



UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABI

FACULTAD CIENCIAS DE LA VIDA Y TECNOLOGIAS

CARRERA DE TECNOLOGIA DE LA INFORMACION

TEMA:

AUTOMATIZACION DE UN SISTEMA DE RIEGO CON CONTROL Y
MONITOREO REMOTO MEDIANTE UN AUTOMATA PROGRAMABLE PARA EL
MEJORAMIENTO DE LOS CULTIVOS DE CACAO EN LA FINCA “EL PASAJE”
DE LA PARROQUIA ALAJUELA DEL CANTÓN PORTOVIEJO

AUTOR:

ORTIZ MACÍAS CRISTHIAN MARCELO

CARRERA:

TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN

MODALIDAD DE TITULACIÓN

PROYECTO INTEGRADOR

TUTOR:

ING. HENRY NEURIO MERO BRIONES

PERIODO:

2025-2

Declaración expresa de autoría

Yo, Ortiz Macias Cristhian Marcelo, con cédula de identidad N° **131631307-9** declaro que el presente trabajo de titulación **“Automatización de un sistema de riego con control de monitoreo remoto mediante un autómatas programable para el mejoramiento de los cultivos de cacao en la finca “El Pasaje” de la parroquia Alajuela del cantón Portoviejo”** cumple con los requerimientos que la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí y la Facultad de Ciencias de la Vida Y Tecnología sugieren, cumpliéndose cada uno de los puntos expuestos y siendo meticuloso con la información presentada. A su vez, declaro que el contenido investigativo percibe el desarrollo y diseño técnico elaborado por la supervisión del tutor académico de designado. La argumentación, el sustento científico y los criterios vertidos, son de mi exclusividad autoría y responsabilidad.



Ortiz Macías Cristhian Marcelo

C.I.: 1314345149

E-mail: e1316313079@live.uleam.edu.ec

Telf:0991614142

	NOMBRE DEL DOCUMENTO: CERTIFICADO DE TUTOR(A).	CÓDIGO: PAT-04-F-004
	PROCEDIMIENTO: TITULACIÓN DE ESTUDIANTES DE GRADO BAJO LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	REVISIÓN: 1
		Página 3 de 127

Certificación del director de trabajo de graduación

En calidad de docente tutor de la Facultad de Ciencias de la Vida y Tecnología de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado preliminarmente el Trabajo de Integración Curricular bajo la autoría del estudiante **ORTIZ MACÍAS CRISTHIAN MARCELO**, legalmente matriculado en la carrera de tecnologías de la información, período académico 2025 (2), cumpliendo el total de 384 horas, cuyo tema del proyecto es *“Automatización de un sistema de riego con control de monitoreo remoto mediante un autómata programable para el mejoramiento de los cultivos de cacao en la finca “El Pasaje” de la parroquia Alajuela del cantón Portoviejo”*.

La presente investigación ha sido desarrollada en apego al cumplimiento de los requisitos académicos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico y en concordancia con los lineamientos internos de la opción de titulación en mención, reuniendo y cumpliendo con los méritos académicos, científicos y formales, y la originalidad de este, requisitos suficientes para ser sometida a la evaluación del tribunal de titulación que designe la autoridad competente.

Particular que certifico para los fines consiguientes, salvo disposición de Ley en contrario.

Manta, 22 de enero de 2026.

Lo certifico,



Ing. Henry Mero Briones, Mgs.
Docente Tutor
Facultad de Ciencias de la Vida y Tecnología
Carrera Tecnologías de la Información

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, deseo expresar mi más profundo agradecimiento a Dios, por brindarme la fortaleza, sabiduría y salud necesarias para culminar esta etapa tan significativa de mi vida académica. Su guía constante me permitió enfrentar y superar cada desafío con confianza y determinación.

A mi familia, por ser mi apoyo incondicional, mi motor y mi mayor fuente de inspiración. Gracias por cada sacrificio y por el amor que me motivó a perseverar en los momentos de mayor exigencia. Un reconocimiento especial a mi **tía y mi primo**, quienes con su aliento y presencia constante enriquecieron este camino.

Expreso mi especial gratitud al Ing. Henry Neurio Mero Briones. Sus valiosos conocimientos, paciencia y oportuna orientación fueron pilares fundamentales para el desarrollo de esta tesis. Gracias por su compromiso como tutor y por velar siempre por la excelencia de este proyecto.

Asimismo, extiendo mi gratitud a mis amigos y compañeros de estudio. Gracias por la compañía, el apoyo mutuo y los consejos que hicieron de este trayecto una experiencia enriquecedora y llevadera. Los momentos compartidos y sus palabras de aliento son recuerdos que guardaré con aprecio.

Finalmente, agradezco a todas aquellas personas que, de manera directa o indirecta, aportaron con su tiempo y conocimientos a la realización de este trabajo. A cada uno de ustedes, gracias por ser parte de este logro que hoy comparto con alegría.

Cristhian Marcelo Ortiz Macías

DEDICATORIA

A Dios, por ser mi guía y fortaleza en este camino. Gracias por brindarme la vida, por iluminar cada paso en los momentos de incertidumbre y por ser la fuente constante de paz y esperanza que me permitió culminar esta etapa.

A Odalys Sornoza, por ser el pilar fundamental que necesité para no rendirme. Gracias por tu respaldo constante y por esas palabras de aliento que transformaron mi cansancio en determinación.

A mi madre, Olga Macías, con profunda gratitud. Gracias por tu amor infinito, por la sabiduría que sembraste en mí y por estar presente en cada instante. Este logro es, en gran medida, el fruto de tu entrega.

A mi padre, Ángel Ortiz, por la seguridad que me brindaste. Gracias por confiar en mis capacidades y por motivarme a creer que cualquier meta, por alta que fuera, era alcanzable con perseverancia.

A mis hermanos, Alexis y Carlos Ortiz, por su ayuda práctica y sincera en cada paso de mi formación universitaria. Su presencia fue vital para concretar este objetivo.

A mi primo, Arnaldo Landazuri, por su fe inquebrantable en mis proyectos. Gracias por ser el primero en extenderme la mano y por tu apoyo constante en los momentos de necesidad.

A mi tía, Geoconga Macías, por su apoyo incondicional y su cuidado maternal. Tu preocupación y cariño constante te han convertido en una segunda madre para mí; gracias por estar siempre dispuesta a ayudar.

“El amor es paciente, es bondadoso; el amor no es envidioso ni presumido ni orgulloso, no se comporta con rudeza, no es egoísta, no se enoja fácilmente, no guarda rencor.”

1 corintios 13:4-7

Índice de Contenidos

Resumen	18
Abstract.....	19
CAPITULO I	20
1. Introducción.....	20
1.1. Presentación del tema	21
1.2. Ubicación y contextualización de la problemática	21
1.3 Planteamiento del problema	23
1.3.1 Problematicación	23
1.3.2 Genesis del problema.....	23
1.3.3 Estado actual del problema.....	23
1.4 Objetivos.....	24
1.4.1 Objetivo general	24
1.4.2 Objetivos específicos	24
1.5 Justificación	24
1.6 Impactos esperados.....	25
1.6.1 Impacto tecnológico	25
1.6.2 Impacto Social	26
1.6.3 Impacto Ecológico	26
CAPITULO II.....	27
2. Marco teórico de la investigación.....	27
2.1. Antecedentes Históricos	27

2.1.1.	Evolución de los sistemas de riego en la agricultura	27
2.1.2.	Antecedentes de investigaciones relacionadas	28
2.2	Definiciones conceptuales (Contexto teórico).....	28
2.2.1	Sistema de Riego	28
2.2.2.	Riego por aspersión	28
2.2.3.	Automatización.....	29
2.2.4.	Arquitectura IoT	29
2.2.5.	Autómata programable (PLC)	30
2.2.6.	Servidor físico con Node-RED.....	31
2.2.7.	Microcontrolador ESP32-WROOM-32.....	32
2.2.8.	MQTT	33
2.2.9.	Servidor en la nube	34
2.2.10.	Sensores	35
2.2.10.1.	Sensor de humedad HD-38.....	36
2.2.10.2.	Bomba centrífuga (Rong Long 2HP).....	37
2.2.11.	Protocolo WebSocket.....	37
2.2.12.	Guardamotor	39
2.2.13.	Cacao en Manabí	39
CAPITULO III.....		41
3.	Marco Investigativo.....	41
3.1	Introducción.....	41

3.1.1. Diseño	41
3.2. Población y muestra	41
3.2.1. Universo.....	41
3.2.2 Criterios Selección.....	42
3.3. Instrumento	42
3.3.1. Encuesta Digital.....	42
3.3.2. Validación del contenido.....	42
3.4. Procedimiento de la recolección de datos.....	43
3.4.1. Coordinación con dueños de fincas	43
3.4.2. Lanzamiento de encuesta	43
3.4.3. Recopilación de los datos	44
3.5. Análisis de datos	44
3.5.1. Pregunta 1	44
3.5.2. Pregunta 2	46
3.5.3. Pregunta 3	47
3.5.4. Pregunta 4	49
3.5.5. Pregunta 5	50
3.5.6. Pregunta 6	51
3.5.7. Pregunta 7	53
3.5.8. Pregunta 8	54
CAPITULO IV	56

4.	Marco Propositivo	56
4.1.	Introducción.....	56
4.2.	Descripción de la propuesta.....	56
4.3.	Determinación de Recursos	57
4.3.1.	Humanos	57
4.3.2.	Tecnología.....	58
4.3.3.	Económico	60
4.4.	Etapas operativas para el desarrollo de la propuesta	63
4.4.1.	Enfoques metodológicos empleados en el desarrollo propuesto ...	63
4.4.2.	Aplicación de la metodología	67
	CAPITULO V.....	103
5.	Evaluación de resultados	103
5.1.	Introducción.....	103
5.2.	Presentación de resultados.....	103
5.2.1.	Resultados según los objetivos planteados	104
5.2.2.	Selección de sensores y librerías	109
5.2.3.	Establecimiento del sensor	109
5.2.4.	Configuración de comunicación (Wifi y WebSocket)	110
5.2.5.	Inicialización y lectura del sensor.....	110
5.2.6.	Transferencia de información al servidor	111
5.2.7.	Comprobación del enlace y comunicación	111

5.2.8. Transmisión y documentación de datos	112
5.2.9. Prueba de integración con la plataforma de Node-RED.....	114
5.2.10. Pruebas de estabilidad y robustes	117
5.3. Interpretación objetiva	118
CAPITULO VI	118
6. Conclusiones y Recomendaciones	118
6.1. Conclusiones.....	118
6.2. Recomendaciones	119
Bibliografía	121
Anexos	124

Índice de ilustraciones

Ilustración 1 Ubicación donde se efectuará la implementación del autómata programable.....	22
Ilustración 2 PLC.....	31
Ilustración 3. Node-RED	32
Ilustración 4.ESP32-WROOM-32	33
Ilustración 5. Protocolo de comunicación MQTT	34
Ilustración 6. Servidor en la nube- Microsoft Azure	35
Ilustración 7. Sensores	36
Ilustración 8. Sensor de humedad HD-38.....	37
Ilustración 9. Protocolo de comunicación WebSocket y HTTP	38
Ilustración 10. Guardamotor.....	39
Ilustración 11. Cacao de Manabí	40
Ilustración 12. Interpretación del inconveniente del sistema de riego manual...	45
Ilustración 13. Interpretación del impacto en la carga de trabajo semanal.....	46
Ilustración 14. Interpretación de la precisión sobre el agua	48
Ilustración 15. Importancia de supervisar el riego.....	49
Ilustración 16. Importancia de adoptar una solución tecnológica	51
Ilustración 17. Rentabilidad de adquirir un sistema automatizado	52
Ilustración 18. Interpretación de la afectación de la producción del cacao	53
Ilustración 19. preocupación del invertir un sistema de riego	55
Ilustración 20. Arquitectura de la solución presentada.	57

Ilustración 21. Validación de credenciales contra la base.....	71
Ilustración 22. Generación del token	71
Ilustración 23. Validación de campos obligatorios	72
Ilustración 24. Notificación Visual al usuario de error	72
Ilustración 25. Notificación visual de éxito	73
Ilustración 26. Redirección automática	73
Ilustración 27. Almacenamiento del token en LocalStorage	75
Ilustración 28. Verificación de expiración del token	75
Ilustración 29. Eliminación del token al cerrar sesión.....	76
Ilustración 30. Servidor que emite los eventos telemetría vía Websockets.	78
Ilustración 31. Servidor que emite los eventos telemetría via Websockets.	79
Ilustración 32. Servidor que emite los eventos telemetría via Websockets.	80
Ilustración 33. Servidor que emite los eventos telemetría via Websockets.	81
Ilustración 34. Servidor que emite los eventos telemetría via Websockets.	82
Ilustración 35. código en Arduino al ESP32.....	83
Ilustración 36. código en Arduino al ESP32.....	83
Ilustración 37. Flujo de Node-RED	84
Ilustración 38. conexión al WebSocket.....	85
Ilustración 39. Imagen de la conexión al ingresar al dashboard sin recargar pagina	85
Ilustración 40. Imagen porcentual de la humedad del suelo y temperatura.....	86

Ilustración 41. Imagen cuando no se detecta las lecturas recientes en los sensores	86
Ilustración 42. Consulta automáticamente la temperatura al iniciar.....	88
Ilustración 43. Visualización de la temperatura ambiental en conjunto con el sensor de humedad	88
Ilustración 44. Imagen indicadora del estado del clima actual	89
Ilustración 45. Imagen del panel informativo del sensor.....	90
Ilustración 46. Validación de los parámetros con el flujo de datos.....	91
Ilustración 47. Donde recibe el comando web y transmite la activación del PLC mediante Node-RED.....	92
Ilustración 48. Botón de “Activar riego “funcional.....	93
Ilustración 49. Botón de “Detener riego” funcional	93
Ilustración 50. Control del envío del pulso.....	94
Ilustración 51. Pulso de activación manual	95
Ilustración 52. Pulso de desactivar manual.....	96
Ilustración 53. Pulso de activación automática.....	96
Ilustración 54. control del nivel de humedad.....	97
Ilustración 55. Monitoreo continuo del flujo de datos.....	98
Ilustración 56. Cambio de activo automático al entrar al umbral	99
Ilustración 57. Detección de fallos de red	100
Ilustración 58. Alerta toast indicando el fallo de la conexión del servidor.....	101
Ilustración 59. Des habilitación de los botones de control de la bomba.....	101
Ilustración 60. Logs websocket desde el back.....	102

Ilustración 61 Imagen del sector agrícola	105
Ilustración 62 Imagen del sensor seleccionado	106
Ilustración 63. pruebas del sensor.....	107
Ilustración 64. Pruebas del sensor al enviar datos	108
Ilustración 65. Ensamble de los componentes	108
Ilustración 66. Librerías necesarias	109
Ilustración 67. definición de sensores.....	109
Ilustración 68. Inicialización del WebSocket.....	110
Ilustración 69. Lectura del sensor	110
Ilustración 70. Envío de datos vía Websocket	111
Ilustración 71. Comprobación del enlace	112
Ilustración 72. Comprobación de respuesta en Node-RED	113
Ilustración 73 Imagen de la base de datos	114
Ilustración 74. Datos de temperatura	115
Ilustración 75. Datos de humedad	116
Ilustración 76. Datos del estado de la bomba	116
Ilustración 77. Estado del sensor	117
Ilustración 78 Imagen de las piezas para el tablero	124
Ilustración 79 Pruebas del medidor de humedad	124
Ilustración 80 Instalación y fijación al tablero.....	125
Ilustración 81 Imagen del lugar de implementación del sistema.....	125

Ilustración 82 Medición del sistema en funcionamiento	126
Ilustración 83 Imagen de la colocación del sistema en funcionamiento.....	127
Ilustración 84 Pruebas del funcionamiento de forma remota	127

Índice de Tabla

Tabla 1 Arquitectura funcional del sistema IoT.....	30
Tabla 2. Recurso humano y cargo.....	58
Tabla 3. Modelo de referencia y jerarquía de la arquitectura IoT,.....	59
Tabla 4. Recursos económicos para el tablero	60
Tabla 5. Recursos económicos para la implementación del sistema de riego	61
Tabla 6. responsable del proyecto.....	67
Tabla 7. Descripción del propósito de la visión del proyecto	68
Tabla 8. Desglose del Ciclo de Vida del Desarrollo: Hitos y Etapas	68
Tabla 9. Establecimiento de criterios de aceptación técnica.....	69
Tabla 10. Historia de Usuario 1	70
Tabla 11. Criterios de aceptación CA1	70
Tabla 12. Historia de Usuario2	74
Tabla 13. Criterios de aceptación CA2	74
Tabla 14. Historia de usuario 3	76
Tabla 15. Criterios de aceptación CA3	77
Tabla 16. Historia de usuario 4	87
Tabla 17. Criterios de aceptación CA4	87
Tabla 18. Historia de usuario 5	89
Tabla 19. Criterios de aceptación CA5	90
Tabla 20. Historia de usuario 6	91

Tabla 21. Criterios de aceptación CA6	92
Tabla 22.Historia de usuario 7	94
Tabla 23. Criterios de aceptación CA7	95
Tabla 24.Historia de usuario 8	97
Tabla 25. Criterios de aceptación CA8	98
Tabla 26. Historia de usuario 9	99
Tabla 27. Criterios de aceptación CA9	100

Resumen

La presente investigación aborda la ineficiencia hídrica y la alta carga operativa en el cultivo de cacao en la finca “El Pasaje”, ubicada en la parroquia Alajuela, Manabí donde predomina el riego manual basado en bombas de combustión. El objetivo general fue desarrollar un sistema de riego automatizado con control y monitoreo remoto mediante un autómata programable para optimizar el uso del agua. La metodología empleada tuvo un enfoque cuantitativo y de tipo aplicada, utilizando el marco de trabajo XP (Programación Extrema) para el desarrollo iterativo del sistema.

La solución tecnológica integra una arquitectura IoT robusta compuesta por un PLC LOGO para el control de una bomba 2 HP, un microcontrolador ESP32 para la adquisición de datos de humedad mediante un sensor HD-38, y el entorno de Node-RED como middleware para la orquestación de los datos. La información se centraliza en una infraestructura de nube con Microsoft Azure y su visualiza a través de un dashboard interactivo desarrollado en React + Vite, permitiendo la gestión remota y el análisis de históricos en una base de datos PostgreSQL.

Los resultados de las pruebas hecha en campo en enero de 2026 demostraron una sincronización de telemetría con baja latencia y una repuesta precisa de la bomba ante un umbral crítico del 40% de humedad del suelo. El diagnóstico inicial y la encuesta a 25 productores ratificaron que el 92% tiene un alto interés de adoptar estas soluciones debido a la significativa reducción del esfuerzo físico y la optimización del recurso hídrico. Se concluye que el sistema no solo tecnifica la gestión agrícola en la zona, sino que establece un modelo escalable hacia la agricultura 4.0 en el sector cacaotero en Manabí.

En conclusión, la arquitectura implementada constituye una solución técnica robusta que trasciende la gestión tradicional del agro, posicionándose como un modelo referente de Agricultura 4.0 para el sector cacaotero regional. El sistema no solo garantiza un ahorro del recurso hídrico y una mejora en la ergonomía laboral del agricultor, sino que sienta las bases para futuras innovaciones, como la integración analítica predictiva con inteligencia artificial, fortaleciendo así la competitividad y el desarrollo rural sostenible en la provincia de Manabí.

Abstract

This research addresses water inefficiency and high operational load in cacao cultivation at the “El Pasaje” farm, located in the Alajuela parish, Manabí, where manual irrigation based on combustion pumps prevails. The main objective was to develop an automated irrigation system with remote control and monitoring using a programmable logic controller (PLC) to optimize water use. The methodology employed a quantitative and applied approach, utilizing the XP (Extreme Programming) framework for the system's iterative development.

The technological solution integrates robust IoT architecture composed of a Logo PLC for the power control of a 2 HP pump, an ESP32 microcontroller for moisture data acquisition using the HD-38 sensor, and the Node-RED environment as middleware for data orchestration. Information is centralized in a cloud infrastructure with Microsoft Azure and visualized through an interactive dashboard developed in React + Vite, allowing for remote management and historical analysis in a PostgreSQL database.

Field test results conducted in January 2026 demonstrated low latency telemetry synchronization and a precise pump response to a critical soil moisture threshold of 40%. The initial diagnosis and the survey of twenty-five producers confirmed that 95% have a high interest in adopting these solutions due to the significant reduction in physical effort and water resource optimization.

In conclusion, the implemented architecture constitutes a robust technical solution that transcends traditional agricultural management, positioning itself as a benchmark model for Agriculture 4.0 in the regional cacao sector. The system not only guarantees water resource savings and improved labor ergonomics for the farmer but also lays the foundation for future innovations, such as the integration of predictive analytics with artificial intelligence, thereby strengthening competitiveness and sustainable rural development in the province of Manabí.

CAPITULO I

1. Introducción

Cuando hablamos de la agricultura es uno de los pilares fundamentales de la económica ecuatoriana, encontrando en la provincia de Manabí un lugar estratégico para el cultivo de cacao de exportación. Sin embargo, en zonas como la parroquia Alajuela la modernización tecnológica aun no es una tarea pendiente, en la finca “El Pasaje” la persistencia de métodos de riego manual y empíricos limitan el potencial productivo y deriva a lo que es un manejo ineficiente del recurso hídrico. Esta problemática no solo afecta la rentabilidad del cultivo, sino que esta impone una carga operativa extenuante para el agricultor, evidenciando la necesidad de migrar hacia sistemas inteligentes que aseguren la sostenibilidad y precisión en el campo.

Ante este escenario presentado, la presente investigación desarrolla e implementa una solución de lo que es agricultura 4.0 mediante la automatización del riego por aspersión, integrando una solidez de un controlador lógica programable mejor conocido por sus siglas PLC, con la versatilidad de microcontroladores como lo es el ESP32 para así poder capturar los datos de humedad en tiempo real. El sistema propone una gestión hídrica que combina lo que es la autonomía del control local con la flexibilidad de una plataforma web moderna, desarrollada en React + Vite, permitiéndole así al usuario supervisar y activar el flujo de agua de manera remota a través de una infraestructura segura en la nube

Con este enfoque técnico planteado, el proyecto busca validar como la digitalización de los procesos agrícolas optimiza el rendimiento hídrico y transforma las condiciones de trabajo en el predio, al sustituir la observación manual por decisiones basados en datos telemétricos, se establece un modelo tecnológico sólido y escalable que sirve como referencia para la tecnificación de otras fincas en la región. En última instancia, este trabajo no tan solo aspira a mejorar la producción del cacao, sino que también aspira a liderar la adopción de soluciones de ingeniería aplicadas que fortalezcan el desarrollo rural sostenible en Manabí.

1.1. Presentación del tema

AUTOMATIZACIÓN DE UN SISTEMA DE RIEGO CON CONTROL Y MONITOREO REMOTO MEDIANTE UN AUTOMATA PROGRAMABLE PARA EL MEJORAMIENTO DE LOS CULTIVOS DE CACAO EN LA FINCA “EL PASAJE” DE LA PARROQUIA ALAJUELA DEL CANTÓN PORTOVIEJO

1.2. Ubicación y contextualización de la problemática

Esta investigación tiene lugar en la finca “El Pasaje”, situada en la parroquia Alajuela del cantón Portoviejo, provincia de Manabí. Este espacio agrícola se dedica principalmente al cultivo de cacao y de otros cultivos, actividad que representa una fuente significativa de ingresos para sus propietarios. Sin embargo, enfrenta diversas limitaciones asociadas a la gestión del riego, el acceso al agua y las condiciones ambientales que dificultan el desarrollo óptimo de los cultivos.

La problemática que mantiene la finca “El Pasaje” situada en la parroquia Alajuela en el cantón Portoviejo, se fundamenta en una serie de condiciones geográficas del lugar como también técnicas que limitan severamente su capacidad productiva. Un factor crítico es la alta vulnerabilidad hidro climática del lugar ante desbordamiento estacional de un río colindante, este fenómeno natural no solo erosiona las áreas del terreno, sino que obliga a reducir el área de siembra para prevenir mayores daños, afectando directamente la planificación y el rendimiento proyectado del cultivo de cacao.

En la actualidad el lugar hídrico del predio presenta lo que es una marcada obsolescencia técnica, basándose en el esquema de extracción desde un pozo profundo de agua mediante una bomba de combustión lo que lo hace un proceso totalmente manual. Esta gestión rudimentaria conlleva una alta dependencia económica del combustible y más que en la actualidad en el Ecuador el combustible ha subido sus precios, sino que también genera un impacto ambiental negativo por emisores de CO₂. El sistema resulta técnicamente insuficiente debido a que la extensión del terreno supera el alcance efectivo de las mangueras, lo que provoca una distribución ineficiente del agua y deja zonas del cultivo en condiciones de estrés hídrico.

Esta ineficiencia se ve respaldada por el diagnóstico realizado por la zona, donde el 84% de los productores consultados califica el método manual como altamente

impreciso para cubrir las necesidades fisiológicas de la planta de cacao. A pesar de las características edafológicas en Alajuela son óptimas para este cultivo, la ausencia de dosificación precisa sumada a las incidencias de plagas locales compromete la sanidad vegetal y el bienestar físico de los operarios, quienes deben realizar esfuerzos extenuantes bajo condiciones climáticas adversas.

Frente a este estancamiento tecnológico, se propone una solución de ingeniería en tecnologías de la información basada en un PLC y una infraestructura IoT para control automatizado de una bomba centrífuga de 2 HP en un sistema de riego por aspersión. Mediante el uso del sensor HD-38, la protección de un guardamotor y el empleo de protocolos como MQTT y WebSocket, se logra un monitoreo remoto eficiente que optimiza el recurso hídrico en la finca “El Pasaje”. Esta implementación elimina el esfuerzo físico manual y reduce los costos operativos, validando la transición hacia la Agricultura 4.0 en el sector cacaotero de Manabí.

Ilustración 1 Ubicación donde se efectuará la implementación del autómata programable

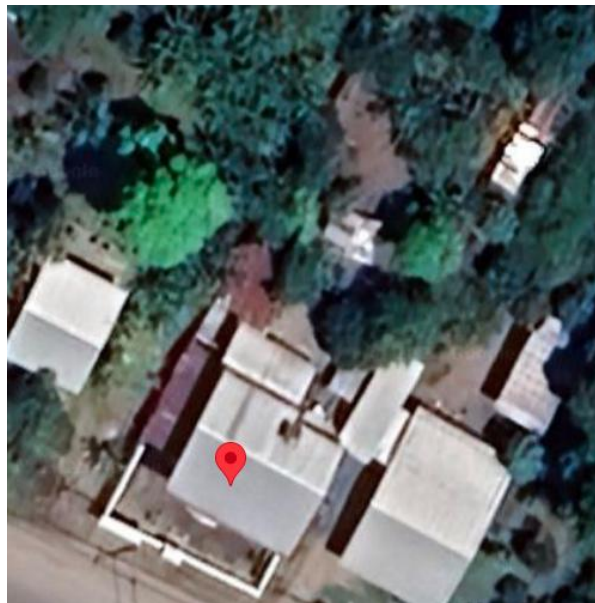


Ilustración 1. Ubicación del sitio

Nota: Imagen satelital de la finca “El Pasaje”

Fuente: Elaboración propia del autor

1.3 Planteamiento del problema

1.3.1 Problematicación

¿De qué manera la integración de un sistema de riego automatizado y monitoreo remoto basado en un autómata programable (PLC) optimiza la eficiencia hídrica y el desarrollo productivo del cacao en una finca?

1.3.2 Genesis del problema

Dentro del contexto agrícola de la parroquia Alajuela cantón Portoviejo, el riego de los cultivos de cacao se realiza de forma manual, utilizando una bomba de gasolina y mangueras que no logran cubrir todo el terreno de manera eficiente. Este proceso implica un esfuerzo físico considerable, genera costos por consumo de combustible y no permite un control preciso del uso del agua. Además, la finca ha sido afectada por la pérdida de terreno a causa del desbordamiento de un río cercano. Ante esta situación, se identifica la necesidad de implementar un sistema de riego automatizado con monitoreo remoto que optimice los recursos y mejore la productividad agrícola.

1.3.3 Estado actual del problema

Actualmente, en la finca “El Pasaje”, el suministro de agua para el cultivo de cacao se lleva a cabo mediante un sistema rudimentario que emplea una bomba de gasolina y mangueras, las cuales no abarcan de forma efectiva todo el terreno productivo. Esta limitación técnica provoca una distribución heterogénea del recurso, comprometido la uniformidad en el desarrollo de las plantas de cacao y generando zonas de estrés hídricos.

Esta limitación hace que no haya una distribución heterogenia del recurso hídrico, comprometiendo la uniformidad en el desarrollo de las plantas de cacao y generando zonas estrés hídrico. El proceso manual impone una carga física extenuante a los trabajadores por la necesidad de desplazamientos constantes, mientras que la dependencia de bombas de combustión eleva lo que son los costos operativos y genera un impacto ambiental negativo.

Ante este panorama, se evidencia la necesidad de introducir una solución tecnológica que permita automatizar el proceso, reducir el desgaste físico del personal, optimizar recursos y favorecer un manejo agrícola más sostenible.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Desarrollar un sistema de riego automatizado con control y monitoreo remoto mediante un autómata programable, para optimizar el uso del agua en los cultivos de cacao situada en la parroquia Alajuela, perteneciente al cantón Portoviejo.

1.4.2 Objetivos específicos

- Analizar las condiciones actuales y los requerimientos hídricos del cultivo de cacao en la finca “El pasaje”, para identificar las necesidades técnicas y operativas de la automatización.
- Diseñar la arquitectura del sistema de riego y la red de monitoreo remoto, seleccionando el autómata programable y sensor adecuado a las características del terreno.
- Desarrollar la lógica de control en el autómata y la interfaz de monitoreo, integrando los niveles de humedad del suelo para la gestión del flujo de agua.
- Validar el funcionamiento del sistema mediante pruebas de campo, evaluando la precisión del sensor, la estabilidad de la conexión remota y la optimización del uso del agua
- Capacitar a los usuarios de la finca en la operación, control y mantenimiento básico del sistema automatizado, asegurando el manejo correcto de la tecnología implementada.

1.5 Justificación

La necesidad de esta investigación surge en las obsolescencias técnicas de método de riego actual en la finca “El Pasaje”, ya que la extracción hídrica depende de motores de combustión interna, además de generar una huella de carbono negativa esta impone un elevado costo operativo sostenible debido al precio fluctuante del combustible y la necesidad de supervisión humana constante. Esta carencia de un control preciso sobre el caudal y la prioridad del riego afecta directamente ciclo fisiológico del cacao limitando así su productividad ante la posibilidad de satisfacer los requerimientos hídricos exactos.

Ante este escenario presentado, se justifica la transición hacia un modelo de agricultura de precisión mediante la implementación de un sistema de riego por aspersión tecnificado. La propuesta se fundamenta en una arquitectura robusta utilizando un PLC para el control de potencia de una bomba centrífuga de 2 HP, protegida por un guardamotor para asegurar la vida útil del equipo. El núcleo de la innovación viene de la mano con el ESP32-WROOM-32 para la captura de los datos de humedad mediante el sensor HD-38, enviando esta información vía protocolo MQTT y WebSocetk hacia el servidor gestionado en Node-RED.

Desde el punto de vista operativo la solución aporta versatilidad din precedentes a través de una plataforma web desarrollada en React. Esto permite no tan solo monitorear el estado en tiempo real, sino que también gestionar el riego de forma dual mediante una activación manual remota o de una lógica automatizada basada de un umbral de humedad del terreno. Esta digitalización minimiza el esfuerzo físico del operario, reduce el riesgo asociado a la falta de presencia física y establecen un modelo tecnológico escalable que posiciona a la parroquia Alajuela a la vanguardia de lo que es la innovación rural sustentable y la agricultura 4.0.

1.6 Impactos esperados

1.6.1 Impacto tecnológico

La transición hacia una gestión hídrica automatizada de riego con monitoreo remoto mediante un autómata programable representa un avance significativo en la aplicación de tecnologías inteligentes al ámbito agrícola rural. Este proyecto facilitará el control eficiente del recurso hídrico en la finca “El Pasaje”, integrando sensores y automatización para mejorar la productividad del cultivo de cacao.

La adopción de este tipo de soluciones tecnológicas en zonas agrícolas abre nuevas oportunidades para modernizar procesos, reducir la dependencia de métodos tradicionales y fomentar la transferencia de conocimiento técnico hacia los pequeños y medianos productores.

1.6.2 Impacto Social

Desde el punto de vista social, la automatización del riego disminuirá el esfuerzo físico requerido por los trabajadores, mejorando sus condiciones laborales y reduciendo el tiempo destinado a esta actividad. Asimismo, promoverá el uso de tecnologías accesibles y sostenibles dentro de comunidades rurales, lo cual puede motivar a otros agricultores a incorporar soluciones similares.

Además, el desarrollo de este sistema permitirá fomentar capacidades técnicas entre los involucrados, fortaleciendo la innovación local y la autosuficiencia tecnológica.

1.6.3 Impacto Ecológico

El proyecto contribuirá al uso racional del agua, evitando su desperdicio y reduciendo la dependencia de fuentes no sostenibles como el uso constante de bombas a gasolina. Al implementar un sistema de riego más preciso, se protegerá el suelo de la sobre humectación, se disminuirá la erosión y se promoverá una agricultura más limpia.

A largo plazo, este tipo de soluciones puede convertirse en un modelo replicable para otras fincas, favoreciendo prácticas más amigables con el medio ambiente y alineadas con los principios de sostenibilidad agrícola.

CAPITULO II

2. Marco teórico de la investigación

2.1. Antecedentes Históricos

2.1.1. Evolución de los sistemas de riego en la agricultura

El riego es un de las prácticas más antiguas y fundamentales para la producción de alimentos. Desde la antigüedad, las civilizaciones han desarrollado métodos rudimentarios como canales de irrigación o sistemas de inundación para garantizar el abastecimiento de agua a sus cultivos. La evolución de la ingeniería hidráulica aplicada al agro ha transitado desde métodos gravitacionales rudimentarios, como el riego por surcos, hacia sistemas de alta eficiencia como la aspersión y, más recientemente, el riego por goteo localizado. En el contexto rural de Ecuador, y específicamente en la provincia de Manabí, persiste una brecha tecnológica significativa donde el riego manual (dependiendo de bombas de combustión) sigue siendo el estándar, lo que deriva en una gestión ineficiente del recurso hídrico y una elevación crítica de los costos de producción.

Esta investigación propone romper con dicho paradigma mediante la integración de tecnologías emergentes de la cuarta revolución industrial (4.0). La tecnificación de la finca no se limita a la instalación de una red hidráulica esta consiste en la implementación de un ecosistema de automatización que optimiza el recurso hídrico. Al cambiar lo empírico en la observación por un monitoreo digital mediante sensor un sensor de humedad y microcontroladores, se logra una mejor respuesta ya que estas nos permiten ser más técnica y precisa frente al estrés hídrico en el cultivo del cacao.

La integración del PLC para lo que es el control de la bomba centrífuga permite migrar del riego manual hacia un modelo de precisión distribuido por aspersión, en este esquema la activación del sistema se gestiona bajo parámetros técnicos ya previamente definidos en la plataforma web, que se comunica en tiempo real con la nube de Microsoft Azure y el entorno de Node-RED garantizando una administración de agua eficiente, segura y supervisada. Investigaciones recientes destacan que la tecnificación del riego en fincas ecuatorianas permite deducir pérdidas de agua por evaporación y escorrentía, incrementando los rendimientos y promoviendo la sostenibilidad (DAYAAN, 2023)

2.1.2. Antecedentes de investigaciones relacionadas

La investigación aplicada en universidades ecuatorianas muestra la relevancia del riego automatizado en contextos agrícolas. En la universidad Politécnica Salesiana se diseñó un sistema de riego con autómatas programables (PLC) y sensores de humedad que permitió mejorar la precisión del suministro de agua, reduciendo la intervención manual (Juan Carlos Vásquez Cuzco, 2013). Por su parte, la ESPOL desarrolló un proyecto de automatización para el cultivo de cacao utilizando microcontroladores PIC y válvulas controladas electrónicamente, confirmando que la integración de estas tecnologías no solo mejora la eficiencia hídrica, sino que también disminuye el esfuerzo físico de los trabajadores (Molina Aquino, 2015)

2.2 Definiciones conceptuales (Contexto teórico)

2.2.1 Sistema de Riego

Un sistema de riego es un conjunto de elementos diseñados para proporcionar agua a los cultivos de manera controlada y eficiente. (“¿Qué es un sistema de riego y cuáles son sus beneficios?”) Este puede variar desde sistemas manuales hasta configuraciones completamente automatizadas que integran sensores de humedad, caudalímetros y electroválvulas. En el caso de sistemas automatizados, la ventaja radica en que permiten aplicar el agua de acuerdo con las necesidades específicas del cultivo, evitando tanto déficit como el exceso de humedad en el suelo. Según (Carrera et al., 2019), el uso de los sensores en sistemas de riego de cacao permite garantizar que las plantas

2.2.2. Riego por aspersión

El riego por aspersión define como un sistema de distribución presurizada en el cual el agua es conducida a través de una red de tuberías y expulsada al aire mediante emisores (aspersores), fragmentando en gotas que caen sobre el terreno simulando una lluvia natural. Según (Martín-Benito, 2008), la característica distintiva de este método es que la lámina de agua infiltrada en el suelo no depende de la capacidad de infiltración del mismo como ocurre en el riego por gravedad, sino de la pluviometría diseñada en el sistema y del tiempo de operación de los equipos de bombeo.

Desde el punto de vista de la ingeniería, este sistema exige un cálculo hidráulico preciso para determinar la presión de trabajo en la boquilla, variable fundamental para asegurar el coeficiente de uniformidad (CU) en el cultivo. De acuerdo con (Martín-Benito, 2008), aunque la aspersión permite una mecanización eficiente y se adapta a topografías onduladas sin necesidad de nivelación, presenta limitaciones energéticas debido a la alta presión requerida y pérdida por evaporación ya arrastre cuando las condiciones de viento superan los umbrales de diseño, factores que deben ser mitigados mediante la automatización.

2.2.3. Automatización

La automatización en el ámbito agrícola se define como la aplicación de principios de ingeniería y sistemas de control para gestionar procesos productivos con mínima intervención humana. Según (Bolton, 2017), un sistema automatizado se fundamenta en la arquitectura de “lazo cerrado”, donde un controlador central (como un PLC) toma decisiones lógicas basándose en la retroalimentación constante de datos provenientes del entorno (sensores), ajustando la operación de los actuadores para mantener las condiciones deseadas.

En el contexto de la irrigación, la automatización implica la integración de hardware electromecánico y software de gestión para optimizar el uso del recurso hídrico. De acuerdo con la (*Versión resumida de El estado mundial de la agricultura y la alimentación 2022*, 2022), la transición de sistemas manuales a sistemas tecnificados permite aplicar el agua con una precisión volumétrica exacta, reduciendo las pérdidas por escorrentía o infiltración profunda.

2.2.4. Arquitectura IoT

El internet de las cosas (IoT) es una arquitectura tecnológica que conecta dispositivos físicos a través de internet, permitiendo recopilar y procesar datos en tiempo real. En agricultura, esta arquitectura se aplica al monitoreo de variables como humedad del suelo, temperatura ambiental y disponibilidad de agua, lo que permite tomar decisiones más acertadas sobre el riego. En proyectos realizados en la ESPOL, la implementación de IoT permitió integrar sensores como plataformas digitales y acceder a datos desde cualquier ubicación, mejorando la eficiencia del riego y reduciendo la

dependencia de la supervisión directa en campo (Juan Pablo Gutiérrez Sánchez Marcelo Joshue Sánchez Sánchez, 2023)

Tabla 1 Arquitectura funcional del sistema IoT.

ARQUITECTURA IOT	
Capa de Detección	Sensores y objetos físicos que permiten la obtención de datos.
Capa de Intercambio de Datos	Transmisión eficiente y transparente de datos a través de diversas redes de comunicación.
Capa de integración de la información	Procesamiento de la información obtenida, filtrado de datos no relevantes y conversión de información clave en conocimiento útil para servicios y usuarios finales.
Capa de servicio de aplicación	Da servicios de contenido a los usuarios.

Tabla 1. Arquitectura IOT

Nota: Tabla relacionado sobre la arquitectura IOT.

Fuente: Internet de las cosas (Jordi Salazar & Santiago Silvestre) ,*página 16*

2.2.5. Autómata programable (PLC)

El autómata programable o PLC (Programmable Logic Controller) es un dispositivo de control industrial que permite gestionar procesos a través de programas lógicos. En sistemas de riego, el PLC recibe datos de los sensores y envía señales de control a las bombas y electroválvulas. Su principal ventaja radica en su confiabilidad, capacidad de expansión y resistencia a ambientes hostiles. Según (Vásquez Cuzco Juan Carlos & Chamba Tenemaza Felipe de Jesús, 2013), los PLC representan una opción adecuada para la automatización agrícola porque reducen los errores humanos, mejoran la eficiencia de los procesos permiten un control en tiempo real.

Ilustración 2 PLC



Ilustración 2. PLC de la marca logo

Nota: imagen sobre el PLC

Fuente: (indutor Soluciones, 2025)

2.2.6. Servidor físico con Node-RED

Para la implementación local del sistema, se utilizará un servidor físico que tendrá el sistema operativo Linux Ubuntu. Esta plataforma de código abierto es reconocida en la industria por su estabilidad y arquitectura de seguridad robusta. Según (*Ubuntu Server Documentation*, 2025), Ubuntu ofrece un entorno de ejecución optimizado para servidores (Ubuntu Server), garantizando la gestión eficiente de los recursos del hardware y proporcionando soporte extendido (LTS) para actualizaciones de seguridad críticas. En el contexto de este proyecto, este sistema operativo permite mantener los servicios de comunicación activos de forma ininterrumpida actuando como el núcleo del procesamiento local en la finca.

Node-RED es una herramienta de programación visual basada en flujos que facilita la integración de dispositivos IoT y sistema de automatización. Cuando se implementa en un servidor físico, permite diseñar, monitorear y ajustar el funcionamiento de riego de manera sencilla e intuitiva. En proyecto agrícolas, se ha demostrado que esta herramienta permite integrar sensores de humedad y actuadores en tiempo real, brindando una solución escalable y de bajo costo para pequeños y medianos agricultores (Caisa Sánchez, 2022).

Ilustración 3. Node-RED

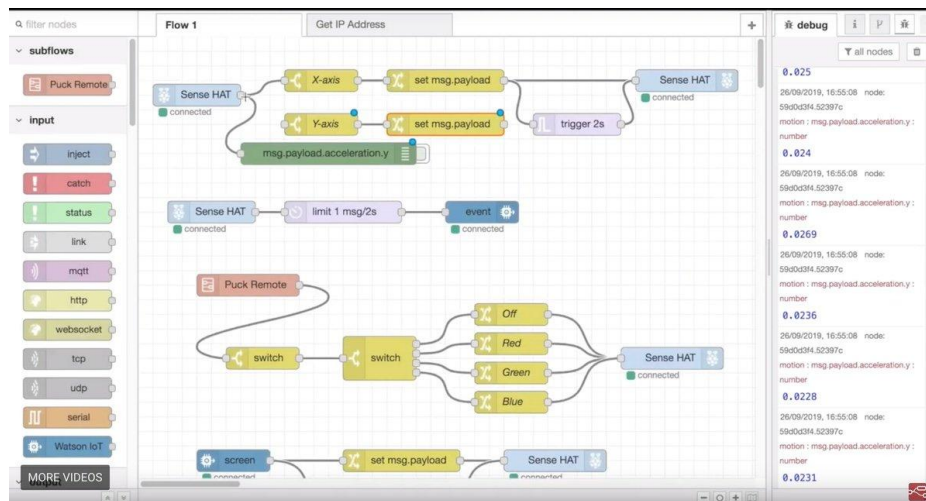


Ilustración 3. Interfaz de Node-RED

Nota: Interfaz de Node-RED

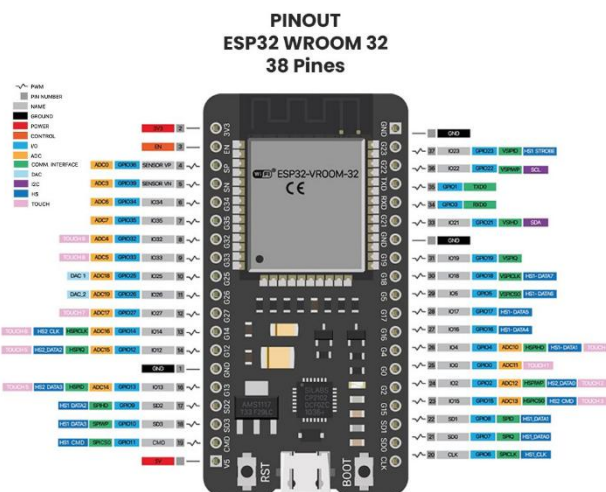
Fuente: (Simone, 2019)

2.2.7. Microcontrolador ESP32-WROOM-32

El ESP32-WROOM-32 es un módulo de alto rendimiento que integra un System on Chip (SoC) con conectividad Wi-Fi y Bluetooth de modulo dual (clásico y bajo consumo). Según la documentación técnica de (Espressif Systems, 2025), este dispositivo se basa en el microprocesador Xtensa Dual-Core de 32 bits LX6, diseñado específicamente para aplicaciones de baja potencia y soluciones de internet de la cosas (IoT), permitiendo el procesamiento de señales analógicas y digitales con una alta eficiencia energética.

En el diseño de sistemas de monitoreo agrícola, este microcontrolador actúa como el núcleo de adquisición y transmisión de datos. De acuerdo con el libro de (Torres Paredes et al., 2024) de la ESPOCH, la versatilidad de ESP32-WROOM-32 radica en su amplia gama de periféricos integrados, como sensores táctiles, sensores de efecto Hall e interfaces de comunicación (I2C, SPI, UART). Estas características facilitan la lectura en tiempo real del sensor de humedad HD-38 y el envío de paquetes de datos mediante el protocolo MQTT hacia el servidor central, garantizando una operación estable en

entornos rurales donde la optimización del consumo de batería y la potencia de transmisión inalámbrica son determinantes.



Nota: *imagen sobre ESP32-WROOM-32*

2.2.8. MQTT

Ilustración 5. Protocolo de comunicación MQTT

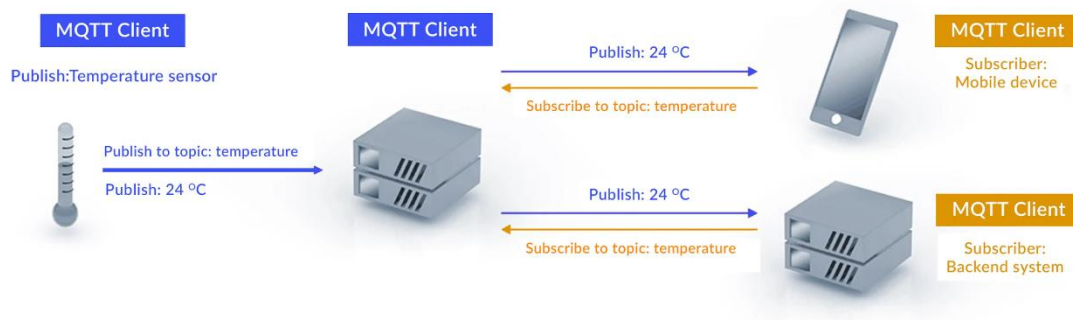


Ilustración 5. Protocolo de comunicación MQTT

Nota: En la presente imagen se observa el funcionamiento del protocolo MQTT

Fuente:(Drishya Manohar, 2024)

2.2.9. Servidor en la nube

El servidor en la nube se define como un modelo que permite el acceso ubicuo y bajo demanda a un conjunto compartido de recursos computacionales configurables (como redes, servidores y almacenamiento) que puedan ser gestionados con un esfuerzo mínimo de administración. Según (Mell & Grance, 2011), este paradigma es esencial para proyectos de internet de las cosas (IoT), ya que proporciona la infraestructura necesaria para la rápida disponibilidad de servicios y escalabilidad del sistema sin depender de hardware local limitado.

En el ámbito de la agricultura tecnificada, la integración de plataformas como Microsoft Azure actúa como un nodo central para la persistencia y análisis de datos. De acuerdo con (Giusti, 2013), el uso de arquitectura en la nube permite el procesamiento de grande volúmenes de telemetría provenientes de los sensores en campo, facilitando la creación de históricos y detección de anomalías operativas. Esta capacidad de computación remota es la que permite al agricultor supervisar el estado de su cultivo en tiempo real y accionar dispositivos de riego desde cualquier ubicación geográficas, garantizando una gestión proactiva y basada en datos precisos.

Ilustración 6. Servidor en la nube- Microsoft Azure

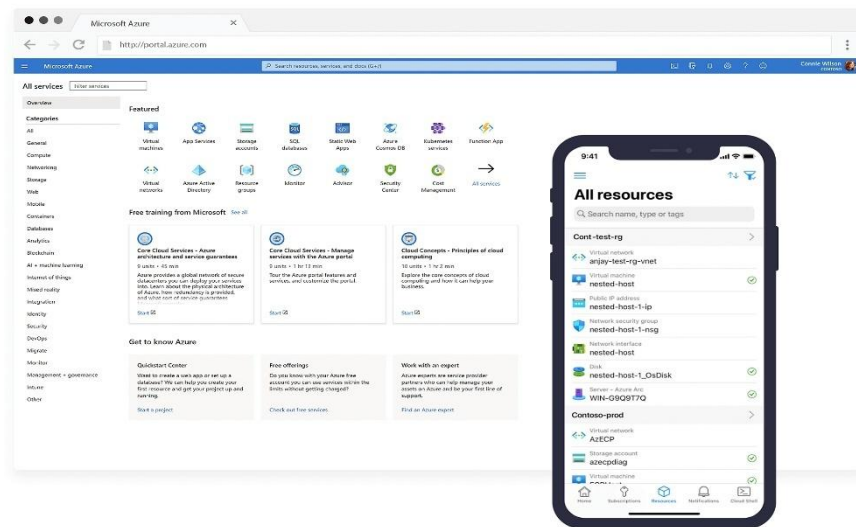


Ilustración 6. Interfaz de Microsoft Azure

Nota: Interfaz de Microsoft Azure

Fuente: (Microsoft, 2025)

2.2.10. Sensores

Los sensores son componentes fundamentales en un sistema de riego automatizado, ya que permiten medir variables críticas como humedad del suelo, temperatura, radiación solar y presión del agua. Su aplicación garantiza que el riego se ejecute con base en datos objetivos y no en precepciones humanas. Estudios recientes señalan que el uso de sensores en la agricultura de precisión puede incrementar la productividad de los cultivos en alrededor de un 20% y reducir el consumo de agua en un 30% a frente de los sistemas manuales (Raman et al., 2024, p.6)

Ilustración 7. Sensores



Ilustración 7. Sensores industriales

Nota: *Sensores industriales*

Fuente: (Glod, 2021)

2.2.10.1. Sensor de humedad HD-38

El sensor HD-38 es un dispositivo electrónico de tipo resistivo diseñado para la medición indirecta de contenido volumétrico de agua en el suelo. Su principio de funcionamiento se basa en la conductividad eléctrica del sustrato, el sensor consta de dos electrodos que actúan como sondas; al aumentar la presencia de agua en el suelo la resistencia eléctrica entre los electrodos disminuye, permitiendo el flujo de una mayor corriente que es procesada por un comparador analógico (frecuentemente un chip LM393).

De acuerdo con (Creus Solé, 2010), este tipo de transductores son fundamentales en la automatización de procesos, ya que permiten transformar una variable física en este caso, la humedad en una señal eléctrica (analógica o digital) que pueda interpretarse por un microcontrolador o PLC. En proyectos de agricultura de precisión, el uso de HD-38 permite establecer umbrales de activación automáticos, según la documentación técnica de (Espressif Systems, 2024), la integración de estos sensores con nodos ESP32 facilita la digitalización del campo, permitiendo que la lógica de control de sistema de riego responda en tiempo real a las condiciones hídricas detectadas en la zona radicular del planeta.

Ilustración 8. Sensor de humedad HD-38



Ilustración 8. Sensor de Humedad HD-38

Nota: Imagen de referencia del sensor de Humedad HD-38

Fuente: (SSDIELECT ELECTRONICA, 2026)

2.2.10.2. Bomba centrífuga (Rong Long 2HP)

La electrobomba se define como un equipo electromecánico integrado por un motor eléctrico y una bomba hidráulica, cuya función principal es el transporte de fluidos mediante la transformación de energía eléctrica en energía hidráulica. De acuerdo con (Lucino, 2022), en las bombas de tipo, este proceso ocurre cuando un impulsador rotativo transfiere energía cinética al agua, proyectándola hacia la periferia de la carcasa por fuerza centrífuga, lo que genera presión necesaria para vencer la resistencia de la tuberías y alcanzar los emisores de riego.

En el contexto de este proyecto, la especificación de 2 HP representa una capacidad de potencia del motor para movilizar el caudal requerido por la plantación de cacao. Según el manual de (Lucino et al., 2022) las electrobombas de superficie son ideales para sistemas de riego para sistemas de riego tecnificados, ya que permiten una instalación sencilla y una integración directa con dispositivos de control automático. Al ser accionada mediante un PLC, la bomba Rong Long permite gestionar con precisión los tiempos de encendido y apagado, asegurado que el suministro hídrico sea constante y se ajuste a la demanda del cultivo sin desperdicio de energía.

2.2.11. Protocolo WebSocket

WebSocket es un protocolo de comunicación que proporciona un canal de transmisión bidireccional y full-duplex a través de una única conexión TCP persistente.

A diferencia del protocolo HTTP tradicional, que se basa en un modelo de solicitud-respuesta de corta duración, WebSocket permite que el servidor envíe datos al cliente de forma proactiva sin esperar una petición previa. Según el estándar (Melnikov & Fette, 2011), este protocolo comienza con un protocolo de navegación (handshake) sobre HTTP para luego conmutar a una conexión dedicada, reduciendo drásticamente la latencia y el sobre costo de las cabeceras en cada envío de datos.

En el desarrollo de sistemas de monitorio en tiempo real, esta tecnología es la pieza clave para visualización dinámica de variables. De acuerdo con (Sathya & Swetha, 2025), la ventaja de utilizar webSockets en entornos de automatización en IoT radica en su capacidad para mantener un flujo constante de información con una ancho de banda optimizado. En este proyecto, la implementación de WebSockets permite que cualquiera fluctuación crítica detecta por los sensores en la finca de cacao sea reflejada instantáneamente en el panel de control del usuario, garantizando que la respuesta ante emergencias hídricas sea inmediata y basada en telemetría actualizada al segundo.

Ilustración 9. Protocolo de comunicación WerbSocket y HTTP

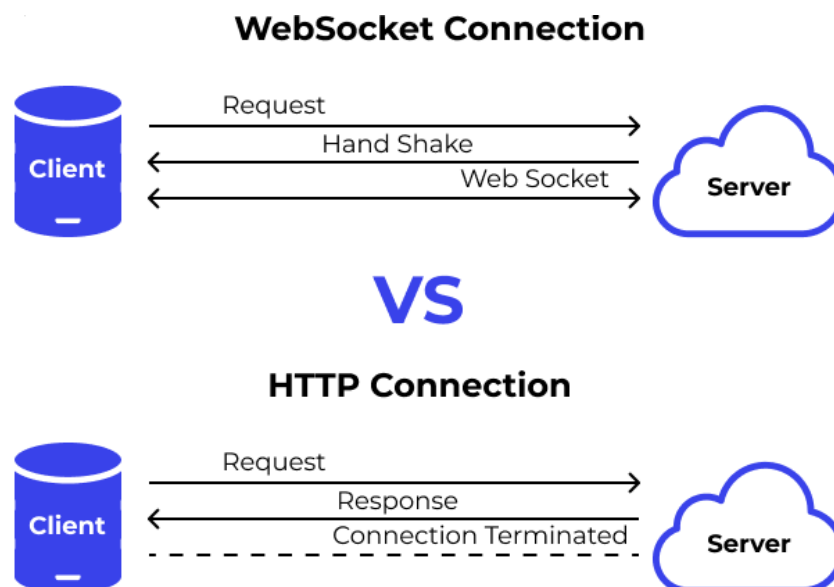


Ilustración 9. Protocolo de comunicación WerbSocket y HTTP

Nota: Imagen comparativa de los protocolos HTTP y WebSocket

Fuente: (Mukhadin Beschokov, 2025)

2.2.12. Guardamotor

El guardamotor se define como un dispositivo de protección integral, específicamente diseñado para el comando y protección de motores eléctricos de corriente alterna. De acuerdo con el (Schneider Electric, 2025b) , este equipo integra funciones de protección térmica contra sobrecargas y protección magnética contra cortocircuitos en un solo bloque compacto. Su característica técnica más relevante es la capacidad de regulación de la corriente nominal, lo que permite un ajuste preciso según las especificaciones de la placa del motor para evitar disparos en falso durante un arranque.

En el contexto de la automatización de riego, el guardamotor actúa como el elemento de maniobra y seguridad principal para la electrobomba. Según el (Schneider Electric, 2025), este dispositivo garantiza la selectividad de la protección, permitiendo que ante una falla en el motor, solo se desconecte el circuito afectado sin comprometer el resto del tablero de control. Su implementación es vital para prolongar la vida útil de los devanados de la bomba de 2HP, asegurando una respuesta inmediata ante la pérdida de una fase o bloque mecánico del motor.

Ilustración 10. Guardamotor



Ilustración 10. Guardamotor

Nota: imagen de referencia de un guardamotor

Fuente: (Guardamotor Pulsador, 2026)

2.2.13. Cacao en Manabí

El cacao es uno de los productos agrícolas más importantes de la provincia de Manabí y una de las principales fuentes de ingresos de las familias rurales. Sin embargo,

su producción se ve limitada por prácticas tradicionales que no permiten un manejo eficiente del agua ni del suelo. El Manual del Cultivo de Cacao Sostenible del INIAP (2022) señala que la implementación de sistema de riego tecnificado en cacao ha permitido mantener un nivel óptimo de humedad en el suelo, reducir el estrés hídrico y mejorar la calidad del grano. Por lo tanto, el uso de tecnologías de autorización en este cultivo representa una oportunidad para aumentar la productividad y garantizar la sostenibilidad del sector.

Ilustración 11. Cacao de Manabí



Ilustración 11. Cacao categoría CCN-51

Nota: Cacao categoría CCN-51

Fuente: (Informate manabí, 2024)

2.3 Conclusiones relacionadas al marco teórico

La revisión teórica demuestra que la automatización de sistemas de riego mediante el uso de PLC, IoT, sensores y electroválvulas constituye una solución viable y necesaria para mejorar la eficacia hídrica en cultivos de cacao en Manabí. Los antecedentes de proyectos realizados en universidades ecuatorianas evidencian que la integración de estas tecnologías contribuye a reducir costos, optimizar recursos y mejorar la productividad agrícola. Además, se destaca la relevancia de adoptar herramientas digitales como Node-RED y plataformas en la nube para el monitoreo remoto, lo cual fortalece la sostenibilidad y modernización del sector agrícola.

CAPITULO III

3. Marco Investigativo

3.1 Introducción

3.1.1. Diseño

El desarrollo de este estudio se sustenta de un enfoque cuantitativo, lo que nos permite orientar el análisis del objetivo de métricas de telemetría y a la evaluación de la eficiencia operativa del sistema automatizada. Siguiendo el criterios de (Hernández Sampieri & Mendoza Torres, 2018), este tipos de métodos son fundamentales para validar la factibilidad técnica de la propuesta mediante datos estructurados que permiten medir variables críticos como lo es la humedad del suelo captura por el sensor, los tiempos de respuestas del PLC y la percepción de los agricultores sobre la reducción de costos frente al uso de motores de combustión

En cuanto el alcance la investigación se define como descriptiva y aplicada, ya que nos permite caracterizar la situación tecnológica actual de los agrícolas en la parroquia Alajuela, detallando las deficiencias técnicas de los sistemas que emplean al bombear agua con bombas de combustión. Por otro lado, es aplicada debido a que propone una solución tecnológica directa mediante la implementación de un PLC marca Logo, una arquitectura de microcontroladores ESP32 y un backend en Python para optimizar la producción de cacao. Este diseño permite transformar el conocimiento teórico de la ingeniería de software en una herramienta funcional que mitiga el desgaste físico y el desperdicio de agua en el campo.

3.2. Población y muestra

3.2.1. Universo

El universo de la investigación está constituido por los propietarios y administradores de fincas agrícolas de la parroquia Alajuela, específicamente aquellos dedicados al cultivo de cacao CCN-51. El (Paredes Andrade et al., 2022) señala que esta variedad requiere un manejo hídrico estricto para mantener su alta productividad y

resistencia, lo que justifica la necesidad de una visión amplia sobre la optimización de los recursos en diversos contextos rurales de Manabí.

3.2.2 Criterios Selección

Para garantizar la pertinencia del estudio, se utilizó un muestreo no probabilístico intencional, basado en criterios de aceptación específicos:

- Unidades productivas que realizan el riego de forma rudimentaria con bombas de combustión interna.
- Productores con interés explícito en reducir costos operativos derivados del combustible.
- Disponibilidad de los dueños para la validación de la interfaz web React.

Un criterio innovador de este estudio es la ubicación del control. A diferencia de los sistemas tradicionales, esta investigación plantea que el riego pueda ser supervisado desde cualquier ubicación geográfica mediante una plataforma con autenticación segura, brindando tranquilidad ante ausencias por emergencias.

3.3. Instrumento

3.3.1. Encuesta Digital

Se utilizó un formulario técnico en Google Forms como el instrumento principal para este estudio. El diseño de este instrumento permite traducir las necesidades del campo en requerimientos funcionales de software, por ejemplo, se cuantifica la frecuencia de riego necesaria para integrarla posteriormente en la lógica de programación del encendido a través del backend para recibir el servidor. Según (Sommerville, 2011), la ingeniería de requerimientos es un proceso fundamental para descubrir y documentar las restricciones y servicios del sistema, garantizando que el diseño final satisfaga las demandas operativas del usuario en su entorno real.

3.3.2. Validación del contenido

Para garantizar la fiabilidad del instrumento, se realizó una validación de contenido mediante el criterio de expertos. La encuesta fue revisada por un ingeniero agrónomo con experiencia en el sector cacaotero y dos administradores de fincas de

Alajuela. Los evaluadores analizaron la claridad del lenguaje técnico y la relevancia de las preguntas frente al objetivo de automatización con el PLC Logo. Como resultado, se ajustó la terminología técnica para asegurar que la información obtenida reflejara con precisión la realidad del trabajo de campo.

3.4. Procedimiento de la recolección de datos

3.4.1. Coordinación con dueños de fincas

El primer paso para la recolección de datos fue establecer un contacto inicial y genera un vínculo de confianza con los agricultores de la región. Se realizó una visita preliminar a la finca “El Pasaje”, la cual sirvió como caso de estudio principal. Durante esta visita se explicó detalladamente a sus propietarios el objetivo de la investigación, el carácter confidencial de la información y los beneficios que la implementación de un sistema automatizado podría traer a su producción. Una vez obtenida su colaboración, se utilizó una técnica de muestro por bola de nieve, donde los dueños de “El Pasaje” actuaron como puente de comunicación para contactar a otros productores de cacao en la parroquia Alajuela y cantones cercanos. Este método fue fundamental para acceder a una red de agricultores con perfiles y problemáticas similares, asegurando una mayor receptividad y participación en el estudio.

3.4.2. Lanzamiento de encuesta

Para la distribución del instrumento, se optó por la plataforma Google Forms debido a su accesibilidad, nulos costos y su capacidad para centralizar y graficar los resultados de manera automática, optimizando el tiempo de análisis. El enlace a la encuesta se distribuyó a través de canales de comunicación directa, como WhatsApp, facilitando el acceso a los agricultores desde sus dispositivos móviles. Se estableció un periodo de recolección de dos semanas consecutivas, del (fecha aproximada por colocar) al (fecha aproximada por finalización), brindado a los participantes la flexibilidad de responder sus momentos de descanso, sin interrumpir sus exigentes jornadas de trabajo en el campo. Junto al enlace, se envió un breve texto introductorio explicando nuevamente el propósito del estudio y garantizando el anonimato de sus respuestas para fomentar la sinceridad en la información proporcionada.

3.4.3. Recopilación de los datos

Al finalizar el plazo establecido, se cerró la encuesta y se procedió a la tabulación de los datos, logrando consolidar un total de 25 respuestas validas. Si bien en términos estadísticos generales esta cifra podría parecer reducida, para el alcance de este proyecto se considera una muestra intencional y representativa. La selección de los participantes, compuesta por propietarios y productores activos de cacao en la parroquia Alajuela que dependen del sistema de riego manual esto hace que garantice la pertinencia técnica del diagnóstico realizado. Esto nos permite capturar la experiencia directa viendo los desafíos operativos con sus limitaciones. Con la obtención de las métricas nos proporcionara una base empírica sólida para identificar patrones críticos ineficientes. Por consiguiente, la información recolectada posee la fiabilidad necesaria para validar la hipótesis de la investigación.

3.5. Análisis de datos

A continuación, se presentará los gráficos y el análisis de las 8 preguntas de la encuesta aplicada a 25 dueños de fincas con cultivos de cacao. Los resultados cuantitativos reflejan las percepciones y desafíos actuales, y fundamentan la necesidad de la solución tecnológica propuesta.

3.5.1. Pregunta 1

Desde su perspectiva, ¿Cuál es el principal inconveniente del sistema de riego manual que utiliza actualmente?

La encuesta aplicada a 25 dueños de fincas sobre el principal inconveniente del riego manual en sus cultivos de cacao arroja resultados claros sobre los desafíos operativos y de recursos que enfrentan:

- 44% (11 encuestados) señalo que la pérdida de tiempo para otras labores, lo que videncia que el riego manual restas horas críticas a la gestión agrícola.
- 36% (9 encuestados) destaco el esfuerzo físico excesivo, subrayando el desgaste que genera la operatividad tradicional del lugar.

- 12% (3 encuestados) señalo el alto costo operativo, vinculando el método manual con el gasto recurrente que hace en combustible y la mano de obra.
- 8% (2 encuestados) menciono el desperdicio de agua, reconociendo la ineficiencia hídrica del sistema empírico actual.

Ilustración 12. Interpretación del inconveniente del sistema de riego manual

Desde su perspectiva, ¿Cuál es el principal inconveniente del sistema de riego manual que utiliza actualmente?

25 respuestas

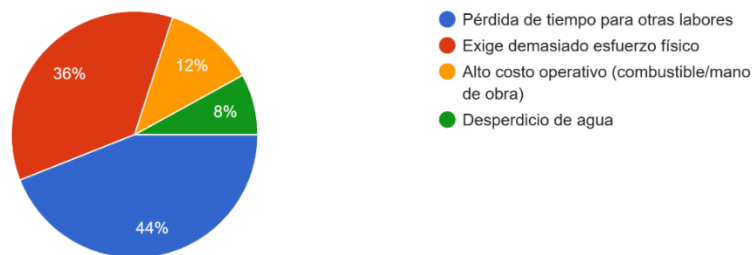


Ilustración 12. Principal inconveniente en riego

Nota: Principal inconveniente en riego

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación

El dato más revelador es que el 80% de los agricultores prioriza la pérdida de tiempo y el esfuerzo físico por encima de los costos directos. Esto no solo evidencia una tarea agotadora, sino que subraya una ineficiencia operativa sistémica con profundas implicaciones económicas. El tiempo invertido en el riego manual representa un alto costo de oportunidad, impidiendo que los agricultores se dediquen a labores críticas para la rentabilidad del cacao, como el control fitosanitario, la poda de formación, la fertilización o la gestión postcosecha. La solución propuesta, por lo tanto, no es un simple ahorro de trabajo; es una herramienta estratégica que libera el capital humano de la finca, permitiendo su reasignación hacia actividades de mayor valor agregado que impacta directamente en la calidad y el volumen de producción.

3.5.2. Pregunta 2

¿Cómo calificaría el impacto del riego manual en la carga de trabajo semanal de la finca?

El análisis sobre la carga de trabajo semanal revela de manera cuantitativa el significativo impacto que el riego manual tiene en la rutina y el esfuerzo de los agricultores encuestados:

- 48% (12 encuestados) categorizo este factor como “Extremadamente alto/Critico”, lo que sugiere que es una de las tareas más demandantes de toda la operación agrícola.
- 44% (11 encuestados) lo considero “Alto”, lo que aun representa una porción muy significativa de sus labores semanales.
- 8% (2 encuestados) lo calificó como “Moderado”, siendo una minoría que posiblemente cuenta con fincas más pequeñas o condiciones de humedad más favorables.

Ilustración 13. Interpretación del impacto en la carga de trabajo semanal

¿Cómo calificaría el impacto del riego manual en la carga de trabajo semanal de la finca?
25 respuestas

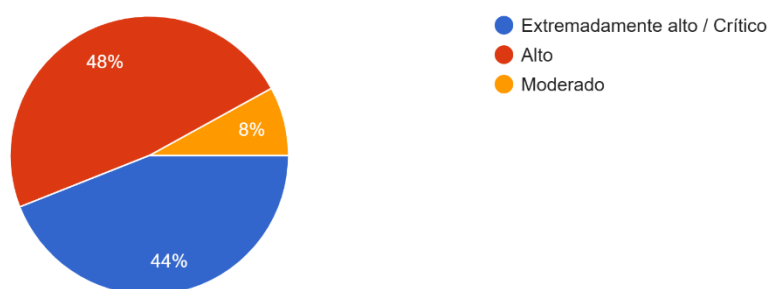


Ilustración 13. Impacto del riego manual en la semana

Nota: Impacto del riego manual en la semana

fuentes: Elaboración propia

Interpretación

Un contundente 92% de los encuestados califica la carga laboral del riego como “Alta “o “Extremadamente alta”. Este resultado cuantifica la percepción del problema, valiendo que el método actual es operativamente insostenible. Una carga de trabajo tan elevada y concentrada en una sola actividad no solo conduce al agotamiento físico del personal, sino que también aumenta el riesgo de errores humanos en otras áreas de la finca por falta de atención. La automatización propuesta se justifica como una necesidad para optimizar la gestión de recursos humanos, mejorar las condiciones laborales y establecer un flujo de trabajo más equilibrado y sostenible, lo cual es fundamental para la viabilidad de la finca a largo plazo.

3.5.3. Pregunta 3

¿Considera que el método manual permite control preciso sobre la cantidad de agua que recibe cada planta de cacao?

Al evaluar la gestión operativa en las unidades de producción de Alajuela, se examinó la capacidad de los productores para administrar volúmenes exactos de agua bajo el esquema manual vigente:

- 84% (21 encuestados) califico el sistema como” altanamente impreciso”, lo que ratifica que la intervención manual es limitada para el manejo técnico del recurso.
- 12% (3 encuestados) considero que la precisión se logra solo con dificultad, haciendo ver que el esfuerzo físico no garantiza una dosificación correcta.
- 4% (1 encuestado) reporto un control total del riego, representándose como un caso aislado frente a la falta de tecnificación predominante de la zona.

Ilustración 14. Interpretación de la precisión sobre el agua

¿Considera que el método manual permite un control preciso sobre la cantidad de agua que recibe cada planta de cacao?

25 respuestas

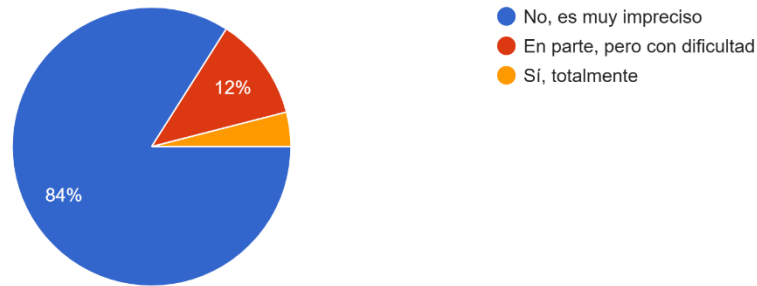


Ilustración 14. Consideran que el método manual permite un control optimo

Nota: Consideran que el método manual permite un control optimo

Fuente: Elaboración propia

Interpretación

Este alto índice de insatisfacción técnica (84%) valida la urgencia de implementar una solución de control automatizada. Al depender de un riego empírico, la plantación queda expuesta a fluctuaciones que, según (Paredes Andrade et al., 2022), derivan de estrés hídrico y degradan la calidad final de la almendra, afectando su contenido grasoy perfil de sabor. Desde la perspectiva de la ingeniera de software, (Sommerville, 2011) sostiene que la digitalización de requerimientos operativos busca sustituir procesos manuales propensos a fallas por sistemas automáticos capaces de mantener estados estables y predecibles. Así el uso de control en Python permite transformar una tarea de subjetiva en un proceso técnico auditable, garantizando un suministro de agua alineado con los parámetros de productividad exigidos para el cacao.

3.5.4. Pregunta 4

En una escala de 1 (No es necesario) a 5 (Esencial), ¿qué tan importante sería poder supervisar y activar el riego a distancia?

Para medir la pertinencia de una de las funcionalidades clave del proyecto, se consultó a los 25 agricultores sobre el valor que le otorgan a la capacidad de gestionar el riego de forma remota, obteniendo los siguientes resultados:

- 60% (15 encuestados) le colocó como “5 (esencial)”, considerando un elemento indispensable para la gestión moderna.
- 32% (8 encuestados) lo calificó como un “4”, señalando como una capacidad muy importante.
- 8% (2 encuestados) lo valoró con “3”, reconociendo su importancia, aunque no lo considere prioritario.

Ilustración 15. Importancia de supervisar el riego

En una escala de 1 (No es necesario) a 5 (Esencial), ¿Qué tan importante sería poder supervisar y activar el riego a distancia (ej. desde su celular)?

25 respuestas

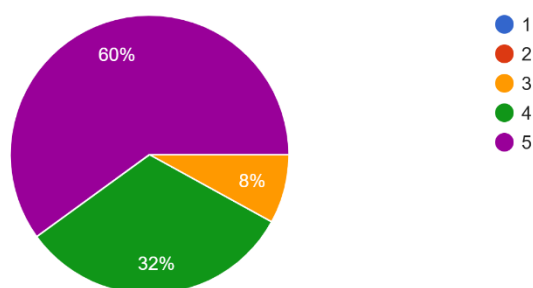


Ilustración 15. Importancia de monitoreo a través de un dispositivo

Nota: Importancia de monitoreo a través de un dispositivo

Fuente: Elaboración propia

Interpretación

La sumatoria del 92% en los niveles de importancia más altos evidencia que la gestión ubicua no es percibida como un complemento opcional, sino como una necesidad operativa crítica para el sector. Este resultado marca el fin del modelo de supervisión tradicional, el cual obliga al agricultor a estar físicamente presente para reaccionar ante cambios en el entorno. Al integrar la arquitectura IoT propuesta, el usuario transita de un rol de operario manual a uno de administrador de datos, permitiendo accionar la bomba tipo lápiz esto ante cualquier imprevisto climático. En definitiva, este hallazgo consolida al monitoreo remoto como el eje central de la solución, validando que el desarrollo de software en Python y React responde directamente a la demanda de flexibilidad y seguridad laboral en un campo.

3.5.5. Pregunta 5

¿Cuál es su nivel de interés en adoptar una solución tecnológica que automatice el riego para mejorar la eficiencia?

La disposición del sector agrícola hacia la modernización se evaluó consultado a los 25 productores sobre el nivel de interés en adoptar una solución tecnológica para la automatización, con resultados que muestran una clara apertura a la innovación-

- 68% (17 encuestados) manifestó un interés “Muy alto”, demostrando un entusiasmo proactivo hacia la modernización.
- 24% (6 encuestados) indicio un interés “Alto”, confirmando una fuerte predisposición a implementar la tecnología.
- 8% (2 encuestados) lo calificó como “Moderado”, mostrando una postura más cautelosa pero aun abierta.

Ilustración 16. Importancia de adoptar una solución tecnológica

¿Cuál es su nivel de interés en adoptar una solución tecnológica que automatice el riego para mejorar la eficiencia?

25 respuestas

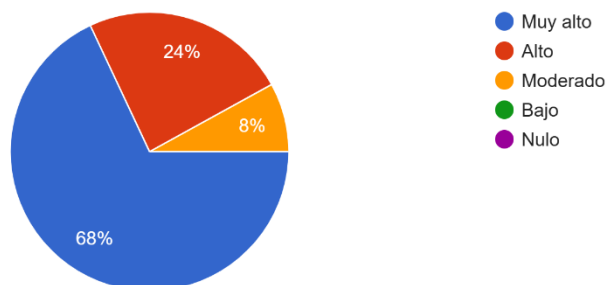


Ilustración 16. Interés en adoptar una solución tecnológica para el riego.

Nota: Interés en adoptar una solución tecnológica para el riego.

Fuente: Elaboración propia

Interpretación

Un 92% de los productores muestra interés “Alto” o “Muy alto” en la tecnología, lo que desmitifica la idea de que el sector agrícola tradicional es reacio al cambio. Por el contrario, estos datos demuestran que existen una demanda latente de innovación y que los productores son agentes proactivos en busca de soluciones que optimicen su trabajo. Esta alta receptividad es un indicador clave de la viabilidad social del proyecto, ya que se asegura un entorno favorable para su implementación, capacitación y futura adopción por parte de la comunidad, minimizando las barreras culturales al cambio.

3.5.6. Pregunta 6

Si una inversión en un sistema automatizado pudiera reducir los costos de mano de obra y agua en más de un 30%, ¿consideraría que es una inversión?

Para evaluar la viabilidad económica del proyecto desde la perspectiva del agricultor, la encuesta planteó un escenario de ahorro, y los 25 dueños de fincas respondieron sobre qué tan rentable considerarían la inversión:

- 64% (16 encuestados) lo visualiza como “Muy rentable”, viendo un claro beneficio económico y un rápido retorno de la inversión.
- 32% (8 encuestados) lo calificó como “Rentable”, reconociendo el valor financiero de la implementación.
- 4% (1 encuestado) le percibió como “Poco rentable”, representando una visión minoritaria y más escéptica.

Ilustración 17. Rentabilidad de adquirir un sistema automatizado

Si una inversión en un sistema automatizado pudiera reducir los costos de mano de obra y agua en más de un 30%, ¿consideraría que es una inversión?

25 respuestas

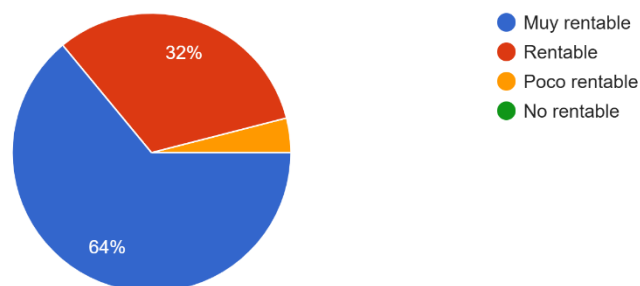


Ilustración 17. Imagen de la aceptación de la rentabilidad del sistema.

Nota: Imagen de la aceptación de la rentabilidad del sistema

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación

La percepción de rentabilidad se manifiesta con un 96% de los encuestados posiciona que la implementación del sistema no lo veo como un gasto técnico, sino como una inversión por parte de los productores, quienes identifican en la automatización una herramienta para optimizar los recursos y mejorar la rentabilidad de su espacio. Al fundamentarse en el ahorro proyectado de mano obra y en la gestión eficiente de agua. En última instancia, la aceptación masiva del sector confirma que la solución basada en PLC y monitoreo remoto es financiamiento coherente con las metas de sostenibilidad y crecimiento del gremio cacaotero en Manabí.

3.5.7. Pregunta 7

¿De qué manera cree que el riego manual actual (con su falta de precisión) afecta la salud o producción de sus plantas de cacao?

La encuesta profundizó en las consecuencias agronómicas del método actual, consultando a los 25 productores de qué manera perciben que la imprecisión del riego manual afecta la salud y la calidad de su producción de cacao:

- 72% (18 encuestados) reconoció un impacto negativo, confirmado que las deficiencias del riego manual afectan de manera sistemática todo el ciclo de rendimiento de la cosecha
- 16% (4 encuestados) se enfocó en el estrés hídrico de las plantas, viéndolo como le principal detonante del problema en el desarrollo fisiológico del cacao.
- 8% (2 encuestados) señaló la falta de uniformidad en el crecimiento, este factor hace que complique la planificación de las labores del campo.
- 4% (1 encuestado) advirtió la reducción de calidad y tamaño del fruto lo que se traduce como pérdida de competitividad.

Ilustración 18. Interpretación de la afectación de la producción del cacao

¿De qué manera cree que el riego manual actual (con su falta de precisión) afecta la salud o producción de sus plantas de cacao?

25 respuestas

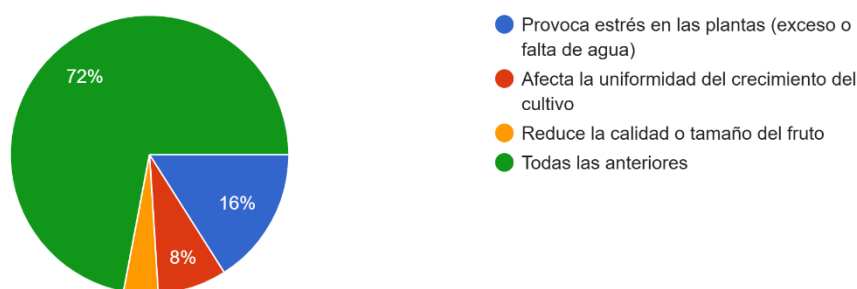


Ilustración 18. Imagen de la afectación de un riego no preciso del cacao.

Nota: imagen de la afectación de un riego no preciso del cacao

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación

La identificación de un impacto negativo sistemático por parte del 72% de la muestra confirma que el método manual representa un cuello de botella para la eficiencia productiva. El reconocimiento de la variabilidad que existe en el riego por parte de los productores confirma que el manejo manual compromete el desarrollo uniforme del cacao. Este escenario justifica la transición hacia un sistema de control automático, la implementación de la arquitectura IoT no solo se justifica por el ahorro de tiempo, sino como una solución técnica orientada a estabilizar las variables ambientales que garantizan la competitividad y el estándar de calidad exigido en el sector cacaotero.

3.5.8. Pregunta 8

¿Cuál sería su principal preocupación o barrera para invertir en un sistema de riego automatizado?

Finalmente, para entender los posibles obstáculos para la implementación de la tecnología, se preguntó a los 25 agricultores cuál sería su principal preocupación o barrera al momento de decidir invertir en un sistema automatizado:

- 76% (19 encuestados) señalo “El costo inicial de la instalación “como su principal preocupación.
- 12% (3 encuestados) menciono “El mantenimiento que podría requerir “.
- 8% (2 encuestados) indico “La flexibilidad de la tecnología”.
- 4% (1 encuestado) se preocupó por “La complejidad para aprender a usarlo”.

Ilustración 19. preocupación del invertir un sistema de riego

¿Cuál sería su principal preocupación o barrera para invertir en un sistema de riego automatizado?

25 respuestas

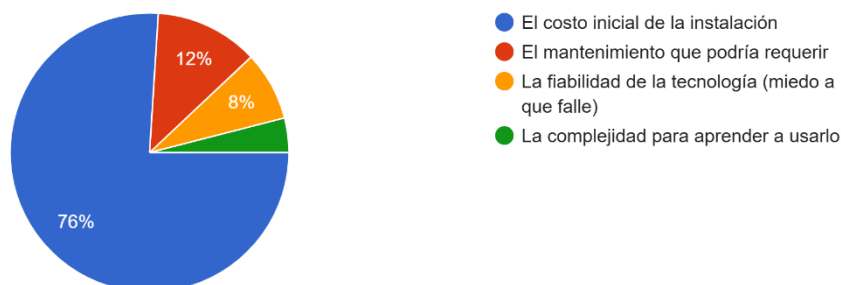


Ilustración 19. Imagen de la preocupación de la adquisición de un sistema

Nota: Preocupación de la adquisición de un sistema de riego automatizado

Fuente: Elaboración propia

Interpretación

El identificar el costo inicial (76%) como la barrera predominante es un hallazgo estratégico. Demuestra que el principal obstáculo para la modernización del sector no es la desconfianza en la tecnología, el miedo a su complejidad o el desinterés, sino una barrera puramente financiera. Este dato permite a la investigación concluir de manera muy efectiva: al haber establecido en las preguntas anteriores que el sistema es percibido como “muy rentable” y que mejora directamente la calidad de la producción, se puede construir un argumento sólido de que los beneficios económicos y productivos a mediano y largo plazo amortizan y superan la inversión inicial, respondiendo así a la principal inquietud de los agricultores.

CAPITULO IV

4. Marco Propositivo

4.1. Introducción

En el presente capítulo se detalla la propuesta técnica orientada al diseño e implementación de un sistema de riego por aspersión automatizada, con el fin de optimizar el consumo de recursos y mejorar la precisión operativa en el área de estudio. La solución planteada integra hardware de control industrial y una arquitectura de servidores (físicos o en la nube) para centralizar la gestión de datos, permitiendo una transición efectiva desde métodos manuales hacia un entorno de agricultura de precisión.

Esta solución técnica que se brinda responde a la necesidad de mitigar el desperdicio de agua y reducir la carga operativa manual, teniendo en cuenta los requerimientos identificados. Mediante la automatización de la bomba con el PLC y el monitoreo constante de la humedad, nos aseguramos una hidratación correcta del cacao, ofreciendo una herramienta robusta que nos garantiza la sostenibilidad hídrica y el control técnico del proceso de riego.

4.2. Descripción de la propuesta

La propuesta establecida del sistema de riego automatizado se fundamenta en una arquitectura de internet de las cosas (IoT) que integra de manera coordinada sensores, dispositivos de control industrial y plataforma de gestión de datos. A partir de la medición constante de la humedad del suelo mediante un sensor físico, el sistema identifica las necesidades hídricas del cultivo en tiempo real. Esta información se complementa con datos meteorológicos externos, específicamente la temperatura ambiental obtenida a través de servicios web, lo que permite al sistema ajustar su funcionamiento no solo basándose en el estado del suelo, sino también en las condiciones climáticas del entorno geográfico.

La automatización y el flujo de información se apoyan en el trabajo conjunto de un microcontrolador y un autómatas programable (PLC). El microcontrolador

actúa como el nodo de adquisición y transmisión, enviando los datos mediante protocolos de comunicación hacia un servidor físico que ejecuta una plataforma de orquestación de datos. En esta etapa, la información se procesa y se envía la orden de ejecución al PLC, al cual se encarga de controlar de forma segura la activación y desactivación de la bomba centrífuga. Este diseño asegura que el suministro de agua sea preciso y oportuno, protegiendo los componentes eléctricos mediante dispositivos de maniobra y seguridad.

Ilustración 20. Arquitectura de la solución presentada.

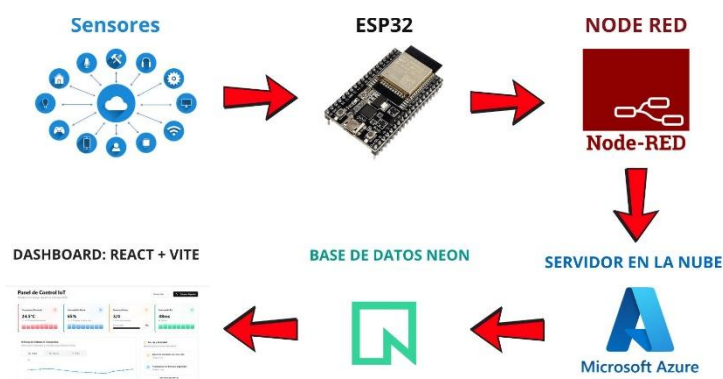


Ilustración 20. Planteamiento de la arquitectura pensada.

Nota: Imagen sobre el tipo de arquitectura para la solución

Fuente: Elaboración propia

Este enfoque tecnológico permite que el proceso de riego deje de depender de la intervención humana constante y de estimaciones subjetivas, minimizando errores operativos y optimizando el uso del recurso hídrico. Al centralizar la gestión en servidores físicos y en la nube, se facilita el monitoreo remoto y el análisis histórico de las variables, contribuyendo a una práctica agrícola más eficiente, sostenible y tecnificada, adaptada las exigencias del sector productivo.

4.3. Determinación de Recursos

4.3.1. Humanos

Para el desarrollo y ejecución de la presente propuesta, la responsabilidad de la planificación, implementación y control de las diversas fases del proyecto recae

de manera integral en el investigador. Al centralizar la gestión técnica y operativa, se asegura una coordinación directa en la ejecución de las actividades, que abarcan desde el diseño de la arquitectura de automatización hasta el despliegue de la infraestructura en la nube. Esta organización individual permite optimizar el uso de los recursos disponibles, agilizar la toma de decisiones y garantizar un avance ordenado y sistemático en cada etapa del proceso. De esta manera, se asegura el cumplimiento de los objetivos establecidos y la integridad técnica de la solución planteada, manteniendo una visión coherente durante toda la transición hacia el sistema de riego automatizado.

Tabla 2. Recurso humano y cargo

RECURSOS	CARGO
Ortiz Macias Cristhian Marcelo	Autor del trabajo de titulación sobre el tema, automatización de un sistema de riego con control y monitoreo remoto mediante un autómata programable para el mejoramiento de los cultivos de cacao en la finca “El pasaje” de la parroquia Alajuela del cantón Portoviejo
Ingeniero Mero Briones Henry Neurio	Guia del autor

Tabla 2. Recurso Humano y cargo

Nota: Tabla sobre el recurso humano y el cargo que desempeñara

Fuente: Elaboración propia por el autor

4.3.2. Tecnología

En la presente tabla se mostrará los recursos tecnológicos utilizados para el desarrollo y ejecución del presente proyecto curricular.

Tabla 3. Modelo de referencia y jerarquía de la arquitectura IoT,

RECURSOS	FUNCIÓN DEL RECURSO
Autómata programable (PLC)	Actuar como el núcleo de control industrial para gestionar de forma segura la activación de la bomba y ejecutar las rutinas de protección eléctrica.
Bomba eléctrica de agua (2 HP)	Realizar la impulsión física del recurso hídrico a la presión necesaria para el funcionamiento óptimo de los aspersores en el cultivo
Sensor de humedad HD-38	Capturar de forma analógica el nivel de humedad en el suelo para proporcionar los datos de entrada necesarios en la toma de decisiones del riego
Microcontrolador ESP32	Capturar los datos de campo y enlace inalámbrico para el envío de la información
Servidor físico (Ubuntu/ Node-RED)	Centralizar la orquestación de flujos de datos, integra la lógica de control local con servicios externos y peticiones climáticas
Protocolo MQTT	Gestionar el intercambio de mensajería liviana y eficiente entre los dispositivos en el campo y el servidor, garantizando baja latencia.
Servidor en la nube (Microsoft Azure)	Gestión de infraestructura virtual para el monitoreo y control remoto.
Base de datos (PostgreSQL)	Almacenamiento persistente y gestión de registros históricos de telemetría y los eventos
Protocolo WebSocket	Comunicación de forma bidireccional en tiempo real para la actualización instantánea de la interfaz

Aplicación Web (React + Vite)	Interfaz gráfica para poder visualizar las métricas y gestión del control remoto.
--------------------------------------	---

Tabla 3. Recursos tecnológicos y su funcionamiento

Nota: Tabla especificaciones y caracterización funcional de los recursos.

Fuente: Elaboración propia por el autor.

4.3.3. Económico

La siguiente tabla detalla la inversión económica requerida en hardware e insumos técnicos para el desarrollo de la arquitectura de control y monitoreo propuesta.

Tabla 4. Recursos económicos para el tablero

#	DESCRIPCIÓN	VALORES
1	LOGO PLC	181.56
2	TABLERO METALICO (40 X40)	35.01
3	RELAYS DE 8 PINES (4 UNIDADES)	15.79
4	BROCA CÓNICA ESCALONADA	12.90
5	CANALETA	4.59
6	BASE DE RELAY (4 UNIDADES)	4.17
7	PULSADOR VERDE PLÁSTICO	2.17
8	PULSADOR ROJO PLÁSTICO	2.14
9	SELECTOR 3P PLÁSTICO	1.96

10	RIEL OMEGA	1.21
11	LUZ PILOTO LED 22MM ROJA	1.05
12	LUZ PILO LED 2MM VERDE	0.99
13	TOTAL	263.54

Tabla 4. Recursos económicos para el tablero

Nota: Tabla sobre los recursos económicos para la elaboración del tablero

Fuente: Elaboración propia del Autor.

El desglose de costos detallado anteriormente especifica la inversión requerida en materiales e insumo para la fabricación del tablero de control. Donde la unidad centraliza el PLC y los dispositivos de protección, incorporando un selector de modo que este se habilita la gestión manual del riego. Dicha configuración nos garantiza la continuidad operativa del sistema directamente en campo, permitiendo así el accionamiento de la bomba incluso ante posibles contingencias en la infraestructura de red o la lógica automatizada.

Tabla 5. Recursos económicos para la implementación del sistema de riego

#	DESCRIPCIÓN	VALORES
1	BOMBA RONG LONG	344.00
2	PIQUETA INUM (650 UNIDADES)	156.00
3	MANGUERA 16MM (2 ROLLOS)	126.00
4	MANGUERA FLEX 2	99.00
5	MAGUERA 4-6MM (ROLLOS)	75.00

6	CABLE CONCÉNTRICO 2X10 M	70.43
7	VÁLVULA 50 MM	36.79
8	VÁLVULA ROSCADA 2	19.13
9	PEGA PVC WELDON	16.52
10	CONECTOR INICIAL 16MM	16.00
11	TAPÓN ANILLAR 16MM	16.00
12	CODO HG 2	7.39
13	ADAPTADOR FLEX M 2	6.00
14	TEE 50MM PVC	5.40
15	ACOPLE RAPIDO ALU 2	4.90
16	NEPLO HG 2X3	4.78
17	TOTAL	1003.34

Tabla 5. Inversión del proyecto.

Nota: *Tabla sobre los recursos económicos para implementación del sistema de riego.*

Fuente: *Elaboración propia por el Autor*

En la tabla mostrada anteriormente se detalla los recursos económicos utilizados para la implementación del sistema de riego, considerando los materiales hidráulicos, eléctricos y mecánicos necesarios para el funcionamiento correcto del sistema.

4.4. Etapas operativas para el desarrollo de la propuesta

4.4.1. Enfoques metodológicos empleados en el desarrollo propuesto

Para el desarrollo se aplicó la metodología XP para facilitar el desarrollo iterativo del sistema permitiendo así el refinamiento constante de la lógica del PLC y la interfaz web tras cada validación en campo. Este enfoque iterativo ayudo a facilitar el ajuste de los parámetros técnicos durante el despliegue de la arquitectura IoT, optimizando la integración del microcontrolador ESP32 conforme este se valida los nodos de transmisión. A diferencia de metodologías más rígidas, XP permitió priorizar la robustez del sistema y realizar ajustes progresivos en el código del Fronted (React + Vite) y la lógica de control conforme se evaluaba la respuesta del sensor y la bomba en condiciones reales.

4.4.1.1.Fase de inicio

En la fase se realizó un levantamiento de la información con base al proceso de riego manual empleado en el cultivo de cacao en la zona de Manabí, identificando las principales limitaciones relacionadas con la gestión ineficiente del recurso hídrico y la alta carga operativa requerida para la supervisión del terreno. Este análisis permitió establecer los requerimientos funcionales críticos, la medición de lo que es la humedad mediante el sensor físico, el monitoreo de temperatura ambiental y el gobierno de la bomba a través del PLC. Estos parámetros constituyen la base técnica para diseñar la arquitectura de servidores y lógica de control, esto nos asegura un desarrollo estructurado y progresivo de la propuesta tecnológica.

4.4.1.2.Fase de planificación y estimación

Con los requerimientos iniciales definidos, se procedió a organizar al desarrollo del sistema en pequeñas iteraciones, priorizando aquellas funciones consideradas críticas para el correcto funcionamiento del riego automatizado en el cultivo de cacao. En esta etapa se estimó el tiempo y los recursos necesarios para integrar el autómatas programable (PLC), el microcontrolador, el sensor de humedad y las plataformas de gestión de datos. La planificación se realizó de manera flexible, permitiendo reajustar actividades técnicas conforme se obtenía retroalimentación de

la comunicación entre los dispositivos de campo y la infraestructura de servidores durante las primeras pruebas de integración.

Hardware industrial e instrumentación de campo:

- **Logo PLC:** Núcleo de control industrial encargado de procesar la lógica de automatización y gestionar la potencia de la bomba de forma segura.
- **ESP32-WROOM-32:** Microcontrolador que gestionara las señales del sensor y la transmisión inalámbrica de telemetría mediante MQTT.
- **Servidor local (Ubuntu Server):** Orquesta el flujo de los datos locales y centraliza la comunicación con el servidor en la nube.
- **Sensor de humedad HD-38:** Registra los niveles de humedad del suelo para la toma de decisiones automatizadas del sistema.
- **Bomba centrífuga (Rong Long 2HP):** Suministra el caudal y la presión necesaria para garantizar la cobertura total del sistema de riego por aspersión.

Herramientas de desarrollo y software:

- **Node-RED:** Entorno de programación visual basado en flujos para integración IoT, utilizada para la orquestación de mensajes y la lógica de la integración entre el hardware y los servicios web.
- **React + Vite:** Framework para Desarrollo fronted y herramienta de construcción, optimizado para el despliegue de interfaces reactivas de baja latencia.
- **PostgreSQL:** Motor de base de datos relacional orientada a persistencia de datos históricos, asegurando integridad referencial.
- **Microsoft Azure:** Entorno de computación en la nube utilizado para orquestación y despliegue de la infraestructura de Backend.
- **Librerías y protocolos:** Conjunto de recursos de software necesarios para habilitar la comunicación MQTT y WebSockets, así como para la programación lógica del ESP32 y el PLC.

4.4.1.3.Fase de implementación

La fase de implementación se lo efectuó mediante la integración modular de los componentes tanto a nivel de hardware como el software. Se configuro el sensor para la captura de datos del entorno y se programaron los dispositivos de con el fin de ejecutar acciones de control ajustadas a las condiciones del campo. Previo a la fase de ensamble cada módulo fue probado individualmente antes de ser integrado al sistema completo, lo que permitió identificar errores menores y realizar correcciones inmediatas sin afectar al resto del desarrollo.

Montaje del hardware

- **Instalación de sensores:** Se procedió con la colocación del sensor de humedad HD-38 en puntos estratégicos del cultivo para asegurar representativas del estado hídrico del suelo.
- **Configuración del ESP32:** Se implemento al microcontrolador ESP32-WROOM-32, programado para digitar las señales del sensor y transmitir los datos mediante el protocolo MQTT hacia el servidor local.
- **Integración del Tablero de Control:** Se instalo el tablero metálico en la finca centralizando el PLC, los dispositivos de protección y la comunicación para la gestión directa de la bomba de 2 HP

Desarrollo de Software:

- **Orquestación en Node-RED:** Se diseño un flujo de trabajo en el servidor local que actúa como motor de reglas, gestionando la comunicación bidireccional mediante WebSockets hacia la VPS en Azure.
- **Interfaz Web (Fronted):** Se desarrollo un Dashboard interactivo utilizando React + Vite, permitiendo la visualización de datos climáticos y el control remoto del sistema con tiempo de carga optimizados
- **Persistencia de Datos:** Se configuro una base de datos PostgreSQL para el almacenamiento estructurado de los registros históricos de humedad, temperatura y eventos operativos del sistema.

Configuración de la conectividad:

- **Protocolos IoT:** Se implemento MQTT para garantizar como comunicación liviana y eficiente entre el hardware de campo y el flujo de trabajo en Node-RED.
- **Seguridad y Red:** La comunicación entre el servidor físico y la nube se aseguró mediante un túnel VPN configurado con Wireguard, permitiendo una interconexión privada y segura entre ambas infraestructuras.
- **Sincronización en tiempo real:** Se utilizo protocolo WebSocket para determinar el estado de las marcas del PLC y habilitar el encendido/apagado remoto desde la plataforma web.

Pruebas iniciales:

- **Verificación de Datos:** Se valido el correcto envío de lecturas desde el sensor y la actualización instantánea en la base de datos y la interfaz web.
- **Control de Potencia:** Se comprobó el encendido de las marcas lógicas del PLC y el estado real de la bomba a través de la lectura de la salida Q1, asegurando que la activación de realice exclusivamente cuando la humedad desciende del umbral establecido.
- **Integración Climática:** Se verifico la correcta recepción de datos de temperatura externos para complementar la toma de decisiones del ciclo de riego automatizado.

4.4.1.4.Fase de verificación

Durante la fase de verificación se ejecutaron pruebas continuas en campo para asegurar la operatividad del sistema en el entorno agrícola, se verifico la precisión de los datos de telemetría capturados por el sensor de humedad y la integración de datos meteorológicos externos, evaluando la repuesta de la lógica de control frente a diversos umbrales de humedad y el correcto accionamiento de la bomba. Estos ensayos nos permiten medir el desempeño que tiene la arquitectura IoT, facilitando ajustes en lo que corresponde en la programación del PLC y en la

configuración de los servicios de Azure para garantizar así la estabilidad y la eficiencia del sistema.

4.4.1.5.Fase de despliegue

Finalmente, el sistema fue puesto en funcionamiento en el entorno real del cultivo de cacao una vez que se comprobó su estabilidad técnica y correcto desempeño operativo. En esta etapa se supervisó el comportamiento de la arquitectura integral desde la adquisición de datos en campo hasta la visualización en la plataforma web, durante su operación continua, verificando que el ciclo de riego por aspersión se ejecutara de manera precisa según los niveles de humedad detectados y los parámetros configurados en el servidor. Gracias al enfoque incremental de la metodología XP, el sistema quedó preparado para futuras actualizaciones y escalabilidad, permitiendo su adaptación a nuevas demandas tecnológicas o del entorno sin requerir cambios estructurales significativos en la lógica de control o en la infraestructura de red.

4.4.2. Aplicación de la metodología

Tabla 6. responsable del proyecto

Nombre de proyecto:	Automatización de un sistema de riego con control de monitoreo remoto mediante un autómata programable para el mejoramiento de los cultivos de cacao en la finca “El Pasaje” de la parroquia Alajuela del cantón Portoviejo
Roles	
Desarrollador	Ortiz Macias Cristhian Marcelo
Director del trabajo de integración curricular:	Ingeniero Mero Briones Henry Neurio

Tabla 6. Responsable del proyecto

Nota: tabla sobre el responsable encargado del proyecto

Fuente: Elaboración propia por el Autor

4.4.2.1.Fase preliminar del proyecto

Tabla 7. Descripción del propósito de la visión del proyecto

Definición de la visión del proyecto
El presente proyecto se centra en el diseño e implementación de una arquitectura de riego automatizado por aspersión automatizado que integre tecnologías de internet de las cosas (IoT) y control industrial para optimizar el cultivo de cacao en la provincia de Manabí. Bajo un enfoque de estabilidad, el sistema integra el monitoreo de humedad del suelo y temperatura ambiental para estabilizar las condiciones del entorno agrícola. Esta automatización nos asegura un desarrollo fisiológico óptimo del cacao, mitigando los riesgos operativos y la ineficiencia hídrica asociados al riego manual.
Visión del proyecto: Ofrecer una solución tecnológica avanzada mediante el uso de un microcontrolador ESP32 un autómata programable (PLC) y una infraestructura en la nube con Microsoft Azure. El sistema facilitará la visualización en tiempo real a través de una interfaz web desarrollado por React + Vite y orquestación con Node-RED, brindando herramientas precisas para la toma de decisiones y la optimización en el sector agrícola.

Tabla 7. Descripción del propósito de la visión del proyecto

Nota: tabla de definición del alcance y prospectiva estratégica del proyecto.

Fuente: Elaboración propia del Autor.

Tabla 8. Desglose del Ciclo de Vida del Desarrollo: Hitos y Etapas

FASES	
Fase 1:	Análisis de requerimientos y diseño de la arquitectura de la red.
Fase 2:	Instalación de la infraestructura de riego y sistema de bombeo.
Fase 3:	Automatización con PLC, microcontrolador y sensores de campo
Fase 4:	Integración de la plataforma web y monitoreo en la nube.

Tabla 8. Cronograma de implementación incremental basado en XP

Nota: tabla referente a la definición de épicas o fases según Scrum

Fuente: Elaboración propia del autor.

Tabla 9. Establecimiento de criterios de aceptación técnica

Métricas de cumplimiento operativo	
Criterio de finalización 1:	Sobre la lógica de automatización debe ejecutarse completamente, asegurando que el PLC gestione la activación de la bomba de 2 HP según los niveles de humedad detectados
Criterio de finalización 2:	El dashboard web en React + Vite debe ser evaluado exhaustivamente, garantizando la visibilidad estable de los datos de la humedad y temperatura obtenida de la página web.
Criterio de finalización 3:	La validación correcta de los protocolos de comunicación (MQTT/WeSocket) constituye un requisito indispensable para el cierre técnico de cada ciclo incremental de desarrollo,
Criterio de finalización 4:	El firmware del ESP32 y los flujos en Node-RED optimizados, con gestión de errores y reconexión automático en la transmisión mediante el protocolo MQTT.
Criterio de finalización 5:	Configuración técnica final del túnel VPN y el esquema de conexión del tablero de control verificado para su operación segura.
Criterio de finalización 6:	Despliegue integral en Azure garantizando la interoperabilidad estable entre el hardware de campo y la interfaz web.

Tabla 9. Definición de los criterios de finalización

Nota: tabla de criterios de aceptación técnica.

Fuente: Elaboración propia

4.4.2.2. Gestión de identidad y Seguridad

El objetivo de esta sección es asegurar que el sistema de riego automatizado restrinja el acceso a las funciones de control críticas, permitiendo únicamente al investigador o personal autorizado gestionar la bomba de 2 HP y visualizar los datos del cultivo de cacao.

Tabla 10. Historia de Usuario 1

ID: US-01 Autenticación de Usuario	
Estimación: 3 pts.	Prioridad: Alta
Como	Usuario del Sistema.
Quiero	Autenticación de forma segura con el usuario y contraseña
Para	Restringir todo acceso no autorizado y no pueda manipular el sistema de riego

Tabla 10. Historia de usuario 1

Nota: tabla sobre la definición de la historia del usuario 1

Fuente: Elaboración propia del Autor.

Tabla 11. Criterios de aceptación CA1

Criterios de Aceptación		
	Área encargada	Descripción
[x]	Backend	Validación de credenciales contra la base de datos PostgreSQL
[x]	Backend	Emisión de un token JWT con validez de 24 horas tras el acceso exitoso
[x]	Fronted	Validación de campo obligatorios en la interfaz de React + Vite
[x]	Fronted	Notificaciones visuales sobre el estado del inicio de sesión (exitoso/error)
[x]	Fronted	Redirreccion automática al tablero de control del cultivo de cacao

Tabla 11. Criterios de aceptación CA1

Nota: tabla sobre los criterios de aceptación que requiere CA1

Fuente: elaboración propia del autor.

Ilustración 21. Validación de credenciales contra la base

```
@app.route("/login", methods=["POST"])
def login():
    data = request.get_json()
    if not data:
        return make_response("Credenciales requeridas", 401)

    username = data.get("username")
    password = data.get("password")

    # ♦ LOGIN DE SERVICIO (NODE-RED)
    if username == "nodered" and password == "nodered123":
        token = jwt.encode(
            {
                "user": "nodered",
                "role": "service",
                "exp": datetime.datetime.utcnow()
                    + datetime.timedelta(hours=24)
            },
            app.config["SECRET_KEY"],
            algorithm="HS256"
        )
        return jsonify({"token": token})
```

Ilustración 21. Validación de las credenciales

Nota: Imagen sobre la validación de credenciales

Fuente : Elaboración propia por el Autor

Ilustración 22. Generación del token

```
conn = get_db_connection()
cur = conn.cursor()
cur.execute(
    "SELECT * FROM users WHERE username=%s",
    (username,)
)
user = cur.fetchone()
cur.close()
conn.close()

if not user or not check_password_hash(user[2], password):
    return make_response("Credenciales inválidas", 401)

token = jwt.encode(
    {
        "user": username,
        "role": "user",
        "exp": datetime.datetime.utcnow()
            + datetime.timedelta(hours=24)
    },
    app.config["SECRET_KEY"],
    algorithm="HS256"
)

return jsonify({"token": token})
```

Ilustración 22. Generación del token.

Nota: Generación del token JWT

Fuente: elaboración propia de autor

Ilustración 23. Validación de campos obligatorios

The image shows a login form titled "Bienvenido de nuevo" (Welcome back). Below the title is the instruction "Ingresa tus credenciales para acceder al panel de control" (Enter your credentials to access the control panel). There are two input fields: "Usuario" (User) and "Contraseña" (Password). The "Usuario" field contains the text "admin". Below it is a red error message: "El usuario debe tener al menos 3 caracteres" (The user must have at least 3 characters). The "Contraseña" field contains six asterisks "*****". Below it is a red error message: "La contraseña es requerida" (The password is required). At the bottom of the form is a black button labeled "Iniciar Sesión" (Log In). Below the button is a link: "¿No tienes cuenta? Regístrate aquí" (Don't you have an account? Register here).

Ilustración 23. Validación de campos obligatorios

Nota: Validación del fronted de los campos obligatorios.

Fuente: Elaboración propia del autor

Ilustración 24. Notificación Visual al usuario de error

The image shows the same login form as in Illustration 23, but with an additional visual error notification. At the top right of the page, there is a navigation bar with links: "Inicio", "Características", "Nosotros", and "Iniciar Sesión". To the right of the "Iniciar Sesión" link is a red error notification box with a red "x" icon. The text in the box reads: "Error de Credenciales" (Credentials Error) and "Verifica tu usuario y contraseña." (Verify your user and password). The login form itself is identical to the one in Illustration 23, with the "Usuario" field containing "admin" and the "Contraseña" field containing six asterisks. The "Iniciar Sesión" button is at the bottom of the form, and the link "¿No tienes cuenta? Regístrate aquí" is below it.

Ilustración 24. Notificación visual del fronted

Nota: Notificaciones de error.

Fuente: Elaboración propia del autor

En la imagen 24 podemos observar la alerta que se muestra, donde le muestra el error que cometió al iniciar sesión

Ilustración 25. Notificación visual de éxito

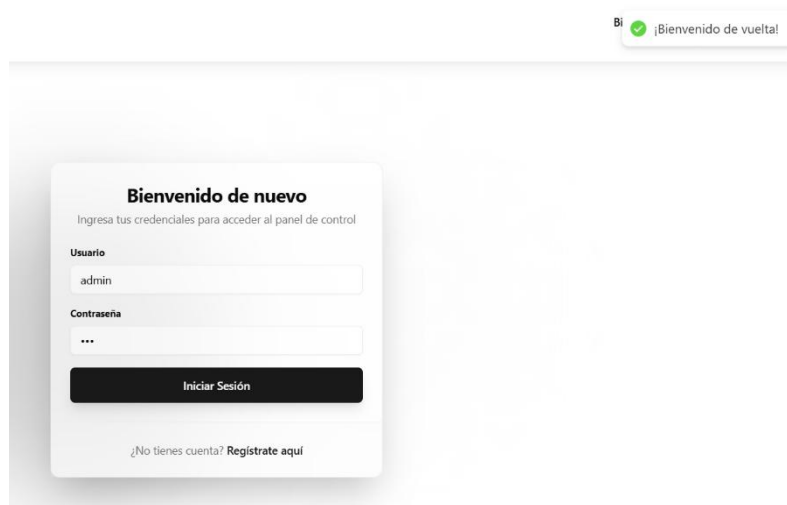


Ilustración 25. Notificación visual del fronted

Nota: Notificación de éxito de inicio de sesión

Fuente: Elaboración propia del autor

En la imagen 25 podemos observar como la alerta que se muestra en pantalla le da la bienvenida al usuario ya que hizo el inicio de sesión de forma exitosa.

Ilustración 26. Redirección automática

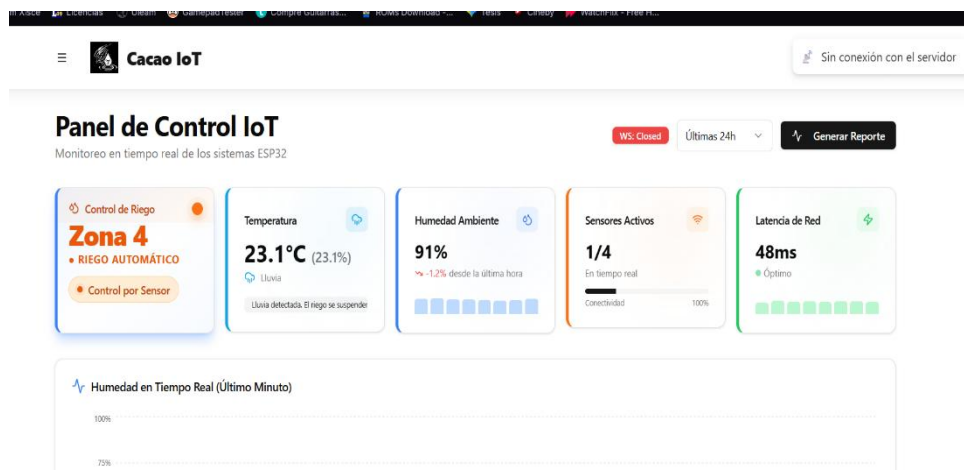


Ilustración 26. Redirección al dashboard

Nota Redirección a la página que ve el usuario

Fuente Elaboración propia del autor

En la imagen 26 podemos verificar que una vez hecho el inicio de sesión de forma correcta nos redirigió al dashboard del usuario.

Tabla 12. Historia de Usuario2

ID: US-02		Persistencia de sesión
Estimación: 2 pts.		Prioridad: Media
Como	Usuario	
Quiero	Mantener mi sesión activa en el navegador, aunque cierre la pestaña o navegador	
Para	Acceder directamente al control de riego del cacao sin necesidad de loguearme repetidamente,	

Tabla 12. Historia de usuario 2

Nota: tabla sobre historia de usuario 2

Fuente: Elaboración propia del autor

Tabla 13. Criterios de aceptación CA2

Criterios de Aceptación		
	Área encargada	Descripción
[x]	Fronted	El token JWT debe almacenarse en el LocalStorage del navegador para mantener la sesión activa.
[x]	Fronted	Al cargar la página, el sistema debe verificar el token si ha expirado o no existe, debe redirigir automáticamente al login
[x]	Fronted	La función de “Cerrar sesión” debe eliminar el token del almacenamiento local y redirigir al usuario a la pantalla de autenticación

Tabla 13. Criterios de aceptación CA2

Nota: Tabla sobre los criterios de aceptación CA2

Fuente: Elaboración propia por el Autor

Fuente: Elaboración propia del autor

En la imagen 28 podemos ver la función que nos permite saber si esta autenticado o si su sesión ya expiro, en caso contrario lo enviaría a login para que el usuario no reciba ningún alerta o error porque este no tiene el permiso para poder ejecutar esas acciones. De esta forma nos aseguramos de que el usuario tenga la mejor experiencia como también la seguridad del sistema que sin sus credenciales nadie podrá acceder.

Ilustración 29. Eliminación del token al cerrar sesión

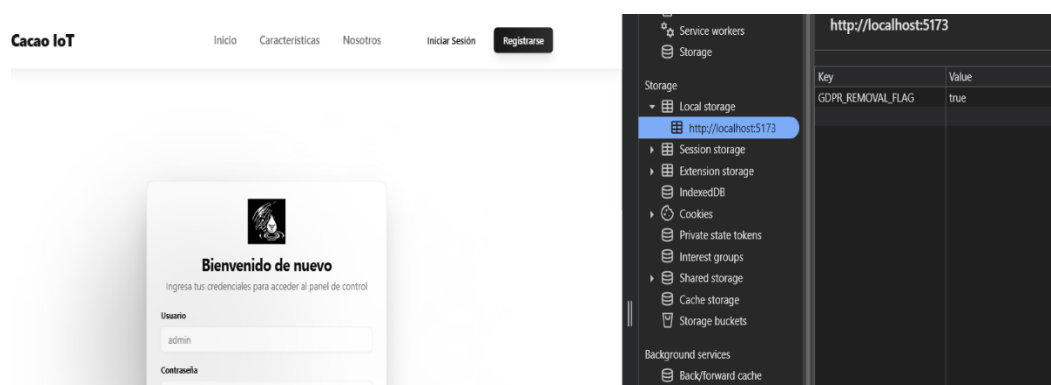


Ilustración 29. Eliminación del token al cerrar sesión

Nota Eliminación del token en LocalStorage al cerrar sesión

Fuente: Elaboración propia del autor.

4.4.2.3. Monitoreo y Telemetría

Tabla 14. Historia de usuario 3

ID: US-03		Dashboard de sensores en Tiempo Real	
Estimación: 8 pts.		Prioridad: Alta	
Como		Usuario	
Quiero		Visualizar la humedad del suelo y temperatura en un tablero web interactivo	
Para		Determinar las necesidades de riego del cacao y supervisar la bomba de 2 HP remotamente.	

Tabla 14. Historia de usuario 3

Nota: Historia de usuario 3

Fuente: Elaboración propia del autor

Tabla 15. Criterios de aceptación CA3

Criterios de Aceptación		
	Área encargada	Descripción
[x]	Backend y ESP32	El servidor debe emitir eventos telemetría vía WebSockets al recibir datos del hardware de campo.
[x]	Fronted	Conexión automática al socket al ingresar al dashboard para la actualización de datos sin recargar la página.
[x]	Fronted	Visualización porcentual de la humedad del suelo y la temperatura en el tablero interactivo
[x]	Fronted	Muestra de estados o esperando datos cuando no se detecten lecturas recientes de los sensores.

Tabla 15. Criterios de aceptación CA3.

Ilustración 30. Servidor que emite los eventos telemetría vía Websockets.

```
1 import os
2 import json
3 import os
4 import psycpg2
5 import jwt
6 import datetime
7 import requests
8
9
10 from flask import Flask, request, jsonify, make_response
11 from flask_cors import CORS
12 from werkzeug.security import check_password_hash
13 from functools import wraps
14 from dotenv import load_dotenv
15
16 from geventwebsocket import WebSocketServer, WebSocketApplication, Resource
17
18 # -----
19 # CONFIGURACIÓN INICIAL
20 # -----
21 load_dotenv()
22
23 app = Flask(__name__)
24 app.config["SECRET_KEY"] = os.getenv("SECRET_KEY", "super_secret_key")
25 DATABASE_URL = os.getenv("DATABASE_URL")
26
27 CORS(app, resources={r"/**": {"origins": "*"}})
28
29 # -----
30 # ESTADOS GLOBALES
31 # -----
32 estado_pulsos = {1: "off", 2: "off", 3: "off", 4: "off"}
33
34 estado_bomba_actual = {
35     "marca": None,
36     "estado": None,
37     "timestamp": None
38 }
39
40 ultimo_sensado = {
41     "humedad_suelo": None,
42     "adc": None,
43     "sensor": None,
44     "origen": None,
45     "finca": None
46 }
47
48 NODE_RED_URL = "http://api.ingeniericast.uk/api/pulse"
49 AUTO_DELAY = 1
50 HUM_MIN = 41
51
52 clients = set()
```

Ilustración 30. Código del Backend

Nota; sección del código de Python

Fuente: Elaboración propia de autor.

Ilustración 31. Servidor que emite los eventos telemetría via Websockets.

```
ackend > backend > backpy > ...
# -----
# BASE DE DATOS
# -----
def get_db_connection():
    return psycopg2.connect(DATABASE_URL)

# -----
# JWT DECORATOR
# -----
def token_required(f):
    @wraps(f)
    def decorated(*args, **kwargs):
        token = None

        if "Authorization" in request.headers:
            h = request.headers["Authorization"]
            if h.startswith("Bearer "):
                token = h.split(" ")[1]

        if not token:
            return jsonify({"message": "Token faltante"}), 401

        try:
            jwt.decode(
                token,
                app.config["SECRET_KEY"],
                algorithms=["HS256"]
            )
        except Exception:
            return jsonify({"message": "Token inválido"}), 401

        return f(*args, **kwargs)

    return decorated

# -----
# FUNCIONES AUXILIARES
# -----
def broadcast(message):
    dead = []
    for ws in clients:
        try:
            ws.send(json.dumps(message))
        except Exception:
            dead.append(ws)
    for ws in dead:
        clients.discard(ws)

def enviar_pulse(accion, pulse):
    token = os.getenv("SENSOR_API_TOKEN")
    headers = {"Content-Type": "application/json"}
    if token:
        headers["Authorization"] = f"Bearer {token}"
```

Ilustración 31. Código del Backend

Nota: sección del código de Python

Fuente: Elaboración propia del autor

Ilustración 32. Servidor que emite los eventos telemetría via Websockets.

```
def enviar_pulse(accion, pulse):
    print(f"🚀 Enviando pulse: {accion} a {pulse} en {NODE_RED_URL}")
    try:
        response = requests.post(
            NODE_RED_URL,
            json={"accion": accion, "pulse": pulse},
            headers=headers,
            timeout=5
        )
        print(f"✅ Respuesta External API: {response.status_code} - {response.text}")
    except Exception as e:
        print(f"❌ Error enviando pulse: {e}")

def apagar_pulse_despues(pulse, delay):
    time.sleep(delay)
    estado_pulsos[pulse] = "off"
    enviar_pulse("off", pulse)
    broadcast({"type": "pulses", "data": estado_pulsos})

# -----
# LOGIN USUARIOS / NODE-RED
# -----
@app.route("/login", methods=["POST"])
def login():
    data = request.get_json()
    if not data:
        return make_response(Literal['username'], 401)

    username = data.get("username")
    password = data.get("password")

    # * LOGIN DE SERVICIO (NODE-RED)
    if username == "nodered" and password == "nodered123":
        token = jwt.encode(
            {
                "user": "nodered",
                "role": "service",
                "exp": datetime.datetime.utcnow()
                    + datetime.timedelta(hours=24)
            },
            app.config["SECRET_KEY"],
            algorithm="HS256"
        )
        return jsonify({"token": token})

    # * LOGIN USUARIOS (BD)
    conn = get_db_connection()
    cur = conn.cursor()
    cur.execute(
        "SELECT * FROM users WHERE username=%s",
        (username,)
    )
    user = cur.fetchone()
```

Ilustración 32. Código del Back

Nota: sección del código Python

Fuente: Elaboración propia de autor

Ilustración 33. Servidor que emite los eventos telemetría via Websockets.

```
def login():
    token = jwt.encode(
        {
            "exp": datetime.datetime.utcnow()
                + datetime.timedelta(hours=24)
        },
        app.config["SECRET_KEY"],
        algorithm="HS256"
    )

    return jsonify({"token": token})

# -----
# API REST PARA NODE-RED (GET ESTADO)
# -----
@app.route("/api/status", methods=["GET"])
@token_required
def api_status():
    return jsonify({
        "pulses": estado_pulsos,
        "sensor": ultimo_sensado,
        "bomba": estado_bomba_actual
    })

# -----
# CONTROL DE PULSOS
# -----
@app.route("/api/pulse", methods=["POST"])
@token_required
def control_pulse():
    data = request.get_json()
    accion = data.get("accion")
    pulse = data.get("pulse")

    if accion not in ["on", "off"] or pulse not in estado_pulsos:
        return jsonify({"error": "Datos inválidos"}), 400

    estado_pulsos[pulse] = accion
    broadcast({"type": "pulses", "data": estado_pulsos})
    enviar_pulse(accion, pulse)

    if accion == "on":
        threading.Thread(
            target=apagar_pulse_despues,
            args=(pulse, AUTO_DELAY),
            daemon=True
        ).start()

    return jsonify({"estado": "ok"})

# -----
# RUTAS DE RIEGO (ADAPTADO PARA FRONTEND)
# -----
@app.route("/irrigation/zones", methods=["GET"])
```

Ilustración 33. Código del Back

Nota: sección del código de Python.

Fuente: elaboración propia del autor

Ilustración 34. Servidor que emite los eventos telemetría via Websockets.

```
//
# -----
# WEBSOCKET
# -----
class PulseWS(WebSocketApplication):

    def on_open(self):
        query = self.ws.environ.get("QUERY_STRING", "")
        params = dict(x.split("=") for x in query.split("&") if "=" in x)
        token = params.get("token")

        if not token:
            self.ws.close()
            return

        try:
            jwt.decode(
                token,
                app.config["SECRET_KEY"],
                algorithms=["HS256"]
            )
        except Exception:
            self.ws.close()
            return

        clients.add(self.ws)
        print("● WS Cliente conectado")

        self.ws.send(json.dumps({"type": "pulses", "data": estado_pulsos}))
        self.ws.send(json.dumps({"type": "estado_bomba", "data": estado_bomba_actual}))
        self.ws.send(json.dumps({"type": "nuevo_sensor", "data": ultimo_sensado}))

    def on_message(self, message):
        global ultimo_sensado, estado_bomba_actual
        if not message:
            return

        try:
            data = json.loads(message)
            msg_type = data.get("type")

            if msg_type == "update_sensor":
                d = data.get("data", {})
                try:
                    humedad = int(d.get("humedad_suelo"))
                except Exception:
                    humedad = None

                ultimo_sensado = {
                    "humedad_suelo": humedad,
                    "adc": d.get("adc"),
                    "sensor": d.get("sensor"),
                    "nombre": d.get("nombre")
                }
```

Ilustración 34. Código del Back

Nota: sección del código Python

Fuente: Elaboración propia del autor

Ilustración 35. código en Arduino al ESP32

```
26 // =====
27 #define PIN_SENSOR 34 // ADC ESP32
28
29 // VALORES CALIBRADOS
30 #define SECO 4095 // Aire
31 #define MOJADO 500 // Agua
32
33 WebSocketsClient websocket;
34 unsigned long lastSend = 0;
35
36 // =====
37 // CONECTAR WIFI
38 // =====
39 void conectarWiFi() {
40   Serial.print("Conectando a Wifi");
41   WiFi.mode(WIFI_STA);
42   WiFi.begin(WIFI_SSID, WIFI_PASS);
43
44   while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
45     delay(500);
46     Serial.print(".");
47   }
48
49   Serial.println("\nWifi conectado");
50   Serial.print("IP: ");
51   Serial.println(WiFi.localIP());
52 }
53
54 // =====
55 // LEER HUMEDAD DE SUELO
56 // =====
57 int leerHumedad(int adcValue) {
58   adcValue = analogRead(PIN_SENSOR);
59
60   int humedad = (SECO - adcValue) * 100 / (SECO - MOJADO);
61
62   if (humedad < 0) humedad = 0;
63   if (humedad > 100) humedad = 100;
64
65   return humedad;
66 }
67
68 // =====
69 // WEBSOCKET EVENTS
70 // =====
71 void websocketEvent(WsType_t type, uint8_t * payload, size_t length) {
72   switch(type) {
73     case WsType_DISCONNECTED:
74       Serial.println("[WS] Desconectado!");
75       break;
76     case WsType_CONNECTED:
77       Serial.println("[WS] Conectado!");
78       // Se puede enviar un mensaje de saludo o auth aqui
79       break;
80     case WsType_TEXT:
```

Ilustración 35. Código del ESP32

Nota: sección del código del ESP32

Fuente: Elaboración propia del Autor

Ilustración 36. código en Arduino al ESP32

```
94 // =====
95 // ENVIAR DATOS VIA WEBSOCKET
96 // =====
97 void enviarDatosWS(int humedad, int adc) {
98   String json = "{";
99   json += "\"type\": \"update_sensor\",";
100   json += "\"data\": {";
101   json += "\"humedad_suelo\": " + String(humedad) + ",";
102   json += "\"adc\": " + String(adc) + ",";
103   json += "\"sensor\": \"H0-20\",";
104   json += "\"finca\": \"El Pasaje\",";
105   json += "\"origen\": \"esp32\"";
106   json += "}";
107   json += "}";
108
109   websocket.sendTXT(json);
110   Serial.println("Datos enviados por WS: " + json);
111 }
112
113 // =====
114 // SETUP
115 // =====
116 void setup() {
117   Serial.begin(115200);
118   delay(2000);
119
120   analogReadResolution(12); // 0-4095
121   analogSetAttenuation(ADC_11db); // hasta 3.3V
122
123   conectarWiFi();
124
125   // Iniciar WebSocket
126   websocket.begin(SERVER_HOST, SERVER_PORT, SERVER_PATH);
127   websocket.onEvent(websocketEvent);
128   websocket.setReconnectInterval(5000);
129 }
130
131 // =====
132 // LOOP
133 // =====
134 void loop() {
135   websocket.loop();
136
137   if (millis() - lastSend > 15000) { // cada 15 segundos
138     lastSend = millis();
139
140     int adc;
141     int humedad = leerHumedad(adc);
142
143     // Solo enviar si estamos conectados
144     if (WiFi.status() == WL_CONNECTED) {
145       enviarDatosWS(humedad, adc);
146     } else {
147       Serial.println("Wifi perdido, reconectando...");
148     }
149   }
150 }
```

Ilustración 36. Código del ESP32

Nota: Sección del código del ESP32

Fuente: Elaboración propia de los autores

Ilustración 37. Flujo de Node-RED

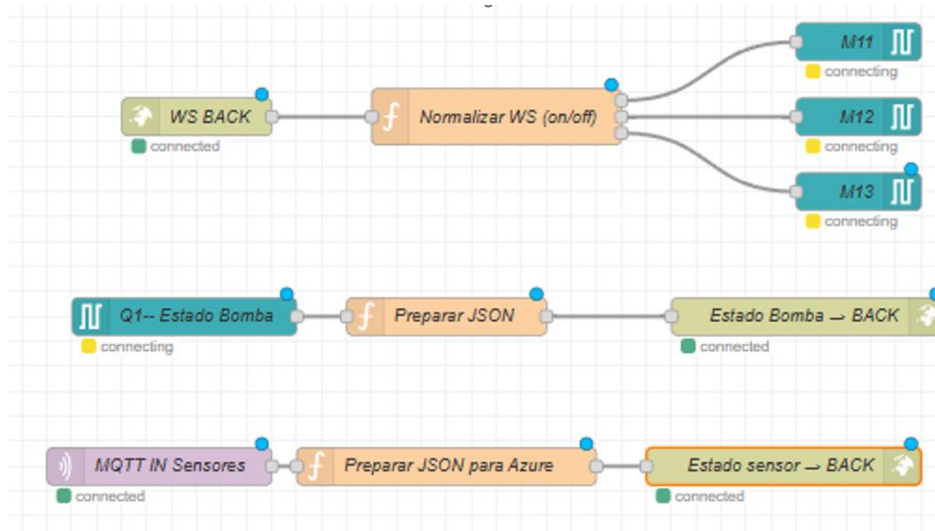


Ilustración 37. Flujo que efectúa Node-RED

Nota: Sección de la vista de flujo del Node-Red

Fuente: Elaboración propia del autor

En la ilustración anterior se presentó el flujo que se elaboró con el sistema de low-code de Node-RED en donde se puede observar que los apartados de conexión por websocket, así mismo como las salidas de las marcas del PLC para poder encender o apagar la bomba.

Lo primero que hacemos es definir la función de conexión, donde construimos la instancia del WebSocket adjuntando el token de seguridad. Dejamos definidos los manejadores de eventos (onopen, onmessage, onclose) para gestionar el flujo de datos y la reconexión automática en caso de caída.

Ilustración 38. conexión al WebSocket

```
const connect = () => {
  const token = localStorage.getItem('token');
  const url = token ? `${WS_URL}?token=${token}` : WS_URL;

  if (!url) return;

  try {
    const ws = new WebSocket(url);
    socketRef.current = ws;

    // ... inside connect function ...
    ws.onopen = () => {
      console.log('WS Connected');
      setReadyState(ReadyState.OPEN);
      toast.dismiss("ws-error");
      toast.success("Conectado al servidor", { id: "ws-success" });
    };

    ws.onclose = () => {
      console.log('WS Disconnected');
      setReadyState(ReadyState.CLOSED);
      toast.error("Sin conexión con el servidor", {
        id: "ws-error",
        duration: Infinity,
        icon: '🔴'
      });
      setTimeout(connect, 3000); // Reconnect after 3s
    };

    ws.onerror = (error) => {
      console.error('WS Error:', error);
      setReadyState(ReadyState.CLOSED);
    };
  }
};
```

Ilustración 38. Conexión WebSocket

Nota: Conexión Websocket

Fuente: elaboración propia del autor

Ya dejamos definida la función y la lógica de los eventos, pero ¿Cómo aseguramos que se ejecute de forma automática? Para eso utilizamos el hook de react, que se encarga de llamar a la función de conexión tan pronto como el componente se monta la aplicación garantizando que el usuario reciba datos en tiempo real desde el primer momento.

Ilustración 39. Imagen de la conexión al ingresar al dashboard sin recargar pagina

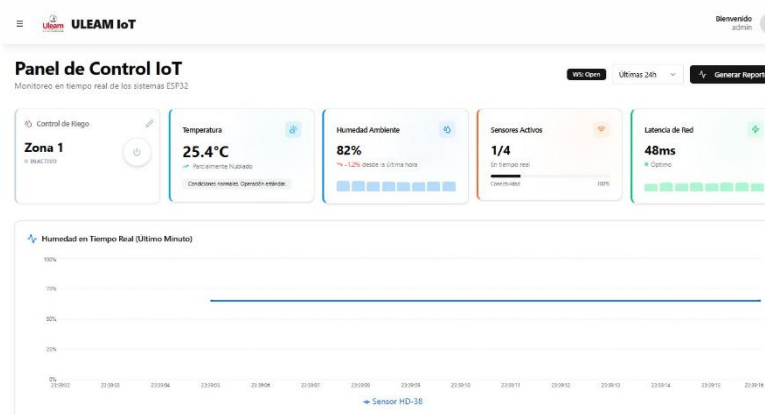


Ilustración 39. Imagen de la conexión sin recarga pagina

Nota: conexión automática al ingresar al dashboard

Fuente: Elaboración propia del autor

Ilustración 40. Imagen porcentual de la humedad del suelo y temperatura

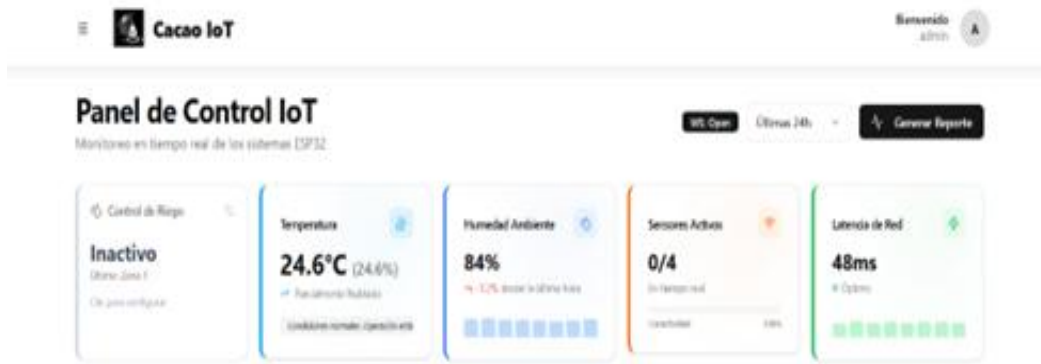


Ilustración 40. Imagen porcentual de la humedad del suelo y temperatura

Nota: Imagen de porcentaje de la humedad y temperatura

Fuente: Elaboración propia del autor

Ilustración 41. Imagen cuando no se detecta las lecturas recientes en los sensores



Ilustración 41. Imagen cuando no hay datos que mostrar.

Nota: Imagen donde se muestra cuando el sensor no recibe datos

Fuente: Elaboración propia del autor

Tabla 16. Historia de usuario 4

ID: US-04 Visualización de Datos Climáticos	
Estimación: 3 pts.	Prioridad: Alta
Como	Usuario
Quiero	Consultar la temperatura y el estado del clima de la zona del dashboard
Para	Complementar la información del sensor y mejorar la toma de decisiones sobre el riego del cacao.

Tabla 16. Historia de usuario 4

Nota: Historia de usuario 4

Fuente: Elaboración propia del autor.

Tabla 17. Criterios de aceptación CA4

Criterios de Aceptación		
	Área encargada	Descripción
[x]	Fronted	Consultas automáticas a la API de Open-Meteo al inicializarse al dashboard de cacao.
[x]	Fronted	Visualización de la temperatura ambiental en conjunto con los datos del sensor de humedad.
[x]	Fronted	Indicador grafico del estado del clima actual (despejado, lluvia,etc) para el sector de la finca.

Tabla 17. Criterios de aceptación CA4

Nota: Criterios de aceptación CA4

Fuente: Elaboración propia del autor

Ilustración 42. Consulta automáticamente la temperatura al iniciar

```
const fetchWeather = async () => {
  setLoading(true)
  setError("")
  setActiveTab("current")
  try {
    const response = await fetch(
      `https://api.open-meteo.com/v1/forecast?latitude=${lat}&longitude=${lon}&current=temperature_2m,relative_humidity_2m,weather_cod
    )
    if (!response.ok) throw new Error("Error fetching weather")

    const data = await response.json()
    const code = data.current.weather_code
    const condition = getWeatherCondition([code])

    const weatherData = {
      temperature: data.current.temperature_2m,
      humidity: data.current.relative_humidity_2m,
      windspeed: data.current.wind_speed_10m,
      weathercode: code,
      time: data.current.time
    }

    setWeather(weatherData)
    saveToHistory(weatherData, condition)
  } catch (err) {
    setError("No se pudo obtener el clima")
    console.error(err)
  } finally {
    setLoading(false)
  }
}
```

Ilustración 42. Código del fronted al llamar el api

Nota: código react que hace el llamado del api para al clima

Fuente: Elaboración propia del autor

Ilustración 43. Visualización de la temperatura ambiental en conjunto con el sensor de humedad

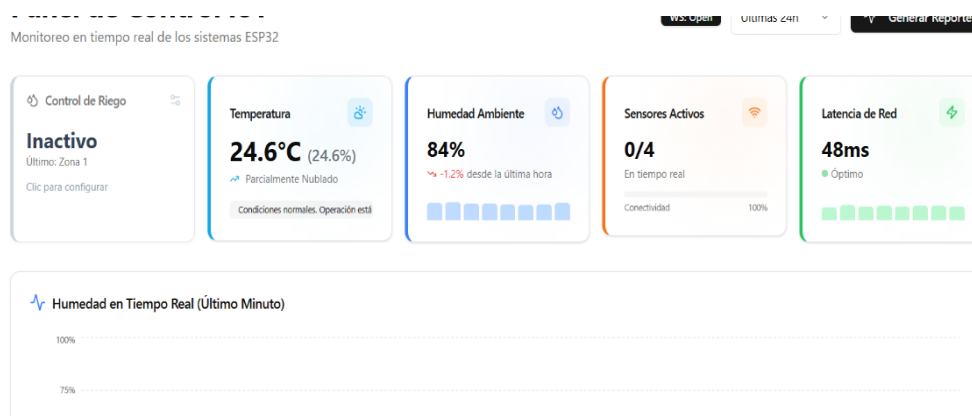


Ilustración 43 imagen de la visualización temperatura y humedad

Nota: imagen que visualiza los estados de temperatura y humedad

Fuente: Elaboración propia del autor

Ilustración 44. Imagen indicadora del estado del clima actual



Ilustración 43. imagen del grafico del estado del clima

Nota: imagen del grafico del estado del clima.

Fuente: Elaboración propia del autor

Tabla 18. Historia de usuario 5

ID: US-05		Detalles técnicos de Nodos	
Estimación: 2 pts.		Prioridad: Baja	
Como		Usuario	
Quiero		Ver información técnico-detallada (ID del sensor, valor ADC y origen) en el dashboard	
Para		Validar que el nodo físico reporte datos íntegros del cultivo de cacao al sistema.	

Tabla 17. Historia de usuario 5

Nota: Historia de usuario 5

Fuente: Elaboración propia del autor

Tabla 19. Criterios de aceptación CA5

Criterios de Aceptación		
	Área encargada	Descripción
[x]	Fronted	Panel informativo con nombre de la finca, ID del sensor, valor ADC en crudo y el valor transformado.
[x]	Fronted	Validación de que los parámetros técnicos mostrados coincidan con el flujo de datos enviado por el ESP32.

Tabla 19. Criterios de aceptación CA5

Nota: Tabla de criterios de aceptación

Fuente: Elaboración propia del autor

Ilustración 45. Imagen del panel informativo del sensor

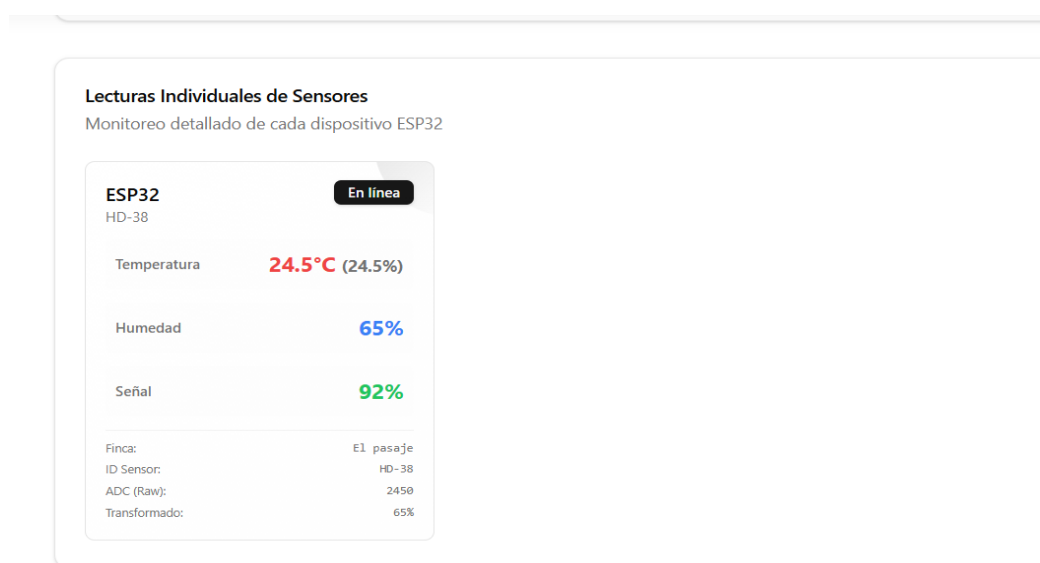


Ilustración 45. imagen del estado del panel informativo

Nota: imagen del panel informativo del sensor

Fuente: Elaboración propia del autor

Ilustración 46. Validación de los parámetros con el flujo de datos

```
mapped_payload = {
    "type": "new_reading",
    "data": {
        "sensor_id": str(d.get("sensor", "unknown")),
        "temperature": float(d.get("temperatura") or 0),
        "humidity": float(d.get("humedad_suelo") or 0),
        "adc": d.get("adc"),          # CA5: Raw value
        "finca": d.get("finca"),      # CA5: Origin source
        "timestamp": datetime.datetime.now().isoformat()
    }
}

broadcast(mapped_payload)
print(f"🔗 MAPPED & BROADCAST: {mapped_payload}")

except json.JSONDecodeError:
    print("❌ JSON Error from external WS")
except Exception as e:
    print(f"⚠️ Error processing external msg: {e}")
```

Ilustración 43 validación de los parámetros con el flujo de datos

Nota: código back de Python

Fuente: Elaboración propia del autor

4.4.2.4.Control y Automatización

Con el objetivo de este tema es poder operar los actuadores de forma manual y automática.

Tabla 20. Historia de usuario 6

ID: US-06		Control Manual de Bombas	
Estimación: 5 pts.	Prioridad: Alta		
Como	Usuario		
Quiero	Botones de control para encender y apagar la bomba manualmente desde la interfaz.		
Para	Gestionar el riego del cacao de forma directa cuando lo considere necesario.		

Tabla 20. Historia de usuario 6

Nota: Historia de usuario 6

Fuente: Elaboración propia del autor

Tabla 21. Criterios de aceptación CA6

Criterios de Aceptación		
Área encargada	Descripción	
[x] Backend	El endpoint recibe el comando web y transmite la señal de activación al PLC mediante Node-RED.	
[x] Fronted	Botón “Activar Riego” funcional que envía la petición de encendido al servidor en la nube	
[x] Fronted	Botón “Detener Riego” funcional ⁴⁴ . para interrumpir el estado operativo actual de la bomba de 2 HP	

Tabla 21. Criterios de aceptación CA6

Nota: Criterios de aceptación CA6

Fuente: Elaboración propia del autor.

Ilustración 47. Donde recibe el comando web y transmite la activación del PLC mediante Node-RED

```
def enviar_pulse(accion, pulse):
    token = os.getenv("SENSOR_API_TOKEN")
    headers = {"Content-Type": "application/json"}
    if token:
        headers["Authorization"] = f"Bearer {token}"

    print(f"🚀 Enviando pulse: {accion} a {pulse} en {NODE_RED_URL}")
    try:
        response = requests.post(
            NODE_RED_URL,
            json={"accion": accion, "pulse": pulse},
            headers=headers,
            timeout=5
        )
        print(f"✅ Respuesta External API: {response.status_code} - {response.text}")
    except Exception as e:
        print(f"❌ Error enviando pulse: {e}")

def apagar_pulse_despues(pulse, delay):
    time.sleep(delay)
    estado_pulsos[pulse] = "off"
    enviar_pulse("off", pulse)
    broadcast({"type": "pulses", "data": estado_pulsos})

# -----
```

Ilustración 47. Recibe el comando web y transmite la señal PLC

Nota: transmisión web hacia el PLC

Fuente: Elaboración propia del autor

Ilustración 48. Botón de “Activar riego “funcional

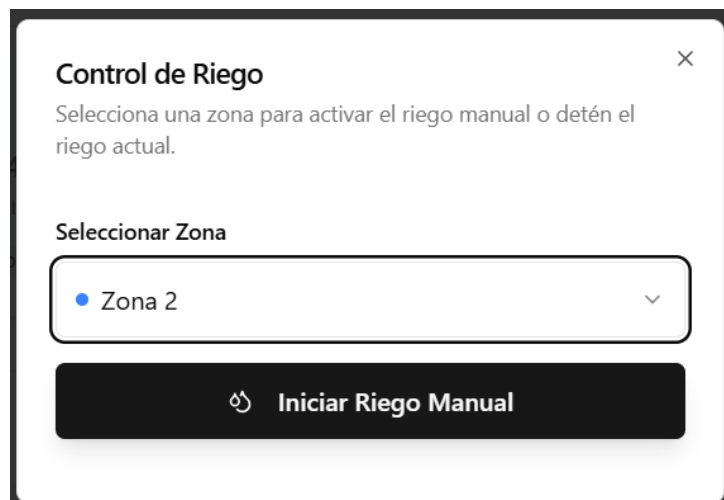


Ilustración 48. botón de activación de riego manual

Nota: Botón de activación del riego manual

Fuente: Elaboración propia del autor

Ilustración 49. Botón de “Detener riego” funcional

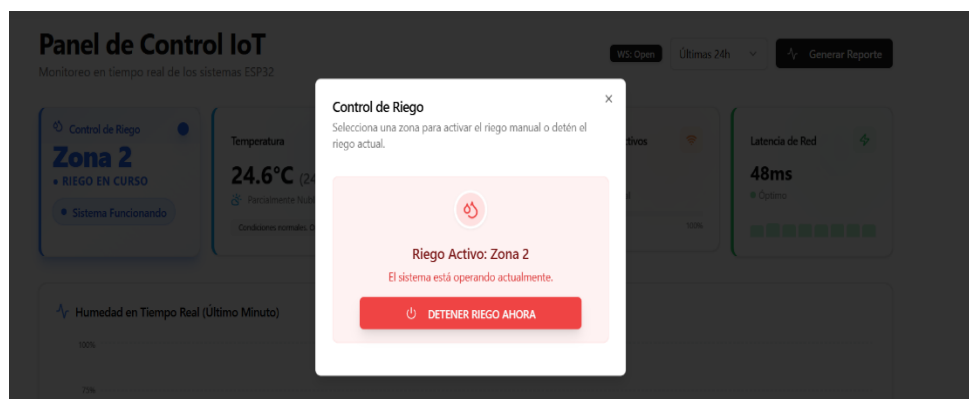


Ilustración 49. botón de detener el riego manual

Nota: botón de detener el riego de la finca

Fuente: Elaboración

Como se observó en las imágenes anteriores funciona y desactiva sin ningún problema, pero también existe el riego automático que esto nos permite hacerlo mediante la última marca. A continuación, se mostrará el código encargado de enviar señales al Node-RED.

Ilustración 50.Control del envío del pulso

```
async controlPulse(data: { accion: string, pulse: number }) {
  const response = await api.post('/api/pulse', data);
  return response.data;
},

async controlCacao(comando: { accion: 'on' | 'off' | 'auto' }) {
  try {
    let pulse = 0;
    switch (comando.accion) {
      case 'on': pulse = 1; break;
      case 'off': pulse = 2; break;
      case 'auto': pulse = 3; break;
    }

    // Always send 'on' to trigger the pulse
    const pulseCmd = {
      accion: 'on',
      pulse: pulse
    };

    const response = await this.controlPulse(pulseCmd);
    return {
      mensaje: `Comando ${comando.accion} (Pulse ${pulse}) enviado correctamente, sistema Cacao actualizado.`
    };
  } catch (error: any) {
    throw new Error(error.response?.data?.error || error.message || 'Error al comunicarse con el servidor');
  }
};
```

Ilustración 50. control del envío del pulso

Nota: control del envío del pulso

Fuente: elaboración propia del autor.

Tabla 22.Historia de usuario 7

ID: US-07		Feedback Visual de Estado
Estimación: 5 pts.	Prioridad: Media	
Como	Usuario	
Quiero	Ver un indicador visual del estado real de la bomba encendido, apagado o Automático	
Para	Confirmar en tiempo real que las acciones de riego en el cacao se están ejecutando correctamente.	

Tabla 22. Historia de usuario 7

Nota: historia de usuario 7

Fuente: Elaboración propia del autor.

Tabla 23. Criterios de aceptación CA7

Criterios de Aceptación		
Área encargada	Descripción	
[x] Backend	Emisión de eventos “estado bomba” via WebSockets a todo el cliente conectados	
[x] Fronted	Indicador visual (Led Virtual) que cambia de color según el evento: Verde (encendido), Rojo (Detenido) y Naranja (Automático)	
[x] Fronted	Actualización instantánea del estado tras cualquier activación manual, automático o peticiones externas al sistema.	

Tabla 23. Criterios de aceptación CA 7

Nota: Criterios de aceptación CA7

Fuente: Elaboración propia del autor.

Ilustración 51. Pulso de activación manual



Ilustración 51. Pulso de activación manual

Nota: Pulso de activación manual

Fuente: Elaboración propia del autor

Ilustración 52. Pulso de desactivar manual



Ilustración 52. Pulso de desactivación manual

Nota: pulso de desactivación manual

Fuente Elaboración propia del autor

Ilustración 53. Pulso de activación automática



Ilustración 53. Pulso de forma automática

Nota: pulso de forma automática

Fuente: Elaboración propia del autor

A continuación, mostrare el código que me permite identificar si el estado a cambiad, lo hace mediante el websocket y verifica el websocket.

Ilustración 54. control del nivel de humedad

```
    broadcast({"type": "nuevo_sensor", "data": ultimo_sensado})

    if humedad is not None and humedad < HUM_MIN:
        estado_pulsos[4] = "on"
        estado_modos[4] = "auto" # Persist Auto Mode

    # Broadcast with AUTO mode
    broadcast({
        "type": "zone_update",
        "data": {
            "id": 4,
            "is_pump_active": True,
            "mode": "auto"
        }
    })
    broadcast({"type": "pulses", "data": estado_pulsos})
    enviar_pulse("on", 1) # Cacao Logic: Pulse 1

    threading.Thread(
        target=apagar_pulse_despues,
        args=(1, AUTO_DELAY), # Cacao Logic: Pulse 1
        daemon=True
    ).start()
```

Ilustración 54. Control del nivel de humedad

Nota: control del nivel de humedad

Fuente: Elaboración propia del autor

Tabla 24.Historia de usuario 8

ID: US-08Automatización por Umbral Critico	
Estimación: 8 pts.	Prioridad: Media
Como	Usuario
Quiero	Que el sistema riegue automática si la humedad del sensor baja del 40%, estando en modo automático.
Para	Garantizar la salud del cultivo de cacao ante descuidos o ausencia del personal en la finca.

Tabla 24. Historia de usuario 8

Nota: historia de usuario 8

Fuente: Elaboración propia del autor.

Tabla 25. Criterios de aceptación CA8

Criterios de Aceptación		
Área encargada	Descripción	
[x] Backend	Monitoreo continuo del flujo de datos; si la humedad es <40%, se activa el pulso de encendido en el PLC	
[x] Fronted	El dashboard muestra el cambio de estado ha activado automáticamente al entrar en el umbral crítico, sin intervención manual	

Tabla 25. Criterios de aceptación CA8

Nota: criterios de aceptación CA8

Fuente: Elaboración propia del autor

Ilustración 55. Monitoreo continuo del flujo de datos

```

if humedad is not None and humedad < HUM_MIN:
    estado_pulsos[4] = "on"
    estado_modos[4] = "auto" # Persist Auto Mode

    # Broadcast with AUTO mode
    broadcast({
        "type": "zone_update",
        "data": {
            "id": 4,
            "is_pump_active": True,
            "mode": "auto"
        }
    })
    broadcast({"type": "pulses", "data": estado_pulsos})

    # LOGICA CACAO (Zona 4): ON = Pulse 1
    enviar_pulse("on", 1)

    threading.Thread(
        target=apagar_pulse_despues,
        args=(1, AUTO_DELAY), # Turn off pulse 1 trigger after delay
        daemon=True
    ).start()

elif msg_type == "estado_bomba":
    d = data.get("data", {})
    estado_bomba_actual.update(d)
    broadcast({"type": "estado_bomba", "data": estado_bomba_actual})
except Exception as e:

```

Ilustración 55. Monitoreo continuo del flujo de datos

Nota: monitoreo continuo del flujo de datos

Fuente: elaboración propia del autor

Ilustración 56. Cambio de activo automático al entrar al umbral



Ilustración 56. Cambio de estado en el dashboard

Nota: Cambio de estado en el dashboard

Fuente: Elaboración propia del autor

4.4.2.5. Resiliencia Web

Este tema está destinado a la mejor experiencia de usuario, priorizando una aplicación a los fallos del sistema.

Tabla 26. Historia de usuario 9

ID: US-09		Manejo de desconexión
Estimación: 3 pts.	Prioridad: Media	
Como	Usuario	
Quiero	Ser notificado visualmente si el dashboard pierde conexión con el servidor.	
Para	No intentar interactuar con el sistema de riego de cacao cuando sé que las peticiones fallaran.	

Tabla 26. Historia de usuario 9

Nota: historia de usuario 9

Fuente: Elaboración propia del autor

Tabla 27. Criterios de aceptación CA9

Criterios de Aceptación		
Área encargada	Descripción	
[x] Fronted	El sistema debe detectar fallos de red en las peticiones HTTP o cierre de WebSocket	
[x] Fronted	Despliegue de un mensaje de alerta (Toast o Banner) indicando “Sin conexión con el servidor”.	
[x] Fronted	Bloqueo o deshabilitación de los botones de control de la bomba mientras el estado sea offline.	

Tabla 27. Criterios de aceptación CA9

Nota: Criterio de aceptación CA9

Fuente: elaboración propia del autor

Ilustración 57. Detección de fallos de red

```
// ... inside connect function ...
ws.onopen = () => {
  console.log('WS Connected');
  setReadyState(ReadyState.OPEN);
  toast.dismiss("ws-error");
  toast.success("Conectado al servidor", { id: "ws-success" });
};

ws.onclose = () => {
  console.log('WS Disconnected');
  setReadyState(ReadyState.CLOSED);
  toast.error("Sin conexión con el servidor", {
    id: "ws-error",
    duration: Infinity,
    icon: '🔌'
  });
  setTimeout(connect, 3000); // Reconnect after 3s
};
```

Ilustración 57. Código sobre la detección de fallo de la red

Nota: Detección de fallo en la red

Fuente: Elaboración propia del autor

Ilustración 58. Alerta toast indicando el fallo de la conexión del servidor

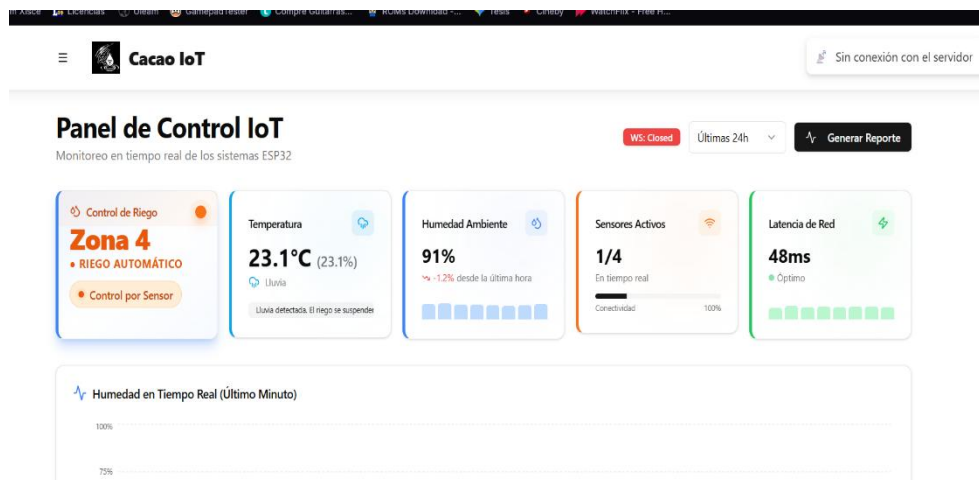


Ilustración 58. Alerta de fallo del servidor

Nota; imagen de la alerta del fallo del servidor

Fuente: Elaboración propia del autor

Ilustración 59. Des habilitación de los botones de control de la bomba

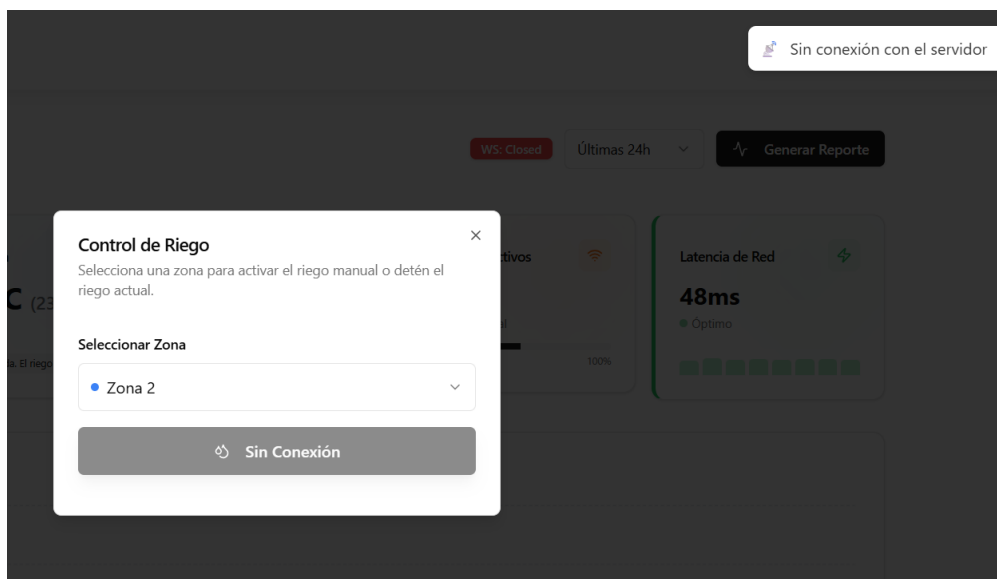
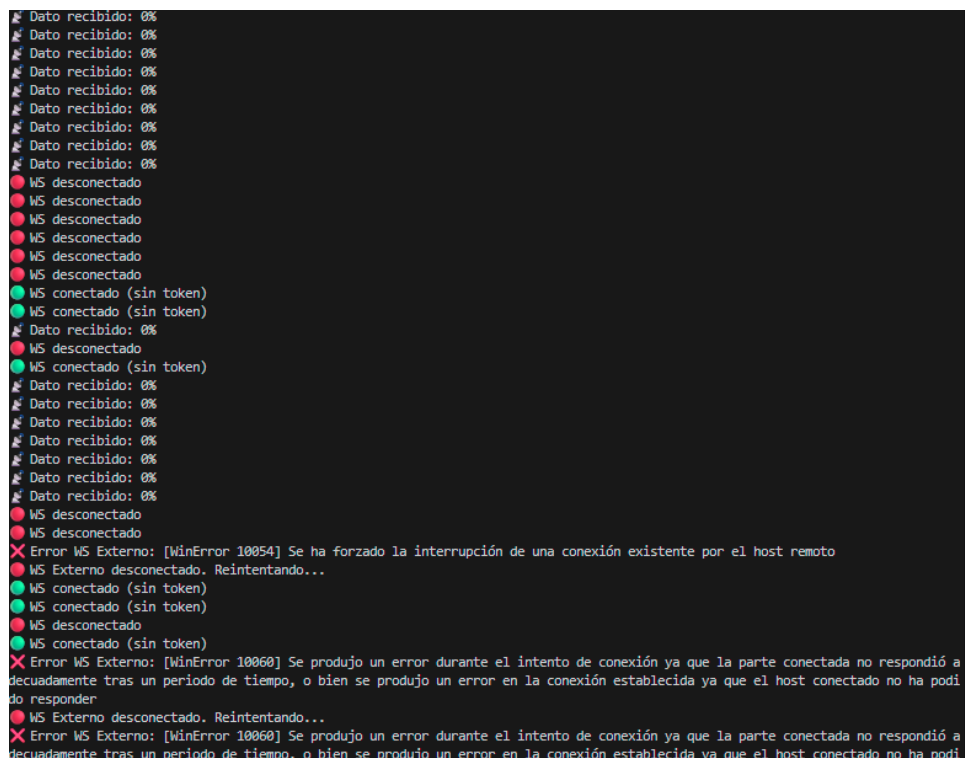


Ilustración 59. Des habilitación de los botones de la

Nota: Des habilitación del botón de activación de la bomba

Fuente: Elaboración propia del autor

Ilustración 60. Logs websocket desde el back



```

Dato recibido: 0%
Dato recibido: 0%
Dato recibido: 0%
Dato recibido: 0%
Dato recibido: 0%
Dato recibido: 0%
Dato recibido: 0%
Dato recibido: 0%
Dato recibido: 0%
WS desconectado
WS desconectado
WS desconectado
WS desconectado
WS desconectado
WS desconectado
WS conectado (sin token)
WS conectado (sin token)
Dato recibido: 0%
WS desconectado
WS conectado (sin token)
Dato recibido: 0%
Dato recibido: 0%
Dato recibido: 0%
Dato recibido: 0%
Dato recibido: 0%
Dato recibido: 0%
WS desconectado
WS desconectado
Error WS Externo: [WinError 10054] Se ha forzado la interrupción de una conexión existente por el host remoto
WS Externo desconectado. Reintentando...
WS conectado (sin token)
WS conectado (sin token)
WS desconectado
WS conectado (sin token)
Error WS Externo: [WinError 10060] Se produjo un error durante el intento de conexión ya que la parte conectada no respondió a
debidamente tras un periodo de tiempo, o bien se produjo un error en la conexión establecida ya que el host conectado no ha podi
do responder
WS Externo desconectado. Reintentando...
Error WS Externo: [WinError 10060] Se produjo un error durante el intento de conexión ya que la parte conectada no respondió a
debidamente tras un periodo de tiempo, o bien se produjo un error en la conexión establecida ya que el host conectado no ha podi
do responder

```

Ilustración 60. Terminal Logs

Nota: Terminal logs

Fuente: Elaboración propia del autor

Podemos ver los logs del Backend, pero del fronted lo veremos de la consola del navegador ya que ahí podemos apreciar los motivos de la conexión que no se establece, también a continuación mostrare como lo hace el fronted ya que de esta forma cumplimos el criterio de aceptación de la US-09.

CAPITULO V

5. Evaluación de resultados

5.1. Introducción

En el desarrollo de este capítulo se exponen los resultados alcanzados, los cuales presentan estrecha convergencia con los objetivos planteados anteriormente. La implementación del sistema de control basado en PLC de la finca “El Pasaje” facilitó la evaluación del desempeño operativo en un entorno real de producción, partiendo de la línea base de riego y las especificaciones técnicas requeridas para su automatización. Gracias a esto se facilitó validación de las decisiones tomadas durante el diseño e implementación del proyecto.

La estructura del sistema se orquestó la lógica de control local mediante el Node-RED en conjunto con la infraestructura de Microsoft Azure, habilitando así la supervisión técnica y la gestión de datos en tiempo real desde la interfaz web. El desarrollo de la lógica de control en el PLC aseguró una correcta activación de las bombas de 2 HP a partir de las señales generadas por el sensor de humedad HD-38 y pulsos remotos, manteniendo un diseño estable.

Con los resultados experimentados evidenciaron una optimización en la gestión del recurso hídrico demostrando una estabilidad operativa ante diversas condiciones del terreno y una sincronización bidireccional robusta entre la lógica local y la infraestructura en la nube. Finalmente, la transferencia de conocimiento garantizó una comprensión integral de la arquitectura, fortaleciendo la destreza técnica en el manejo del PLC y supervisión remota, factores determinantes para la sostenibilidad y autonomía operativa.

5.2. Presentación de resultados

En este apartado se expone los hitos alcanzados durante el periodo de desarrollo y ejecución de la arquitectura de riego automatizado en la finca “El pasaje”, dejando de ver los resultados alineados con los objetivos planteados al inicio de la investigación para comprobar el cumplimiento de los componentes integrados, permitiendo caracterizar con precisión el desempeño operativo del sistema y funcionalidad tecnológica del sistema.

Entre los hallazgos recibidos se muestran entre los datos capturados por el sensor de humedad, el análisis del rendimiento de la comunicación entre el PLC y el Azure, como también las observaciones sobre la repuesta de la bomba ante los comandos gestionados desde la interfaz web. Juntamente mediante la exposición de estos hallazgos, se pretende la ratificación de la eficiencia operativa y la robustez de la arquitectura de control implementada para la optimización del cultivo de cacao y proporcionar las bases técnicas para las conclusiones y futuras mejoras en la automatización del predio.

5.2.1. Resultados según los objetivos planteados

A continuación, se detalla los resultados obtenidos en estricta correspondencia a los objetivos específicos planteados, enmarcados en el ciclo de desarrollo e implantación de la arquitectura de control y la implementación del sistema de riego automatizado en la finca “El pasaje”.

Objetivo específico 1: Analizar las condiciones actuales y los requerimientos hídricos del cultivo de cacao en la finca “El pasaje”, para identificar las necesidades técnicas y operativas de la automatización.

Resultado: El diagnóstico corrobora que el método de riego convencional genera una distribución hídrica heterogénea y un aprovechamiento ineficiente del recurso. Ante esto, se estableció una integración de sensor de humedad del suelo como requerimiento esencial para la monitorización en tiempo real. Esto permite la automatización del sistema de bombeo, sustituyendo la toma de decisiones basado en el criterio empírico por una lógica de control fundamental en métricas de campo.

Evaluación: Este análisis inicial permitió dimensionar el hardware y la arquitectura de control en función de la demanda hídrica real del cacao. Los resultados demuestran que la selección de tecnología responda directamente a las limitaciones operativas detectadas, asegurando que la viabilidad técnica de la propuesta en el lugar.

Ilustración 61 Imagen del sector agrícola



Nota: Imagen del sector hídrico del lugar

Fuente: Elaboración propia del autor

Objetivo específico 2: Diseñar la arquitectura del sistema de riego y la red de monitoreo remoto, seleccionado el autómatas programable y sensor adecuado a las características del terreno.

Resultado: Se desarrolló una arquitectura de control basada en un PLC para lo que es la lógica de potencial local y sensor elegidos por su estabilidad frente a la degradación en suelos agrícolas. La gestión de los datos se centralizó en el Node-RED, cuando como un puente entre el hardware de campo y la infraestructura de Microsoft Azure. Esa configuración no permite asegurar que un flujo de telemetría constante hacia el dashboard, permite el monitoreo remoto con baja latencia.

Evaluación: El diseño propuesto respondió de manera técnica y eficiente a los requerimientos identificados, garantizando una interoperabilidad fluida entre el hardware de campo y la plataforma remota. La selección del PLC y el sensor adecuado para el cultivo de cacao validó el cumplimiento de este objetivo, ya que se logró una estructura funcional que soporta tanto el control automático local como la supervisión en tiempo real desde cualquier ubicación asegurando la estabilidad del sistema de riego.

Ilustración 62 Imagen del sensor seleccionado



Nota: Imagen de referencia del sensor de Humedad HD-38

Fuente: (SSDIELECT ELECTRONICA, 2026)

Objetivo específico 3: Desarrollar la lógica de control en el autómatas y la interfaz de monitoreo, integrando los niveles de humedad del suelo para la gestión del flujo de agua.

Resultado: Se implementó la lógica suficiente de control en el PLC mediante un umbral de activación automática al descender del 40% las lecturas de humedad detectadas por el sensor, de esta forma complementaria el dashboard se centraliza la telemetría en tiempo real, permitiendo que así la comunicación remota de la bomba a través de la infraestructura segura de Azure.

Evaluación: La integración entre el hardware de control y la interfaz web, esta demostró estabilidad operativa, con una sincronización de datos de baja latencias. La lógica de programación ejecutó el encendido de la bomba de manera precisa ante los cambios de la bomba de manera precisa ante los campos de humedad presentados en el terreno, mientras que la plataforma web reflejó los estados del sistema sin pérdida de integridad, garantizando así una gestión hídrica automática, eliminando el error humano en la toma de decisiones para el riego del cacao.

Objetivo específico 4: Validar el funcionamiento del sistema mediante pruebas de campo, evaluando la precisión del sensor, estabilidad de la conexión remota y la optimización del uso de agua.

Resultado: Se realizaron las pruebas de integración en la finca “El Pasaje” para validar la respuesta del sensor mediante la comparación de lecturas digitales frente al estado de saturación que presentaba el suelo. El enlace con la infraestructura de Microsoft Azure garantizó la sincronización persistente de la telemetría con el dashboard bajo condiciones de red reales, validando la estabilidad en la transición de datos. Se estableció un umbral de control de 40% de humedad para la automatización de la electrobomba, regulando así la precisión los ciclos de activación para prevenir la sobre estructuración del sustrato.

Evaluación: los resultados de las pruebas de campo demostraron que el sistema de es altamente confiable y resiliente ante variaciones climáticas o de red. La estabilidad de la conexión en la nube permitió un monitoreo ininterrumpido, mientras que la precisión de los sensores aseguro que el riego se aplicara bajo criterios técnicos estrictos. La optimización del agua obtenida mediante la automatización valido el cumplimiento de este objetivo, confirmando la viabilidad del sistema de mejorar la producción de cacao.

Ilustración 63. pruebas del sensor

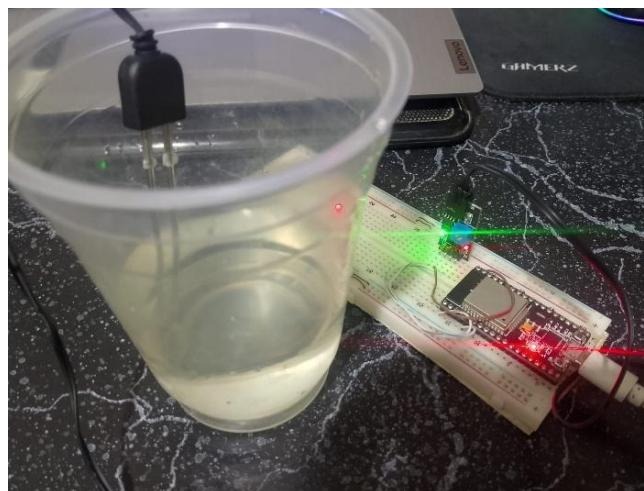


Ilustración 61. Pruebas del sensor

Nota: pruebas del sensor HD-38

Fuente: Elaboración propia del autor

Ilustración 64. Pruebas del sensor al enviar datos

```
< {"type": "nuevo_sensor", "data": {"humedad_suelo": 61, "adc": 1893, "sensor": "HD-38", "origen": "esp32", "finca": "Pasaje"}}
< {"type": "nuevo_sensor", "data": {"humedad_suelo": 61, "adc": 1887, "sensor": "HD-38", "origen": "esp32", "finca": "Pasaje"}}
< {"type": "nuevo_sensor", "data": {"humedad_suelo": 61, "adc": 1887, "sensor": "HD-38", "origen": "esp32", "finca": "Pasaje"}}
< {"type": "nuevo_sensor", "data": {"humedad_suelo": 61, "adc": 1886, "sensor": "HD-38", "origen": "esp32", "finca": "Pasaje"}}
< {"type": "nuevo_sensor", "data": {"humedad_suelo": 61, "adc": 1887, "sensor": "HD-38", "origen": "esp32", "finca": "Pasaje"}}
< {"type": "nuevo_sensor", "data": {"humedad_suelo": 65, "adc": 1728, "sensor": "HD-38", "origen": "esp32", "finca": "Pasaje"}}
< {"type": "nuevo_sensor", "data": {"humedad_suelo": 63, "adc": 1828, "sensor": "HD-38", "origen": "esp32", "finca": "Pasaje"}}
< {"type": "pulses", "data": {"1": "on", "2": "off", "3": "off", "4": "off"}}
< {"type": "pulses", "data": {"1": "off", "2": "off", "3": "off", "4": "off"}}
< {"type": "nuevo_sensor", "data": {"humedad_suelo": 61, "adc": 1869, "sensor": "HD-38", "origen": "esp32", "finca": "Pasaje"}}
< {"type": "nuevo_sensor", "data": {"humedad_suelo": 61, "adc": 1870, "sensor": "HD-38", "origen": "esp32", "finca": "Pasaje"}}
< {"type": "nuevo_sensor", "data": {"humedad_suelo": 61, "adc": 1881, "sensor": "HD-38", "origen": "esp32", "finca": "Pasaje"}}
< {"type": "pulses", "data": {"1": "off", "2": "off", "3": "off", "4": "off"}}
< {"type": "nuevo_sensor", "data": {"humedad_suelo": 61, "adc": 1887, "sensor": "HD-38", "origen": "esp32", "finca": "Pasaje"}}
< {"type": "nuevo_sensor", "data": {"humedad_suelo": 61, "adc": 1890, "sensor": "HD-38", "origen": "esp32", "finca": "Pasaje"}}
```

Ilustración 62. Prueba de envío de datos

Nota: envío de datos del sensor

Fuente: Elaboración propia del autor

Ilustración 65. Ensamble de los componentes



Ilustración 63. Ensamble de los componentes

Nota: Ensamble del tablero

Fuente: Elaboración propia del autor.

5.2.2. Selección de sensores y librerías

Inicialmente, se procedió con la selección de la instrumentación de campo orientado a la monitorización de las variables edáficas críticas en el cultivo de cacao, con esto se adoptó por el sensor de humedad de suelo HD-38, fundamentado su precisión para la caracterización hídrica mediante resistividad del sustrato y su compatibilidad directa con las interfaces de conversión analógica-digital. Esta elección permitió optimizar los recursos hídricos y garantizar la fiabilidad de los datos recolectados, los cuales son procesado por el PLC para la toma de decisiones automatizadas.

Ilustración 66. Librerías necesarias

```
#include <WiFi.h>
#include <WebSocketsClient.h>
#include <ArduinoJson.h> |
// =====
```

Ilustración 64. Librerías necesarias

Nota: imagen sobre las librerías necesarias

Fuente: elaboración propia del autor

5.2.3. Establecimiento del sensor

Se establece los pines para el sensor para permitirle la conexión en el ESP32.

Ilustración 67. definición de sensores

```
// =====
// CONFIG SENSOR HD-38
// =====
#define PIN_SENSOR 34 // ADC ESP32

// VALORES CALIBRADOS
#define SECO 4095 // Aire
#define MOJADO 500 // Agua

WebSocketsClient webSocket;
unsigned long lastSend = 0;
```

Ilustración 65. Definición del sensor

Nota: imagen de la definición del sensor

Fuente: elaboración propia del autor

5.2.4. Configuración de comunicación (Wifi y WebSocket)

Se utiliza WebSocket para así conectarse a una red de Wifi local para garantizar la baja latencia al enviar los datos al servidor.

Ilustración 68. Inicialización del WebSocket

```
// Iniciar WebSocket
WebSocket.begin(SERVER_HOST, SERVER_PORT, SERVER_PATH);
WebSocket.onEvent(WebSocketEvent);
WebSocket.setReconnectInterval(5000);
}
```

Ilustración 66. Inicialización del WebSocket

Nota: Inicialización del Websocket

Fuente: Elaboración propia del autor

5.2.5. Inicialización y lectura del sensor

La función Leerhumedad se encarga de transformar la señal analógica cruda en un valor porcentual mediante una función de mapeo basado en los calores de calibración previa.

Ilustración 69. Lectura del sensor

```
// =====
// LEER HUMEDAD DE SUELO
// =====
int leerHumedad(int &adcValue) {
    adcValue = analogRead(PIN_SENSOR);

    int humedad = (SECO - adcValue) * 100 / (SECO - MOJADO);

    if (humedad < 0) humedad = 0;
    if (humedad > 100) humedad = 100;

    return humedad;
}
```

Ilustración 67. Lectura del sensor

Nota: lectura del sensor de humedad

Fuente: Elaboración propia del autor

5.2.6. Transferencia de información al servidor

Los datos se empaquetan en un formato JSON para que el Backend pueda interpretarlos fácilmente. La trama incluye el valor de la humedad, el valor ADC crudo, el identificador de la finca y el origen del dispositivo.

Ilustración 70. Envío de datos vía WebSocket

```
// =====  
// ENVIAR DATOS VIA WEBSOCKET  
// =====  
void enviarDatosWS(int humedad, int adc) {  
    String json = "{";  
    json += "\"type\": \"update_sensor\",";  
    json += "\"data\": {";  
    json += "\"humedad_suelo\": " + String(humedad) + ",";  
    json += "\"adc\": " + String(adc) + ",";  
    json += "\"sensor\": \"HD-38\",";  
    json += "\"finca\": \"El Pasaaje\",";  
    json += "\"origen\": \"esp32\"";  
    json += "}";  
    json += "}";  
  
    websocket.sendTXT(json);  
    Serial.println("Datos enviados por WS: " + json);  
}
```

Ilustración 68. Transferencia de los datos vía WebSocket

Nota: Transferencia de los datos vía WebSocket

Fuente: Elaboración propia del autor

5.2.7. Comprobación del enlace y comunicación

El sistema implementa una verificación constante en el loop() principal. Si la conexión Wifi se pierde, el dispositivo intenta reconectarse automáticamente antes de realizar un nuevo envío, además la función websocketEvent monitorea el estado del handshake con el servidor en tiempo real.

Ilustración 71. Comprobación del enlace

```
128
129 // =====
130 // LOOP
131 // =====
132 void loop() {
133     websocket.loop();
134
135     if (millis() - lastSend > 15000) { // cada 15 segundos
136         lastSend = millis();
137
138         int adc;
139         int humedad = leerHumedad(adc);
140
141         // Solo enviar si estamos conectados
142         if(WiFi.status() == WL_CONNECTED) {
143             enviarDatosWS(humedad, adc);
144         } else {
145             Serial.println("Wifi perdido, reconectando...");
146             conectarWiFi();
147         }
148     }
149 }
```

Ilustración 69. Comprobación del enlace

Nota: Comprobación del enlace

Fuente: Elaboración propia del autor

// punto para elaborar pruebas de lectura de datos

5.2.8. Transmisión y documentación de datos

Resulta fundamental implementar un mecanismo de persistencia de datos permitiendo el almacenamiento de registros históricos para lo que es el análisis de series temporales y la identificación de patrones en la telemetría del cultivo, con el fin se ejecutó un protocolo de validación para garantizar de integridad y consistencia en la transmisión de los paquetes de datos hacia el motor de base de datos desde el hardware hacia el servidor en Microsoft Azure, su registro en la base de datos PostgreSQL (alojado en Neon) y su visualización final en el dashboard desarrollado en React + Vite.

Los resultados obtenidos en esta prueba fueron los siguientes:

- **Envío de datos:** Se verificó que los datos procesados por el nodo del sensor están siendo transmitidos correctamente al entorno de Azure mediante el protocolo de comunicación establecido. Esta transmisión fue exitosa gracias a la recepción de los paquetes de datos, visualizándose de manera inmediata en la consola del servidor.
- **Visualización en tiempo real:** en el dashboard se mostró la representación de los datos en tiempo real utilizando el protocolo de

WebSockets, permitiendo una visualización clara y estructurada de la humedad del suelo y los parámetros climáticos de la finca “El pasaje”.

- **Almacenamiento persistente:** Se validó el registro estable de la telemetría en PostgreSQL (Neon), garantizando así la integridad de los históricos de humedad y temperatura. Esta configuración asegura la trazabilidad del comportamiento hídrico del cultivo facilitando así el análisis retrospectivo.

La integración permitió hacer el envío de datos hacia el servidor, la visualización de la telemetría en el dashboard web y a la persistencia en PostgreSQL se corroboró la integridad sistemática del proyecto evidenciando una interoperabilidad de extremo a extremo y la solvencia técnica de la arquitectura propuesta de registrar y visualizar información de manera confiable, eficiente y escalable en la nube.

Ilustración 72. Comprobación de respuesta en Node-RED

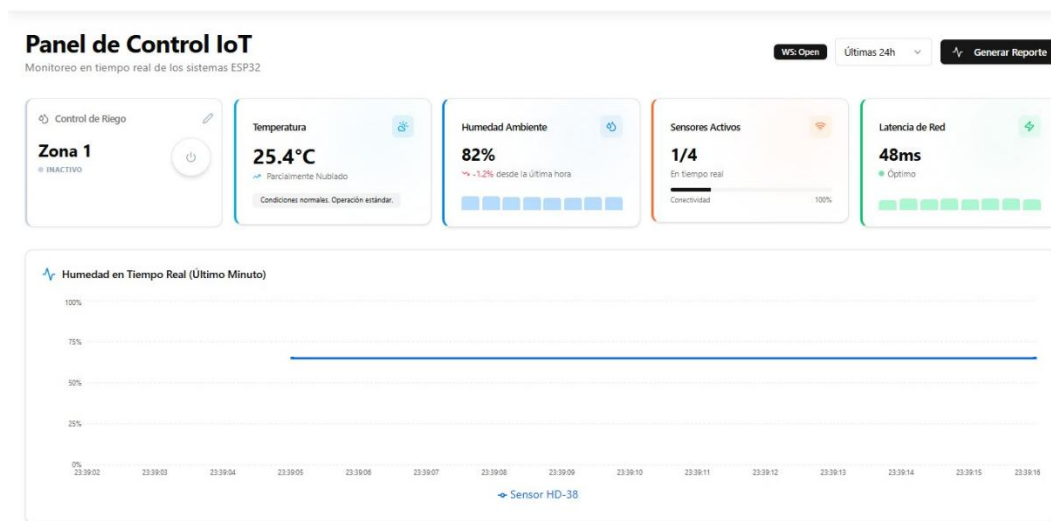


Ilustración 70. Comprobación del Node-RED

Nota: Comprobación del Node-RED

Fuente: Elaboración propia del autor

Ilustración 73 Imagen de la base de datos

id	serial	humedad_suelo	adc	sensor	origen
108		65	1755	HD-38	esp32
109		65	1757	HD-38	esp32
110		65	1751	HD-38	esp32
111		65	1756	HD-38	esp32
112		64	1760	HD-38	esp32
113		65	1756	HD-38	esp32
114		65	1754	HD-38	esp32
115		64	1765	HD-38	esp32
116		64	1761	HD-38	esp32
117		64	1770	HD-38	esp32
118		64	1774	HD-38	esp32
119		64	1776	HD-38	esp32
120		64	1778	HD-38	esp32
121		64	1776	HD-38	esp32
122		64	1789	HD-38	esp32
123		64	1785	HD-38	esp32
124		64	1791	HD-38	esp32

Nota: Comprobación de guardado de datos

Fuente: Elaboración propia del autor

5.2.9. Prueba de integración con la plataforma de Node-RED

En este acápite se detalla la orquestación de flujos de datos mediante el entorno de desarrollo Node-RED estableciendo el puente de comunicación entre lo que es el hardware de control y la infraestructura remota, la cual actúa como el núcleo de gestión y pasarela entre el hardware de campo y los servicios en la nube. El objetivo de esta prueba fue validar que la comunicación local, el procesamiento de señales del PLC y el flujo de datos hacia la interfaz externa funcionan de manera coordinada para garantizar una operación eficiente en el cultivo de cacao.

Los resultados obtenidos de esta prueba son:

- **Procesamiento y normalización de datos:** Se verificó que las lecturas de humedad del suelo capturados por el sensor HD-38 son procesados correctamente por los flujos de Node-RED, transformando los valores analógicos en datos digitales precisos ante de su envío a la base de datos PostgreSQL.
- **Gestión de Estados de riego:** Se validó que los flujos lógicos permiten identificar con precisión el estado operativo de la bomba de 2 HP. El sistema visualiza de forma intuitiva si el riego está “Activo” o “Detenido”,

enviando estas confirmaciones en tiempo real hacia el dashboard en React + Vite.

- **Interoperabilidad y control bidireccional:** se comprobó que los comandos enviados desde la interfaz remota son recibidos satisfactoriamente por Node-RED y retransmitidos al PLC. Esto permite una ejecución precisa de las ordenes de encendido y apagado, manteniendo la sincronización entre la web y el actuador físico.
- **Acceso remoto y escalabilidad:** A diferencia de sistemas limitados a la red local (LAN) las pruebas confirmaron que la integración de Node-RED con Microsoft Azure permite romper la barrera de proximidad. Esto garantiza que el investigador pueda supervisar y controlar el riego en la finca “El pasaje” desde cualquier ubicación geográfica con acceso a internet.

Este apartado demuestra que la integración con Node-RED cumple con los requisitos de interoperabilidad planeados. Al actuar como un puente robusto, el sistema ofrece una solución confiable que combina la estabilidad de la ejecución local con la flexibilidad del monitoreo remoto en la nube.

Ilustración 74. Datos de temperatura



Ilustración 71. Datos de temperatura

Nota: datos de temperatura

Fuente: elaboración propia del autor

Ilustración 75. Datos de humedad

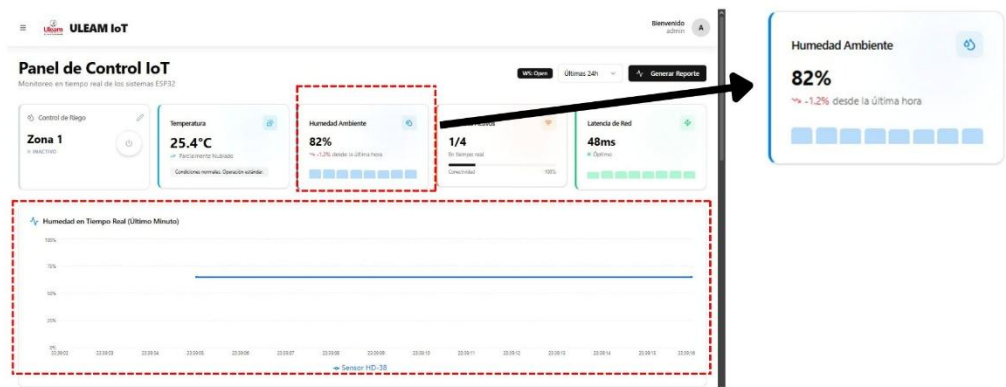


Ilustración 72. Datos de humedad

Nota; datos de humedad

Fuente: elaboración propia del autor

Ilustración 76. Datos del estado de la bomba

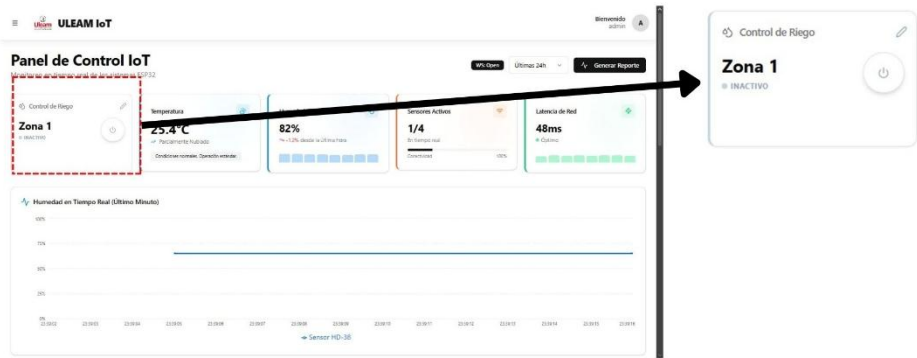


Ilustración 73. Datos del estado de la bomba

Nota: datos del estado de la bomba

Fuente: elaboración propia del autor

Ilustración 77. Estado del sensor



Ilustración 74. Datos del estado del sensor

Nota.: datos del estado del sensor

Fuente: elaboración propia del autor

5.2.10. Pruebas de estabilidad y robustes

En este apartado se detallan los resultados derivados de la validación experimental obtenida de la estabilidad y residencia del sistema de riego bajo diversos escenarios operativos en la finca “El Pasaje”, ejecutándose durante enero 2026 estas pruebas tuvieron como objetivo de verificar la fiabilidad técnica de la arquitectura en la supervisión y gestión automatización del cultivo de cacao.

5.2.10.1. Procedimientos y resultados

El sistema fue sometido a pruebas de estrés que incluyen la recopilación masiva y el almacenamiento de datos esenciales en la base de datos PostgreSQL (alojamiento en Neon), los parámetros registrados durante estas pruebas incluyeron los niveles de humedad del suelo capturados por el sensor HD-38, el estado operativo de la bomba 2 HP (encendido, apagado o automático) y la telemetría climática obtenida mediante la integración de la API externa, junto con la fecha y hora correspondientes para asegurar la trazabilidad total del riego,

5.3. Interpretación objetiva

La validación operativa del sistema en la finca “El pasaje” confirma lo que es la correcta interoperabilidad entre el control lógico industrial y la infraestructura en la nube. Durante las pruebas hechas en campo, se pudo verificar la estabilidad de la conexión entre el PLC y Microsoft Azure garantizando así la integridad de los datos en el envío de la telemetría desde el sensor hacia lo que es el dashboard. Los resultados demuestran que la arquitectura responde de manera eficiente a los requerimientos técnicos que se necesita del cultivo del cachaco manteniendo así la continuidad operativa bajo diversos escenarios de demanda hídrica.

La eficiencia del monitoreo se sustenta en el uso de WebSocket lo que permitió facilitar el flujo de los datos de forma bidireccional y en tiempo real con baja latencia. Asimismo, la persistencia de datos en PostgreSQL (Neon) asegura que la trazabilidad de los históricos de la humedad y temperatura, permitiendo así un análisis técnico profundo sin comprometer la velocidad de respuesta del sistema. La combinación de las herramientas a la plataforma dota de escalabilidad necesaria para adaptarse a entornos agroindustriales de alta exigencia donde la precisión es crítica

Finalmente, el despliegue del prototipo en un entorno real como lo es la parroquia Alajuela constituye un avance significativo hacia la modernización agrícola en la zona, al integrar con hardware robusto y con un desarrollo web moderno, este proyecto puede trascender para convertirse en un modelo de funcional de agricultura 4.0, demostrando que si la automatizado basada en datos en la solución definitiva para optimizar el recurso hídrico en cultivos de exportación.

CAPITULO VI

6. Conclusiones y Recomendaciones

6.1. Conclusiones

La implementación y evaluación del sistema de riego automatizado diseñado para la finca “El Pasaje”, en la parroquia Alajuela, permite concluir que se ha logrado una transformación significativa en la gestión del cultivo de cacao, pasando de un método

manual empírico a un modelo de Agricultura 4.0. El cumplimiento de los objetivos planteados al inicio de la investigación evidencia que la integración de hardware industrial con soluciones en la nube no solo es viable, sino necesaria para mejorar la eficiencia productiva en el entorno agrícola local.

La integración del PLC con el sensor de humedad permitió establecer un régimen de riego ajustado a la demanda hídrica real que requiere del suelo, la lógica de control automatizado el ciclo que la bomba bajo un punto del 40%, así previene tanto el estrés hídrico como la saturación del terreno en el cultivo de cacao. Este enfoque técnico optimiza el recurso asiendo que elimine la variabilidad y el desperdicio asociados al riego manual tradicional.

En el apartado de supervisión, el dashboard implementando garantiza que la visualización reactiva de telemetría se muestre con baja latencia, optimizando la disponibilidad del sistema. Esta arquitectura no solo simplifica la gestión operativa mediante métricas técnicas. Sino que asegura la trazabilidad hídrica del cultivo mediante la persistencia históricas en PostgreSQL, la integración de los protocolos de comunicación y la infraestructura de datos escalable lo hace ver fiable al punto de ser técnica superior frente a los esquemas de gestión convencionales.

Las pruebas hechas en campo realizadas en enero de 2026 confirmaron la resiliencia e la arquitectura IoT. Ya que se validó que el sistema mantiene una autonomía del riego de forma local mediante un PLC, que incluso ante interrupciones en la conectividad externa este restablece la sincronización de datos automáticamente al recuperar el enlace con la nube, estos resultados posicionan al prototipo como una solución técnica, fiable y escalable para la modernización agrícola en la región de Portoviejo.

6.2. Recomendaciones

Con base en la implementación y las pruebas realizadas durante enero 2026, se plantean las siguientes recomendaciones para asegurar sostenibilidad y escalabilidad del proyecto:

- **Mantenimiento del sensor HD-38:** Ejecutar limpiezas y calibraciones periódicamente de las sondas para así mitigar los efectos de la corrosión galvánica, asegurando que la lectura de la humedad sea siempre precisa.
- **Inspección del tablero industrial:** realizar inspecciones al gabinete del PLC verificando si todo funciona correctamente y ver si el toque de los bornes esta aislados frente a la humedad relativa y al calor extremos de la finca
- **Sectorización de la red hídrica:** Aplicar el sistema mediante una instalación de nodos sensores adicionales que pueda habilitar el riego por zonas, permitiendo que así la bomba opere de forma selectiva según de la demanda hídrica y donde se encuentre el lugar.
- **Seguridad y escalabilidad digital:** efectuar actualizaciones periódicas a las dependencias de la interfaz de react y los servicios de Azure para prevenir y garantizar la integridad de los datos históricos de PostgreSQL y la estabilidad del túnel de comunicación segura.
- **Integración de energía fotovoltaica:** Implementar paneles solares para alimentar los módulos de control en campo, asegurando autonomía energética y optimizando los costos operativos a largo plazo.
- **Modelado predictivo con IA:** Utilizar el histórico de datos en la base de PostgreSQL para desarrollar algoritmos de inteligencia artificial que puedan anticipar la demanda hídrica basándose en patrones climáticos locales.

Bibliografía

DAYAAN, S. V. (2023). *DIAGNÓSTICO PARA LA PROGRAMACIÓN DE RIEGO*. EL TRIUNFO.

Glod, K. (01 de 12 de 2021). *prinautomazione*. Obtenido de <https://www.prinautomazione.it/es/post/introducción-a-los-sensores>

indutor Soluciones. (2025). Obtenido de <https://indutorperu.com/product/logo8/#>

Informate manabí. (07 de 07 de 2024). *Informate manabí*. Obtenido de <https://informatemanabi.com/❖-ecuador-■dia-mundial-del-cacao-celebrando-el-oro-de-manabi-y-ecuador>

Juan Carlos Vásconez Cuzco, F. d. (2013). *DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE RIEGO AUTOMATIZADO Y CONTROLADO DE FORMA INALÁMBRICA PARA UNA FINCA UBICADA EN EL SECTOR POPULAR DE BALERIO ESTACIO*. Guayaquil.

Microsoft. (2025). *Microsoft*. Obtenido de Microsoft: <https://azure.microsoft.com/es-es/get-started/azure-portal>

Molina Aquino, B. A. (2015). *Sistema de riego automatizado para el cultivo de cacao*. Revista Tecnológica - ESPOL.

Salazar, J., & Santiago, S. (s.f.). INTERNET DE LAS COSAS. (*REVISTA CIENTIFICA*). TechPedia, Technicka.

Simone, S. D. (08 de 08 de 2019). *InfoQ*. Obtenido de <https://www.infoq.com/news/2019/10/nodered-1-0-released>

Bolton, W. (2017). *Mecatrónica. Sistemas de control electrónico en Ingeniería Mecánica y Eléctrica: Un enfoque multidisciplinario*. 6.a ed. Alfaomega Grupo Editor. <http://bida.uclv.edu.cu/handle/123456789/15050>

Creus Solé, A. (2010). *Instrumentación Industrial* (8ª). Marcombo. https://www.academia.edu/43436126/_INSTRUMENTACION_INDUSTRIAL_ANTONIO_CREUS

Drishya Manohar. (2024). *Modelo de publicación/suscripción del protocolo MQTT* [Graphic]. <https://www.cavliwireless.com/blog/nerdiest-of-things/what-is-the-mqtt-protocol>

Espressif Systems. (2024). *ESP32 Technical Reference Manual* [Manual]. https://documentation.espressif.com/esp32_technical_reference_manual_en.pdf

Espressif Systems. (2025). *ESP32-WROOM-32*.
https://documentation.espressif.com/esp32-wroom-32_datasheet_en.pdf

Giusti, A. D. (2013). Cloud Computing. Concepts, Technology & Architecture. *Journal of Computer Science and Technology*, (Extra 3 (Special Issue on “I Jornadas de Cloud Computing 2013”)), 175–176.

Guardamotor Pulsador. (2026). [Graphic].
<https://www.eivinueza.com.ec/automatizacion-y-control/guardamotores/guardamotores.html>

Hernández Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. P. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta* (First edition). McGraw-Hill Education.

Lucino, C. V. (2022). *Clasificación de las bombas y variables principales*. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP).
<http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/153629>

Lucino, C. V., Liscia, S. O., & Galíndez, J. M. (2022). *Bombas, estaciones de bombeo y acueductos*. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP).
<https://doi.org/10.35537/10915/152118>

Martín-Benito, J. M. T. (2008). *El riego por aspersión y su tecnología*. Mundi-Prensa. <https://elibro.net/es/lc/uleam/titulos/35828?prev=as>

Mell, P., & Grance, T. (2011). *The NIST Definition of Cloud Computing*.

Melnikov, A., & Fette, I. (2011). *The WebSocket Protocol* (Request for Comments RFC 6455). Internet Engineering Task Force. <https://doi.org/10.17487/RFC6455>

Mukhadin Beschokov. (2025). *WebSocket vs HTTP* [Graphic].
<https://www.wallarm.com/what/a-simple-explanation-of-what-a-websocket-is>

OASIS Open (Ed.). (2019). *MQTT Version 5.0*. (p. 137). <https://docs.oasis-open.org/mqtt/mqtt/v5.0/os/mqtt-v5.0-os.pdf>

Paredes Andrade, N., Altamirano, Á., Lima Tandazo, L., Caicedo Vargas, C., Tinoco J, L. A., Fernández, F., Vargas Tierras, Y. B., Pico, J. T., Subía G, C., Burbano Cachiguango, A., Chanaluz Choloquina, A., Sotomayor Akopyan, D. A., Díaz M, A., Intriago Intriago, J., Chancosa Muenala, C., Andrade, A., & Enríquez, G. (2022). *Manual del cultivo de cacao sostenible para la Amazonía Ecuatoriana*. (Manual Técnico No. 125; p. 82). Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5833>.

Sathya, D., & Swetha, M. (2025). Real-Time Chat Application with Web Socket for Network Efficiency. *International Journal of Scientific Research in Science and Technology*, 12, 830–835. <https://doi.org/10.32628/IJSRST251362>

Schneider Electric. (2025a). *esquemario: Guía técnica de esquemas y componentes*. <https://www.se.com/es/es/faqs/FA373435/>

Schneider Electric. (2025b). *Manual teórico práctico de instalaciones de Baja Tension*. <https://www.se.com/es/es/faqs/FA373435/>

Sommerville, I. (2011). *Software engineering* (9th ed). Pearson.

SSDIELECT ELECTRONICA. (2026). *SENSOR HUMEDAD DE SUELO HD-38 INOXIDABLE ANTICORROSIVO HIGRO* [Graphic]. <https://ssdielect.com/humedad-2/4770-soil-moisture-sensor.html>

Torres Paredes, I. D., Salazar Álvarez, N. de J., & Guamán Andrade, A. R. (2024). *Universo IoT Sensores, dispositivos, redes y protocolos de comunicación en el internet de las cosas*. <https://dspace.esPOCH.edu.ec/items/e0c9ca54-1759-41d9-8a63-d0688c587f5c>

Ubuntu Server documentation. (2025, diciembre 11). Ubuntu Server. <https://ubuntu.com/server/docs/>

UNIT Electronics. (s/f). *ESP32 38 Pines ESP WROOM 32* [Graphic]. Recuperado <https://uelectronics.com/producto/esp32-38-pines-esp-wroom-32/>

Versión resumida de El estado mundial de la agricultura y la alimentación 2022. (2022). FAO. <https://doi.org/10.4060/cc2459es>

Anexos

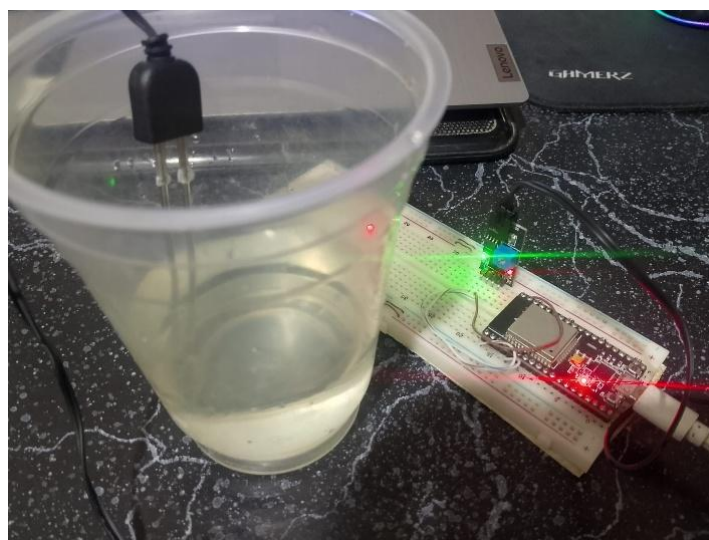
Ilustración 78 Imagen de las piezas para el tablero



Nota: Adquisición de los productos para el ensamble

Fuente: elaboración propia del autor

Ilustración 79 Pruebas del medidor de humedad



Nota: datos del estado del sensor

Fuente: elaboración propia del autor

Ilustración 80 Instalación y fijación al tablero



Nota: Fijación de las piezas al tablero

Fuente: elaboración propia del autor

Ilustración 81 Imagen del lugar de implementación del sistema



Nota: Lugar del terreno de instalación

Fuente: elaboración propia del autor

Ilustración 82 Medición del sistema en funcionamiento



Nota: Lugar del terreno de instalación

Fuente: elaboración propia del autor

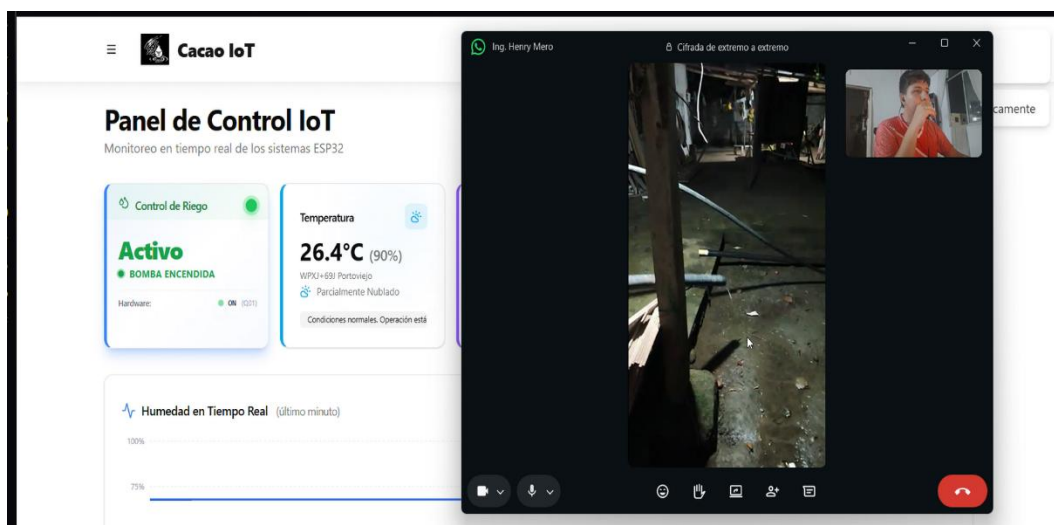
Ilustración 83 Imagen de la colocación del sistema en funcionamiento



Nota: Sistema en funcionamiento

Fuente: elaboración propia del autor

Ilustración 84 Pruebas del funcionamiento de forma remota



Nota: Sistema en funcionamiento de forma remota

Fuente: elaboración propia del autor