



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

“DR. JACOBO BUCARAM ORTIZ”

CARRERA COMPUTACIÓN

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

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE
RIEGO PROGRAMABLE PARA CUBRIR LA ESCASEZ
HÍDRICA DE CULTIVO DE CACAO DE LA FINCA “TRES
HERMANOS” DEL CANTÓN VINCES PROVINCIA DE LOS
RÍOS**

AUTOR

PEÑA CHILA ANTONIO BENIGNO

TUTOR

ING. SÁNCHEZ PALACIOS LUIS ENRIQUE, M.Sc

NARANJAL, ECUADOR

2025



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
“DR. JACOBO BUCARAM ORTIZ”
CARRERA COMPUTACIÓN

APROBACIÓN DEL TUTOR

El suscrito, docente de la Universidad Agraria del Ecuador, en mi calidad de Tutor, certifico que el presente trabajo de titulación: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE RIEGO PROGRAMABLE PARA CUBRIR LA ESCASEZ HÍDRICA DE CULTIVO DE CACAO DE LA FINCA “TRES HERMANOS” DEL CANTÓN VINCES PROVINCIA DE LOS RÍOS, realizado por el estudiante PEÑA CHILA ANTONIO BENIGNO; con cédula de identidad N° 094210326-8 de la carrera COMPUTACIÓN, Unidad Académica Extensión Programas Regionales de Enseñanza “Dr. Jacobo Bucaram Ortiz” 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. SÁNCHEZ PALACIOS LUIS ENRIQUE, M.Sc

Naranjal, 4 de septiembre del 2025



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
“DR. JACOBO BUCARAM ORTIZ”
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: “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE RIEGO PROGRAMABLE PARA CUBRIR LA ESCASEZ HÍDRICA DE CULTIVO DE CACAO DE LA FINCA “TRES HERMANOS” DEL CANTÓN VINCES PROVINCIA DE LOS RÍOS”, realizado por el estudiante PEÑA CHILA ANTONIO BENIGNO, el mismo que cumple con los requisitos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador.

Atentamente,

ING. Cabezas Cabezas Roberto, M.Sc.
PRESIDENTE

ING. Ibarra Martínez Mario, M.Sc.
EXAMINADOR PRINCIPAL

ING. Lascano Montes Ariana, M.Sc.
EXAMINADOR PRINCIPAL

ING. Sánchez Palacios Luis, M.Sc.
EXAMINADOR SUPLENTE

Milagro, 29 de septiembre del 2025

Dedicatoria

Este proyecto está dedicado principalmente a Dios por permitir guiarme por un buen camino y el cual he llegado hasta estos momentos tan importante de mi formación profesional.

A mis padres y hermanos por ser los pilares fundamentales y demostrar siempre su apoyo de una u otra forma.

Agradecimiento

Agradezco primeramente a Dios por darme la fuerza para superar los obstáculos a lo largo de mi formación profesional. A mis padres y hermanos por demostrar su afecto y la fuerza necesaria a no decaerme mediante sus consejos.

También a mis docentes por su apoyo y dedicación al proveerme de su conocimiento durante mi formación académica y por último a mis compañeros de clases de la Universidad por demostrar un buen ambiente educativo y empático.

Autorización de Autoría Intelectual

Yo PEÑA CHILA ANTONIO BENIGNO, en calidad de autor(a) del proyecto realizado, sobre “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE RIEGO PROGRAMABLE PARA CUBRIR LA ESCASEZ HÍDRICA DE CULTIVO DE CACAO DE LA FINCA “TRES HERMANOS” DEL CANTÓN VINCES PROVINCIA DE LOS RÍOS” para optar el título de INGENIERO EN CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN, por la presente autorizo a la UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR, hacer uso de todos los contenidos que me pertenecen o parte de los que contienen esta obra, con fines estrictamente académicos o de investigación.

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

Naranjal, 29 de septiembre del 2025

PEÑA CHILA ANTONIO BENIGNO

C.I. 0942103268

Resumen

Este proyecto aborda la escasez de agua que enfrenta la finca “Tres Hermanos” en Vinces, Los Ríos, mediante el diseño e implementación de un sistema de riego automatizado basado en tecnología IoT para sus cultivos de cacao. El objetivo general fue optimizar el consumo hídrico y garantizar el crecimiento óptimo del cacao en una región propensa a la sequía. El marco teórico se centró en la aplicación de IoT para la gestión agrícola, utilizando cuatro sensores de humedad colocados estratégicamente en el terreno. La metodología incluyó la integración de estos sensores con una página web para la visualización en tiempo real de los datos, los cuales se almacenaron en una base de datos local MySQL. Los resultados obtenidos con la puesta en marcha de este sistema han sido sumamente prometedores y demuestran su alta eficiencia. El sistema opera de manera autónoma: cuando los sensores detectan que la humedad del suelo desciende por debajo de un umbral crítico del 70%, la bomba de riego se activa automáticamente. Permanece encendida hasta que los niveles de humedad alcanzan el 100%, momento en el que el riego se detiene. Este mecanismo de automatización ha logrado una reducción considerable en el desperdicio de agua y ha incrementado notablemente la eficiencia del riego, asegurando que el recurso se utilice solo cuando es estrictamente necesario. La funcionalidad de monitoreo remoto, combinada con la capacitación impartida a los trabajadores agrícolas de la finca, no solo garantiza el correcto funcionamiento y mantenimiento del sistema a largo plazo, sino que también empodera a la comunidad local, promoviendo un futuro más resiliente y productivo.

Palabras clave: *Automatización, Hídrico, IoT, MySQL, Sensor de humedad.*

Abstract

This project addresses the water scarcity faced by the Tres Hermanos farm in Vinces, Los Ríos, by designing and implementing an automated irrigation system based on IoT technology for its cacao crops. The overall objective was to optimize water consumption and ensure optimal cacao growth in a drought-prone region. The theoretical framework focused on the application of IoT for agricultural management, using four humidity sensors strategically placed on the land. The methodology included the integration of these sensors with a website for real-time visualization of the data, which was stored in a local MySQL database. The results obtained with the implementation of this system have been extremely promising and demonstrate its high efficiency. The system operates autonomously: when the sensors detect that soil humidity drops below a critical threshold of 70%, the irrigation pump is automatically activated. It remains on until humidity levels reach 100%, at which point irrigation is stopped. This automation mechanism has achieved a considerable reduction in water waste and significantly increased irrigation efficiency, ensuring that the resource is used only when strictly necessary. The remote monitoring functionality, combined with the training provided to the farm's agricultural workers, not only ensures the proper functioning and long-term maintenance of the system, but also empowers the local community, promoting a more resilient and productive future.

Keywords: *Automation, Water, IoT, MySQL, Humidity Sensor.*

ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN	13
1.1 Antecedentes del problema.....	13
1.2 Planteamiento y formulación del problema.....	14
1.3 Justificación de la investigación.	15
1.4 Delimitación de la investigación.	16
1.5 Objetivo general.	16
1.6 Objetivos específicos.	16
2. MARCO TEÓRICO.	17
2.1 Estado del Arte.....	17
2.2 Bases científicas y teóricas de la temática	19
2.2.1 <i>Definición de sensores</i>	19
2.2.1.1. Sensores de distancia.....	20
2.2.1.2. Sensores de frecuencia de luz.....	20
2.2.1.3. Sensores de humedad.....	21
2.2.1.4. Sensores de luz.....	21
2.2.1.5. Sensores de Posición.....	21
2.2.1.6. Sensores de temperatura.....	22
2.2.1.7. Sensores de velocidad.....	22
2.3 Marco legal	27
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	29
3.1 Enfoque de la investigación	29
3.2 Metodología	29
4. RESULTADOS	33
5. DISCUSIÓN	38
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	42
BIBLIOGRAFÍA	43
ANEXOS.....	47
APÉNDICES	64

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo N° 1: Tabla 1. Componentes electrónicos.....	47
Anexo N° 2: Tabla 2. Componentes para el sistema de riego.....	47
Anexo N° 3: Tabla 3. Problemas ha experimentado al regar los cultivos	47
Anexo N° 4: Tabla 4. Especificaciones técnicas del sensor HD-38.....	48
Anexo N° 5: Tabla 5. Especificaciones técnicas del controlador	48
Anexo N° 6: Tabla 6. Especificaciones técnicas del ESP32.....	48
Anexo N° 7: Tabla 7. Especificaciones técnicas de la Shield Esp32.....	48
Anexo N° 8: Tabla 8. Funcionamiento de los sensores.....	49
Anexo N° 9: Tabla 9. Prueba en tierra mojada.....	49
Anexo N° 10: Tabla 10. Prueba en tierra seca.....	49
Anexo N° 11: Tabla 11. Prueba en tierra medio mojada	50
Anexo N° 12: Tabla 12. Resultados de las mediciones del sistema.....	50
Anexo N° 13: Tabla 13. Comparación entres las dos formas de riego	50
Anexo N° 14: Figura 1. Diagrama de flujo del sistema programable de riego.....	51
Anexo N° 15: Figura 2. Problemas presentes en la finca	51
Anexo N° 16: Figura 3. Indice de satisfacción del agua.....	52
Anexo N° 17: Figura 4. Beneficio del sistema de riego	52
Anexo N° 18: Figura 5. Factores a considerar en la implementación	53
Anexo N° 19: Figura 6. Tipo de forma de riego.....	53
Anexo N° 20: Figura 7. Acciones para el ahorro de agua	54
Anexo N° 21: Figura 8. Frecuencias de riego	54
Anexo N° 22: Figura 9. Beneficio del riego programable	55
Anexo N° 23: Figura 10. Sensor de humedad HD-38.....	55
Anexo N° 24: Figura 11. Circuito desarrollado en Fritzing	56
Anexo N° 25: Figura 12. Conexiones del circuito	56
Anexo N° 26: Figura 13. Interfaz de la pantalla de visualizacion.....	57
Anexo N° 27: Figura 14. Base de datos creada en MySQL	57
Anexo N° 28: Figura 15. Tabla de registro de los datos	58
Anexo N° 29: Figura 16. Finca “ Tres Hermanos”	58
Anexo N° 30: Figura 17. Cultivo de cacao.....	59
Anexo N° 31: Figura 18. Distribución de los sensores	59
Anexo N° 32: Figura 19. Ubicación de los sensores en la finca.....	60
Anexo N° 33: Modelo de entrevista para el propietario.....	61

Anexo N° 34: Modelo de encuesta para los agricultores.....	62
Anexo N° 35: Figura 20. Módulos apaches y MySQL activados.....	68
Anexo N° 36: Figura 21. Pantalla de visualización de los datos.....	67
Anexo N° 37: Figura 22. Registro de datos	68

ÍNDICE DE APÉNDICES

Apéndice N° 1: Manual de usuario del sistema de riego automatizado	64
Apéndice N° 2: Manual técnico del sistema de monitoreo.....	699

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes del problema

Actualmente se dispone de tecnología para programar el riego mediante el análisis realista de factores como el momento oportuno, según (Gutiérrez y Sánchez, 2022) indica:

Los sistemas de riego inteligentes y automatizados están ganando apogeo en la industria del sector agrícola alrededor del mundo, esto es debido a que su implementación permite el beneficio de una mejor producción y calidad, reduciendo así los desperdicios que genera la implementación con recursos convencionales; como riego por mangueras manuales o la distribución de fertilizantes por el agrónomo encargado. Mediante la automatización del riego podemos optimizar los tiempos y recursos consumidos para la producción del cacao, dando como resultado la cantidad, ubicación, horario y la frecuencia del riego precisas para el cultivo. La adopción de estas soluciones innovadoras representa un paso fundamental hacia una agricultura más eficiente y respetuosa con el medio ambiente, garantizando mejores cosechas con menor impacto.

En la actualidad el riego manual no es eficiente, el desperdicio de agua y el exceso de humedad dificultan el crecimiento del cultivo y genera pérdidas en las cosechas (Carrasco y Coral, 2022) indican que:

Se entiende que un sistema de riego automatizado es la combinación de hardware y software, tiene como objetivo optimizar el proceso de regadío según las condiciones y especificaciones del cultivo, siendo utilizado en lugares en donde la falta de agua perjudica el correcto crecimiento y producción de los cultivos. El hardware utilizado en los últimos años se describen como sensores de tipo Arduino de temperatura y humedad, también se utiliza herramientas con tecnología LoRa, además utilizan bombas de agua, electricidad o paneles solares, que pueden ser implementados mediante IoT, Machine Learning, entre otros. Para lograr un manejo óptimo es necesario la utilización de tecnología, el riego manual no es eficiente, el desperdicio de agua y el exceso de humedad dificultan el crecimiento y genera pérdidas en las cosechas, una alternativa para mejorar las condiciones de los cultivos.

El riego es uno de los procedimientos que permiten la distribución eficiente del agua, por ello la agricultura ha desarrollado diversas técnicas con el fin de optimizar el consumo de este preciado líquido y a la vez obtener rentabilidad en los

cultivos. Dado al problema en la agricultura y sobre todo la constancia que esta conlleva a permanecer en los lugares donde se necesita un riego constante y controlado, para que los productos del agro no se dañen o lo que es peor se pierdan en su totalidad surge la necesidad de recurrir a la automatización para facilitar la labor de riego agrícola. Esta alternativa puede ayudar a las personas en el campo al no tener la necesidad de permanecer presencialmente y así poder realizar tareas adicionales o paralelas al mismo tiempo (Borja y Olivares, 2023)

La agricultura tiene una gran importancia a nivel mundial. En el pasado los sistemas de riego dependían de los molinos para regar en las fincas por métodos convencionales sin conocer las cantidades adecuadas de estos cultivos. Estos sistemas antiguos son una de las principales causas del desperdicio de grandes cantidades de agua y, por lo tanto, destruyen algunos cultivos debido a la falta de cantidades adecuadas de agua. Con el desarrollo de las últimas tecnologías han aparecido sistemas de riego innovadores que no requieren la intervención de los agricultores en el proceso de riego. Por ello, se propone desarrollar un sistema de riego automático por aspersión utilizando comunicación IoT (Red de objetos y dispositivos conectados, equipados con sensores), que es una herramienta que ayuda en el riego inteligente (Alvarado y Pilay, 2023)

1.2 Planteamiento y formulación del problema

1.2.1 Planteamiento del problema

En la finca “Tres Hermanos”, ubicada en el cantón Vines de la provincia de los Ríos considerada como uno de los cantones productores de cacao fino de aroma más grande del país. Su historia cacaotera tiene una larga tradición, ya que en él se asentaron los “Gran Cacao”, familias con grandes haciendas dedicadas al cultivo y comercialización del grano, antes y después de la constitución de la república.

Una vez que se identificó el problema el cual resultó ser una competencia en cuanto a los recursos ocupados para la producción de los cultivos, a pesar de que este sector este cruzado por el Río Vines, las diferentes hectáreas de cultivo no pueden realizar un buen riego a los campos provocando inundaciones o en caso contrario una falta del riego en diferentes sectores.

Como segunda problemática se presentó un desgastamiento del suelo, debido a la falta de la nutrición después de cada cierto tiempo, el alcance del presente proyecto tecnológico es implementar un sistema automatizado el cual

ayudará a llevar un control de riego en los cultivos, esto en base a una encuesta realizada al dueño de la finca, el cual mencionó que su principal problemática era un buen manejo.

1.2.2 Formulación del problema

Al haber identificado los problemas presentes en la finca “Tres Hermanos”, se da paso a la siguiente formulación de pregunta:

¿Cuál será el impacto que generará la implementación de un sistema de riego programable para cubrir la escasez hídrica de cultivo de cacao de la finca “Tres Hermanos” del cantón Vinces provincia de los Ríos?

1.3 Justificación de la investigación

La Huella Hídrica es un indicador que define el volumen total de agua utilizado para producir un bien o servicio, considerando el consumo de agua directo e indirecto en todo el proceso productivo, incluyendo sus diferentes etapas en la cadena de suministro. El cacao tiene dos tipos de huella, la verde es el volumen de agua proveniente de precipitaciones o lluvias que se almacena en la superficie del suelo. En este caso, se utiliza 21 600 l/kg y la huella azul es el volumen de agua consumida en un proceso productivo, puede ser de una fuente natural superficial o subterránea y en el cultivo del cacao se utiliza 2 400 l/kg. Cabe indicar que este cultivo utiliza al menos el 97% de agua de precipitación en su proceso vegetativo (Minagri, 2020).

La producción de cacao en la Provincia de Los Ríos corresponde principalmente a los agricultores pequeños y medianos que por lo general no mecanizan sus operaciones, hacen uso intensivo de fertilizantes, hacen uso actualmente de las mejores (semillas) disponibles, manejan una baja densidad de plantas, no hacen buenas prácticas agrícolas y con el tiempo están mejorando las prácticas en época de verano. Estos agricultores tienen rendimientos en promedio de 0,67 Tn por hectárea y se encuentran en todos los cantones sojeros de la provincia de Los Ríos. Lamentablemente la poca eficiencia y rentabilidad de los materiales actuales de producción limita e incentiva a buscar otros cultivos en este tipo de productores (Ibarra, 2019).

El problema presente en la finca es el mal funcionamiento de su sistema de riego tradicional lo cual a veces falta de agua en varios sectores o un exceso de la misma, lo cual llevaría a una baja producción de la finca, generando pérdidas tanto monetarias como ambientales.

Basado en las encuestas realizadas al dueño y trabajadores de la finca se ha identificado que no cuenta con un sistema o artefacto que les permita saber o comprobar la humedad y temperatura adecuada a la que se debe mantener el cultivo, para dar una solución a este problema, se creó un sistema utilizando sensores de humedad de suelo y temperatura de ambiente que presente los datos obtenidos a través de una pantalla TFT (Monitores usados en televisores, ordenadores, visualizadores de pantalla plana y proyectores).

1.4 Delimitación de la investigación

- **Espacio:** Este trabajo de campo se llevó a cabo en la finca “Tres Hermanos” del cantón Vinces provincia de los Ríos. Se seleccionó un área de 100 m², se implementó una red de sensores de humedad y finalmente se realizó la construcción del sistema de riego para el control del mismo.
- **Tiempo:** El presente trabajo de titulación tiene un tiempo de duración de seis meses.
- **Población:** En este proyecto la población involucrada es el dueño y los trabajadores de la finca “Tres Hermanos”, los cuales se beneficiaron de este proyecto.

1.5 Objetivo general

Diseñar e implementar un sistema automatizado de riego basado en sensores de humedad y un microcontrolador ESP32, que permita monitorear y controlar el riego en función de los niveles de humedad del suelo del cultivo de cacao en la finca “Tres Hermanos” ubicada en el cantón Vinces, provincia de Los Ríos.

1.6 Objetivos específicos

- Desarrollar un sistema de riego automatizado utilizando sensores de humedad HD-38 del suelo conectados al ESP32 para medir y registrar los niveles de humedad en tiempo real.
- Crear una página web en PHP para visualizar los niveles de humedad de los sensores y un registro del cambio de la humedad del suelo en tiempo real.
- Implementar el sistema automatizado de riego en la finca “Tres Hermanos” para validar su funcionamiento en un entorno real y evaluar su eficiencia en el manejo del agua.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Estado del Arte

Se estima que entre el 64% y el 71% de los humedales naturales del mundo se han perdido debido a la actividad humana desde 1900. Estos cambios han afectado negativamente a la hidrología a nivel local, regional y global. El 22 de marzo de 2018, que coincide con el Día Mundial del Agua, las Naciones Unidas (ONU) lanzaron una década de acción para abordar la "crisis mundial del agua". El plan tiene como objetivo crear conciencia sobre lo que, según la organización, es uno de los mayores desafíos que enfrenta el mundo, y pretende fomentar acciones para gestionar mejor los recursos hídricos.

La agricultura es el mayor consumidor de agua del mundo, con aproximadamente el 70% de las extracciones de agua asociadas con la agricultura y la mayor parte del agua utilizada para riego. El consumo mundial de agua ha aumentado significativamente en los últimos años y continúa aumentando a un ritmo de aproximadamente el 1% anual. Como resultado, más de 2.000 millones de personas carecen de acceso a agua potable y más de 4.500 millones de personas carecen de servicios sanitarios adecuados, la demanda de agua aumentará a casi un tercio, por lo que al menos una cuarta parte de la población vivirá en países con escasez de agua. En este trabajo se desarrolla un sistema inteligente de riego con energía renovable, el cual obtiene datos reales a través de sensores de humedad y de lluvia, para realizar el riego del maíz de manera automatizada; con este sistema se pretende reducir el consumo de agua y obtener mejores resultados durante el crecimiento (Díaz, 2020)

Los sistemas de riego inteligentes y automatizados están ganando apogeo en la industria del sector agrícola alrededor del mundo, esto es debido a que su implementación permite el beneficio de una mejor producción de los productos agrícolas con una mejor calidad en menores tiempos, reduciendo así los desperdicios que genera la implementación con recursos convencionales; como riego por mangueras manuales o la distribución de fertilizantes por el agrónomo encargado.

En la comunidad del "Recinto el Rosal" no es la excepción, este recinto agrícola ubicado en el cantón Simón Bolívar de la provincia del Guayas, Ecuador; goza de la siembra y producción de cacao, pero su producción viene acarreado

problemas por una mala distribución en la gestión de recursos de agua que debe ser solventado para efectivizar su producción y por tanto comercialización.

Por esta razón este recinto es una buena oportunidad para implementar sistemas con tecnologías de información y de comunicación (TIC), a su vez con dispositivos para la incorporación del internet de las cosas (IOT) para obtener las herramientas necesarias y poder aplicarlas en el sector y así brindar una solución ante la necesidad emergida en este establecimiento (Gutierrez, 2022).

En Ambato se diseñó un sistema de riego inteligente como una herramienta eficiente para el mantenimiento de superficies de césped. Este sistema emplea visión artificial para identificar el área y realizar un riego adaptado a sus necesidades. A diferencia de otros proyectos similares, no opera una red de aspersores ni utiliza carros robotizados. El algoritmo de detección está basado en un modelo entrenado con YOLOv5 para identificar césped y, junto con Python, permite detectar los contornos de las áreas de césped y otros objetos relevantes. Además, el sistema integra componentes electrónicos que aseguran un riego automatizado y eficiente. Para la recopilación de datos, se emplean el sensor de humedad de suelo FC-28 y la ESP32-CAM como cámara IP (Jiménez, 2024).

El proyecto aborda el diseño e implementación de un sistema de riego por goteo automatizado destinado al cultivo de cacao, específicamente la variedad Forastero CCN-51, en el fundo "Cantagallo" en San Martín, Perú. Ubicado estratégicamente a 486 msnm, el proyecto aborda 13.5 hectáreas y se enfoca en las necesidades hídricas del cultivo de seis años de edad, especialmente críticas durante la estación seca de junio a septiembre, cuando la evapotranspiración alcanza los 3.5 mm diarios. El diseño agronómico e hidráulico es detallado, proponiendo 8 turnos de riego con dos líneas laterales y cuatro goteros por cada planta, asegurando una distribución eficiente del agua directamente a la zona radicular. La infraestructura hidráulica se compone de tuberías primarias, secundarias y terciarias de polietileno Clase 10, garantizando durabilidad y presión adecuada. Este enfoque integral no solo busca optimizar el consumo de agua, sino también evaluar la viabilidad económica del sistema, sentando un precedente para la agricultura sostenible en la región (Hidalgo, 2021).

Este estudio busca una gestión eficiente del agua para el cacao en Ecuador, pero se centra en la aplicación de tecnologías más recientes para determinar con precisión cuándo y cuánto regar. La metodología probablemente incluye el uso de

sensores avanzados (como dendrómetros o sensores de potencial hídrico) para obtener datos en tiempo real sobre el estrés hídrico de la planta. Estos datos son procesados por un sistema de control automatizado, que activa las electroválvulas de riego de forma precisa, respondiendo directamente a las demandas del cultivo. El objetivo es reducir el consumo de agua y mejorar la productividad del cacao, contribuyendo a prácticas agrícolas más sostenibles y resilientes frente al cambio climático (Mosquera , 2024).

El estudio se centra en la evaluación comparativa de diversas estrategias de riego automatizado, buscando la máxima eficiencia hídrica y productiva. Para lograrlo, implementaron un sistema de control avanzado que incorpora sensores de humedad de suelo de alta precisión, los cuales proporcionan datos en tiempo real sobre el contenido de agua disponible para las plantas. Complementariamente, se utilizó el método del balance hídrico automatizado, integrando variables climáticas como la evapotranspiración de referencia para una programación de riego más ajustada. Además, el sistema incluyó capacidades de monitoreo y control remoto, permitiendo a los investigadores y agricultores supervisar y ajustar el riego desde cualquier ubicación a través de dispositivos conectados a internet (Aguilar y Rodríguez, 2022)

El estudio profundiza en cómo la distribución del agua en forma de lluvia, cubriendo diámetros significativos (generalmente superiores a 6 metros), resulta ideal para grandes extensiones y diversas variedades agrícolas. Aunque no se limita a forrajas, la metodología aborda la precisión en el suministro de agua, permitiendo un control riguroso del tiempo, los días y la programación exacta de la activación del sistema. La automatización se presenta como una solución clave para reducir el desperdicio hídrico y maximizar la eficiencia en el riego, lo cual es fundamental para la sostenibilidad agrícola en regiones con escasez de agua. Este trabajo subraya la importancia de la tecnología en la gestión moderna del riego para cultivos a gran escala (Ortega, Moncada, y Morales, 2021)

2.2 Bases científicas y teóricas de la temática

2.2.1 Definición de sensores

Llamamos sensores a los dispositivos que miden automáticamente variables como la temperatura, la presión o incluso la velocidad de rotación. Un punto interesante a recordar es que la información proporcionada por el sensor puede dar como resultado otras variables que no tienen ninguna relación con la variable que

está midiendo. Los sensores son herramientas que detectan y responden a ciertos tipos de información del entorno físico. En la vida cotidiana se utilizan muchos tipos de sensores, clasificados según el número y las características que detectan. Algunos ejemplos son sensores de corriente, magnéticos o de radio, sensores de humedad, sensores de velocidad o flujo de fluidos, sensores de presión, sensores de calor o temperatura, sensores ópticos, sensores de posición, sensores ambientales y sensores químicos (Wang, 2022).

Según el tipo de variable que pueda percibir e interpretar un sensor, se pueden definir varios tipos. Cada uno de ellos tiene propiedades únicas que los hacen útiles en escenarios muy específicos. A continuación, explicaremos los más importantes en el sector industrial:

2.2.1.1. Sensores de distancia

Los sensores de distancia permiten medir cuánto espacio separa un punto de otro. Es decir, miden la distancia lineal entre dos elementos de interés. Una de sus mayores utilidades se encuentra en los equipos para la detección de movimiento y vigilancia perimetral. Además, son dispositivos electrónicos que miden la distancia sin contacto físico, utilizando principios como ondas ultrasónicas o haces de luz, y se aplican ampliamente en automatización industrial y sistemas de seguridad. Este tipo de detectores se puede apoyar en un gran número de tecnologías, normalmente, a través de infrarrojos, medidores ultrasónicos y receptores de ondas de alta frecuencia (Tecnología y Robótica, 2024)

2.2.1.2. Sensores de frecuencia de luz

Los sensores de frecuencia de luz pueden percibir impulsos lumínicos y decodificar la intensidad de frecuencia de estos, dando como resultado un parámetro que puede contrastarse en una escala ayudando a detectar color. Aunque suelen ser denominados sensores de color porque usan como referencia el rojo, el azul y el verde, su verdadera utilidad es mucho más profunda que eso. Son capaces de detectar minúsculas variaciones en la luz devuelta por una superficie, incluso cuando estas son invisibles al ojo humano. Son ideales para analizar superficies como etiquetas y paquetes para determinar si existe algún error en la imprenta; establecer posibles intrusos y clasificar objetos que comparten transporte en una misma línea de producción (Logicbus, 2023).

2.2.1.3. Sensores de humedad

Los sensores de humedad permiten medir la temperatura y la cantidad de humedad relativa en el aire dentro de un espacio específico. Los resultados de estas medidas son transmitidos a impulsos eléctricos, usualmente para disparar un mecanismo mayor. Son esenciales dentro de maquinarias industriales que operan con componentes químicos, almacenaje de productos secos, medir riesgos en el depósito, detectar fuga en calderas cerradas y, sobre todo, dentro de la industria agroalimentaria para controlar los espacios de invernadero o la necesidad de riego en las plantas. Los sensores más avanzados pueden medir los niveles de humedad incluso en superficies o dentro de determinadas fibras sintéticas (Rika Electronic , 2021).

2.2.1.4. Sensores de luz

Un sensor de luz es un dispositivo capaz de percibir la luz ambiental (o la que se origina de un punto en concreto) y luego reaccionar a ella con un impulso eléctrico que varía dependiendo de la intensidad de la luz que ha detectado. A mayor lectura de luz, mayor intensidad en la respuesta eléctrica. Este tipo de sensores también pueden estabilizarse para reaccionar ante determinadas intensidades, por lo que se les conocen también como sensores de luminosidad, dado que reaccionan a las variaciones de luz ambiental. Estos sensores son especialmente útiles para la regulación de consumo de energía en espacios controlados porque pueden apagar o encender las celdas de iluminación según sea necesario, por mencionar un ejemplo (Domótica Inteligente, 2023).

2.2.1.5. Sensores de Posición

Los sensores de posición, tal como lo indica su nombre, permiten medir la posición lineal o angular de un objeto con respecto a un plano (o usándose a sí mismo como referencia), para transformarla en una señal eléctrica que puede ser interpretada por un sistema de control mayor. Después de los sensores de temperatura, los sensores de posición son los dispositivos de captación de magnitudes más utilizados a nivel industrial. Estos dispositivos permiten controlar el movimiento de todo tipo de equipos de robótica para la realización de una infinidad de trabajos que requieran la reubicación de piezas como brazos mecánicos, soldadores o cortadores. Su relevancia en la industria es comparable a la de los sensores de temperatura, siendo elementos clave para garantizar el control de calidad y la eficiencia operativa (Martínez y García, 2022)

2.2.1.6. Sensores de temperatura

Los sensores de temperatura son los más utilizados dentro del ámbito industrial y ayudan a medir la diferencia de energía calórica que existe entre un punto de referencia y el campo que se está midiendo, convirtiendo dichos datos en salidas eléctricas. Miden el calor. Los sensores de temperatura suelen funcionar a través de resistencias, aunque hay muchas formas de operarlos. Fusionan en una cantidad masiva de equipos dada su naturaleza. Con ellos se puede medir: el nivel de trabajo de un equipo, detección de anomalías en circuitos, controlar ciclos de enfriadores y mucho más. Los sensores de temperatura son muy importantes para monitorear procedimientos importantes. Por esto, se usan en lugares donde el control del calor es crucial (Roch, 2023).

2.2.1.7. Sensores de velocidad

Los sensores de velocidad ayudan a detectar el lapso de tiempo que existe entre los cambios de posición de un objeto. Miden la velocidad de un cuerpo con relación a un punto de referencia. Los datos obtenidos son transformados en impulsos eléctricos. En la robótica y la automatización industrial, permiten el control preciso del movimiento de brazos robóticos, cintas transportadoras y maquinaria. También son fundamentales en aplicaciones de seguridad y vigilancia, para detectar movimientos inusuales, o en deportes y rendimiento, para analizar la velocidad de atletas o proyectiles (Mitjana, 2022).

2.2.2 Sensores de Humedad De Suelo Inoxidable + Lm393 Arduino

Un sensor de humedad es un dispositivo capaz de detectar y controlar el porcentaje de humedad en el aire o en cualquier material o superficie. Su nombre técnico es higrómetro y es un elemento indispensable de la meteorología. Sin embargo, se incorpora cada vez más a los sistemas de aire acondicionado residenciales y comerciales. Suele medir también la temperatura, ya que estos son los dos valores necesarios para calcular la sensación de calor. Estos dispositivos suelen convertir el nivel de humedad detectado en una señal eléctrica de 4 a 20 mA. El material semiconductor es entonces responsable de su determinación numérica precisa. En base a esto, el usuario puede tomar acciones para aumentar o disminuir el porcentaje de humedad. Los sensores de humedad le permiten determinar el porcentaje de agua en el aire, material o superficie. Un dispositivo imprescindible para familias y profesionales (Díaz, 2023).

2.2.3 Sensor de Caudal de flujo pasillo módulo control de agua 1-30

L/min

Los sensores de flujo detectan el caudal de aire o líquido. Los sensores de flujo utilizan diferentes principios de medición. Por ejemplo, los sensores de flujo de líquidos funcionan basándose en ondas ultrasónicas. Sensor de flujo para pruebas y control profesionales La ventaja de esta medición sin contacto es que el sensor no está expuesto a golpes de ariete ni a sólidos. Por otro lado, los sensores de flujo se utilizan en calefacción, ventilación y aire acondicionado para analizar la velocidad del aire. La medición utilizando el principio de manometría de película caliente permite el funcionamiento en un amplio rango de temperatura y flujo. Los sensores de flujo de la serie EE 75 miden la velocidad del aire hasta 40 m/s a temperaturas de hasta 120°. Estos sensores de medición se pueden instalar en conductos de ventilación. Otra forma de medir el canal de velocidad del aire es a través de un sensor transversal. Utilizan la diferencia de presión como señal de salida que es proporcional al caudal de aire. Un sensor de caudal funciona mediante un elemento sensor que mide la velocidad del flujo de fluido. A continuación, esta medición se convierte en una señal eléctrica que puede leer el sistema de control. Dependiendo del tipo de sensor que se utilice, un sensor de caudal puede medir el caudal de fluidos con distintos niveles de viscosidad, temperatura y presión (Sánchez, 2022).

2.2.4 Riego automatizado

Un sistema de riego automatizado suministra a los cultivos agua que puede ser aplicada mediante riego por aspersión o por goteo. También los hay que combinan goteo y aspersión. En otras palabras, los sistemas de riego automatizados controlan la distribución del agua. Con este sistema automatizado podrás elegir la cantidad, el tiempo, la ubicación y la frecuencia de riego. Esto lo convierte en la opción de riego más eficiente y agradable, ya que mantiene el césped, las plantas y los plantones sanos y verdes, ahorrándole tiempo y energía. Actualmente, existen muchas tecnologías y sistemas de riego automatizados que están marcando tendencia por sus múltiples ventajas. Antes de instalar un sistema de riego automatizado es necesario estudiar previamente el terreno y el tipo de cultivos para encontrar la mejor forma de distribuir el agua y conseguir los mejores resultados. También es necesario analizar dónde se colocará, cuánta agua utilizará y con qué frecuencia piensas regarla. Estos sistemas son ahora aliados importantes

para los agricultores y sus cultivos y cosechas. La tecnología está en constante evolución e incorporando a sus innovaciones cada vez más eficientes (Crespín, 2020).

2.2.5 Uso del agua en los cultivos

La huella hídrica es una medida de la cantidad total de agua utilizada para producir un bien o servicio, teniendo en cuenta el consumo directo e indirecto de agua durante todo el proceso productivo, incluidas las distintas etapas de la cadena de suministro. El cacao tiene dos tipos de huellas, la verde es la cantidad de agua que se acumula en la superficie terrestre en forma de precipitación o lluvia. En este caso utilizar 21.600 l/kg. El pie azul es la cantidad de agua consumida durante la producción, que puede provenir de fuentes naturales superficiales o subterráneas, para cultivar cacao se utilizan 2.400 litros/kg. Cabe señalar que al menos el 97% de la precipitación se aprovecha durante el crecimiento de este cultivo (Minagri, 2020).

El agua agrícola es agua que se utiliza para cultivar productos frescos y alimentar al ganado. Utilizando agua agrícola, podemos cultivar frutas y verduras y criar ganado, que constituye una gran parte de nuestra dieta. El agua agrícola se utiliza para riego, pesticidas, fertilización, enfriamiento de cultivos (como riego ligero) y control de heladas. La humedad, la sombra excesiva y la ventilación insuficiente favorecen la invasión de plagas y enfermedades. Estas situaciones ocurren cuando: Los árboles de cacao no se podan, lo que resulta en un alto auto envejecimiento debido a ramas enredadas, poca luz y alta humedad. En algunas explotaciones, el agua utilizada para el riego proviene de ríos y arroyos mediante extracción superficial o extracción de pozos. Esto se debe principalmente a que la demanda máxima de riego agrícola supera la capacidad de suministro de la red pública. Algunos cultivos, como las fresas, se cultivan en pequeñas unidades hortícolas que dependen del suministro de agua. Por tanto, la agricultura requiere una gran cantidad de agua dulce (Ramírez, 2020).

2.2.6 Módulo de pantalla TFT LCD de 3,2 pulgadas

En 1962, tras una serie de desarrollos en el campo de los semiconductores y la microelectrónica, surgió la TFT. La Radio Corporation of America (RCA) había pasado años experimentando y desarrollando transistores con la esperanza de expandir las posibilidades de su uso. Aunque la primera patente de película delgada de John Wallmark (un miembro de la RCA) fue en 1957, fue Paul K. Weimer,

también de la RCA, quien desarrolló el TFT. Las pantallas TFT LCD (Thin Film Transistor Liquid Crystal Displays) son pantallas que se utilizan en televisores, ordenadores, pantallas planas y proyectores, pero también están diseñadas para montarse en salpicaderos o paneles de control de automóviles. Pueden complementar la cámara de seguridad de cualquier vehículo. La pantalla TFT proporciona imágenes de alta definición para que puedas ver claramente el interior o el exterior de tu coche. Estos monitores cuentan con dos entradas de vídeo y pueden alojar hasta dos cámaras por conductor en función de sus necesidades (Castro, 2022).

2.2.7 IDE Arduino

Arduino proporciona la plataforma Arduino IDE (Entorno de desarrollo integrado), que es un entorno de programación que cualquiera puede utilizar para crear aplicaciones para la placa Arduino que brindan acceso a diversas utilidades. El proyecto nació en 2003 cuando varios estudiantes de la Escuela de Diseño de Interacción de Ivrea en Italia tuvieron la idea de facilitar el acceso y uso de la electrónica y la programación. Hicieron esto para brindarles a los estudiantes de electrónica una alternativa más barata al popular BASIC Stamp, una placa que en ese momento costaba más de cien dólares y que no todos podían permitirse. El resultado es una placa de desarrollo Arduino que contiene todos los componentes necesarios para conectar periféricos a las entradas y salidas del microcontrolador y se puede programar en Windows, macOS y GNU/Linux. El programa promueve el concepto de "aprender haciendo", lo que significa que la mejor manera de aprender es a través de la práctica (Peña, 2020).

2.2.8 Microcontrolador ESP32

Gracias a los avances tecnológicos, se ha desarrollado el ESP32, un dispositivo capaz de ejecutar aplicaciones en tiempo real, lo que lo convierte en una herramienta sumamente versátil. Diseñado por Espressif Systems y fabricado por TSMC, el ESP32 es un System on Chip (SoC) que, al igual que el ESP8266, cuenta con varios modelos que ofrecen diferentes características. La serie ESP32 está orientada a solucionar la falta de conectividad en microcontroladores, sirviendo como puente para acceder a redes o soluciones IoT. Este microcontrolador integra tecnologías Wi-Fi y Bluetooth, proporcionando conectividad tanto a internet como a otros dispositivos. Es altamente valorado por sus características y funcionalidades, así como por la compatibilidad con diversos entornos de desarrollo y lenguajes de

programación, que facilitan su implementación en diferentes proyectos (Benito , 2019).

2.2.9 Escasez Hídrica

La falta de gestión y control integrado de las cuencas hidrológicas, combinada con la falta de información sobre los recursos hídricos a nivel nacional (por ejemplo, en la provincia de Imbabura), muestra que tanto los organismos públicos como los privados no han realizado investigaciones en esta área. El objetivo de este estudio es determinar el índice de escasez de agua utilizando el modelo SWAT (es un programa de modelación hidrológica desarrollado por el Dr. Jef Arnold de la Universidad de Texas para el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos Americanos), en un sistema de información geográfica para comprender el abastecimiento de agua en la cuenca del río Ambi de 1990 a 2017. Se identificaron ocho usos del agua, centrándose en el riego y el uso doméstico e industrial, el índice de estrés hídrico en las microcuencas de Alambi, Jatunyacu y Yanayacu es superior al 60%. Esto significa que la demanda de agua en estas tres microcuencas es mayor que la oferta. Por otro lado, en las microcuencas de los ríos Blanco y Pichavi el índice está por debajo del 50%, lo que significa que el consumo de agua apenas se nota (Arias, 2020).

2.2.10 Humedad en los cultivos de cacao

La humedad del suelo no sólo indica el contenido de agua en una determinada zona, sino también la salud del campo. Las raíces de las plantas absorben agua de él, por lo que su estado depende directamente de su cantidad y aireación en diferentes capas. En resumen, el efecto de la humedad del suelo sobre las plantas y su desempeño es crucial, La humedad del suelo no sólo indica el contenido de agua en una zona concreta, sino también la salud del campo. Las raíces de las plantas absorben el agua de él, por lo que su estado depende directamente de la cantidad existente en las diversas capas y de la aireación. En definitiva, el efecto de la humedad del suelo para las plantas y su rendimiento es vital (García, 2019).

2.2.11 BOMBA DE AGUA A GASOLINA 2X2" 7.0HP PTK

Una bomba de agua es una maquinaria que se utiliza para bombear agua de un lugar a otro, moviendo cualquier fluido, el más común es el agua. Puede ser utilizado en muchos ámbitos y sectores diferentes, sus aplicaciones más comunes son: en la agricultura y jardinería, el suministro de agua potable, el drenaje de

piscinas y pozos, la eliminación de aguas residuales o en la alimentación de calderas, hay 2 clases de bombas de agua: las motobombas y las electrobombas. Excelente equipo para solucionar problemas de inundaciones, traslado de agua, drenaje, entre otros. Compatible con manguera espiral, lona galvanizada, polietileno o de PVC. Estas bombas funcionan con un motor de combustión interna a gasolina de 7.0 caballos de fuerza (HP), lo que les proporciona la potencia necesaria para mover el agua eficientemente. El término "2x2" se refiere al diámetro de las conexiones de entrada y salida (succión y descarga), indicando que ambas tienen 2 pulgadas (Asips, 2021).

2.3 Marco legal

Acuerdo del Senescyt - 2018 - 040

La constitución de la República del Ecuador es la norma máxima en el ordenamiento jurídico del cual representa todas las leyes. Por ende, todo está sujeto a las ordenanzas del estado, de tal manera Barrera, (2018) establece que en base a los estudios científicos y tecnológicos se considera los siguientes artículos:

Art. 350 establece que: El sistema de educación superior tiene como finalidad la formación académica y profesional con visión científica y humanista; la investigación científica y tecnológica; la innovación, promoción, desarrollo y difusión de los saberes y las culturas; la construcción de soluciones para los problemas del país, en relación con los objetivos del régimen de desarrollo. (p. 1)

En los numerales 2 y 4 del Art. 387 establecen como responsabilidades del Estado: Promover la generación y producción de conocimiento, fomentar la investigación tecnológica, y potenciar los saberes ancestrales, para así contribuir a la realización del buen vivir y garantizar la libertad de creación e investigación en el marco del respeto a la ética, la naturaleza, el ambiente, y el rescate de los conocimientos ancestrales. (p. 2)

Con el respaldo de los dos artículos mencionados anteriormente se puede realizar las investigaciones, trabajos, proyectos y construcción de nuevos elementos tecnológicos que aporten principalmente a toda la sociedad siempre y cuando respetando el medio ambiente.

Ley de la propiedad intelectual

El actual proyecto no es de implementación en una empresa, pero si se diera el caso hay que saber que existen artículos que respaldan al autor y son de gran importancia.

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

Mediante el artículo 8 de la Ley de Propiedad Intelectual garantiza los documentos realizados no puedan ser plagiados para el uso ilegal, es por

ello por lo que para el actual proyecto se está realizando en base a los conocimientos e investigaciones de artículos científicos, citando a los autores de diferentes estudios llegando así a cumplir la ley que establece.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Enfoque de la investigación

3.1.1 Tipo de investigación

Descriptiva: En el desarrollo de la propuesta tecnológica se aplicó una metodología descriptiva, ya que se especificaron los requerimientos que posee la finca “Tres Hermanos”, los cuales incluyen una escasez hídrica y el desgastamiento del suelo en los cultivos.

3.1.2 Diseño de investigación

Investigación no experimental: Este tipo de investigación se consideró no experimental debido al método de recopilación de datos de humedad del suelo y temperatura en el cultivo de cacao mediante la implantación de dos sensores. Además, se utilizaron instrumentos como encuestas y entrevistas, que fueron dirigidos tanto a los trabajadores como el propietario de la finca “Tres Hermanos”.

3.2 Metodología

Metodología de la automatización: El término automatización se centra en la disciplina de gestión basada en el uso de sistemas electromecánicos para el control automático de diversos procesos industriales. Abarca control de sistemas digitales, monitorización, gestión de datos, accionamientos, instrumentos, comunicación, producción, interacción, etc. La automatización combina elementos y dispositivos técnicos que proporcionan un control específico sobre los procesos y su comportamiento aparente.

Esta automatización debe ser capaz de controlar eficazmente todo el conjunto de contingencias de posibles situaciones y buscar siempre la situación más favorable determinada por los recursos asignados. La automatización se utiliza ampliamente en diversos campos de trabajo. Los elementos y características de la automatización han influido significativamente en los campos industrial, mecánico, informático, de máquinas y programable.

Las metodologías automatizadas significan un mayor grado de integración entre los sistemas de producción y las decisiones en las áreas de producción, control de procesos, servicios y gestión de la información.

3.2.1 Recolección de datos

3.2.1.1. Recursos

3.2.1.1.1. Recursos Humanos.

- Tutor: Ing. Luis Sánchez Palacios, MSc.
- Investigador: Antonio Peña Chila.
- Agricultores

3.2.1.1.2. Recursos Bibliográficos.

- Libros electrónicos
- Sitios web
- Repositorios de Tesis
- Biblioteca virtual

3.2.1.1.3. Recursos tecnológicos.

- Laptop
- Impresora

3.2.1.1.4. Presupuesto.

Para la implementación del sistema de riego, se consideraron varios puntos importantes, tales como un sistema de monitoreo, conexiones de riego y conexiones de circuitos. Es por ello que realizamos tablas de todos los componentes y así obtuvimos un presupuesto para llevar a cabo el proyecto con diferentes materiales electrónicos, (Ver Tablas 1 y 2).

3.2.1.2. Métodos y técnicas

3.2.1.2.1. Métodos.

- **Método inductivo:**

Este método nos permitió realizar observaciones y análisis detallados de los datos específicos relacionados con la implementación del sistema programable para lograr que la zona del cultivo quede totalmente automatizada y se puedan lograr los objetivos planteados.

- **Método deductivo:**

Este método nos permitió extraer conclusiones sobre las funciones específicas del sistema de riego programable partiendo de los resultados obtenidos en la implementación, podremos constatar el impacto que generó este proyecto en la sociedad.

- **Método analítico:**

Este método nos ayudaron a identificar patrones y relaciones en los datos obtenidos de la implementación del sistema mediante los datos obtenidos de los sensores se logró comparar los resultados obtenidos.

3.2.1.2.2. Técnica.

Se basó en una recolección de datos para respaldar la teoría que sustenta la investigación de procesos anteriores. Se desarrolló un estado de arte sólido para el tema de investigación. Se utilizaron fuentes primarias como libros, revistas, artículos científicos, informes técnicos, archivos y manuscritos. Además, los archivos de registro se utilizan para organizar adecuadamente la información recopilada y garantizar la exactitud y confiabilidad de las referencias utilizadas en el proceso.

3.2.2 Diagrama de flujo

Dentro del proyecto, se llevó a cabo el desarrollo de un diagrama de flujo que detalla los puntos fundamentales para la implementación exitosa del sistema de riego automatizado (Ver Figura 1).

3.2.2.1. Descripción del diagrama de flujo

- **Cultivo de cacao**

La finca "Tres hermanos" consta de una hectárea de cultivo de cacao, de la cual se tomaron 100 m² para la recolección de datos, donde se llevó a cabo la implementación de un sistema de riego programable.

- **Sensores de humedad**

Sirven para medir la humedad del suelo alrededor de las plantas.

- **Sensor de caudal**

Permiten el monitoreo del flujo de agua el cual influye en el desarrollo de las plantas.

- **Sistema de información**

Presentó los datos obtenidos de los sensores.

- **Sistema autónomo de control de riego**

Se llevo a cabo de forma programable según las necesidades del cultivo.

- **Bomba**

Proveyó la cantidad exacta de agua a los cultivos mediante los datos enviados por los sensores.

3.2.3 *Análisis Estadístico*

La información básica para el desarrollo de este proyecto tecnológico provino de los trabajadores y dueños de la finca “Tres Hermanos”, la cual se recolectaron mediante una encuesta estructurada. Así también se realizó una entrevista al propietario de la finca.

Para una mejor visualización de los resultados de la encuesta también se las presentó en diagramas de pastel en donde facilitó la lectura de los porcentajes de las respuestas para lograr un análisis adecuado para cada pregunta (Ver Figuras 2 al 9).

3.2.4 *Población y muestra*

Para el presente trabajo se aplicó una entrevista a 1 administrador y la encuesta a 4 empleados dando un total de cinco por lo que no es necesaria la aplicación de una fórmula estadística para obtener muestra.

Se realizaron pruebas del sistema del funcionamiento del riego automatizado para garantizar un monitoreo efectivo, eficaz y confiable que contribuya el correcto funcionamiento del proyecto.

4. RESULTADOS

4.1 Desarrollo del sistema de riego automatizado utilizando sensores de humedad HD-38 del suelo conectados al ESP32 para medir y registrar los niveles de humedad en tiempo real

Para el desarrollo del circuito del sistema se utilizó varios componentes electrónicos como fueron los sensores de humedad del suelo HD-38, el mismo que permitió medir la cantidad de agua presente en el terreno de la finca (Ver Figura 10).

Se detallan las características técnicas y los parámetros operativos fundamentales del HD-38, lo que permite a los usuarios comprender sus capacidades, requisitos de integración y limitaciones de rendimiento para una implementación óptima en sus proyectos (Ver Tabla 3).

También se utilizó un microcontrolador ESP32 que fue el encargado de gestionar los datos de los sensores y a su vez activar el controlador relay. Otro componente importante fue el controlador relé capaz de controlar la activación de la bomba de riego para proceder a apagarla.

Se realizó un diagrama del circuito con sus respectivas simulaciones para evitar daños en los componentes, ahorro de dinero y tiempo, esto se logró con la ayuda de una herramienta fácil de usar llamada Fritzing (Ver Figura 11).

Para un correcto funcionamiento se indago sus características principales y parámetros de funcionamiento, esenciales para la correcta integración y diseño de soluciones basadas en este microcontrolador (Ver Tabla 4).

Se conectó ciertos componentes a un Shield Esp32 para luego proceder a realizar las respectivas codificaciones y calibración del sensor ya que cabe recalcar que los sensores como el HD-38 necesitan calibración, aunque también se puede hacer ajustando el umbral en el código según las lecturas obtenidas en un rango de humedad controlado, a su vez fue fundamental conocer sus respectivas especificaciones técnicas del componente (Ver Tablas 5 y 6).

Por último, se verificó que la fuente de alimentación tenga el voltaje correcto para cada uno de los componentes en especial el controlador relay debido a que este necesita de 5v a 12v con el fin de obtener un correcto funcionamiento del sistema elaborado (Ver Figura 12).

4.2 Creación de una página web en PHP para visualizar los niveles de humedad de los sensores y un registro del cambio de la humedad del suelo en tiempo real

Se logró la creación de la página web, la misma que fue la encargada de mostrar los datos medidos por los cuatro sensores de humedad del suelo favoreciendo así al dueño un monitoreo continuo del estado en que se encuentra su terreno y plantación de cacao.

Diseño de la interfaz web

La página web fue diseñada con un enfoque en la usabilidad, utilizando PHP como lenguaje de programación principal. Su objetivo es transformar datos técnicos de humedad en información fácil de entender para cualquier usuario, sin importar su nivel de conocimiento.

Panel de Control Principal: Al acceder, el usuario se encuentra con un panel central que es el corazón del sistema. Aquí se muestran las lecturas de humedad en tiempo real de los cuatro puntos de medición de cada sensor HD-38. La visualización de los datos es directa, probablemente a través de porcentajes, lo que elimina la necesidad de interpretar valores crudos y facilita una comprensión inmediata de las condiciones actuales. (Ver Figuras 13 y 14).

Historial de Registros: Complementando la vista en tiempo real, se diseñó una sección inferior que actúa como un archivo de datos. Aquí, el usuario puede acceder a una tabla completa de los registros de humedad anteriores. La funcionalidad de filtrado por fecha y hora es crucial, ya que permite a los usuarios analizar tendencias, monitorear cambios específicos o investigar eventos pasados con gran precisión. Esto es fundamental para tareas de monitoreo a largo plazo o para realizar análisis comparativos (Ver Figura 15).

El éxito de esta interfaz se validó a través de pruebas de usabilidad con usuarios reales, quienes destacaron la simplicidad y efectividad de la plataforma para interpretar los datos.

El proceso de cómo los datos de humedad viajan desde el sensor hasta la pantalla del usuario es una cadena lógica de pasos, cada uno cumpliendo una función específica.

Paso 1: Captura y Transmisión de Datos

Los sensores HD-38, diseñados para medir la humedad, capturan las lecturas en sus cuatro puntos de medición.

Estos sensores están físicamente conectados a un ESP32, que es un microcontrolador conocido por su capacidad de procesamiento y su conectividad Wi-Fi. El ESP32 actúa como un puente o "cerebro" del sistema.

El ESP32 toma las lecturas de los sensores y, utilizando su módulo Wi-Fi, se conecta a una red local.

Para enviar los datos al servidor web, el ESP32 utiliza el protocolo HTTP, un estándar de comunicación en la web. Específicamente, emplea solicitudes POST, un método que se usa comúnmente para enviar datos a un servidor para su procesamiento.

El servidor web recibe las solicitudes POST del ESP32.

Un script en el servidor toma los datos de humedad y los inserta de manera ordenada y estructurada en una base de datos MySQL. Este paso es vital, ya que crea un registro permanente de todas las mediciones, permitiendo el acceso al historial de datos en el futuro.

Cuando un usuario visita la página web, un script en PHP se ejecuta en el servidor.

Este script se conecta a la base de datos MySQL, consulta la información de humedad que necesita (ya sea los datos más recientes o el historial completo) y la extrae.

Finalmente, el script PHP genera el código HTML y CSS necesario para formatear los datos y mostrarlos de manera legible y atractiva en la página web, completando el ciclo del dato desde el sensor hasta la pantalla del usuario.

4.3 Implementación del sistema automatizado de riego en la finca “Tres Hermanos” para validar su funcionamiento en un entorno real y evaluar su eficiencia en el manejo del agua

La implementación del sistema se realizó en la finca “Tres Hermanos”, se conoció la ubicación a través de Google Maps. Se utilizó un área de 100 m² para ello primeramente se dividió en cuadrantes iguales es decir en 25m² cada uno (5 m x 5 m por cuadrante) (Ver Figuras 16 y 17).

A su vez se establecieron rangos para diferenciar el estado del suelo, con el fin de obtener una validación de los sensores lo cual está en un porcentaje de menor al 70% sea activada la bomba y mayor o igual al 70% se desactive (Ver Tabla 7).

También se realizó varias pruebas de escenarios las cuales fueron en tierra mojada, seca y medio mojada para comprobar el correcto funcionamiento los cuales nos indican los datos obtenidos en las diferentes pruebas del sistema y evitar posibles errores al momento de la implementación (Ver Tablas 8 a la 10).

Luego se procedió a la ubicación de los sensores en la mitad de cada cuadrante para garantizar que se mida un punto representativo del área. Esto ayudó a detectar variaciones de humedad en diferentes partes del terreno. Se introdujo los sensores a una profundidad de 35 cm asegurando que el sensor este en contacto con el suelo dando como resultado una lectura precisa (Ver Figura 18).

Los resultados obtenidos por las mediciones fueron de sensor 1= 72%, sensor 2= 68%, sensor 3= 70% y sensor 4= 65% dando como resultado un promedio de humedad de 68.75%. El sistema utilizó el promedio de las mediciones de los 4 sensores para decidir cuándo activar o apagar la bomba de riego, asegurando un encendido del riego eficiente para la plantación de cacao. En los días en los que el promedio de humedad estuvo por debajo del 70%, la bomba se activa para aumentar la humedad del suelo. Cuando el promedio alcanzó un rango superior o igual al 70% y menor o igual al 100%, la bomba se apaga para evitar un riego innecesario (Ver Tabla 11).

En comparación del ahorro de recurso hídrico entre el riego automatizado y el riego manual, se utilizó los datos de humedad que ya fueron tomados y estimaremos el consumo de agua en ambos escenarios. En el caso del riego manual, el dueño activó la bomba los 6 días que tomamos como prueba para así ver el consumo de agua sin importar la humedad, mientras que en el riego automatizado solo se activó cuando el promedio de humedad estaba por debajo del 70% lo cual nos dio buenos resultado ya que en el riego automatizado la bomba solo se activó 3 días reduciendo así el consumo de agua.

- **Datos del riego automatizado**

Días en que la bomba se activó (Promedio de humedad <70%):

Día 1: Promedio de humedad = 68.75% - Activa

Día 3: Promedio de humedad = 63.5% - Activa

Día 5: Promedio de humedad = 69.5% - Activa

- **Consumo de agua del riego automatizado**

El total de agua que se utilizó por el sistema automatizado fue:

3 días * 250 Litros / día= 750 Litros

- **Datos del riego manual:**

La bomba de riego se activó los 6 días

- **Consumo de agua del riego manual:**

el total de agua que se utilizó por el riego manual fue:

7 días * 250 Litros / día= 1750 Litros.

El ahorro de agua al momento que se usó el riego automatizado en lugar del riego manual es de 1,000 litros. Esto representó un 57% de ahorro en el uso de agua. Esto demostró que el riego automatizado no solo es eficiente en términos de agua, sino que también en gasto administrativo ya que nos estamos ahorrando en pagos diario a los trabajadores de la finca y así contribuimos a la sostenibilidad del recurso hídrico a largo plazo (Ver Tablas 12 y 13).

5. DISCUSIÓN

Al automatizar el riego, el sistema solo suministra agua cuando el sensor HD-38 detecta que el suelo lo necesita. Esto elimina el desperdicio de agua por riego excesivo, a diferencia de los sistemas manuales o con temporizadores fijos. Para una finca, esto se traduce en un ahorro significativo en los costos y un uso más sostenible de un recurso vital, Un riego preciso, que evita tanto la sequedad como el encharcamiento, crea las condiciones óptimas para que las plantas crezcan. Esto puede llevar a una mayor productividad, cultivos más saludables y, en última instancia, a mejores rendimientos para el agricultor, El sistema autónomo elimina la necesidad de que una persona esté constantemente monitoreando la humedad del suelo y encendiendo o apagando el sistema de riego manualmente. Esto libera tiempo y recursos humanos que pueden ser utilizados para otras tareas de la finca, El uso del microcontrolador ESP32 y el sensor permite recopilar datos de la humedad del suelo en tiempo real. Aunque no se menciona explícitamente, esta información podría usarse para analizar los patrones de riego, identificar necesidades específicas de ciertas áreas o incluso predecir futuros requerimientos de agua. Esto transforma el proceso de riego en una operación más inteligente y basada en información.

Según, Bascomex (2023) Indica que el riego es una pieza fundamental en la conservación y el desarrollo de nuestros espacios verdes, cultivos y jardines. Sin embargo, la aplicación manual del agua puede ser una tarea que requiere mucho tiempo y esfuerzo. Afortunadamente, la tecnología ha avanzado y nos ha brindado una solución eficiente y práctica: los sistemas de riego automáticos. Estos sistemas han revolucionado la forma en que regamos nuestras plantas, ofreciendo una serie de beneficios que van más allá de la simple automatización del proceso.

Asimismo, Torres (2020) propone que se requiere implementar un prototipo de sistema de riego automatizado usando la metodología Meia V1.0 siguiendo las fases de diseño e implementación, como herramienta principal un módulo lógico programable LOGO! RCE y sensores de nivel, humedad, temperatura y lluvia para minimizar el uso del agua. El sistema de riego podrá ser controlado por el usuario mediante el panel frontal de control mediante conmutadores y pulsadores, ¡también se controla por la interfaz web de LOGO! 8 desde cualquier dispositivo inteligente o laptop; esto permite monitorear el proceso en modo automático. El sensor de nivel controla el llenado del tanque de agua, si esta se encuentra en nivel alto

automáticamente la electrobomba se apaga para así evitar el rebalsé de agua y los sensores de humedad, de temperatura y lluvia controlan el proceso de riego de forma automática y en modo manual podemos controlar el encendido y apagado de electroválvulas, para así poder optimizar recursos, sin necesidad de desplazarse de un lugar a otro.

El mayor logro de esta página web es su enfoque en la usabilidad. El sistema no se limita a mostrar números sin sentido; transforma las mediciones crudas del sensor HD-38 en información fácil de entender para el dueño de la finca. Al mostrar las lecturas en un panel de control principal con un diseño simple, el usuario puede saber de inmediato el estado de su terreno sin necesidad de ser un experto en electrónica. Esto elimina la principal barrera para la adopción de este tipo de tecnología, la inclusión del Historial de Registros con filtros de fecha y hora es un aporte fundamental. Esto va mucho más allá de la simple visualización en tiempo real, la descripción del flujo de datos (del sensor al servidor) es clara y demuestra un diseño profesional y bien estructurado. La cadena lógica: ESP32 → HTTP POST → Servidor Web → Base de Datos MySQL → PHP → Página Web, no solo es funcional, sino que también es escalable y confiable. El uso de una base de datos MySQL es particularmente importante porque asegura que los datos sean permanentes y que el historial se pueda consultar de manera eficiente, lo cual es la base de la funcionalidad de análisis.

De manera similar, Rosero (2022) presenta un prototipo se seleccionaron sensores de humedad y temperatura que se adaptaron a la aplicación escogida y de los cuales se obtuvo la información necesaria para realimentar al sistema en lazo cerrado, esta información es recopilada por un módulo centralizador que se encarga de enviar esta información por protocolos de comunicación inalámbricos a una interfaz en la nube, además, cuenta con un tanque de almacenamiento de agua a manera de reserva controlado por dos sensores de nivel que también envían información de monitoreo, toda la información recopilada es visualizada en una aplicación en la nube desarrollada en ThingSpeak desde la cual el usuario final puede acceder de manera remota y sobre la cual puede activar/desactivar manualmente el sistema de riego. Esta aplicación permite almacenar la información adquirida y descargarla para realizar un análisis posterior del comportamiento del cultivo.

Por otro lado, Guijarro y otros(2018) enfatizan que la automatización y el control han adquirido una relevancia creciente tanto en la industria como en la ingeniería. Identificar necesidades específicas y desarrollar soluciones basadas en sistemas abre nuevas posibilidades de innovación y desarrollo. Este trabajo se centra en el diseño de un sistema de control automático para riego, cuyo objetivo es mantener los cultivos adecuadamente hidratados y mejorar la calidad de los productos finales. Se presentó un paquete tecnológico orientado al monitoreo ambiental en invernaderos, utilizando hardware y software de código abierto. En dicho proyecto, se incorporaron sensores para medir variables climáticas dentro y fuera del invernadero, además de interfaces electrónicas diseñadas para capturar los datos de los sensores. Finalmente, se desarrolló software capaz de procesar y organizar esta información, facilitando su interpretación adecuada

La implementación se realizó con una metodología sólida y bien documentada la colocación de los sensores en el centro de cada cuadrante y a una profundidad de 35 cm asegura que las lecturas sean representativas y precisas, ya que se mide la humedad del suelo a una profundidad relevante para las raíces de la planta de cacao se validó el sistema con pruebas en tierra mojada, seca y con humedad media, lo que confirmó su correcto funcionamiento en diferentes condiciones y minimizó posibles errores en la implementación final, el sistema no se basa en un solo sensor, sino que utiliza el promedio de las lecturas de los cuatro sensores esto es un punto clave, ya que minimiza los errores de medición y garantiza que la decisión de regar se base en una evaluación más completa de la humedad del terreno la lógica de activación es clara: se activa cuando el promedio está por debajo del 70% y se desactiva cuando el promedio supera este umbral, evitando así el riego excesivo, la comparación directa y cuantificable del consumo de agua entre el riego automatizado y el riego manual. Al mostrar que se logró un ahorro de 1,000 litros en una semana, lo que representa un 57% de ahorro.

Finalmente, Quisi (2021) propone el desarrollo de un prototipo para un sistema de riego automatizado, basado en el uso de lógica difusa en tiempo real e Internet de las Cosas (IoT), con el objetivo de optimizar el consumo de agua en cultivos. El sistema consiste en un software de análisis de datos en tiempo real, accesible a través de internet. Los datos se obtienen mediante sensores que miden la humedad del suelo, la humedad y temperatura ambiental, además de un caudalímetro instalado en una parcela de cultivo. A partir de estos datos y de

parámetros recomendados por un especialista en agronomía en el ámbito del riego, el software calcula y sugiere un tiempo de riego lógico y adecuado para la parcela. De este modo, se ajusta el riego a las necesidades específicas de las plantas y a las condiciones ambientales

En resumen, Triana (2024) concluye que el riego se realiza manualmente, existe el riesgo de proporcionar demasiada o muy poca agua a las plantas, lo que puede tener graves consecuencias para su salud y crecimiento. Además, el riego manual requiere una dedicación constante de tiempo y atención por parte de los propietarios en base a estos modelos se logró desarrollar un sistema que logró cubrir con la optimización del recurso hídrico, basándose en la captación de los datos recibidos por los sensores investigaciones previas han demostrado la efectividad de los sistemas de riego automatizados en la optimización del uso del agua y el mantenimiento adecuado de cultivos en la agricultura moderna. Estos estudios han destacado el papel crucial de la tecnología en la gestión eficiente de recursos hídricos, así como en la mejora de la productividad de los cultivos y la sostenibilidad ambiental.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

El desarrollo del sistema de riego automatizado con sensores de humedad HD-38 conectados al ESP32 permitió medir y registrar los niveles de humedad en tiempo real de manera eficiente. Esto garantizó un control preciso del riego, optimizando el uso del agua al activarse únicamente cuando el suelo lo requiere, promoviendo la sostenibilidad hídrica y mejorando las condiciones del cultivo.

La creación de una página web en PHP permitió visualizar en tiempo real los niveles de humedad de los sensores y registrar los cambios del suelo de manera accesible y ordenada. Este desarrollo facilitó el monitoreo del sistema de riego automatizado, permitiendo a los usuarios tomar decisiones informadas y asegurando una gestión eficiente de los cultivos.

La implementación del sistema automatizado de riego en la finca "Tres Hermanos" validó su funcionamiento en un entorno real, logrando un ahorro de 1,000 litros de agua, equivalente al 57%, optimizando recursos y promoviendo sostenibilidad.

6.2 Recomendaciones

Realizar calibraciones periódicas de los sensores HD-38 para asegurar mediciones precisas y mantener actualizado el firmware del ESP32 para mejorar la estabilidad y funcionalidad del sistema.

Integrar gráficos dinámicos y opciones de filtrado en la página web para una mejor interpretación de los datos históricos y en tiempo real. Además, asegurar la seguridad del sistema mediante la implementación de medidas de autenticación y protección de la base de datos.

Considerar un monitoreo continuo del desempeño del sistema en la finca, evaluando su impacto a largo plazo en el ahorro de agua y la salud del cultivo. Además, se sugiere capacitar al personal en el uso y mantenimiento del sistema para garantizar su correcta operación.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, E., y Rodríguez, E. (2022). Evaluación de estrategias de riego en el cultivo de aguacate Hass mediante sensores de humedad de suelo y balance hídrico automatizado. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 39(1), 105-118.
- Alvarado, I. y Pilay, C. (2023). Desarrollo de un sistema de riego automatizado por aspersión mediante comunicación IOT. Guayaquil, Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana.
- Arias, P. (2020). Índice de Escasez Hídrica. *Índice de Escasez Hídrica en la cuenca del río Ambi - Ecuador*, 16(1), 39. Researchgate.
- Asips. (2021). *Industria de las bombas: pasado, presente y futuro*. Asian Pumps: <https://asips.mx/industria-de-las-bombas-pasado-presente-y-futuro/>
- Barrera, A. (2018). *Acuerdo N°. Senescyt - 2018 - 040, Especial N° 551*. Retrieved 01 de Julio de 2023, from [https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/](https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2019-)
- Bascomex. (2023). *Beneficios tiene un sistema de riego automático*. bascomex: <https://bascomex.com/blogs/news/que-beneficios-tiene-un-sistema-de-riego-automatico>
- Benito , Á. (2019). Desarrollo de aplicaciones para IoT con el módulo ESP32. Madrid, España: Universidad de Alcalá. Escuela Politécnica Superior.
- Borja, L. M., y Olivares, C. A. (2023). Sistema de riego automatizado por aspersión utilizando un aerogenerador. 24. Barranquilla, Colombia: Universidad Antonio Nariño.
- Carrasco, E. S., y Coral, Y. M. (2022). Una revisión de procesos de implementación para sistemas de riego automatizado. *ReCIBE, Revista electrónica de Computación, Informática, Biomédica y Electrónica*, 11(1), 3. Revista electrónica de Computación, Informática, Biomédica y Electrónica.
- Castro, R. (2022). Pantalla Tft. *Diseño y construcción de prototipo portátil para exhibición de seña*, 16(27), 4. I.
- Crespín, J. F. (2020). Análisis y diseño de un prototipo para un sistema de control de riego automatizado con monitoreo y alertas a dispositivos móviles utilizando arduino. *Análisis y diseño de un prototipo para un sistema de control*, 150. Guayaquil, Ecuador: Universidad de Guayaquil. Repositorio Institucional UG.

- Díaz, J. (2023). *Qué es el sensor de humedad, qué utilidad tiene y aplicaciones*. El confidencial: https://www.elconfidencial.com/tecnologia/2021-08-17/que-es-sensor-de-humedad-utilidad-aplicaciones_3220448/
- Díaz, N. (2020). Sistema inteligente de riego con energía renovable en el control de agua. *Smart Irrigation System with Renewable Energy*, 10. Buenos Aires, Argentina: Universidad Privada del Norte.
- Domótica Inteligente. (2023). *Sensores de Luz en el Hogar: Cómo Ahorrar Energía y Mejorar el Confort*. Domótica Inteligente: <https://www.domoticainteligente.com/sensores-luz-ahorro-energia/>
- García, E. (2019). Sistemas embebidos open source para la caracterización de la humedad en un cultivo hidropónico de fresa por la variación climática. *Dialnet*, 4(4), 153-171. Dialnet.
- Guijarro, A., Cevallos, L., Preciado, D., y Zambrano, B. (2018). Sistema de riego automatizado con arduino. *Revista Espacios*, 39(37), 27.
- Gutierrez, J. (2022). Diseño e implementación de un sistema de riego para el cultivo de cacao usando el internet de las cosas (IoT). 17-18. Guayaquil, Ecuador: Escuela Superior Politécnica Del Litoral.
- Gutiérrez, S. J., y Sánchez, S. M. (2022). Diseño e implementación de un sistema de riego para el cultivo de cacao usando el internet de las cosas (IoT). 17. Guayaquil, Ecuador: Escuela Superior Politecnica Del Litoral. ESPOL.
- Hidalgo, D. (2021). Diseño de un sistema de riego por goteo automatizado, para el cultivo de cacao (*Theobroma cacao L.*) en el fundo "Cantagallo". 12. San martin, Peru: Universidad Nacional Agraria la Molina.
- Ibarra, A. (2019). Análisis de la cadena de cacao en la provincia de los ríos, Ecuador. *Revista Observatorio de la Economía Latinoamericana*, 1-2. Dialnet.
- Jiménez, G. (2024). Sistema de riego inteligente de corto alcance para jardines a partir de visión artificial. 38. Ambato, Ecuador: Universidad Técnica de Ambato.
- Ley de propiedad intelectual. (2022). *Congreso Nacional el Plenario de las Comisiones Legislativas.*, 5. Ecuador. Retrieved 01 de Julio de 2023, from <https://www.correosdelecuador.gob.ec/wpcontent/>
- Logicbus. (2023). *Sensores de Color: Principio de Funcionamiento y Aplicaciones Avanzadas*. Logicbus: <https://www.logicbus.com.mx/sensores-tritronics>

- Martínez, L., y García, P. (2022). Importancia y clasificación de los sensores de posición en sistemas de automatización industrial. *Revista Iberoamericana de Control Automático y Robótica*, 15(2), 123-138.
- Minagri. (2020). *Conoce la huella hídrica del cacao*. Autoridad Nacional del Agua: <https://www.ana.gob.pe/noticia/minagri-conoce-la-huella-hidrica-del-cacao#:~:text=La%20huella%20azul%20es%20el,precipitaci%C3%B3n%20en%20su%20proceso%20vegetativo>.
- Mitjana, L. R. (2022). *tipos de sensores más usados: características y funciones*. psicologiyamente: <https://psicologiyamente.com/miscelanea/tipos-de-sensores>
- Mosquera, M. (2024). Optimización del riego en cacao (*Theobroma cacao* L.) mediante la implementación de un sistema de control inteligente de las necesidades hídricas de la planta. *INIAP*, 28(2), 42.
- Ortega, J. y Morales, R. (2021). Diseño e implementación de un sistema de riego automatizado por aspersión para cultivos extensivos en zonas áridas. *Revista Tecnológica ESPOL*, 34(3), 101-115. Acrocarpus.
- Peña, C. (2020). Domina la programación y controla la placa. En C. Peña, *arduino ide* (p. 35). Users. RedUsers.
- Quisi, D. (2021). Desarrollo de un prototipo de un sistema de riego automatizado para el procesamiento de datos utilizando lógica difusa en tiempo real para optimizar el uso de agua aplicada en el cultivo 12. Cuenca, Ecuador: universidad politecnica selediana.
- Ramírez, B. (2020). Tarifas eficientes para el agua de uso agrícola. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 10(3), 15.
- Rika Electronic . (2021). *Sensor de Humedad: Conceptos Básicos, Uso, Parámetros y Aplicaciones*. Rika Electronic : <https://www.rikasensor.com/es/humidity-sensor-basics-usage-parameters-and-applications.html>
- Roch, E. (2023). *Sensores de Temperatura: Tipos y Usos en Electrónica*. Lovtechnology: <https://lovtechnology.com/sensores-de-temperatura-tipos-y-usos-en-electronica/>
- Rosero, M. A. (2022). Diseño e Implementación de un Sistema de Riego Inteligente y Monitoreo de Variables Edafológicas y Meteorológicas Activado por IoT. 8. Quito, Ecuador: universidad internacional sek ser mejores.

- Sánchez, A. (2022). Diseño e implementación de un sensor de caudal digital para medir el consumo de agua de un pozo durante cualquier espacio temporal de manera eficiente y precisa, apoyado con internet de las cosas. *Repositorio Institucional RI-UTS*, 7. Repositorio Institucional RI-UTS.
- Tecnología y Robótica. (2024). *Cómo funcionan los sensores de distancia y sus aplicaciones*. Robots para Todos: <https://www.robotsparatodos.com/sensores-distancia-aplicaciones/>
- Torres, Z. (2020). Prototipo de sistema de riego automatizado. 19. El alto, Bolivia: universidad publica de el alto. upea.
- Triana, C. J. (2024). Diseño E Implementación De Un Prototipo Para Automatizar Y Monitorear Un Sistema De Riego. 16. Guayaquil, Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana.
- Wang, J. (2022). *¿Qué son los sensores?* Sensores: <https://www.nibib.nih.gov/espanol/temas-cientificos/sensores>

ANEXOS

Tabla 1.

Componentes electrónicos

CONCEPTO	CANTIDAD	P.U	TOTAL
Arduino	2	\$24,00	\$48,00
Sensor Humedad De Suelo HD-38	5	\$5,00	\$25,00
Sensor de Caudal de flujo 1-30 L/min	1	\$9.99	\$9.99
Módulo de pantalla TFT LCD de 3,2	1	\$29.00	\$29.00
Cables jumper	3	\$2,75	\$8,25
Relé	2	\$12,00	\$24,00
Resistores 201	10	\$0,50	\$5,00
Fuente 12v 3amp	1	\$10,00	\$10,00
Protoboard	1	\$5,00	\$5,00
Total			\$167,25

Descripción detallada de los gastos

Elaborado por: El Autor, 2025

Tabla 2.

Componentes para el sistema de riego

CONCEPTO	CANTIDAD	P.U	TOTAL
Adap PVC 1 x ½	1	\$0,27	\$0,27
Adap PVC 1 M	1	\$0,27	\$0,27
Aspersor 3/4 plástico	10	\$3.04	\$30.04
Codo PVC ½	2	\$0,16	\$0,32
Tubo PVC 1/2" x 6 metros	10	\$6.15	61.05
Bomba de agua a gasolina 2x2" 7.0hp	1	\$139.00	\$139.00
Tee 90° PVC	10	\$0.87	\$8.70
Teflón	1	\$0.30	\$0.30
Generador eléctrico	1	\$325,00	\$325,00
Total		\$ 480,63	

Descripción detallada de los gastos del riego

Elaborado por: El Autor, 2025

Tabla 3.

Especificaciones técnicas del sensor HD-38

Características	
Voltaje de operación	12 V
Corriente	110 V
Tiempo de respuesta	5S
Tiempo de estabilización	60 S
Humedad	95%
Salida de tipo	Analógica

Características principales del sensor

Elaborado por: El Autor, 2025

Tabla 4.

Especificaciones técnicas del controlador

Características	
Voltaje de operación	5 V
Corriente	40 mA
Tiempo de respuesta	<500 ms
Salida análoga	0V - 4.5V
Resistencia de aislamiento	100M min
Salida de tipo	Análoga

Características principales del componente

Elaborado por: El Autor, 2025

Tabla 5.

Especificaciones técnicas del ESP32

Características	
Voltaje de operación	5 V
Corriente	80 mA
Conectividad WiFi	802.11 b/g/n
Conectividad Bluetooth	v4.2 BR/EDR y BL
Conector	Tipo C
Dimensiones	55x27 mm

Características principales del ESP32

Elaborado por: El Autor, 2025

Tabla 6.

Especificaciones técnicas de la Shield Esp32

Características	
Voltaje de operación	3.3V y 12V
Tipo de conector	Micro USB
Corriente máxima	1A
Número de pines	30
Material	Plastico ABS

Características principales del *Shield Esp32*

Elaborado por: El Autor, 2025

Tabla 7.

Funcionamiento de los sensores

Validación de los Sensores		
Sensor	Activar Riego	Desactivar Riego
Humedad	% de Humedad a <70%	% de Humedad ≥70%

Elaborado por: El Autor, 2025

Tabla 8.
Prueba en tierra mojada

Prueba en escenario 1		
Datos de comunicación Serial	Datos mostrados en la pantalla	Activación
99	99%	OFF
90	90%	OFF
80	80%	OFF
75	75%	OFF
70	70%	OFF

Elaborado por: El Autor, 2025

Tabla 9.
Prueba en tierra seca

Prueba en escenario 2		
Datos de comunicación Serial	Datos mostrados en la pantalla	Activación
40	40%	ON
20	20%	ON
30	30%	ON
25	25%	ON
50	50%	ON

Elaborado por: El Autor, 2025

Tabla 10.
Prueba en tierra medio mojada

Prueba en escenario 3		
Datos de comunicación Serial	Datos mostrados en la pantalla	Activación
70	70%	OFF
50	50%	ON
60	60%	ON
65	65%	ON
75	75%	OFF

Elaborado por: El Autor, 2025

Tabla 11.
Resultados de las mediciones del sistema

Día	Sensor 1 (%)	Sensor 2 (%)	Sensor 3 (%)	Sensor 4 (%)	Promedio de Humedad (%)	Acción
Día 1	72	68	70	65	68.75	Activar bomba
Día 2	80	75	85	78	79.5	Apagar bomba
Día 3	67	63	60	64	63.5	Activar bomba
Día 4	74	79	80	77	77.5	Apagar bomba
Día 5	69	72	67	70	69.5	Activar bomba
Día 6	85	88	90	87	87.5	Apagar bomba

Elaborado por: El Autor, 2025

Tabla 12.
Comparación entre las dos formas de riego

Escenario	Días de riego	Consumo de agua (litros)	Ahorro de agua
Riego Automatizado	3 días	750 litros	1,000 litros
Riego Manual	7 días	1,750 litros	

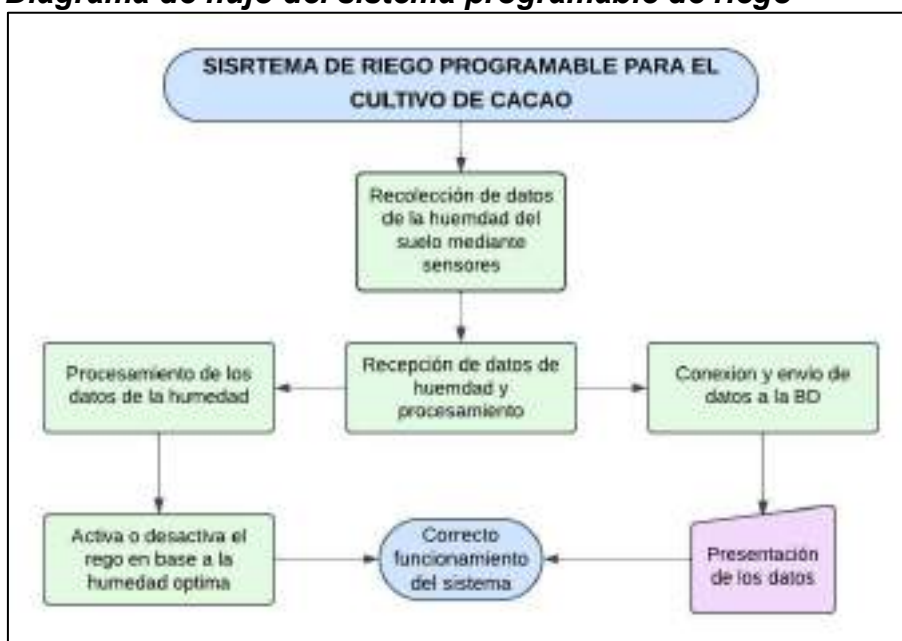
Elaborado por: El Autor, 2025

Tabla 13.
Ahorro en gastos administrativos

Gastos	Herramientas	Salario	Almuerzo	Transporte	Total
Trabajador 1	\$ 5	\$ 20	\$ 3	\$ 1.50	\$ 29.50
Trabajador 2	\$ 5	\$ 20	\$ 3	\$ 1.50	\$ 29.50
Automatización	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
				Total	\$ 59.00

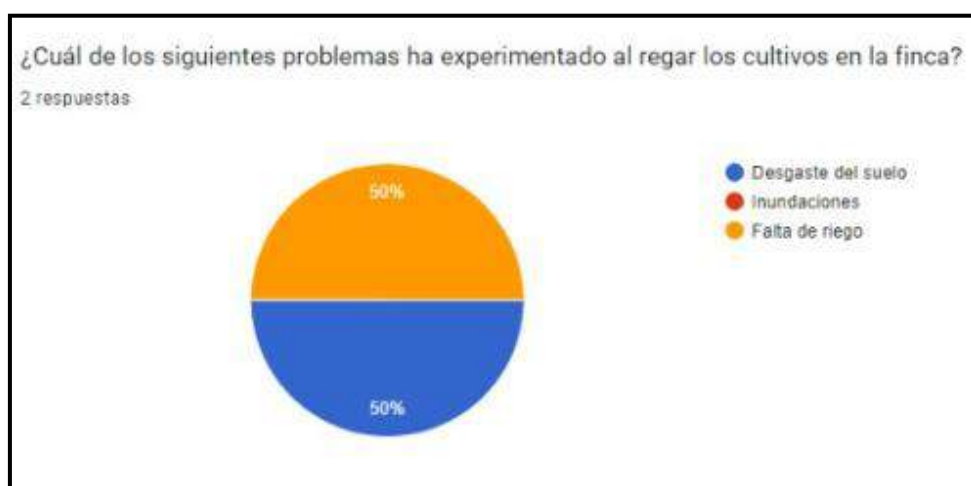
Elaborado por: El Autor, 2025

Figura 1.
Diagrama de flujo del sistema programable de riego



Elaborado por: El Autor, 2025

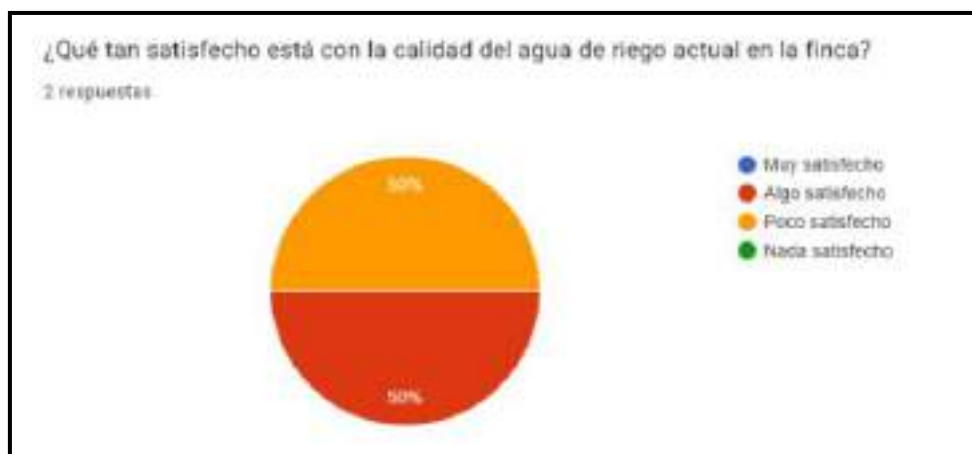
Figura 2.
Problemas presentes en la finca



Elaborado por: El Autor, 2025

Análisis: Se obtuvo una igualdad respecto a los problemas experimentados al momento de realizar el riego en la finca, mientras que el riesgo por inundaciones es reducido por la presencia de canales de distribución de agua. Con este proyecto se plantea mejorar los procesos para disminuir tanto el desgaste del suelo así como la falta del riego en las zonas de la finca.

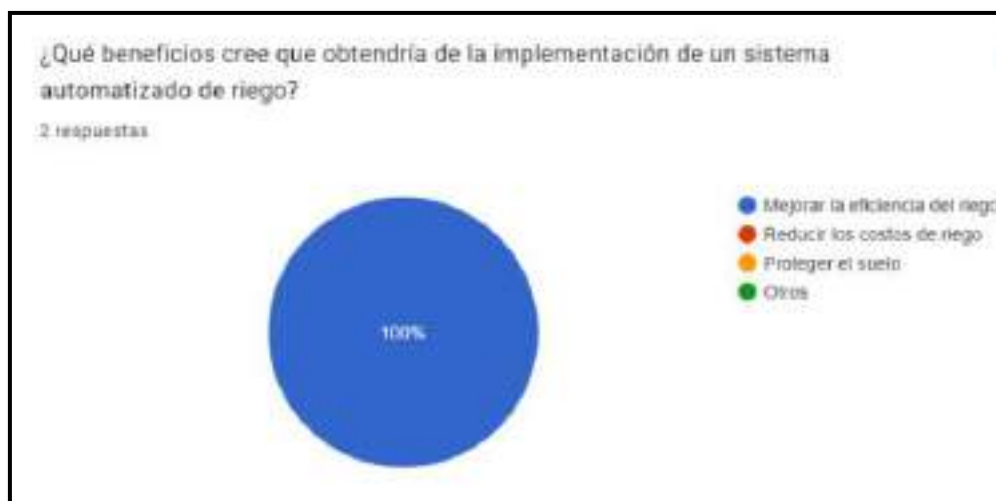
Figura 3.
Índice de satisfacción del agua



Elaborado por: El Autor, 2025

Análisis: Podemos verificar que los índices aplicación del agua están por debajo de las expectativas, este proyecto tiene como objetivo mejorar la aplicación del agua y la distribución.

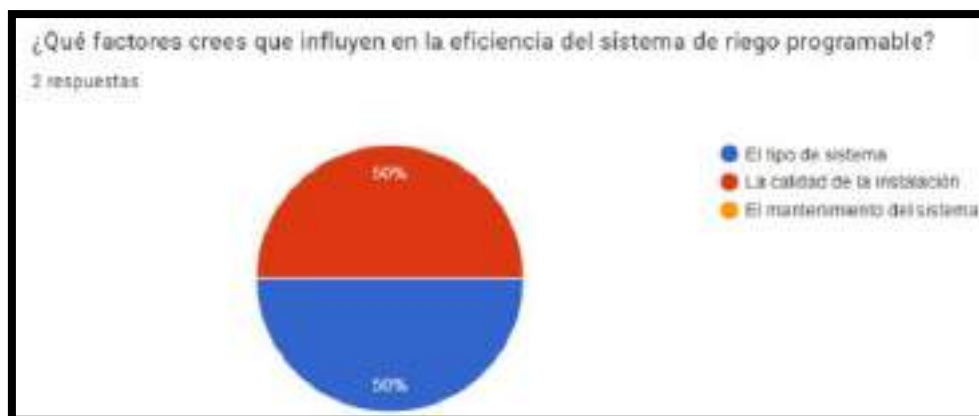
Figura 4.
Beneficio del sistema de riego



Elaborado por: El Autor, 2025

Análisis: Podemos ver la aceptación de nuestro sistema por parte los trabajadores, llegando a la conclusión de que la implementación del mismo generara cambios visibles en su producción.

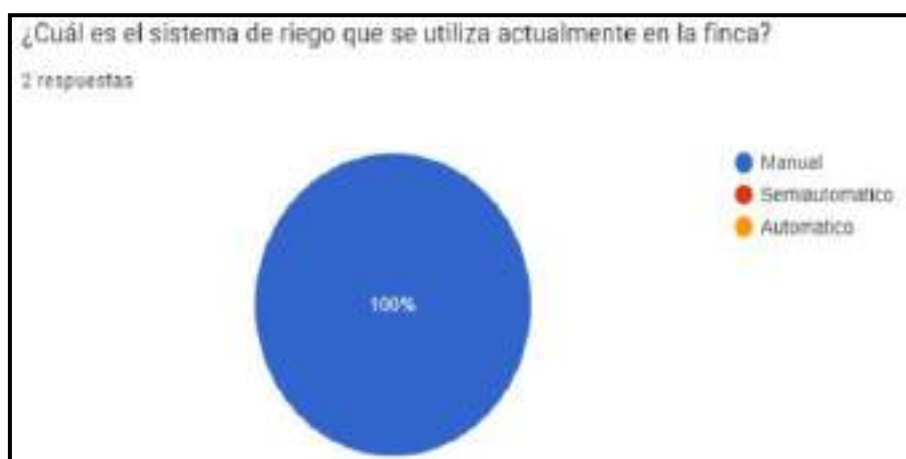
Figura 5.
Factores a considerar en la implementación



Elaborado por: El Autor, 2025

Análisis: Podemos la falta de conocimiento en el ámbito de los sistemas ya que sin un buen mantenimiento del mismo este podría presentar problemas, el 50 % respecto al tipo de sistemas se refiere a cómo será el sistema lo cual es de suma importancia ya que nos permite saber el nivel de conocimiento de los trabajadores y el 50% de calidad de instalación hacer referencia al profesionalismo al manipular este tipo de dispositivos.

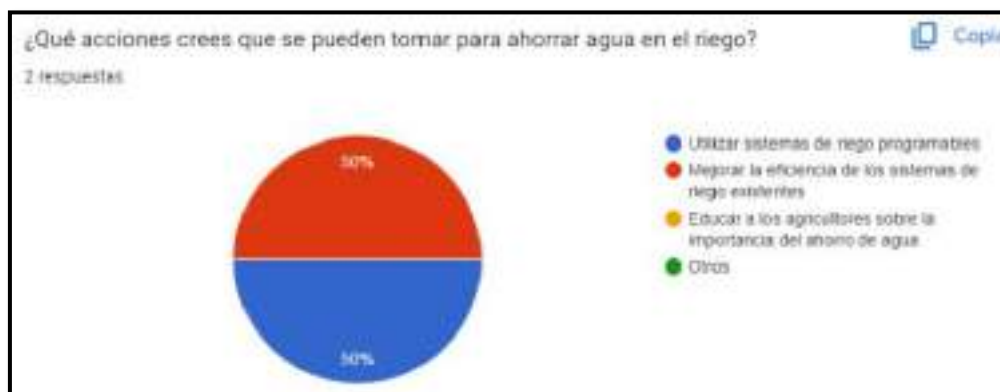
Figura 6.
Tipo de forma de riego



Elaborado por: El Autor, 2025

Análisis: Muestra que el riego actual en la finca es completamente manual, mostrando la brecha digital que posee en la actualidad. Este proyecto pretende cerrar esa brecha e impulsar la producción de la finca mediante un correcto sistema automatizado de riego.

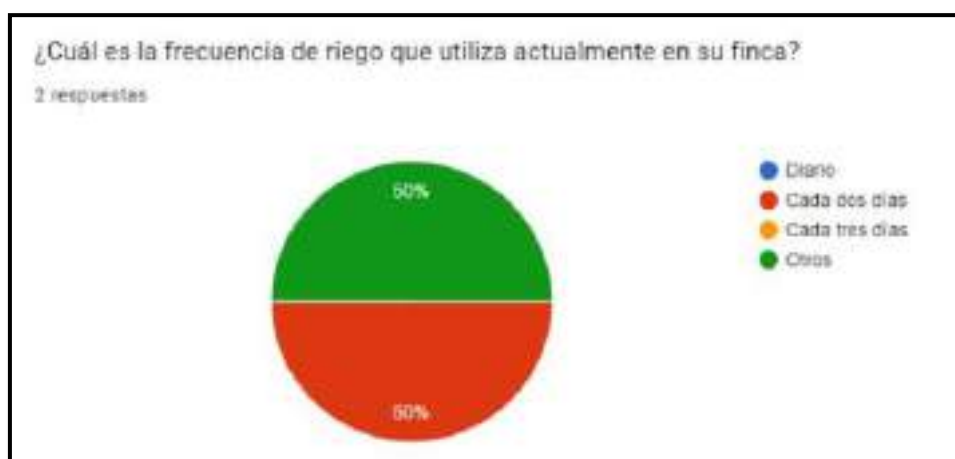
Figura 7.
Acciones para el ahorro de agua



Elaborado por: El Autor, 2025

Análisis: Hace referencia a los métodos para el ahorro del líquido vital dando como resultado un 50% en la mejora de la eficiencia de los sistemas de riego existentes y un 50 % en la utilización de los riegos programables. Este proyecto no solo busca mejorar la eficiencia y el uso del agua, sino también mejorar ese 0% sobre la enseñanza del ahorro del agua respecto a la aplicación en los cultivos.

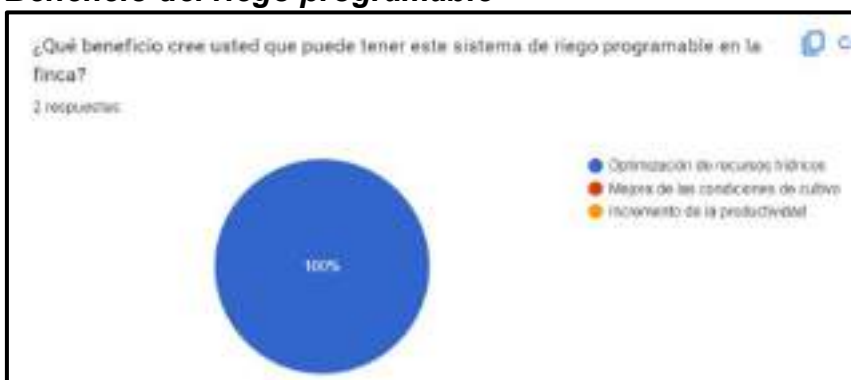
Figura 8.
Frecuencias de riego



Elaborado por: El Autor, 2025

Análisis: Podemos calcular los tiempos en los que se realizan los riegos, en donde el 50% indica que se realizan cada dos días y el otro 50% una variación de tiempo, lo que se quiere lograr mediante la implementación de este sistema automatizado es generar un tiempo de riego permanente, la cual requiere la identificación de la variación del clima y la humedad del suelo del cultivo.

Figura 9.
Beneficio del riego programable



Elaborado por: El Autor, 2025

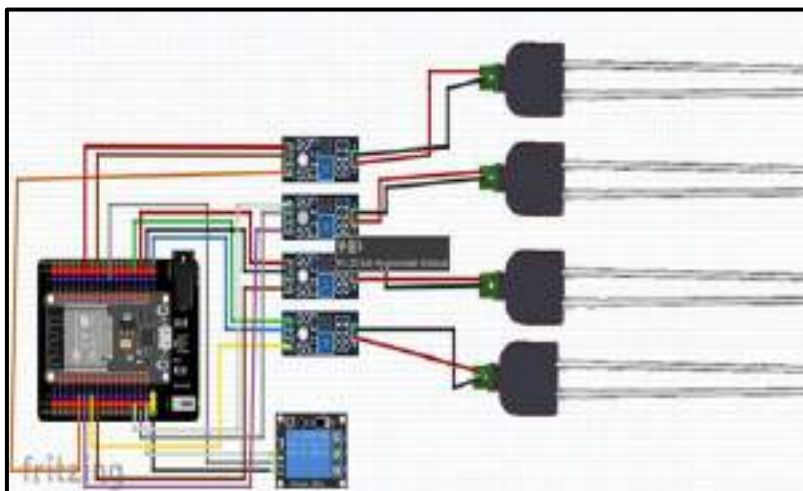
Análisis: Podemos ver el impacto que generara la implementación de nuestro sistema de riego programable en la zona. Siendo esto como un estímulo para el completo desarrollo del mismo.

Figura 10.
Sensor de humedad HD-38



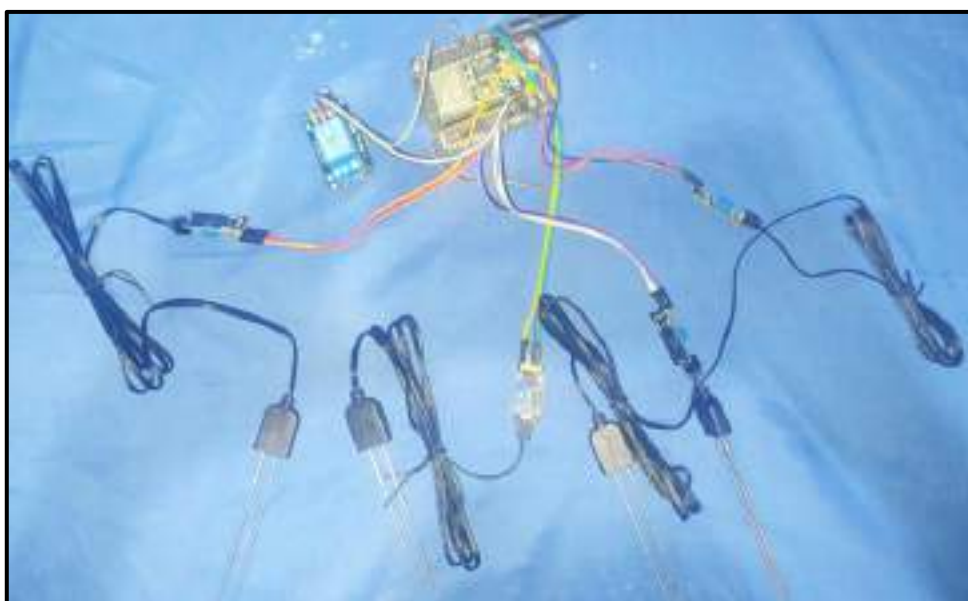
Elaborado por: El Autor, 2025

Figura 11.
Circuito desarrollado en Fritzing



Elaborado por: El Autor, 2025

Figura 12.
Conexiones del circuito



Elaborado por: El Autor, 2025

Figura 13.
Interfaz de la pantalla de visualización



Elaborado por: El Autor, 2025

Figura 14.
Base de datos creada en MySQL

The screenshot shows the MySQL database structure for the table 'esp32_table_record'. The table has 8 columns:

#	Nombre	Tipo	Cotejamiento	Atributos	Nulo	Predeterminado	Comentarios	Extra	Acción
1	id	varchar(255)	utf8_general_ci		No	Ninguna			Cambiar, Eliminar, Más
2	board	varchar(255)	utf8_general_ci		No	Ninguna			Cambiar, Eliminar, Más
3	humidity_s1	int(3)			No	Ninguna			Cambiar, Eliminar, Más
4	humidity_s2	int(3)			No	Ninguna			Cambiar, Eliminar, Más
5	humidity_s3	int(3)			No	Ninguna			Cambiar, Eliminar, Más
6	humidity_s4	int(3)			No	Ninguna			Cambiar, Eliminar, Más
7	time	time			No	Ninguna			Cambiar, Eliminar, Más
8	date	date			No	Ninguna			Cambiar, Eliminar, Más

Below the table structure, there are options for selecting all, examining, changing, deleting, primary key, unique, and index. There are also buttons for printing, creating the table structure, following the table, moving columns, and normalizing. At the bottom, there is a section for adding a new column, with a dropdown menu set to 'después de date' and a 'Continuar' button.

Elaborado por: El Autor, 2025

Figura 15.
Registro De Los Datos

NO	ID	BOARD	HUMEDAD 1 (%)	HUMEDAD 2 (%)	HUMEDAD 3 (%)	HUMEDAD 4 (%)	TIME	DATE (dd-mm-yyyy)
1	TS1ubCK3S	esp32_01	8	100	100	100	22:38:40	17-12-2024
2	g43pF8AM	esp32_01	8	100	100	100	22:38:46	17-12-2024
3	4ZF6gF15C	esp32_01	8	100	100	100	22:38:51	17-12-2024
4	RV14C148	esp32_01	8	100	100	100	22:38:56	17-12-2024
5	PgmR3cQ3	esp32_01	8	100	100	100	22:39:02	17-12-2024
476	pe8D5rR	esp32_01	100	100	100	100	15:00:57	18-06-2025
477	45FCDjao	esp32_01	100	100	100	100	15:00:53	18-06-2025
478	Qod9YbAao	esp32_01	100	100	100	100	15:00:59	18-06-2025
479	YauopFAGT	esp32_01	100	100	100	100	15:00:18	18-06-2025
480	QWCTqT8ku	esp32_01	100	100	100	100	15:00:21	18-06-2025
801	5VDe54H9u	esp32_01	100	100	89	87	11:59:30	18-06-2025
802	G25eodw6D	esp32_01	100	100	90	80	11:59:42	18-06-2025
803	c1uDrghw8	esp32_01	100	100	89	80	11:59:47	18-06-2025
804	z0vut6k0u	esp32_01	100	100	98	91	11:59:53	18-06-2025
805	4yqpd8E3w	esp32_01	100	100	89	88	11:59:58	18-06-2025
806	N4AKCT88C	esp32_01	100	100	98	91	11:59:54	18-06-2025

Elaborado por: El Autor, 2025

Figura 16.
Finca “Tres Hermanos”



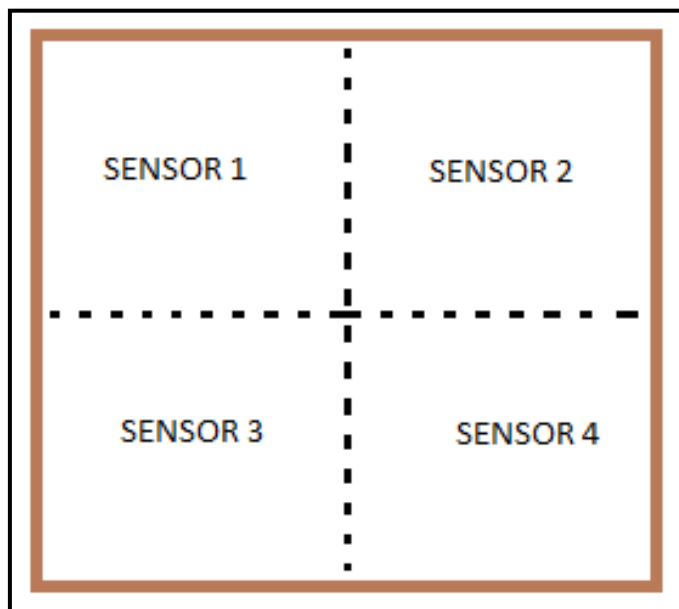
Elaborado por: El Autor, 2025

Figura 17.
Cultivo de cacao



Elaborado por: El Autor, 2025

Figura 18.
Distribución de los sensores



Elaborado por: El Autor, 2025

Figura 19.
Ubicación de los sensores en la finca



Elaborado por: El Autor, 2025

Anexo N° 33: Modelo de entrevista para el propietario

UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
“DR. JACOBO BUCARAM ORTIZ”
CARRERA COMPUTACIÓN

Objetivo: Analizar las necesidades que se obtienen en la finca “Tres Hermanos” a través de la recolección de datos para detectar los requerimientos funcionales que se producen mediante la implementación de entrevista al dueño de la finca.

1. ¿Qué problemas tiene actualmente con su sistema de riego?

Actualmente tengo un sistema de riego simple y no tengo conocimiento si mi cultivo está siendo regado apropiadamente y si está usando la suficiente agua.

2. ¿Ha considerado alguna vez utilizar un sistema de riego automático?

Me han realizado algunas propuestas y si lo estoy tomando en cuenta para mejorar el riego en mi cultivo.

3. ¿Cómo se imagina que funcionaría un sistema de riego automático

De una manera fácil y factible para mí finca.

4. ¿Qué ventajas cree que le aportaría un sistema de riego automático a su finca?

Así podré ver si se está haciendo un buen riego y así mejorar el producto de la finca.

5. ¿Qué desafíos cree que podría encontrar al implementar el sistema?

Uno de los desafíos es la ubicación y el suelo que es seco y se necesita presupuesto para implementar este proyecto.

Elaborado por: El Autor, 2025

Anexo N° 34: Modelo de encuesta para los agricultores

UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
“DR. JACOBO BUCARAM ORTIZ”
CARRERA DE COMPUTACIÓN

Objetivo: Analizar las necesidades que se obtienen en la finca “tres hermanos” a través de la recolección de datos para detectar los requerimientos mínimos que se producen mediante la implementación de encuestas a los trabajadores de la finca.

1. ¿Cuál de los siguientes problemas ha experimentado al regar los cultivos en la finca?

- ☐ Inundaciones
- ☐ Falta de riego
- ☐ Desgaste del suelo

2. ¿Qué tan satisfecho está con la calidad del agua de riego actual en la finca?

- ☐ Muy satisfecho
- ☐ Algo satisfecho
- ☐ Poco satisfecho
- ☐ Nada satisfecho

3. ¿Qué beneficios cree que obtendría de la implementación de un sistema automatizado de riego?

- ☐ Mejorar la eficiencia del riego
- ☐ Reducir los costos de riego
- ☐ Proteger el suelo
- ☐ Otros (especifique)

4. ¿Qué factores crees que influyen en la eficiencia del sistema de riego programable?

- ☐ El tipo de sistema
- ☐ La calidad de la instalación
- ☐ El mantenimiento del sistema

5. ¿Cuál es el sistema de riego que se utiliza actualmente en la finca?

- ☐ Manual
- ☐ Semiautomático
- ☐ Automático

6. ¿Qué acciones crees que se pueden tomar para ahorrar agua en el riego?

- ☐ Utilizar sistemas de riego programables
- ☐ Mejorar la eficiencia de los sistemas de riego existentes
- ☐ Educar a los agricultores sobre la importancia del ahorro de agua
- ☐ Otros

7. ¿Cuál es la frecuencia de riego que utiliza actualmente en su finca?

- ☐ Diario
- ☐ Cada dos días
- ☐ Cada tres días
- ☐ Otros (especifique)

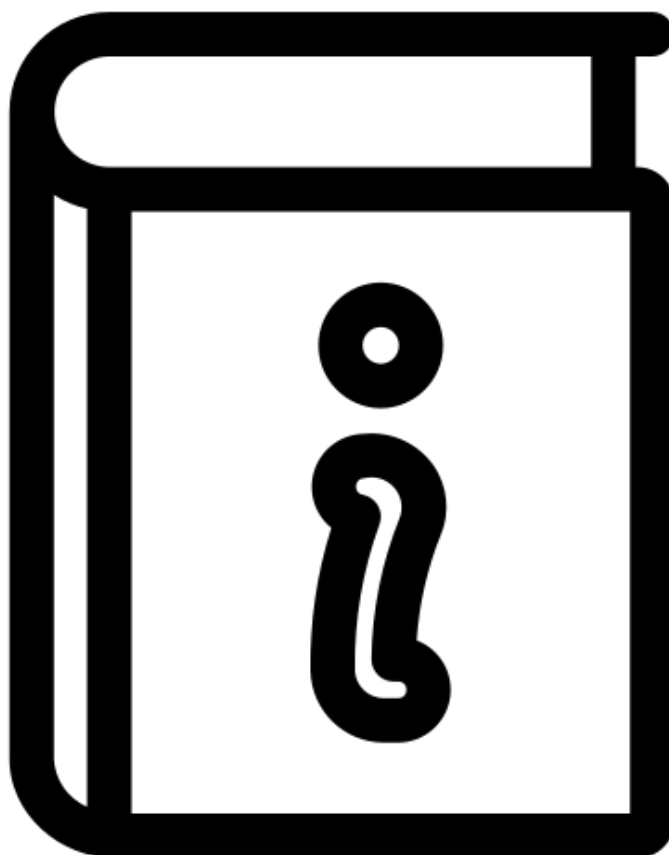
8. ¿Qué beneficio cree usted que puede tener este sistema de riego programable en la finca?

- ☐ Optimización de recursos hídricos
- ☐ Mejora de las condiciones de cultivo
- ☐ Incremento de la productividad

Elaborado por: El Autor, 2025

APÉNDICES

Apéndice N° 1: Manual de usuario del sistema de riego automatizado



MANUAL DE USUARIO DEL SISTEMA DE RIEGO AUTOMATIZADO

Manual de usuario

1. Introducción

El presente manual describe el funcionamiento, instalación y uso del Sistema Integral de Monitoreo y Riego Automático, el cual combina una plataforma hardware basada en ESP32 con un sistema software desarrollado para la visualización, almacenamiento y análisis de datos de humedad del suelo.

2. Objetivo del sistema

El objetivo principal es monitorear la humedad del suelo y automatizar el riego según los valores detectados por los sensores, brindando al usuario una herramienta moderna y accesible para la gestión eficiente de recursos hídricos en su finca.

3. Componentes del sistema

3.1. Componentes de hardware

El sistema físico está conformado por los siguientes elementos principales:

- **ESP32:** es el microcontrolador central del sistema. Se encarga de recibir la información de los sensores, conectarse a la red Wi-Fi configurada y ejecutar las acciones necesarias para controlar el riego de forma automática.
- **Sensores de humedad:** son los dispositivos encargados de medir el nivel de humedad en el suelo. Están distribuidos en distintas zonas del terreno y envían sus lecturas al ESP32 para su análisis.
- **Sistema de riego:** este subsistema se activa o desactiva automáticamente según las órdenes enviadas por el ESP32, dependiendo de los valores de humedad registrados.
- **Fuente de alimentación:** suministra energía estable al microcontrolador y a los sensores.

3.2. Componentes de software

El software del sistema está compuesto por tres módulos principales:

- **Servidor local XAMPP:** actúa como el entorno que permite ejecutar la aplicación web y establecer la comunicación con la base de datos MySQL.
- **Base de datos MySQL:** almacena los registros de humedad del suelo, junto con el historial de valores recibidos desde el ESP32.
- **Interfaz web local:** permite al usuario visualizar en tiempo real las lecturas de los sensores, consultar los registros históricos y supervisar el estado del riego automático.

4. Requisitos previos

Antes de iniciar el sistema completo, asegúrese de contar con:

- XAMPP instalado (versión 8.0 o superior).
- Los archivos del sistema web ubicados dentro de la carpeta htdocs de XAMPP.
- Base de datos MySQL creada y configurada.
- ESP32 programado con el firmware del proyecto.
- Conexión Wi-Fi activa.
- Sensores de humedad correctamente instalados en el campo.

5. Instalación del sistema

5.1. Instalación del hardware

1. Coloque el **ESP32** en un lugar seco y con buena señal Wi-Fi.
2. Inserte los **sensores de humedad** en las zonas del terreno a monitorear.
3. Conecte el **ESP32** a la fuente de alimentación (puerto USB o adaptador de 5V).
4. Verifique que el indicador LED del ESP32 encienda.

5.2. Instalación del software

1. Abra el **Panel de Control de XAMPP** (Ver Figura 20).
2. Active los módulos **Apache** y **MySQL** presionando **Start**.
3. Ingrese a **phpMyAdmin** desde el botón *Admin* de MySQL.
4. Importe o cree la base de datos del sistema.
5. Verifique que los archivos del sistema estén en la ruta:
6. C:\xampp\htdocs\

Figura 20.

Módulos apaches y MySQL activados



Elaborado por: El Autor, 2025

6. Puesta en marcha del sistema

Paso 1: Encendido del hardware

- Conecte el **ESP32** a la corriente.
- El microcontrolador se conectará automáticamente a la **red Wi-Fi configurada**.
- Una vez conectado, comenzará a enviar los **datos de humedad** a la base de datos y a ejecutar las funciones de riego automático.

Paso 2: Activación del software

- Con Apache y MySQL activos, abra su navegador web.
- Ingrese el siguiente enlace local:
- http://localhost/esp_sesnores_p/home.php
- Se cargará la interfaz principal del sistema.

Paso 3: Visualización y control

Desde la interfaz web el usuario podrá:

- **Monitorear en tiempo real** los niveles de humedad enviados por los sensores (Ver Figura 21).
- Consultar el **historial de registros** con las lecturas almacenadas (Ver Figura 22).

Figura 21.

Pantalla de visualización de los datos



Elaborado por: El Autor, 2025

7. Funcionamiento general

El sistema opera bajo la siguiente lógica:

1. Los **sensores** capturan los valores de humedad del suelo.

2. El **ESP32** procesa esta información y la envía a la **base de datos MySQL**.
3. El **software web** muestra los datos en tiempo real y los registra para análisis posteriores.
4. Si la humedad desciende por debajo del umbral establecido, el **ESP32** activa el riego automático.
5. Una vez alcanzado el nivel óptimo, el sistema desactiva el riego y continúa monitoreando.

Figura 22.
Registro de datos

ESP32_01 Tabla								
NO	ID	BOARD	HUMEDAD 1 (%)	HUMEDAD 2 (%)	HUMEDAD 3 (%)	HUMEDAD 4 (%)	TIME	DATE (dd-mm-yyyy)
1	TS1wdrCKS6	esp32_01	0	100	100	100	22:38:40	17-12-2024
2	guGpIFBAkk	esp32_01	0	100	100	100	22:38:46	17-12-2024
3	4ZF8gIPzSC	esp32_01	0	100	100	100	22:38:51	17-12-2024
4	rUys4C5n8b	esp32_01	0	100	100	100	22:38:56	17-12-2024
5	PghIR3cQ3i	esp32_01	0	100	100	100	22:39:02	17-12-2024
476	pdW6DrRr	esp32_01	100	100	100	100	15:05:57	16-06-2025
477	4SYFD5jaeu	esp32_01	100	100	100	100	15:06:03	16-06-2025
478	Qcu9YbAhzo	esp32_01	100	100	100	100	15:06:09	16-06-2025
479	YwuqjFAGT	esp32_01	100	100	100	100	15:06:15	16-06-2025
480	GNCYqTY8Kz	esp32_01	100	100	100	100	15:06:21	16-06-2025
651	63Bb54Y9hJ	esp32_01	100	100	89	87	11:50:36	18-06-2025
652	t28yozUowB	esp32_01	100	100	93	90	11:50:42	18-06-2025
653	c1wDlqNwhS	esp32_01	100	100	93	88	11:50:47	18-06-2025
654	z0Jsd5KqUe	esp32_01	100	100	98	91	11:50:53	18-06-2025
655	4pSp3M8D9H	esp32_01	100	100	99	92	11:50:58	18-06-2025
656	NmRK7i5RO	esp32_01	100	100	99	91	11:51:04	18-06-2025

Elaborado por: El Autor, 2025

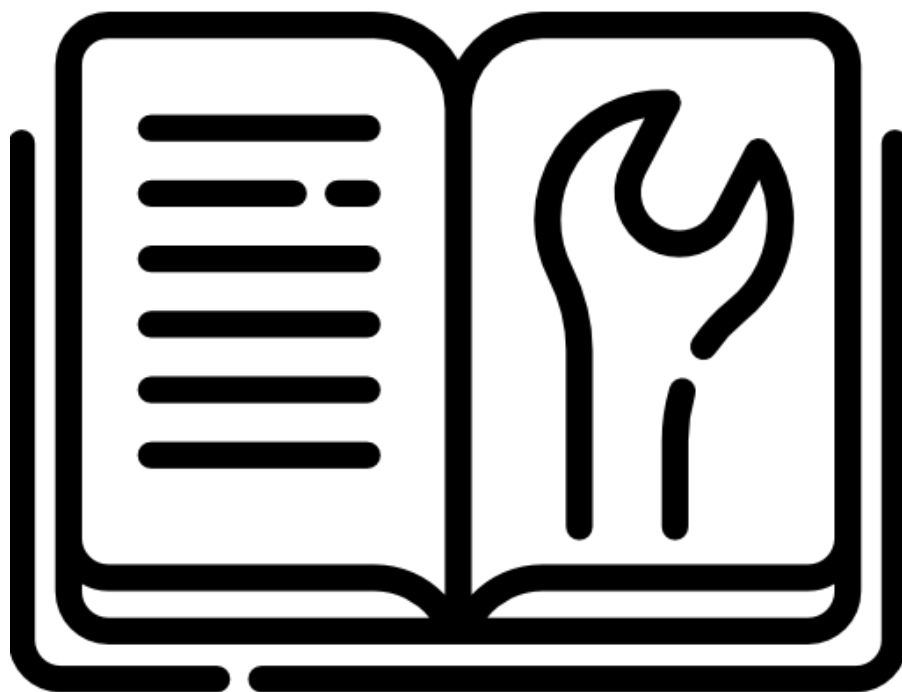
8. Mantenimiento y recomendaciones

- Verifique periódicamente las conexiones de los sensores y del ESP32.
- Limpie los sensores para evitar lecturas erróneas.
- Mantenga actualizadas las credenciales de red Wi-Fi.
- Realice copias de seguridad de la base de datos.
- No desconecte el ESP32 durante la transmisión de datos.

9. Apagado del sistema

1. Cierre la interfaz web en el navegador.
2. Desde el panel de XAMPP, presione **Stop** en los módulos Apache y MySQL.
3. Desconecte el **ESP32** de la corriente eléctrica.

Apéndice N° 2: Manual técnico del sistema de monitoreo



**MANUAL TÉCNICO
DEL SISTEMA DE RIEGO
AUTOMATIZADO**

Manual Técnico

1. Introducción

El presente Manual Técnico describe el funcionamiento general y la estructura tecnológica del Sistema de Riego Automatizado, un proyecto que combina un componente hardware (basado en el microcontrolador ESP32) con un entorno software desarrollado en PHP y MySQL.

El sistema fue diseñado con el propósito de monitorear en tiempo real los niveles de humedad del suelo y ejecutar procesos de riego automático, contribuyendo a un uso más eficiente del recurso hídrico en zonas agrícolas.

Este documento explica la configuración general del sistema, la integración entre los módulos de hardware y software, y el funcionamiento básico de la plataforma web encargada de visualizar los datos de humedad.

2. Descripción general del sistema

El sistema de riego automatizado se compone de dos partes principales:

- **Hardware:**

Un **microcontrolador ESP32**, encargado de recopilar los valores de humedad del suelo a través de sensores y enviar la información a la base de datos del servidor mediante conexión Wi-Fi. Además, puede activar el riego de manera autónoma según los valores registrados.

- **Software:**

Una aplicación web desarrollada en **PHP**, que permite visualizar en tiempo real los datos enviados por el ESP32, así como acceder al registro histórico de las mediciones almacenadas en la base de datos **MySQL**.

3. Funcionamiento general

El sistema opera de la siguiente manera:

1. El **ESP32** se conecta automáticamente a la red Wi-Fi configurada al encenderse.
2. Los sensores de humedad toman lecturas del suelo y el microcontrolador las procesa.
3. Cada lectura se envía al servidor local mediante una solicitud HTTP.
4. El **servidor XAMPP** recibe la información a través de un script PHP y la almacena en la base de datos.
5. Los valores registrados pueden visualizarse desde la **página web local**.

Este flujo de comunicación permite observar las variaciones de humedad en tiempo real y, si es necesario, activar el sistema de riego de manera automática o manual según las condiciones detectadas.

4. Configuración del entorno

4.1. Instalación del entorno de servidor local

Para ejecutar la aplicación web se requiere instalar y configurar **XAMPP** en el ordenador:

1. Descargar e instalar **XAMPP** desde la página oficial de *Apache Friends*.
2. Iniciar los módulos **Apache** y **MySQL** desde el panel de control.
3. Acceder a phpMyAdmin para crear una nueva base de datos con el nombre `base_riego`.
4. Dentro de la base, crear las tablas necesarias para el sistema
5. Guardar los archivos PHP en la carpeta `htdocs` de XAMPP, dentro de un subdirectorio

5. Interfaz web del sistema

El software del sistema fue desarrollado en PHP y cumple la función de conectar el servidor con la base de datos para mostrar los valores de humedad registrados.

A continuación, se presenta el código principal de la página web:

```
<!DOCTYPE HTML>
<html>
  <head>
    <title>FINCA "TRES HERMANOS"</title>
    <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-
scale=1">
    <link rel="stylesheet"
href="https://use.fontawesome.com/releases/v5.7.2/css/all.css"
integrity="sha384-
fnmOCqbTlWIlj8LyTjo7mOUStjsKC4pOpQbqyi7RrhN7udi9RwhKkMHpvLbHG9Sr"
crossorigin="anonymous">
    <link rel="icon" href="data:,">
    <style>
      html {font-family: Arial; display: inline-block; text-align:
center;}
      p {font-size: 1.2rem;}
      h4 {font-size: 0.8rem;}
      body {margin: 0;}
      .topnav {overflow: hidden; background-color: #0c6980; color:
white; font-size: 1.2rem;}
      .content {padding: 5px; }
```

```

        .card {background-color: white; box-shadow: 0px 0px 10px 1px
        rgba(140,140,140,.5); border: 1px solid #0c6980; border-radius: 15px;}
        .card.header {background-color: #0c6980; color: white; border-
        bottom-right-radius: 0px; border-bottom-left-radius: 0px; border-top-right-
        radius: 12px; border-top-left-radius: 12px;}
        .cards {max-width: 700px; margin: 0 auto; display: grid; grid-
        gap: 2rem; grid-template-columns: repeat(auto-fit, minmax(300px, 1fr));}
        .reading {font-size: 1.3rem;}
        .packet {color: #bebebe;}
        .humidityColor1 {color: #1b78e2;}
        .humidityColor2 {color: #06bd77;}
        .humidityColor3 {color: #06bdba;}
        .humidityColor4 {color: #644dfa;}
        .statusreadColor {color: #702963; font-size:12px;}

        /* ----- Toggle Switch */
        .switch {
            position: relative;
            display: inline-block;
            width: 50px;
            height: 24px;
        }

        .switch input {display:none;}

        .sliderTS {
            position: absolute;
            cursor: pointer;
            top: 0;
            left: 0;
            right: 0;
            bottom: 0;
            background-color: #D3D3D3;
            -webkit-transition: .4s;
            transition: .4s;
            border-radius: 34px;
        }

        .sliderTS:before {
            position: absolute;
            content: "";
            height: 16px;
            width: 16px;
            left: 4px;
            bottom: 4px;
            background-color: #f7f7f7;
            -webkit-transition: .4s;
            transition: .4s;
            border-radius: 50%;

```



```

    }

    input:checked + .sliderTS {
        background-color: #00878F;
    }

    input:focus + .sliderTS {
        box-shadow: 0 0 1px #2196F3;
    }

    input:checked + .sliderTS:before {
        -webkit-transform: translateX(26px);
        -ms-transform: translateX(26px);
        transform: translateX(26px);
    }

    .sliderTS:after {
        content: 'OFF';
        color: white;
        display: block;
        position: absolute;
        transform: translate(-50%, -50%);
        top: 50%;
        left: 70%;
        font-size: 10px;
        font-family: Verdana, sans-serif;
    }

    input:checked + .sliderTS:after {
        left: 25%;
        content: 'ON';
    }

    input:disabled + .sliderTS {
        opacity: 0.3;
        cursor: not-allowed;
        pointer-events: none;
    }
    /* ----- */
</style>
</head>

<body>
    <div class="topnav">
        <h3>FINCA "TRES HERMANOS"</h3>
    </div>

    <br>

```

```

<!--      _____  DISPLAYS      MONITORING      AND      CONTROLLING
-----
-->
<div class="content">
  <div class="cards">

<!--      ==      MONITORING1
=====
===== -->
<div class="card">
  <div class="card header">
    <h3 style="font-size: 1rem;">SENSORES</h3>
  </div>

  <!-- Displays the humidity and temperature values received
from ESP32. *** -->
  <h4 class="humidityColor1"><i class="fas fa-tint"></i> HUMEDAD
A</h4>
    <p class="humidityColor1"><span class="reading"><span
id="ESP32_01_Humd1"></span> &percent;</span></p>
  <h4 class="humidityColor2"><i class="fas fa-tint"></i> HUMEDAD
B</h4>
    <p class="humidityColor2"><span class="reading"><span
id="ESP32_01_Humd2"></span> &percent;</span></p>

<!--
***** -->

  </div>

<!--
=====
===== -->

<!--      ==      MONITORING2
=====
===== -->
<div class="card">
  <div class="card header">
    <h3 style="font-size: 1rem;">SENSORES</h3>
  </div>

  <!-- Displays the humidity and temperature values received
from ESP32. *** -->
  <h4 class="humidityColor3"><i class="fas fa-tint"></i> HUMEDAD
C</h4>
    <p class="humidityColor3"><span class="reading"><span
id="ESP32_01_Humd3"></span> &percent;</span></p>
  <h4 class="humidityColor4"><i class="fas fa-tint"></i> HUMEDAD
D</h4>

```

```

        <p class="humidityColor4"><span class="reading"><span
id="ESP32_01_Humd4"></span> &percent;</span></p>
                                                                    <!--
***** -->

        </div>
                                                                    <!--
=====
===== -->

        </div>
    </div>

    <br>

    <div class="content">
        <div class="cards">
            <div class="card header" style="border-radius: 15px;">
                <h3 style="font-size: 0.7rem;">ÚLTIMA VEZ RECIBIDO DATOS
DE ESP32 [ <span id="ESP32_01_LTRD"></span> ]</h3>
                    <button onclick="window.open('recordtable.php',
'_blank');">Abrir tabla de registros</button>
                    <h3 style="font-size: 0.7rem;"></h3>
                </div>
            </div>
        </div>
    </div>
                                                                    <!--
=====
===== -->

<script>
    //-----
    document.getElementById("ESP32_01_Humd1").innerHTML = "NN";
    document.getElementById("ESP32_01_Humd2").innerHTML = "NN";
    document.getElementById("ESP32_01_Humd3").innerHTML = "NN";
    document.getElementById("ESP32_01_Humd4").innerHTML = "NN";
    document.getElementById("ESP32_01_LTRD").innerHTML = "NN";
    //-----

    Get_Data("esp32_01");

    setInterval(myTimer, 5000);

    //-----
    function myTimer() {
        Get_Data("esp32_01");
    }
    //-----

```

```

//-----
function Get_Data(id) {
  if (window.XMLHttpRequest) {
    // code for IE7+, Firefox, Chrome, Opera, Safari
    xmlhttp = new XMLHttpRequest();
  } else {
    // code for IE6, IE5
    xmlhttp = new ActiveXObject("Microsoft.XMLHTTP");
  }
  xmlhttp.onreadystatechange = function() {
    if (this.readyState == 4 && this.status == 200) {
      const myObj = JSON.parse(this.responseText);
      if (myObj.id == "esp32_01") {
        document.getElementById("ESP32_01_Humd1").innerHTML =
myObj.humidity_s1;
        document.getElementById("ESP32_01_Humd2").innerHTML =
myObj.humidity_s2;
        document.getElementById("ESP32_01_Humd3").innerHTML =
myObj.humidity_s3;
        document.getElementById("ESP32_01_Humd4").innerHTML =
myObj.humidity_s4;
        document.getElementById("ESP32_01_LTRD").innerHTML = "Time
: " + myObj.ls_time + " | Date : " + myObj.ls_date + " (dd-mm-yyyy)";
      }
    }
  };
  xmlhttp.open("POST", "getdata.php", true);
  xmlhttp.setRequestHeader("Content-type", "application/x-www-
form-urlencoded");
  xmlhttp.send("id="+id);
}
//-----

//-----

//-----

//-----
</script>
</body>
</html>

```

Código Esp32

```

//===== Including the libraries.
#include <WiFi.h>
#include <HTTPClient.h>
#include <Arduino_JSON.h>
#include "DHT.h"

```

```
//=====

// variables de rele
byte rele = 16;

// libreria
#include <Arduino.h>

// Defines the Digital Pin of the "On Board LED".
#define ON_Board_LED 2

//===== SSID and Password of your WiFi
router.
const char* ssid = "INFOCORE";
const char* password = "tete2021*";
//=====

//===== Variables for HTTP POST request
data.
String postData = ""; //--> Variables sent for HTTP POST request data.
String payload = ""; //--> Variable for receiving response from HTTP POST.
//=====

//variable sensor de suelo
int SensorPin1 = 33;
int SensorPin2 = 32;
int SensorPin3 = 35;
int SensorPin4 = 34;

int send_Humd_s1=0;
int send_Humd_s2=20;
int send_Humd_s3=30;
int send_Humd_s4=40;

//
____ VOID SETUP()
void setup() {
    // put your setup code here, to run once:

    Serial.begin(9600); //--> Initialize serial communications with the PC.

    // initialize el pin del rele como salida rele
    pinMode(rele, OUTPUT);
}
```

```

pinMode(ON_Board_LED,OUTPUT); //--> On Board LED port Direction output.

digitalWrite(ON_Board_LED, HIGH); //--> Turn on Led On Board.

delay(2000);

digitalWrite(ON_Board_LED, LOW); //--> Turn off Led On Board.

//----- Make WiFi on ESP32 in
"STA/Station" mode and start connecting to WiFi Router/Hotspot.
WiFi.mode(WIFI_STA);
WiFi.begin(ssid, password);
//-----

Serial.println();
Serial.println("-----");
Serial.print("Connecting");

//----- The process of connecting the
WiFi on the ESP32 to the WiFi Router/Hotspot.
// The process timeout of connecting ESP32 with WiFi Hotspot / WiFi Router
is 20 seconds.
// If within 20 seconds the ESP32 has not been successfully connected to
WiFi, the ESP32 will restart.
// I made this condition because on my ESP32, there are times when it
seems like it can't connect to WiFi, so it needs to be restarted to be able
to connect to WiFi.

int connecting_process_timed_out = 20; //--> 20 = 20 seconds.
connecting_process_timed_out = connecting_process_timed_out * 2;
while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    Serial.print(".");
    //..... Make the On Board Flashing
LED on the process of connecting to the wifi router.
    digitalWrite(ON_Board_LED, HIGH);
    delay(250);
    digitalWrite(ON_Board_LED, LOW);
    delay(250);
    //.....

    //..... Countdown
"connecting_process_timed_out".
    if(connecting_process_timed_out > 0) connecting_process_timed_out--;
    if(connecting_process_timed_out == 0) {
        delay(1000);
        ESP.restart();
    }
    //.....
}

```

```

//-----

    digitalWrite(ON_Board_LED, LOW); //--> Turn off the On Board LED when it
is connected to the wifi router.

    //----- If successfully connected to
the wifi router, the IP Address that will be visited is displayed in the
serial monitor
    Serial.println();
    Serial.print("Successfully connected to : ");
    Serial.println(ssid);
    //Serial.print("IP address: ");
//Serial.println(WiFi.localIP());
    Serial.println("-----");
    //-----

    delay(2000);
}
//_____

//_____

    VOID LOOP()
void loop() {

    //Humedad del suelo 1
    int humedad1 = analogRead(SensorPin1);
    Serial.println(humedad1);
    // Calcula el porcentaje de humedad usando la función map
    send_Humd_s1 = map(humedad1, 4095, 1600, 0, 100);
    if (send_Humd_s1>100){
        send_Humd_s1=100;
    }
    // Imprime el porcentaje de humedad en el monitor serial
    Serial.print("Humedad: ");
    Serial.print(send_Humd_s1);
    Serial.println("%");

    //Humedad del suelo 2
    int humedad2 = analogRead(SensorPin2);
    Serial.println(humedad2);
    // Calcula el porcentaje de humedad usando la función map
    send_Humd_s2 = map(humedad2, 4095, 1600, 0, 100);
    if (send_Humd_s2>100){
        send_Humd_s2=100;
    }
    // Imprime el porcentaje de humedad en el monitor serial

```

```

Serial.print("Humedad: ");
Serial.print(send_Humd_s2);
Serial.println("%");

//Humedad del suelo 1
int humedad3 = analogRead(SensorPin3);
Serial.println(humedad3);
// Calcula el porcentaje de humedad usando la función map
send_Humd_s3 = map(humedad3, 4095, 1600, 0, 100);
if (send_Humd_s3>100){
  send_Humd_s3=100;
}
// Imprime el porcentaje de humedad en el monitor serial
Serial.print("Humedad: ");
Serial.print(send_Humd_s3);
Serial.println("%");

//Humedad del suelo 1
int humedad4 = analogRead(SensorPin4);
Serial.println(humedad4);
// Calcula el porcentaje de humedad usando la función map
send_Humd_s4 = map(humedad4, 4095, 1600, 0, 100);
if (send_Humd_s4>100){
  send_Humd_s4=100;
}
// Imprime el porcentaje de humedad en el monitor serial
Serial.print("Humedad: ");
Serial.print(send_Humd_s4);
Serial.println("%");

//encendido o apagado de la bomba
if (send_Humd_s1<40 && send_Humd_s2<40 && send_Humd_s3<40 &&
send_Humd_s4<40){
  digitalWrite(rele, HIGH); // activar el rele'
}
else if (send_Humd_s1>90 && send_Humd_s2>90 && send_Humd_s3>90 &&
send_Humd_s4>90){
  digitalWrite(rele, LOW); // apagar el rele'
}

//----- Check WiFi connection status.
if(WiFi.status()== WL_CONNECTED) {
  HTTPClient http; //--> Declare object of class HTTPClient.
  int httpCode;    //--> Variables for HTTP return code.

  //..... Process to get LEDs data from
  database to control LEDs.
  postData = "id=esp32_01";

```



```

payload = "";

digitalWrite(ON_Board_LED, HIGH);
Serial.println();
Serial.println("-----getdata.php");
// In this project I use local server or localhost with XAMPP
application.
// So make sure all PHP files are "placed" or "saved" or "run" in the
"htdocs" folder.
// I suggest that you create a new folder for this project in the
"htdocs" folder.
// The "htdocs" folder is in the "xampp" installation folder.
// The order of the folders I recommend:
// xampp\htdocs\your_project_folder_name\phpfile.php
//
// ESP32 accesses the data bases at this line of code:
//
http.begin("http://REPLACE_WITH_YOUR_COMPUTER_IP_ADDRESS/REPLACE_WITH_PROJEC
T_FOLDER_NAME_IN_htdocs_FOLDER/getdata.php");
// REPLACE_WITH_YOUR_COMPUTER_IP_ADDRESS = there are many ways to see
the IP address, you can google it.
//
// But make sure that the IP
address used is "IPv4 address".
// Example :
http.begin("http://192.168.0.0/ESP32_MySQL_Database/Final/getdata.php");
http.begin("http://192.168.101.12/esp_sensores_p/getdata.php"); //-->
Specify request destination
http.addHeader("Content-Type", "application/x-www-form-
urlencoded"); //--> Specify content-type header

httpCode = http.POST(postData); //--> Send the request
payload = http.getString(); //--> Get the response payload

Serial.print("httpCode : ");
Serial.println(httpCode); //--> Print HTTP return code
Serial.print("payload : ");
Serial.println(payload); //--> Print request response payload

http.end(); //--> Close connection
Serial.println("-----");
digitalWrite(ON_Board_LED, LOW);
//.....

delay(1000);

```



```

    `time` time NOT NULL,
    `date` date NOT NULL,
    PRIMARY KEY (`id`)
) ENGINE=InnoDB DEFAULT CHARSET=utf8;

INSERT INTO `esp32_table_dht11_leds_update`(`id`, `humidity_s1`,
`humidity_s2`, `humidity_s3`, `humidity_s4`, `time`, `date`) VALUES
('esp32_01','0.00','0.00','0.00','0.00',NOW(),NOW())

CREATE TABLE `esp32_table_dht11_leds_record` (
    `id` varchar(255) NOT NULL,
    `board` varchar(255) NOT NULL,
    `humidity_s1` int(3) NOT NULL,
    `humidity_s2` int(3) NOT NULL,
    `humidity_s3` int(3) NOT NULL,
    `humidity_s4` int(3) NOT NULL,
    `time` time NOT NULL,
    `date` date NOT NULL,
    PRIMARY KEY (`id`)
) ENGINE=InnoDB DEFAULT CHARSET=utf8;
//----

```