin recurrir al análisis estadístico de los datos recolectados.

3.1.1 Tipo de alcance de la investigación

La investigación fue de tipo aplicada, ya que tuvo como propósito ofrecer una solución funcional ante una necesidad identificada en el entorno agroindustrial. Se clasificó como investigación de campo, al desarrollarse directamente en el lugar donde se originó el problema. Su alcance llegó a ser descriptivo, pues se centró en detallar los eventos observados durante el funcionamiento del sistema de alerta, permitiendo registrar los cambios en el ambiente sin intervenir en las variables que los produjeron.

3.1.2 Diseño de investigación

Se planteó un diseño no experimental, en el cual no se intervino directamente sobre las causas que originaron los gases. En cambio, se procedió a observar, medir y registrar de forma sistemática la calidad del aire mediante sensores, para luego analizar los datos. El propósito de este diseño fue captar los fenómenos tal como ocurrieron en condiciones normales de operación del almacén, garantizando la objetividad de la información obtenida.

3.2 Metodología

Para el desarrollo del prototipo de alerta de gases en el almacén de cacao del Comercial Espinoza, se empleó una metodología de desarrollo basada en prototipado iterativo, orientada a construir, evaluar y ajustar progresivamente el sistema automatizado. Esta metodología permitió validar el funcionamiento del sistema en un entorno real mediante observación y pruebas funcionales, así como la implementación de mejoras que incrementaron la seguridad del espacio.

3.2.1 Recolección de datos

3.2.1.1. Recursos

3.2.1.1.1. Recursos humanos.

Estudiante responsable: Ortiz Hidalgo Joseph Jhair

Docente guía: Ing. Geanella Nicole Teran Guajala, Msc.

Representante del lugar de implementación: Jacinto Espinoza

3.2.1.1.2. Recursos bibliográficos.

Para el desarrollo del proyecto se utilizó información proveniente de fuentes confiables y actualizadas, tales como artículos científicos disponibles en repositorios universitarios, bases de datos académicas como Scielo y Redalyc, tesis relacionadas, libros técnicos sobre sensores y sistemas IoT, así como documentación oficial de componentes electrónicos y portales especializados en automatización y agroindustria. Estos recursos fueron clave para fundamentar teóricamente el problema, el diseño del sistema y las decisiones técnicas que se adoptaron.

3.2.1.1.3. Recursos tecnológicos.

Hardware:

- Sensor de calidad del aire SCD40 (CO₂, temperatura y humedad)
- Sensor láser de partículas PMS5003 PM2.5 + PM10
- Sensor de temperatura y humedad DHT22/AM2302
- Kit de sensores de gases tipo MQ (MQ-2, MQ-3, MQ-4, MQ-5, MQ-6, MQ-7, MQ-8, MQ-9, MQ-135)
- Microcontrolador ESP32-WROOM (paquete de 2)
- Módulo de relé de 5V de 4 canales con optoacoplador
- Cables Dupont (120 piezas, macho–macho y hembra–hembra)
- Ventilador de Pared (**Ver Anexo, Figuras N° 1 a la 8**).

Software:

- Arduino IDE
- Firebase
- Telegram Bot API

3.2.1.1.4. Recursos mecánicos.

- Soporte para instalación del sistema en pared o estantería

- Materiales para fijación (tornillos, abrazaderas, cinta doble faz industrial)

3.3.1.1.5. Presupuesto

Para el desarrollo del prototipo de alerta de gases en el almacenamiento de cacao del Comercial Espinoza, se adquirieron recursos tecnológicos esenciales, como sensores MQ, un microcontrolador ESP32 y herramientas de software para programación y monitoreo en la nube. Esta infraestructura permite detectar gases tóxicos, activar la ventilación automáticamente y mejorar tanto la seguridad del personal como la conservación del cacao almacenado (**Ver Anexo, Tabla N° 1**).

3.2.1.2. Métodos y técnicas

3.2.1.2.1. Métodos.

- **Método descriptivo**

El método descriptivo fue utilizado en la investigación para permitir una comprensión clara del fenómeno observado, sin manipular variables. Este método consistió en recopilar información sobre el funcionamiento del sistema de alerta y su respuesta ante la presencia de gases contaminantes, con el fin de describir cómo se comportaba en su entorno natural. Se observó cómo actuaban los sensores, la activación del sistema de ventilación y el envío de alertas, registrándose estas acciones para documentar los beneficios que aportó al ambiente de almacenamiento del cacao.

- **Método de identificación del entorno y necesidades del usuario**

En esta fase se procedió a conocer de forma directa el contexto del almacenamiento de cacao, identificándose los riesgos más comunes asociados a la presencia de gases contaminantes. A través de visitas al lugar y conversaciones informales con el propietario y los trabajadores, se documentaron las condiciones de ventilación, los métodos empíricos utilizados para detectar olores o gases y las dificultades que enfrentaban para garantizar un ambiente seguro. Esta información permitió establecer los requerimientos básicos que debía cubrir el sistema, como la detección automática, la activación de ventilación y la emisión de alertas.

- **Método de diseño del sistema y su arquitectura funcional**

Una vez definidos los requerimientos, se realizó el diseño preliminar del sistema. Se elaboraron esquemas electrónicos para representar la conexión de

los sensores MQ al microcontrolador ESP32, junto con el diseño lógico del flujo de funcionamiento. También se estructuró el esquema de la base de datos en Firebase, así como los módulos encargados del registro, notificación y activación de ventilación. Además, se diseñó el diagrama de conexión del bot de Telegram y la interfaz de interacción con el usuario. Todo el diseño estuvo orientado a un entorno unipersonal, simple y funcional.

- **Método de construcción e integración del prototipo**

En esta etapa se adquirieron los materiales necesarios y se procedió a la construcción del prototipo. Se realizó la instalación física de los sensores MQ, el sensor de temperatura y humedad, el ESP32 y el módulo de ventilación. Luego, se programó el microcontrolador en el entorno Arduino IDE, configurando la lectura de sensores, los umbrales de alerta y la conexión con Firebase y Telegram. Una vez integrados todos los componentes, se ensambló el sistema en un ambiente de prueba que replicó las condiciones del almacén.

- **Método de implementación y observación funcional en campo**

Finalmente, el sistema fue instalado en el almacén del Comercial Espinoza. Durante varios días se realizó la observación directa de su comportamiento, documentándose el momento en que se activaban las alertas y la respuesta del sistema de ventilación. Se registraron eventos como variaciones ambientales, tiempo de reacción del sistema y apreciaciones del personal. Estos registros permitieron confirmar la funcionalidad del prototipo, sin necesidad de realizar análisis cuantitativos o estadísticos, ya que el objetivo fue documentar el funcionamiento real del sistema y su aporte a la seguridad ambiental.

3.2.1.2.2. Técnicas.

- **Técnica de observación**

La técnica principal que se utilizó fue la observación directa, ya que permitió registrar el comportamiento del sistema durante su funcionamiento. Esta técnica se aplicó en el lugar de implementación del prototipo, permitiendo identificar visualmente el momento en que los sensores detectaban concentraciones elevadas de gases y cómo el sistema respondía mediante ventilación automática y notificaciones digitales. La observación se centró en eventos clave como el encendido del ventilador, el envío de mensajes por Telegram y la estabilidad del sistema.

- **Técnica de entrevista informal**

Como técnica complementaria, se aplicó una entrevista informal al propietario del Comercial Espinoza, quien brindó información sobre las condiciones del almacén y sus impresiones sobre el funcionamiento del sistema. Esta técnica fue útil para recoger apreciaciones cualitativas sobre la utilidad del prototipo, su facilidad de uso y su impacto en la seguridad del ambiente. No se utilizó un guion estructurado, sino una conversación dirigida, centrada en la experiencia práctica con el sistema.

- **Técnica de módulos**

El sistema propuesto se compuso de diversos módulos interconectados que trabajaron de forma coordinada para garantizar una detección precisa, un procesamiento eficiente y una respuesta oportuna ante la presencia de gases tóxicos en el almacenamiento de cacao. Cada módulo cumplió una función específica dentro de la arquitectura general, permitiendo que el sistema operara de manera autónoma, registrara información relevante y mantuviera al usuario informado. A continuación, se describen los módulos que integraron el prototipo y sus principales características:

- **Módulo de detección de gases**

Este componente constituyó la primera línea de control del sistema, siendo el encargado de captar la información ambiental. Estuvo compuesto por sensores MQ, los cuales monitorearon de manera continua la calidad del aire y detectaron la presencia de gases específicos. Las variaciones en la concentración fueron transformadas en señales eléctricas que pudieron ser interpretadas por el microcontrolador, permitiendo iniciar el ciclo de análisis y respuesta.

- **Módulo de procesamiento y control**

Una vez adquiridos los datos por los sensores, este módulo se encargó de su interpretación y análisis. Estuvo basado en un ESP32, el cual procesó las señales recibidas, las comparó con umbrales de seguridad previamente definidos y determinó las acciones a ejecutar. De esta manera, actuó como el “cerebro” del sistema, tomando decisiones para garantizar la seguridad del entorno.

Módulo de base de datos

Para mantener un registro histórico de las mediciones y eventos, se incorporó este módulo de almacenamiento. Su función fue registrar periódicamente los valores de concentración de gases, el estado de la ventilación y los eventos de alerta en Firebase. Este registro permitió conservar la información para su posterior consulta, análisis o respaldo documental.

Módulo de alertas

Este módulo actuó como el enlace directo entre el sistema y el usuario final. Estuvo vinculado a un bot de Telegram que envió notificaciones automáticas al teléfono del usuario únicamente cuando se detectaron niveles de riesgo alto. Los avisos incluyeron detalles del evento, como el tipo de gas detectado, su concentración y la hora del incidente.

Módulo de ventilación

Su objetivo principal fue mitigar los riesgos cuando se detectaron concentraciones peligrosas de gases. Se encargó de activar de forma automática sistemas de extracción o renovación de aire al superar los niveles críticos, previniendo daños a la salud de las personas y evitando el deterioro del producto almacenado.

Módulo de reportes

Para facilitar el análisis de la información y el seguimiento de la operación del sistema, se integró este módulo de generación de informes. Produjo automáticamente reportes semanales en formato tabular, los cuales pudieron ser consultados a través de Telegram.

3.2.2 Población y muestra

3.2.2.1 Población

La población objeto de estudio estuvo conformada por el personal y las instalaciones del Comercial Espinoza, ubicado en el cantón Naranjal, provincia del Guayas. Este grupo incluyó tanto al propietario como a los dos trabajadores que realizaban actividades en el área de almacenamiento de cacao, espacio en el que se identificó la presencia de gases contaminantes derivados de la descomposición orgánica. La caracterización de esta población se basó en su exposición directa y constante a las condiciones ambientales que motivaron el desarrollo del prototipo. En total, la población estuvo integrada por tres personas (el propietario y dos trabajadores) que laboraban en el lugar.

3.2.2.2 Muestra

La muestra correspondió a la totalidad de la población identificada, por lo que se empleó un muestreo no estadístico de tipo intencional. Este método se justificó debido a que el proyecto tuvo un enfoque cualitativo y se centró en un caso de estudio específico, en el cual se requirió evaluar las condiciones reales del ambiente y la interacción directa de los usuarios con el prototipo diseñado. La elección de toda la población aseguró que se consideraran las experiencias y percepciones de todos los actores implicados, lo que permitió obtener información más precisa sobre el funcionamiento del sistema y su impacto en la seguridad y conservación del cacao almacenado.

3.2.3 *Análisis estadístico*

En el proyecto no se realizó un análisis estadístico, ya que la investigación se desarrolló bajo un enfoque cualitativo. La información fue recolectada mediante técnicas como la observación directa y la entrevista informal, centrándose en describir el funcionamiento del prototipo en condiciones reales. El objetivo no tuvo como fin medir ni interpretar datos numéricos, sino comprender el comportamiento del sistema y su utilidad práctica en el entorno de almacenamiento del cacao.

4. RESULTADOS

4.1 Diseño de un prototipo de sistema de alerta basado en sensores MQ y microcontrolador ESP32, elaborando un esquema en electrónico.

Se diseñó un prototipo de sistema de alerta orientado a la detección y monitoreo de gases tóxicos y variables ambientales en el área de almacenamiento del Comercial Espinoza, empleando sensores de la serie MQ y otros módulos de medición, integrados a un microcontrolador ESP32 como unidad central de procesamiento.

Para la elaboración del diseño se desarrollaron dos diagramas complementarios que describieron la estructura del sistema:

- Diagrama esquemático, creado en Fritzing, donde se representó el circuito electrónico, las conexiones entre los sensores, los módulos de control, los ventiladores y los reguladores de voltaje. Este esquema permitió visualizar la distribución física y eléctrica del prototipo (**Ver Anexo, Figura10**).
- Diagrama de red, en el que se mostró la arquitectura de comunicación del sistema, detallando el flujo de información entre los sensores, el ESP32, el módulo de relé, la red Wi-Fi, la plataforma Firebase y el servicio de mensajería Telegram encargado de generar las alertas al usuario (**Ver Anexo, Figura11**).

En el diagrama esquemático se integraron los sensores MQ-2, MQ-4 y MQ-135, junto con sensores adicionales como el DHT22, el SCD30 y el PM55003, seleccionados por su capacidad de medir gases combustibles, compuestos volátiles, dióxido de carbono, humedad, temperatura y material particulado. Estos dispositivos se conectaron a las entradas analógicas y digitales del ESP32, que procesó las señales captadas y las convirtió en datos aptos para la activación del sistema de alerta.

Además, el diseño permitió visualizar la interacción del microcontrolador con el módulo de relé de 5V, encargado de activar los ventiladores de entrada y salida cuando las concentraciones excedían los valores establecidos.

En el diagrama de red se describió la comunicación del sistema, desde la captura de datos por los sensores hasta la transmisión al ESP32, el envío hacia Firebase y la notificación automática al usuario vía Telegram. Este diagrama

permitió comprender de forma clara la relación entre los elementos físicos y los servicios en la nube utilizados.

El proceso de diseño dio como resultado un prototipo funcional y compacto, adecuado para entornos industriales o agrícolas. Ambos diagramas sirvieron como guía técnica para la implementación del sistema, facilitando la organización adecuada de los componentes y la correcta estructuración de la comunicación entre módulos.

En síntesis, el diseño permitió establecer un modelo confiable que integra detección, procesamiento, comunicación y respuesta automática, cumpliendo los requisitos del primer objetivo específico de la investigación.

4.2 Desarrollo de una base de datos en Firebase que registre periódicamente las concentraciones de gases, el estado del sistema y envíe alertas.

Se desarrolló una base de datos en Firebase destinada al almacenamiento continuo y organizado de las concentraciones de gases registradas por los sensores del prototipo, así como del estado operativo del sistema y la generación automática de reportes periódicos. La implementación de esta base de datos tuvo como propósito central garantizar la integridad, disponibilidad y trazabilidad de la información recopilada, permitiendo la consulta remota y en tiempo real desde cualquier dispositivo conectado a Internet.

Para la construcción de la base de datos se elaboraron dos componentes fundamentales que definieron su estructura y su funcionamiento:

- **Modelo de datos jerárquico**, diseñado según la estructura propia de Firebase Realtime Database, donde se organizaron módulos principales para almacenar los registros de sensores, el estado del sistema y los reportes generados automáticamente. Este modelo permitió una distribución lógica, escalable y eficiente de la información.
- **Flujo de comunicación con Firebase**, donde se detalló la interacción entre el microcontrolador ESP32, la red Wi-Fi, la base de datos y los módulos de generación de reportes. Este diagrama ilustra cómo los datos capturados por los sensores son enviados a la nube,

procesados y almacenados de manera estructurada (**Ver Anexo, Figura12**).

En el modelo de datos se integraron nodos como sensores, sistema y reportes, cada uno con subniveles que almacenaron parámetros específicos. El nodo de sensores registró valores de concentración de gases. mientras que el nodo de sistema guardó información relacionada con la activación del ventilador, eventos críticos y funcionamiento del módulo de alertas. Por su parte, el nodo de reportes permitió la generación de informes diarios o semanales, que incluyeron registros de eventos relevantes. Este diseño posibilitó una comprensión clara de las relaciones entre los datos y una rápida recuperación de la información para análisis posteriores.

El flujo de comunicación permitió visualizar el proceso completo de transmisión, desde la captura de datos por los sensores conectados al ESP32, la transformación de las lecturas en paquetes digitales y su envío a Firebase mediante conectividad Wi-Fi. Así mismo, se integró la función de generación de reportes periódicos, los cuales se almacenaron automáticamente dentro de la base de datos y quedaron disponibles para el usuario, facilitando el análisis de tendencias, la detección de picos de contaminación y la verificación de la respuesta del prototipo frente a valores críticos.

El desarrollo de la base de datos concluyó con una estructura funcional y estable, capaz de registrar información en intervalos regulares sin pérdidas significativas y con una sincronización eficiente entre el prototipo y la nube. Esta implementación resultó esencial para consolidar el sistema de monitoreo ambiental, garantizando un historial completo y ordenado de todas las mediciones realizadas y de cada acción ejecutada por el dispositivo.

En síntesis, la construcción de la base de datos en Firebase permitió establecer un sistema confiable para el almacenamiento de los datos ambientales, cumpliendo plenamente con los requerimientos del objetivo específico orientado al registro periódico de las concentraciones de gases y al monitoreo del estado del sistema.

4.3 Implementación del prototipo automatizado que active de forma autónoma el sistema de ventilación y envíe alertas mediante Telegram, ante la detección de niveles críticos de gases contaminantes.

La implementación del prototipo automatizado permitió la detección de concentraciones críticas de gases y parámetros ambientales, activando de manera autónoma el sistema de ventilación y generando alertas inmediatas mediante Telegram. **(Ver Anexo, Figura13).**

El sistema integró los sensores **MQ2, MQ4, MQ135, SCD30 y PM5003** con el microcontrolador **ESP32**, estableciendo umbrales de activación y desactivación bajo un esquema de control por histéresis, con el fin de evitar ciclos repetitivos de encendido y apagado.

Los valores umbral fueron definidos considerando referencias internacionales sobre calidad del aire interior y exposición ocupacional:

- **CO₂:**

- Activación: 2500 ppm
- Desactivación: 2000 ppm

Según ASHRAE (Standard 62.1) y recomendaciones de calidad de aire interior, concentraciones superiores a 1000–2000 ppm indican ventilación insuficiente, mientras que niveles superiores a 2500 ppm pueden generar somnolencia, disminución de concentración y malestar.

- **Temperatura:**

- Activación: 35 °C
- Desactivación: 30 °C

Conforme a criterios de confort térmico establecidos por ISO 7730 y ASHRAE 55, temperaturas superiores a 30 °C en ambientes cerrados pueden generar estrés térmico, especialmente en espacios de fermentación con alta carga biológica.

- **Humedad relativa:**

- Activación: 92 %
- Desactivación: 82 %

La Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda mantener la humedad relativa por debajo del 70–80 % para evitar

proliferación microbológica; valores cercanos o superiores al 90 % favorecen condensación y crecimiento fúngico.

- **Material particulado:**

- PM2.5: 90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- PM10: 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- La OMS (Guías de Calidad del Aire 2021) establece límites diarios recomendados de 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para PM2.5 y 145 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para PM10; valores superiores representan riesgo para la salud respiratoria, por lo que se adoptaron niveles críticos ajustados a las condiciones del entorno productivo. **(Ver Anexo, Figura14).**

El sistema activó los ventiladores automáticamente cuando los parámetros superaron los valores establecidos y generó notificaciones en tiempo real mediante Telegram. Además, la integración con Firebase permitió el almacenamiento continuo de datos ambientales, garantizando registro histórico y trazabilidad.

De esta manera, el prototipo cumplió el objetivo de automatizar la respuesta ante condiciones ambientales críticas, estableciendo un mecanismo de control basado en parámetros técnicos definidos y documentados.

5. DISCUSIÓN

El desarrollo del prototipo de sistema de alerta para la detección de gases tóxicos en el almacenamiento de cacao del Comercial Espinoza permitió abordar una problemática real relacionada con la acumulación de gases contaminantes generados por procesos de descomposición orgánica en espacios cerrados. Los resultados obtenidos evidencian que la implementación de tecnologías basadas en sensores de gas, microcontroladores y plataformas IoT constituye una alternativa viable para mejorar tanto la seguridad laboral como la conservación del producto almacenado. Los hallazgos del presente proyecto concuerdan con investigaciones recientes que destacan la importancia del monitoreo ambiental automatizado en entornos agroindustriales. Según Luna et al., (2021), los sistemas IoT basados en sensores de bajo costo permiten la detección temprana de gases como monóxido de carbono y compuestos volátiles, facilitando la activación de mecanismos de respuesta que reducen riesgos para la salud humana y daños al producto. En el caso del Comercial Espinoza, la utilización de sensores MQ integrados al microcontrolador ESP32 permitió identificar concentraciones elevadas de gases y activar automáticamente el sistema de ventilación, lo que confirma la efectividad de este enfoque tecnológico.

De igual manera, los resultados obtenidos son consistentes con lo señalado por Chaudhary, (2023), quienes afirman que la integración de microcontroladores con conectividad Wi-Fi y plataformas en la nube mejora la capacidad de respuesta de los sistemas de monitoreo, al permitir el envío de alertas en tiempo real y el registro histórico de los eventos. En este proyecto, la conexión del prototipo con Firebase y la emisión de notificaciones mediante Telegram facilitó una supervisión remota eficiente, permitiendo al usuario conocer de manera inmediata cualquier evento crítico ocurrido dentro del almacén.

Desde el punto de vista de la seguridad ocupacional, la implementación del sistema de alerta contribuyó significativamente a la reducción del riesgo de exposición a gases tóxicos. Investigaciones recientes señalan que la inhalación prolongada de gases generados en espacios agrícolas cerrados puede provocar efectos adversos en la salud de los trabajadores, especialmente en ambientes con ventilación deficiente, como mencionan Suhas y Kesarkar, (2020). En este sentido, el sistema desarrollado cumple una función preventiva al activar

automáticamente la ventilación cuando se superan los umbrales establecidos, alineándose con las recomendaciones actuales en materia de higiene industrial y salud laboral.

Asimismo, el registro continuo de datos ambientales permitió generar información histórica sobre la calidad del aire, lo cual representa un aporte importante para la trazabilidad y la toma de decisiones en la gestión del almacenamiento del cacao. De acuerdo con (Heisenberg, 2020), el uso de tecnologías inteligentes en la agroindustria no solo optimiza los procesos productivos, sino que también fortalece el control de calidad durante las etapas de almacenamiento. En este proyecto, la base de datos en Firebase facilitó la consulta de registros diarios y semanales, contribuyendo a una mejor comprensión del comportamiento ambiental del almacén.

Los resultados también se alinean con estudios realizados en contextos similares, donde se ha demostrado que los sistemas de monitoreo ambiental de bajo costo son adecuados para pequeñas y medianas agroindustrias. U.S. Department of Labor, (2021) concluye que la implementación de redes de sensores IoT en entornos locales permite mejorar la gestión ambiental sin incurrir en altos costos, aspecto que coincide con el diseño del prototipo desarrollado, el cual fue concebido como una solución accesible, escalable y replicable. Además, según Chalco y Chimbo, (2025), lo que respalda la aplicabilidad de tecnologías IoT en la gestión del almacenamiento y la mejora de la calidad del aire en entornos agroindustriales.

Finalmente, aunque el sistema cumplió con los objetivos planteados, se reconoce que su alcance podría ampliarse en futuras investigaciones mediante la incorporación de análisis cuantitativos, calibración avanzada de sensores y la integración de algoritmos de predicción basados en inteligencia artificial. No obstante, como señala Guato, (2019) los resultados obtenidos confirman que el prototipo implementado constituye una herramienta eficaz para la detección temprana de gases tóxicos, la mejora de la calidad del aire y la protección de los trabajadores en el almacenamiento de cacao del Comercial Espinoza. Además, se ha demostrado que los sensores remotos, considerados parte del IoT, permiten medir variables ambientales como temperatura y humedad, apoyando la toma de decisiones en procesos agrícolas.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

El desarrollo e implementación del prototipo de sistema de alerta para la bodega de fermentación de cacao permitió cumplir los objetivos planteados en la investigación mediante la integración de los sensores MQ-2, MQ-4, MQ-135, SCD30, DHT22 y PMS5003, gestionados por el microcontrolador ESP32. El sistema fue capaz de monitorear en tiempo real la concentración de dióxido de carbono, temperatura, humedad relativa, material particulado (PM2.5 y PM10) y presencia de gases combustibles y compuestos volátiles, variables relevantes en el proceso de fermentación del cacao.

Durante las pruebas realizadas, el prototipo detectó correctamente los eventos en los que las variables superaron los umbrales configurados ($\text{CO}_2 \geq 2500$ ppm, temperatura ≥ 35 °C, humedad ≥ 92 %, $\text{PM}_{2.5} \geq 90$ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y $\text{PM}_{10} \geq 120$ $\mu\text{g}/\text{m}^3$), activando automáticamente el sistema de ventilación mediante el módulo de relé y enviando notificaciones inmediatas a través de Telegram. El uso de histéresis (desactivación en 2000 ppm de CO_2 , 33 °C y 88 % de humedad) permitió estabilizar el sistema, evitando activaciones y desactivaciones repetitivas cuando los valores se encontraban cercanos a los límites establecidos.

La integración con Firebase permitió el almacenamiento continuo de datos instantáneos e históricos, facilitando el registro del comportamiento ambiental dentro de la bodega durante el periodo de prueba. La transmisión de datos mediante conexión Wi-Fi se mantuvo operativa, permitiendo la actualización remota de los valores monitoreados y la visualización en tiempo real. En conjunto, el prototipo demostró su funcionamiento correcto en la detección de condiciones ambientales críticas, la activación automática del sistema de ventilación y el envío de alertas, validando su aplicación como herramienta tecnológica para el monitoreo ambiental en bodegas de fermentación de cacao.

6.2 Recomendaciones

Con base en el funcionamiento observado del prototipo, se recomienda establecer un plan periódico de mantenimiento que incluya la revisión y recalibración de los sensores MQ-2, MQ-4, MQ-135 y SCD30, debido a que su desempeño puede verse afectado por la exposición continua a variaciones de temperatura, humedad y gases generados durante la fermentación. Asimismo, se recomienda verificar periódicamente el correcto funcionamiento del sensor DHT22 y realizar limpieza preventiva del PMS5003 para mantener la precisión en la medición de material particulado.

Se sugiere capacitar al personal del Comercial Espinoza en el uso básico del sistema, incluyendo la interpretación de las alertas enviadas mediante Telegram y la comprensión de los umbrales configurados, con el fin de asegurar una respuesta adecuada ante situaciones críticas detectadas por el sistema.

También se recomienda supervisar de manera continua la estabilidad de la conexión Wi-Fi y realizar copias de seguridad periódicas de los datos almacenados en Firebase, garantizando la conservación del historial de mediciones y su disponibilidad para futuras evaluaciones técnicas o ajustes del sistema. Finalmente, para trabajos futuros se propone ampliar el sistema mediante la incorporación de sensores adicionales o mejoras en el procesamiento de datos, así como evaluar su implementación en otras bodegas o entornos similares, ajustando los valores umbral según las condiciones específicas de cada espacio.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguacando, A., y Jiménez, D. (2024). Implementación de un prototipo IOT para la monitorización de la calidad del aire en ambientes internos. 107.
- Aijun, Y., Junlin, Z., y Tianyou, L. (2022). A Gaussian Process State Space Model Fusion Physical Model and Residual Analysis for Fatigue Evaluation. 22(7), 15-16.
- AlBiajawi, M., Embong, R., y Muthusamy, K. (2022). An overview of the utilization and method for improving pozzolanic performance of agricultural and industrial wastes in concrete. *ScienceDirect*, 1(1), 34-35.
- Amazon. (2025). *Sensores de aire SCD30 de alta precisión para sensores de calidad del aire de temperatura y humedad del CO2*. https://www.amazon.com//es/gp/product/B0F6V3SZPD/ref=ox_sc_act_title_2?smid=A1EPA59SM294Q8&psc=1
- Apodaca, I. (2023). ¿Qué es un Sistema de Alerta Temprana? En *Sistemas de Alerta Temprana en México* (Segunda ed., págs. 38-52). Ciudad de México, México: Secretaría de seguridad y protección ciudadana.
- Asamblea Nacional. (2008). Constitución de la República del Ecuador. (No. 449). (R. Oficial, Ed.) Quito, Ecuador. <https://www.funcionjudicial.gob.ec/pdf/constitucion.pdf>
- Bhoomika, A., y Karthik, K. (2024). A Review on Plant Monitoring System using ESP8266. *International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology*, 4(3), 7.
- Bormans, S., Oudebrouckx, G., Vandormael, P., Vandenryt, T., y Wagner, P. (2021). Pulsed Thermal Method for Monitoring Cell Proliferation in Real-Time. *MDPI*, 1(1), 40-41.
- Casella. (2021). Higiene industrial. conceptos y objetivos. *Presentación sobre contaminantes químicos detección de gases*, 121. Madrid, España: Casella España S.A.
- Chalco, A., Y Chimbo, A. (2025). Implementación De Un Sistema Automatizado De Control Y Monitoreo De Actividades De Riego En La Hcda. "San Jose" Cantón Balao. *Universidad Agraria Del Ecuador*, 1(1), 37-38.

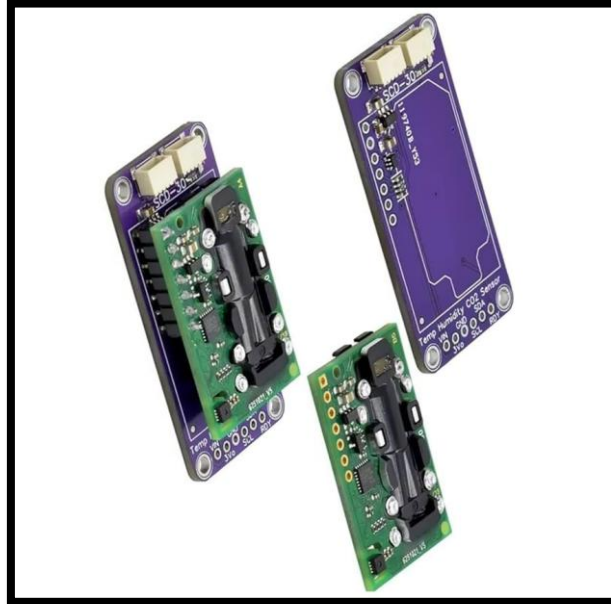
- Chaudhary, A. (2023). Impact Of Information Technology On Human Resource Management. *Journal Of Emerging Technologies And Innovative Research (Jetir)*, 10(5), 1-5.
- Ciifen. (2022). *Desarrollo de un Sistema de Alerta Temprana (SAT) ante enfermedades y baja productividad del cultivo de cacao en un Área Piloto debido a la influencia del clima*. Desarrollo técnico de las primeras fases de un SAT: <https://ciifen.org/project/sistema-de-alerta-temprana-sat-ante-enfermedades-del-cacao-debido-a-la-influencia-del-clima/>
- Código del Trabajo. (2005). Código del Trabajo. (No. 167). (R. O. Suplemento, Ed.) Quito, Ecuador. <https://www.trabajo.gob.ec/codigo-de-trabajo/>
- Dange, R., Attar, E., y Ghodake, P. (2023). SmartAgricultureAutomation usingESP8266NodeMCU. *Journal of Electronics, Computer Networking and Applied Mathematics*, 3(5), 1-9.
- Flores, O., Cortez, R., y González, B. (2021). Design and Implementation of an IoT Based LPG and CO Gases Monitoring System. *arXiv*, 31-39.
- Freire, A., Astudillo, J., Quinatoa, C., y Arias, F. (2023). Interpretación de Gases Disueltos en Aceite Dieléctrico Mediante Bosques Aleatorios Para la Detección de Anomalías en Transformadores de Potencia. *Cenace*, 19(2), 110-120.
- Frontiers in Horticulture. (2024). Advances in analytical techniques for assessing volatile organic compounds in pulse crops. *Frontiers in Horticulture*, 12.
- Guato, K. (2019). Análisis De Las Redes De Sensores Inalámbricos En La Agricultura De Precisión En El Ecuador. *Universidad Agraria Del Ecuador*, 1(1), 25-26.
- Haick, H. (2024). Advances in electroanalytical sensing of volatile organic compounds. *Applied Physics Reviews*, 11(4), 6.
- Heisenberg, D. (2020). WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants. *World Health Organization*, 1(1), 3-6.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2018). Norma INEN-ISO 45001:2018: Sistemas de gestión de la seguridad y salud en el trabajo. (INEN, Ed.) Quito, Ecuador. <https://www.normalizacion.gob.ec/buscador-normas/>
- Lojano, M., y Méndez, R. (2023). Desarrollo de un sistema de monitoreo y rastreo de productos agrícolas utilizando lot, caso de estudio cacao. 60-80. Cuenca, Ecuador: Universidad Politécnica salesiana.

- Luna, K., Klymko, K., y Blaschke, J. (2021). Accelerating GMRES with Deep Learning in Real-Time. *Cornell University*, 1(1), 36-37.
- Nieto, C., Vélez, M., Puente, S., y Lozano, P. (2025). Diseño e implementación de un sistema de monitoreo para contaminantes atmosféricos en Quevedo, Ecuador. *South Florida Journal of Development*, 12.
- Pradyumna, G., Omkar, B., y Sagar, B. (2020). *Introduction to IOT* (Vol. 5). IARJSET.
- Priyadharshini, G. (2024). Review on IoT based smart agriculture monitoring system. *International Journal of Research and Analytical Reviews*, 7.
- Sampietro, J., Bastidas, J., Masache, M., de La A Salinas, L., Carrera, R., Velasco, M., . . . Chere, B. (2022). Diseño de un sistema de monitorización de la calidad de aire, basado en una red sensorial y técnicas de IOT para la ciudad de Esmeraldas / Projeto de um sistema de monitoramento da qualidade do ar baseado em uma rede de sensores e técnicas IOT. *Brazilian Applied Science Review*, 6(2), 39.
- Santana, A. (2022). Prototipo móvil IoT para la predicción de la calidad del aire a través de Machine Learning. 19.
- Seguro General De Riesgos Del Trabajo. (1986). Ley de Seguridad y Salud de los Trabajadores y Mejoramiento del Medio Ambiente de Trabajo (Ley No. 2393). (No. 565). (R. Oficial, Ed.) Quito, Ecuador. <https://www.trabajo.gob.ec/wp-content/uploads/2015/12/Ley-de-Seguridad-y-Salud-de-los-Trabajadores.pdf>
- Suhas, N., y Kesarkar, M. (2020). Value Orientation of Adolescence Students of Night Schools: A Theoretical Concept. *IJARSC*, 11(1), 2-4.
- Szelağ, B., Drewnowski, J., Łagód, G., Majerek, D., Dacewicz, E., y Fatone, F. (2025). Soft Sensor Application in Identification of the Activated Sludge Bulking Considering the Technological and Economical Aspects of Smart Systems Functioning. *MDPI*, 20(7), 32-34.
- U.S. Department of Labor. (2021). Indoor Air Quality. *Institutional Buildings*, 1(1), 2-5.

ANEXOS

Figura 1.

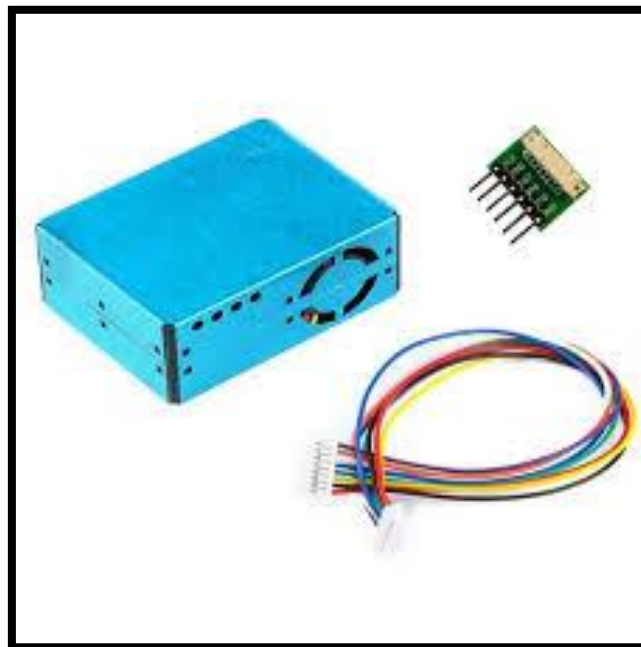
Sensor de calidad del aire SCD30 (CO₂, temperatura y humedad)



Fuente: Amazon, (2025)

Figura 2.

Sensor láser de partículas PMS5003 PM2.5 + PM10



Fuente: Amazon, (2025)

Figura 3.

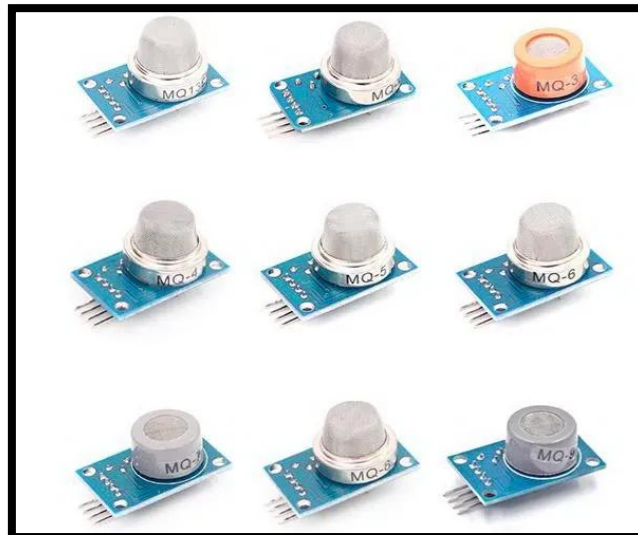
Sensor de temperatura y humedad DHT22/AM2302



Fuente: Amazon, (2025)

Figura 4.

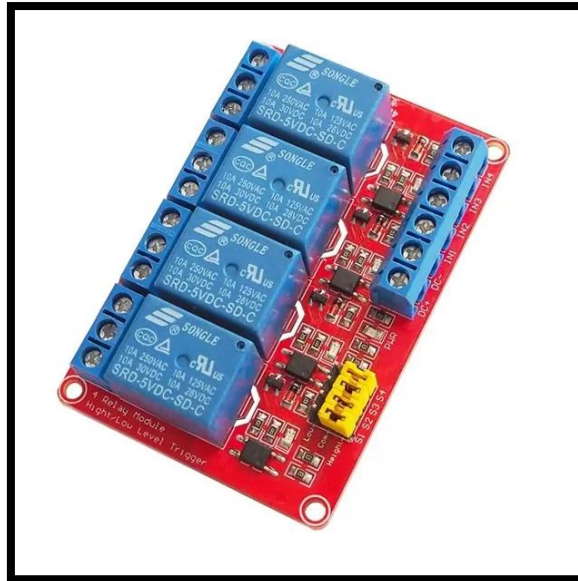
Kit de sensores de gases tipo MQ (MQ-2, MQ-3, MQ-4, MQ-5, MQ-6, MQ-7, MQ-8, MQ-9, MQ-135)



Fuente: Amazon, (2025)

Figura 5.

Módulo de relé de 5V de 4 canales con optoacoplador



Fuente: Amazon, (2025)

Figura 6.

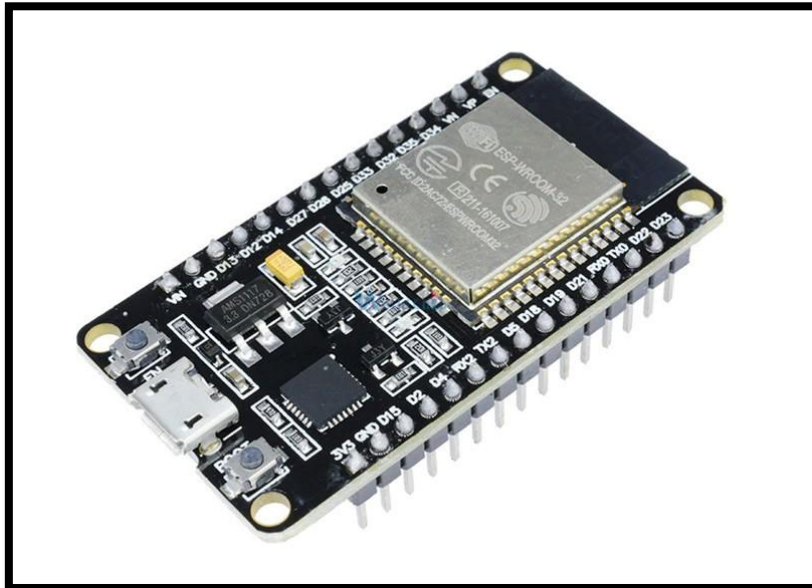
Cables Dupont (120 piezas, macho-macho y hembra-hembra)



Fuente: Amazon, (2025)

Figura 7.

Microcontrolador ESP32-WROOM (paquete de 2)



Fuente: Amazon, (2025)

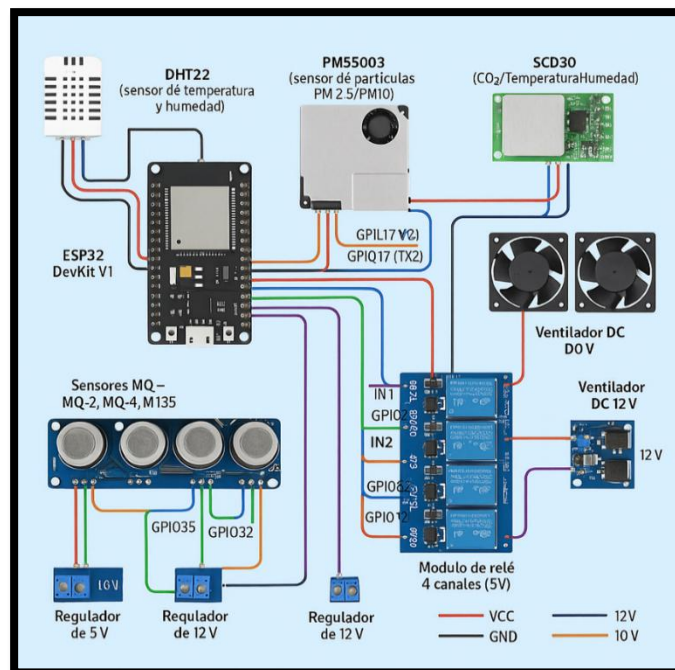
Figura 8.

Ventilador de Pared



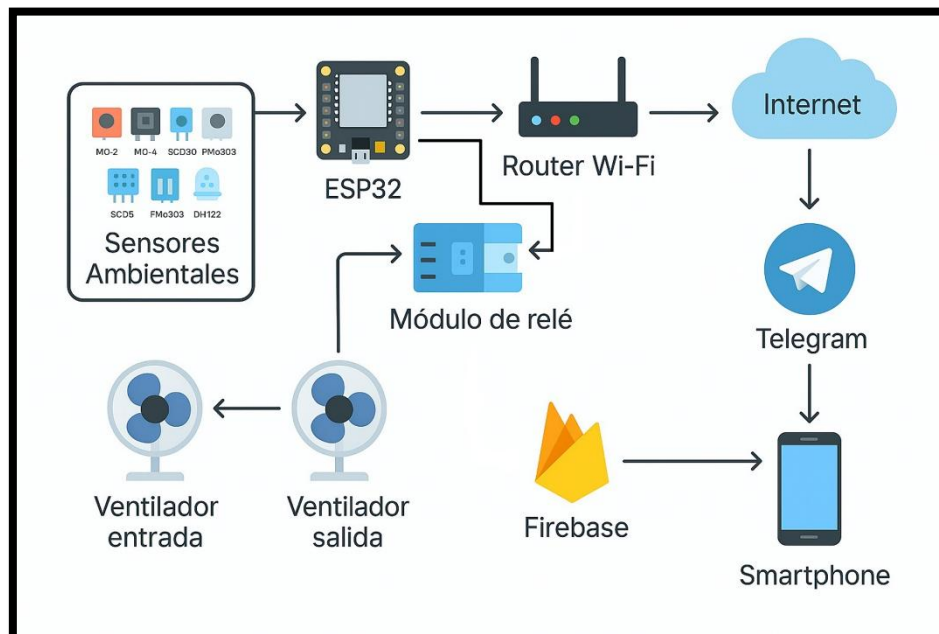
Fuente: Amazon, (2025)

Figura 9.

Esquema

Elaborado por: El Autor, 2026

Figura 10.

Esquema de red

Elaborado por: El Autor, 2026

Figura 11.

Encuesta Realizada al propietario

59

Anexo N° 1:
Modelo de entrevista para el encargado



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
PROGRAMA REGIONAL DE ENSEÑANZA NARANJAL
CARRERA COMPUTACION
ENTREVISTA DIRIGIDA AL ENCARGADO DEL COMERCIAL
ESPINOZA

Entrevistador: Joseph Ortiz

Entrevistado: Jacinto Espinoza

Objetivo: Recopilar información relevante sobre las condiciones de almacenamiento del cacao, percepción de los riesgos por presencia de gases tóxicos y la factibilidad de implementar un sistema automatizado de alerta y ventilación.

1. ¿Qué tipo de olores ha percibido durante el almacenamiento del cacao y en qué situaciones se presentan con mayor frecuencia?

Olor fuerte espesialmente cuando está fermentado.

2. ¿Con qué frecuencia realiza revisiones manuales del ambiente dentro del almacén?

Se realizan las revisiones manuales durante todo el día.

3. ¿Qué problemas de salud ha observado en los trabajadores que puedan estar relacionados con la calidad del aire o la presencia de gases?

Buena hay asel que afecta un poco a las garganta.

4. ¿Qué opinión tiene sobre la implementación de un sistema automatizado que detecte gases tóxicos y envíe alertas directamente a su celular?

Buena sería una gran idea porque por medio del celular se recibiría mejor.

60

5. ¿Qué beneficios cree que le podría aportar un sistema de alerta ambiental automatizado a su actividad comercial?

Haría muchos beneficios ya que por medio del sistema se recibiría mejor.

6. ¿Qué nivel de compromiso estaría dispuesto a asumir para mejorar la seguridad y calidad del almacenamiento del cacao?

Sería un compromiso más serio para mejorar porque me beneficia mucho a mí.

7. ¿Cuál considera que es actualmente el mayor riesgo ambiental dentro del almacén?

El mayor riesgo es la contaminación del aire.

8. ¿Qué tipo de datos o información considera esencial que le proporcione un sistema automatizado de monitoreo ambiental?

El tipo de datos sería que me informe cómo se va comportando las plantas.

9. ¿Cómo valora la importancia de mantener una buena calidad del aire en relación con la conservación del cacao almacenado?

Para mí está bien por que el sistema se puede expandir el aire tóxico.

10. ¿Cuáles serían sus expectativas en cuanto al funcionamiento del sistema una vez que haya sido implementado?

Mis expectativas sería que el funcionamiento sería en perfectas condiciones.

Elaborado por: El Autor, 2025

Elaborado por: El Autor, 2026

Figura 13.

Umbrales del sistema

```
// ===== UMBRALES (SUBIDOS) =====  
// MQ: si no quieres que MQ dispare ventilación, ponlo muy alto (ej. 3500-4095)  
#define UMBRAL_MQ 3600  
  
// CO2 (ppm) - SUBIDO (antes 1500/1200)  
#define UMBRAL_CO2_ON 2500  
#define UMBRAL_CO2_OFF 2000  
  
// Temperatura aire (°C) - SUBIDO un poco  
#define UMBRAL_T_ON 35.0  
#define UMBRAL_T_OFF 33.0  
  
// Humedad aire (%) - SUBIDO (si tu bodega trabaja 70-85% normalmente)  
#define UMBRAL_RH_ON 92.0  
#define UMBRAL_RH_OFF 88.0  
  
// PM (ug/m3) - SUBIDO (antes 35/50)  
#define UMBRAL_PM25_ON 90  
#define UMBRAL_PM25_OFF 60  
#define UMBRAL_PM10_ON 120  
#define UMBRAL_PM10_OFF 90  
  
// ===== WIFI =====  
const char* WIFI_SSID = "Secadora";  
const char* WIFI_PASSWORD = "Secadora2025";  
  
// ===== FIREBASE RTDB (REST) =====  
#define FIREBASE_HOST "studio-98521043-22adb-default-rtdb.firebaseio.com"  
#define FIREBASE_AUTH ""  
  
#define PATH_LATEST "/cacaosafe/sensors/latest"  
#define PATH_HISTORY "/cacaosafe/sensors/history"
```

Elaborado por: El Autor, 2026

Figura 14.

Foto en el lugar

Elaborado por: El Autor, 2026

Tabla 1.

Costo de los materiales de la propuesta tecnológica

N°	Ítem	Cantidad	Precio	Total
1	Sensor de aire SCD30 (CO ₂ , temperatura y humedad)	1	\$22.11	\$22.11
2	Sensor láser PMS5003 (partículas PM2.5 y PM10)	1	\$29.99	\$29.99
3	Sensor de temperatura y humedad DHT22/AM2302	2	\$13.99	\$27.99
4	Kit de sensores de gas MQ	1	\$15.59	\$15.59
5	Módulo de relé de 5V de 4 canales con optoacoplador	1	\$9.99	\$9.99
6	Pack de 120 cables Dupont macho-macho y hembra-hembra	1	\$6.28	\$6.28
7	Placa ESP32-WROOM (paquete de 2)	1	\$17.75	\$17.75
8	Protoboard, cable USB, y componentes	1	\$10.00	\$10.00
9	Ventilador de Pared	2	\$120.00	\$240.00
10	Base de datos	1	\$0,00	\$0,00
11	Arduino IDE	1	\$0,00	\$0,00
12	Mano de obra	1	\$150,00	\$150,00
			Total	\$529.70

Costos referenciales de los materiales que se utilizarán en el proyecto

Elaborado por: El Autor, 2026

Anexo N° 1:
Modelo de entrevista para el encargado



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
PROGRAMA REGIONAL DE ENSEÑANZA NARANJAL
CARRERA COMPUTACIÓN
ENTREVISTA DIRIGIDA AL ENCARGADO DEL COMERCIAL
ESPINOZA

Entrevistador: Joseph Ortiz

Entrevistado: Jacinto Espinoza

Objetivo: Recopilar información relevante sobre las condiciones de almacenamiento del cacao, percepción de los riesgos por presencia de gases tóxicos y la factibilidad de implementar un sistema automatizado de alerta y ventilación.

1. ¿Qué tipo de olores ha percibido durante el almacenamiento del cacao y en qué situaciones se presentan con mayor frecuencia?

2. ¿Con qué frecuencia realiza revisiones manuales del ambiente dentro del almacén?

3. ¿Qué problemas de salud ha observado en los trabajadores que puedan estar relacionados con la calidad del aire o la presencia de gases?

4. ¿Qué opinión tiene sobre la implementación de un sistema automatizado que detecte gases tóxicos y envíe alertas directamente a su celular?

5. ¿Qué beneficios cree que le podría aportar un sistema de alerta ambiental automatizado a su actividad comercial?

6. ¿Qué nivel de compromiso estaría dispuesto a asumir para mejorar la seguridad y calidad del almacenamiento del cacao?

7. ¿Cuál considera que es actualmente el mayor riesgo ambiental dentro del almacén?

8. ¿Qué tipo de datos o información considera esencial que le proporcione un sistema automatizado de monitoreo ambiental?

9. ¿Cómo valora la importancia de mantener una buena calidad del aire en relación con la conservación del cacao almacenado?

10. ¿Cuáles serían sus expectativas en cuanto al funcionamiento del sistema una vez que haya sido implementado?

Elaborado por: El Autor, 2026

Anexo N° 2:
Acta de entrega y recepción

ACTA DE ENTREGA Y CIERRE DEL SISTEMA

Fecha:19/05/2026

Lugar: Comercial Espinoza, Cantón Naranjal, Provincia del Guayas, Ecuador.

PARTES INVOLUCRADAS

Cliente/Organización: Jacinto Espinoza

Desarrollador: Joseph Ortiz

OBJETIVO DEL ACTA

El presente documento formaliza la entrega y cierre del sistema denominado: "**PROTOTIPO DE SISTEMA DE ALERTA PARA LA DETECCIÓN DE GASES TÓXICOS MEDIANTE SENSORES MQ Y MICROCONTROLADOR ESP32 PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LA VENTILACIÓN Y MEJORA DE LA CALIDAD DEL AIRE EN EL COMERCIAL ESPINOZA DEL CANTÓN NARANJAL, PROVINCIA DEL GUAYAS**", desarrollado como parte del proyecto de titulación e investigación académica.

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ENTREGADO

Nombre del sistema: Sistema de alerta y monitoreo ambiental para detección de gases tóxicos "CacaoSafe".

Objetivo principal: Implementar un prototipo automatizado capaz de monitorear las condiciones ambientales dentro de la bodega de fermentación de cacao, detectando la presencia de gases contaminantes y activando automáticamente un sistema de ventilación para mejorar la calidad del aire y reducir riesgos para el personal.

Características principales

- **Monitoreo ambiental en tiempo real:** Medición continua de dióxido de carbono (CO₂), temperatura, humedad relativa, material particulado PM2.5 y PM10, gases combustibles y compuestos volátiles.
- **Detección automática de condiciones críticas:** Identificación inmediata de niveles peligrosos de contaminación ambiental mediante sensores MQ-2, MQ-4, MQ-135, SCD30, DHT22 y PMS5003.

- **Activación automática de ventilación:** Encendido del sistema de extracción de aire mediante relé cuando las variables monitoreadas superan los umbrales establecidos.
- **Sistema de alertas remotas:** Envío automático de notificaciones a través de Telegram cuando se detectan condiciones ambientales críticas.
- **Registro histórico de información:** Almacenamiento continuo de datos ambientales y eventos del sistema mediante Firebase.
- **Acceso remoto a la información:** Visualización y consulta de datos en tiempo real a través de conexión Wi-Fi.

MÓDULOS ENTREGADOS

- **Módulo de detección de gases:** Monitoreo de la calidad del aire mediante sensores MQ para detectar gases contaminantes.
- **Módulo de procesamiento y control:** Procesamiento de datos mediante ESP32 y ejecución de acciones según los niveles detectados.
- **Módulo de base de datos:** Almacenamiento de mediciones, alertas y estados del sistema en Firebase.
- **Módulo de alertas:** Envío de notificaciones automáticas mediante Telegram ante niveles críticos de gases.
- **Módulo de ventilación:** Activación automática del sistema de extracción de aire cuando se superan los umbrales establecidos.
- **Módulo de reportes:** Generación de reportes semanales con el historial de datos y eventos del sistema.

DOCUMENTACIÓN INCLUIDA

Se entrega la siguiente documentación como parte del proyecto:

- Manual de usuario.
- Manual técnico del sistema.
- Diagramas electrónicos y esquema de conexiones.
- Código fuente desarrollado para el microcontrolador ESP32.
- Base de datos implementada en Firebase.

VALIDACIÓN Y PRUEBAS

- El cliente ha revisado y aprobado el funcionamiento del sistema, incluyendo las siguientes pruebas:
- Verificación del funcionamiento de los sensores de monitoreo ambiental.
- Pruebas de detección de gases contaminantes y variables ambientales.
- Pruebas de activación automática del sistema de ventilación.
- Pruebas de envío de alertas mediante Telegram.
- Pruebas de almacenamiento y consulta de datos en Firebase.
- Pruebas de conectividad Wi-Fi y comunicación con la nube.

ENTREGABLES ADICIONALES

- Capacitación básica al personal para el uso y monitoreo del sistema.
- Configuración inicial de la base de datos Firebase.
- Configuración del bot de Telegram para recepción de alertas.
- Instalación y puesta en funcionamiento del prototipo en el entorno de pruebas.

DECLARACIÓN DE CONFORMIDAD

Las partes involucradas certifican que el sistema entregado cumple con los objetivos establecidos en el proyecto de investigación y con los requerimientos definidos para el monitoreo ambiental de la bodega de fermentación de cacao del Comercial Espinoza.

Asimismo, se deja constancia de que el prototipo fue sometido a pruebas de funcionamiento, verificándose la correcta detección de condiciones ambientales críticas, el almacenamiento de datos en Firebase, la activación automática del sistema de ventilación y el envío de alertas mediante Telegram.

Por lo tanto, el cliente recibe a conformidad el sistema descrito en la presente acta.

FIRMAS DE LAS PARTES**Por el Cliente****Nombre:** Jacinto Espinoza**Cargo:** Propietario/Representante del Comercial Espinoza**Firma:** _____**Por el Desarrollador****Nombre:** Joseph Ortiz**Cargo:** Investigador y Desarrollador del Sistema**Firma:** _____

APÉNDICES

Apéndice N° 1

Manual Técnico

Manual Técnico del proyecto “CacaoSafe”



Manual técnico

La implementación del sistema automatizado de monitoreo ambiental y control de ventilación tiene como objetivo mejorar la seguridad y el control de las condiciones ambientales dentro de la bodega de fermentación de cacao del Comercial Espinoza. Este sistema permite supervisar variables críticas como concentraciones de gases, temperatura, humedad y material particulado, activando de forma automática el sistema de ventilación y generando alertas al usuario cuando se detectan condiciones fuera de los rangos establecidos. De esta manera, se optimiza el proceso de fermentación y se reducen los riesgos asociados a la acumulación de gases contaminantes.

El sistema fue diseñado para operar de manera autónoma, minimizando la intervención manual del usuario. A través del uso de sensores especializados y un microcontrolador ESP32, el prototipo realiza lecturas periódicas del ambiente, procesa la información obtenida y ejecuta acciones de control y notificación de forma automática. Además, el sistema cuenta con una base de datos en la nube que permite almacenar los registros históricos y facilitar el monitoreo remoto.

Tabla de requerimientos del sistema automatizado

Requisito	Descripción
Microcontrolador	ESP32
Sensores de gases	MQ-2, MQ-4, MQ-135
Sensor de CO ₂	SCD30
Sensor de temperatura y humedad	DHT22
Sensor de partículas	PMS5003
Módulo de control	Relé de 5V
Sistema de ventilación	Ventiladores AC
Conectividad	Red Wi-Fi
Plataforma en la nube	Firestore Realtime Database
Sistema de alertas	Telegram
Alimentación eléctrica	5V y 12V regulados

Elaborado por: El Autor, 2026

Arquitectura General del Sistema

El sistema automatizado fue desarrollado bajo una arquitectura modular que organiza el funcionamiento en capas funcionales interrelacionadas,

permitiendo integración eficiente entre los componentes físicos, el procesamiento lógico y los servicios digitales.

La estructura contempla adquisición de datos, procesamiento, actuación y comunicación, garantizando operación autónoma y trazabilidad de la información.

Capa de Adquisición de Datos

La adquisición de datos se realiza mediante sensores ambientales instalados dentro de la bodega de fermentación, encargados de medir concentraciones de gases, dióxido de carbono, temperatura, humedad relativa y material particulado.

Los sensores implementados fueron:

- MQ2 (gases inflamables y humo)
- MQ4 (metano – CH₄)
- MQ135 (gases contaminantes)
- SCD30 (CO₂, temperatura y humedad por tecnología NDIR)
- PM5003 (PM2.5 y PM10)

Las señales son transmitidas al microcontrolador ESP32 mediante entradas analógicas (ADC), comunicación I2C y comunicación UART, según el tipo de sensor. La lectura se ejecuta en intervalos periódicos programados dentro del firmware.

Capa de Procesamiento y Lógica de Control

El procesamiento se ejecuta en el microcontrolador ESP32, programado en entorno Arduino IDE.

Durante la inicialización, el sistema configura pines de entrada y salida, establece conexión Wi-Fi, inicia comunicación con Firebase y habilita el bot de Telegram.

El algoritmo implementado compara continuamente las lecturas con los umbrales definidos:

- CO₂ ≥ 2500 ppm (activación) / ≤ 2000 ppm (desactivación)
- Temperatura ≥ 35 °C / ≤ 33 °C
- Humedad ≥ 92 % / ≤ 88 %
- PM2.5 ≥ 90 µg/m³
- PM10 ≥ 120 µg/m³

La lógica opera bajo un esquema de control por histéresis para evitar activaciones repetitivas del sistema de ventilación. Cuando uno o más parámetros superan el umbral crítico, se genera un evento de activación y notificación.

Capa de Actuación

La actuación se realiza mediante un módulo relé conectado al sistema de ventilación.

Cuando el ESP32 detecta una condición crítica, envía una señal digital al relé, energizando los ventiladores y permitiendo la renovación del aire dentro del recinto.

El sistema se desactiva automáticamente cuando los valores regresan a los niveles seguros definidos en la histéresis.

Capa de Comunicación y Almacenamiento

La comunicación se realiza a través del módulo Wi-Fi integrado del ESP32.

Los datos ambientales son enviados en tiempo real a Firebase, donde se almacenan junto con marca temporal y estado del sistema. Esta base de datos permite mantener un historial continuo de mediciones y eventos de activación.

La integración con la API de Telegram permite el envío automático de alertas cuando se superan los valores críticos. Las notificaciones incluyen los parámetros detectados y el estado del sistema de ventilación.

Configuración del Bot de Telegram

El bot fue creado mediante BotFather, generando un token único de autenticación. Posteriormente se obtuvo el Chat ID del usuario para direccionar los mensajes.

El firmware incluye el token y ejecuta solicitudes HTTP hacia la API de Telegram cada vez que se detecta un evento crítico. Las alertas se envían únicamente cuando se superan los umbrales establecidos, evitando notificaciones redundantes.

Flujo Operativo del Sistema

El sistema opera de forma continua mediante el siguiente ciclo:

Lectura de sensores → comparación con umbrales → evaluación de condición crítica → activación de ventilación → envío de alerta → registro en Firebase → monitoreo permanente.

Código Ocupado en el Sistema.

```

// ===== LIBRERÍAS =====
// WiFi y cliente seguro para conexiones HTTPS (Firebase y Telegram)
#include <WiFi.h>
#include <WiFiClientSecure.h>
// Comunicación I2C para sensor SCD30
#include <Wire.h>
#include "SparkFun_SCD30_Arduino_Library.h"
// Sensor DHT22
#include <DHT.h>
// Manejo de fecha y hora mediante NTP
#include <time.h>
// ===== DEFINICIÓN DE PINES =====
// Pines analógicos para sensores MQ
#define MQ2_PIN 34
#define MQ4_PIN 35
#define MQ135_PIN 32
// Pin digital para relé (control ventilación)
#define RELAY_PIN 25
// Pin del sensor DHT22
#define DHT_PIN 27
// Pines UART para sensor PMS5003 (Serial2 del ESP32)
#define PMS_RX_PIN 16
#define PMS_TX_PIN 17
// ===== CONFIGURACIÓN DHT22 =====
// Se define el tipo de sensor DHT y se crea el objeto
#define DHTTYPE DHT22
DHT dht(DHT_PIN, DHTTYPE);
// ===== UMBRALES DE CONTROL =====
// Valor alto para MQ si no se desea que activen ventilación
#define UMBRAL_MQ 3600
// Umbrales de activación y desactivación (histéresis)
#define UMBRAL_CO2_ON 2500
#define UMBRAL_CO2_OFF 2000

```

```

#define UMBRAL_T_ON    35.0
#define UMBRAL_T_OFF   33.0
#define UMBRAL_RH_ON   92.0
#define UMBRAL_RH_OFF  88.0
#define UMBRAL_PM25_ON  90
#define UMBRAL_PM25_OFF 60
#define UMBRAL_PM10_ON 120
#define UMBRAL_PM10_OFF 90

// ===== CONFIGURACIÓN WIFI =====
// Credenciales de red para conexión a Internet
const char* WIFI_SSID   = "Secadora";
const char* WIFI_PASSWORD = "Secadora2025";

// ===== CONFIGURACIÓN FIREBASE =====
// Host de la base de datos en tiempo real
#define FIREBASE_HOST "studio-98521043-22adb-default-rtdb.firebaseio.com"
#define FIREBASE_AUTH ""

// Rutas para guardar último dato e historial
#define PATH_LATEST  "/cacaosafe/sensors/latest"
#define PATH_HISTORY "/cacaosafe/sensors/history"

// ===== CONFIGURACIÓN TELEGRAM =====
// Token del bot y chat ID del usuario
#define TELEGRAM_BOT_TOKEN "TOKEN_AQUI"
#define TELEGRAM_CHAT_ID  "CHAT_ID_AQUI"
#define TG_HOST "api.telegram.org"
#define TG_PORT 443

// ===== INTERVALOS DE TIEMPO =====
// Intervalo de lectura de sensores
const unsigned long READ_INTERVAL_MS = 10000;

// Intervalo de guardado en historial
const unsigned long HISTORY_INTERVAL_MS = 600000;
unsigned long lastHistoryMs = 0;
unsigned long lastReadMs = 0;

// Tiempo mínimo entre mensajes de alerta repetidos
const unsigned long TELEGRAM_COOLDOWN_MS = 900000;

```

```

unsigned long lastTelegramMs = 0;
// ===== OBJETOS DE SENSORES =====
SCD30 airSensor;
// Configuración del puerto serie para PMS5003
HardwareSerial PMS(2);
// Estructura para almacenar datos de partículas
struct PMSData {
    uint16_t pm1_0;
    uint16_t pm2_5;
    uint16_t pm10;
    bool valid;
};
PMSData pms = {0, 0, 0, false};
// ===== VARIABLES DE ESTADO =====
// Estado actual del ventilador
bool fanOn = false;
// Indica si el sistema está en estado de alerta
bool alertActive = false;
// ===== FUNCIÓN: CODIFICACIÓN TELEGRAM =====
// Convierte caracteres especiales a formato URL
String tgEncode(const String& s) {
    String out;
    for (size_t i = 0; i < s.length(); i++) {
        char c = s[i];
        if (c == ' ') out += "%20";
        else if (c == '\n') out += "%0A";
        else out += c;
    }
    return out;
}

// ===== FUNCIÓN: ENVÍO MENSAJE TELEGRAM =====

```

// Realiza solicitud HTTPS GET a la API oficial

```

bool sendTelegramMessage(const String& message) {
  if (WiFi.status() != WL_CONNECTED) return false;
  WiFiClientSecure client;
  client.setInsecure(); // Omite verificación SSL
  if (!client.connect(TG_HOST, TG_PORT)) return false;
  String url = "/bot" + String(TELEGRAM_BOT_TOKEN) +
    "/sendMessage?chat_id=" +
    TELEGRAM_CHAT_ID +
    "&text=" +
    tgEncode(message);
  client.print(String("GET ") + url + " HTTP/1.1\r\n" +
    "Host: " TG_HOST "\r\n" +
    "Connection: close\r\n\r\n");
  client.stop();
  return true;
}

```

// ===== FUNCIÓN: CONTROL CON HISTÉRESIS =====

// Activa o desactiva ventilación según condiciones críticas

```

void updateFanState(bool alertaMQ, bool alertaPM, float co2, float tAir, float
rhAir) {
  bool co2On = (!isnan(co2) && co2 >= UMBRAL_CO2_ON);
  bool tOn = (!isnan(tAir) && tAir >= UMBRAL_T_ON);
  bool rhOn = (!isnan(rhAir) && rhAir >= UMBRAL_RH_ON);
  bool co2Off = (isnan(co2) || co2 <= UMBRAL_CO2_OFF);
  bool tOff = (isnan(tAir) || tAir <= UMBRAL_T_OFF);
  bool rhOff = (isnan(rhAir) || rhAir <= UMBRAL_RH_OFF);
  if (!fanOn) {
    if (alertaMQ || alertaPM || co2On || tOn || rhOn)
      fanOn = true;
  } else {
    if (!alertaMQ && !alertaPM && co2Off && tOff && rhOff)
      fanOn = false;
  }
}

```

```

}
// Relé activo en LOW
digitalWrite(RELAY_PIN, fanOn ? LOW : HIGH);
}
// ===== SETUP =====
// Inicialización del sistema
void setup() {
  Serial.begin(115200);
  pinMode(RELAY_PIN, OUTPUT);
  digitalWrite(RELAY_PIN, HIGH); // Ventilador apagado
  dht.begin();
  Wire.begin();
// Verifica que el SCD30 esté conectado
  if (!airSensor.begin()) {
    while (1); // Detiene ejecución si falla
  }
  PMS.begin(9600, SERIAL_8N1, PMS_RX_PIN, PMS_TX_PIN);
// Conecta a red WiFi
  WiFi.begin(WIFI_SSID, WIFI_PASSWORD);
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(500);
  }
// Sincroniza hora con servidor NTP
  configTime(-5 * 3600, 0, "pool.ntp.org");
}
// ===== LOOP PRINCIPAL =====
// Se ejecuta continuamente
void loop() {
  unsigned long nowMs = millis();

  // Control de intervalo de lectura
  if (lastReadMs != 0 && (nowMs - lastReadMs) < READ_INTERVAL_MS)
    return;
  lastReadMs = nowMs;

```

```

// ===== Lectura sensores =====
int mq2  = analogRead(MQ2_PIN);
int mq4  = analogRead(MQ4_PIN);
int mq135 = analogRead(MQ135_PIN);
float tempDHT = dht.readTemperature();
float humDHT = dht.readHumidity();
float co2 = NAN;
if (airSensor.dataAvailable()) {
    co2 = airSensor.getCO2();
}
// ===== Determinación alerta MQ =====
bool alertaMQ = (mq2 > UMBRAL_MQ || mq4 > UMBRAL_MQ || mq135 >
UMBRAL_MQ);
// ===== Control ventilación =====
updateFanState(alertaMQ, false, co2, tempDHT, humDHT);
// ===== Construcción mensaje alerta =====
bool anyAlert = alertaMQ || (co2 >= UMBRAL_CO2_ON);
if (anyAlert && !alertActive) {
    alertActive = true;
    String msg = "ALERTA CacaoSafe\n";
    msg += "CO2: " + String(co2) + " ppm\n";
    msg += "Temp: " + String(tempDHT) + " C\n";
    msg += "Humedad: " + String(humDHT) + " %\n";
    msg += "Ventilador: " + String(fanOn ? "ACTIVO" : "APAGADO");
    sendTelegramMessage(msg);
}
if (!anyAlert && alertActive) {
    alertActive = false;
    sendTelegramMessage("Sistema estabilizado - CacaoSafe");
}
}

```

Apéndice N° 2

Manual de usuario

Manual de usuario del proyecto “CacaoSafe”



Manual de Usuario

El presente manual de usuario ha sido elaborado con el propósito de proporcionar una guía clara y comprensible para el uso del sistema automatizado de monitoreo ambiental y control de ventilación implementado en la bodega de fermentación de cacao del Comercial Espinoza. Este sistema permite supervisar las condiciones ambientales del espacio, tales como la concentración de gases, temperatura, humedad y partículas en suspensión, garantizando un ambiente más seguro y controlado durante el proceso de fermentación.

El sistema ha sido diseñado para funcionar de manera automática, reduciendo la necesidad de intervención constante por parte del usuario. A través de la integración de sensores ambientales, un microcontrolador ESP32 y plataformas digitales como Firebase y Telegram, el usuario puede conocer el estado de la bodega y recibir alertas oportunas cuando alguno de los parámetros monitoreados supera los umbrales establecidos.

Para acceder al sistema, el usuario únicamente debe contar con conexión a Internet y acceso al servicio de mensajería Telegram, ya que las notificaciones y alertas son enviadas directamente a través de este medio. Asimismo, la visualización de los datos registrados puede realizarse mediante la plataforma web conectada a la base de datos Firebase, desde cualquier navegador.

Figura de vista general del sistema de monitoreo ambiental.



Elaborado por: El Autor, 2026

ACCESO Y FUNCIONAMIENTO GENERAL DEL SISTEMA

Una vez que el sistema se encuentra energizado y conectado a la red Wi-Fi, el microcontrolador ESP32 inicia automáticamente el proceso de lectura de los sensores instalados en la bodega de fermentación. No es necesario que el usuario realice ninguna acción manual para iniciar el monitoreo, ya que el sistema opera de forma continua y autónoma.

El usuario recibe información del sistema principalmente a través de dos medios. El primero corresponde a la plataforma Firebase, donde se almacenan los datos de las mediciones realizadas, permitiendo consultar el estado actual y el historial de los parámetros ambientales. El segundo medio es Telegram, donde el sistema envía mensajes automáticos cuando se detectan condiciones ambientales fuera de los rangos establecidos.

El sistema ha sido configurado para enviar alertas únicamente cuando se superan los umbrales definidos para cada variable, evitando notificaciones innecesarias y facilitando la interpretación de los eventos críticos por parte del usuario.

Figura de flujo general de funcionamiento del sistema



Elaborado por: El Autor, 2026

VISUALIZACIÓN DE LOS DATOS EN LA PLATAFORMA WEB

La plataforma web conectada a Firebase permite al usuario visualizar las lecturas de los sensores de forma organizada y comprensible. En esta interfaz se muestran los valores actuales de concentración de gases, temperatura, humedad, dióxido de carbono y material particulado, así como el estado del sistema de ventilación.

Además, la plataforma almacena un registro histórico de las mediciones, lo que permite analizar el comportamiento de las variables ambientales a lo largo del tiempo. Esta información resulta útil para identificar tendencias, evaluar la eficiencia de la ventilación y tomar decisiones relacionadas con la optimización del proceso de fermentación del cacao.

Figura de visualización de datos ambientales en la plataforma web



Elaborado por: El Autor, 2026

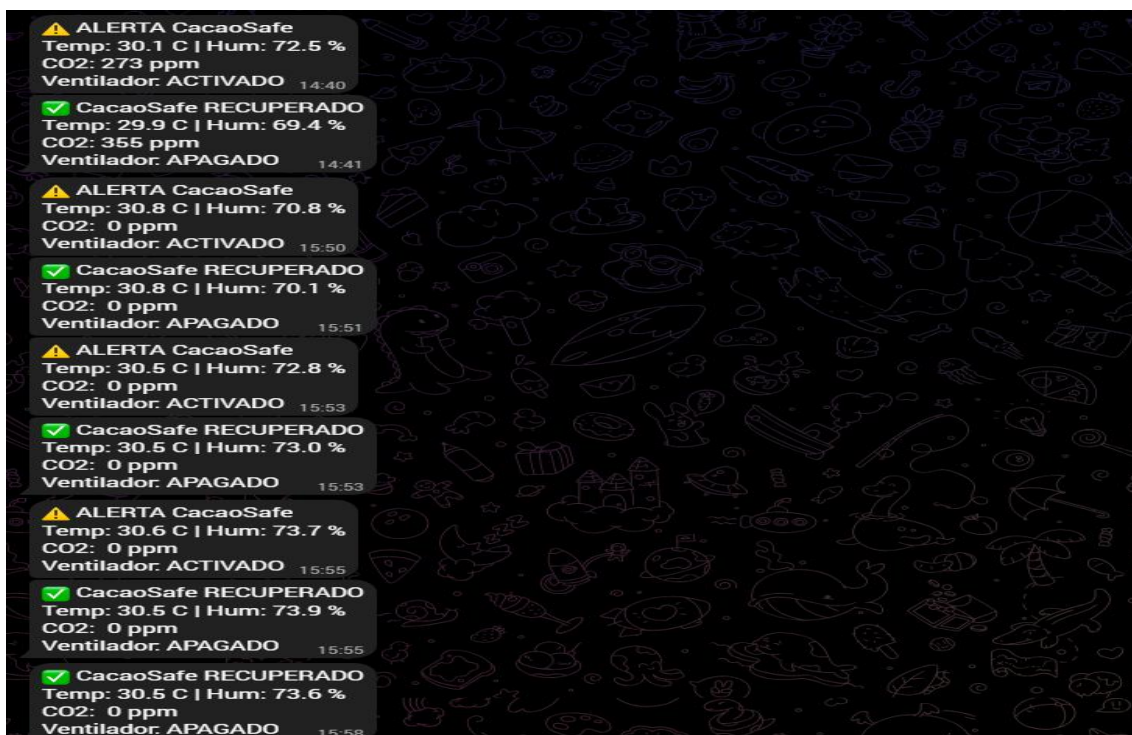
RECEPCIÓN DE ALERTAS MEDIANTE TELEGRAM

El sistema cuenta con un bot de Telegram que se encarga de enviar notificaciones automáticas al usuario cuando se detecta que uno o más parámetros ambientales superan los umbrales configurados. Estas alertas incluyen información relevante sobre las variables afectadas, como la concentración de CO₂, temperatura, humedad o partículas, así como el estado del sistema de ventilación.

Cuando se presenta una condición crítica, el sistema activa automáticamente los ventiladores y envía un mensaje de alerta al usuario. Una vez que las condiciones ambientales retornan a valores seguros, el sistema

envía una notificación indicando que el ambiente se ha normalizado, permitiendo al usuario tener un control claro del estado de la bodega.

Figura de ejemplo de alerta enviada mediante Telegram



Elaborado por: El Autor, 2026

USO DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN AUTOMÁTICA

El usuario no necesita encender o apagar manualmente el sistema de ventilación, ya que este proceso es gestionado de forma automática por el microcontrolador ESP32. Cuando los sensores detectan niveles elevados de gases o condiciones ambientales inadecuadas, el sistema activa el relé que controla los ventiladores de entrada y salida de aire.

El estado del sistema de ventilación puede ser visualizado tanto en la plataforma web como en los mensajes enviados por Telegram, permitiendo al usuario conocer en todo momento si los ventiladores se encuentran activados o desactivados.

Figura de estado del sistema de ventilación automática



Elaborado por: El Autor, 2026

CONSIDERACIONES PARA EL USUARIO

Para garantizar un funcionamiento adecuado del sistema, se recomienda al usuario verificar periódicamente que el equipo se encuentre correctamente alimentado y con conexión estable a la red Wi-Fi. Asimismo, es importante revisar con regularidad los mensajes de Telegram y los datos almacenados en la plataforma web, con el fin de mantenerse informado sobre las condiciones ambientales de la bodega.

El sistema ha sido diseñado para facilitar el monitoreo y la toma de decisiones, sin requerir conocimientos técnicos avanzados por parte del usuario, lo que lo convierte en una herramienta práctica y accesible para el control ambiental en procesos de fermentación de cacao.