

UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZÓNICA DE MADRE DE DIOS
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE SISTEMAS E
INFORMÁTICA



TESIS

**“Sistema de riego automatizado basado en IOT en el vivero forestal de la
Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios, 2023”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO DE SISTEMAS
E INFORMÁTICA**

AUTORES:

Bach. SUAQUITA APAZA, Juan Carlos

Bach. MAMANI MAMANI, Jorge Luis

ASESOR:

MSc. PRIETO LUNA, Jaime Cesar

Puerto Maldonado, Junio 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZÓNICA DE MADRE DE DIOS
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE SISTEMAS E
INFORMÁTICA



TESIS

**“Sistema de riego automatizado basado en IOT en el vivero forestal de la
Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios, 2023”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO DE SISTEMAS
E INFORMÁTICA**

AUTORES:

Bach. SUAQUITA APAZA, Juan Carlos

Bach. MAMANI MAMANI, Jorge Luis

ASESOR:

MSc. PRIETO LUNA, Jaime Cesar

Puerto Maldonado, Junio 2025

Dedicatoria

“Quiero dedicar este logro a Dios, quien ha sido mi fuerza y mi guía en todo este proceso. También dedico esto a mis padres y expresarles toda mi gratitud y decirles que fueron mi motor y motivo de este logro. Han sido mi mayor ejemplo de dedicación y sacrificio.”

SUAQUITA APAZA, Juan Carlos

“Dedico este trabajo a mis queridos padres, por estar siempre conmigo en cada paso de este camino y ser el soporte esencial en mi desarrollo académico gracias a su apoyo incondicional. Estoy profundamente agradecido con mis profesores, cuyas enseñanzas y guía han enriquecido mi experiencia universitaria.”

MAMANI MAMANI, Jorge Luis

Agradecimiento

“Quiero agradecer a Dios por permitirme estar presente, a mis padres que me ayudaron a poder cumplir las promesas que me trace en mi vida, me siento muy agradecido por el apoyo de la universidad, por brindarme los conocimientos necesarios para poder crecer y desarrollarme profesionalmente.”

SUAQUITA APAZA, Juan Carlos

“Quiero agradecer a Dios por permitirme estar presente, a mis padres que me ayudaron a poder cumplir las promesas que me trace en mi vida, me siento muy agradecido por el apoyo de la universidad, por brindarme los conocimientos necesarios para poder crecer y desarrollarme profesionalmente.”

MAMANI MAMANI, Jorge Luis

TURNITIN_JUAN CARLOS SUAQUITA Y JORGE LUIS MAMANI

INFORME DE ORIGINALIDAD

2%

INDICE DE SIMILITUD

2%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

2%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

repositorio.unicordoba.edu.co

Fuente de Internet

1%

2

repositorio.ucv.edu.pe

Fuente de Internet

1%

3

dspace.unl.edu.ec

Fuente de Internet

1%

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias < 1%

Excluir bibliografía

Activo

Presentación

La tesis titulada “**Sistema de riego automatizado basado en IOT en el vivero forestal de la universidad nacional amazónica de madre de dios, 2023**”, tiene como objetivo principal la implementación de un sistema de riego automatizado utilizando tecnologías de Internet de las Cosas IOT donde debemos destacar que este proyecto se enfoca en el monitoreo en tiempo real de los parámetros de suelo del vivero y a través de ellos poder optimizar el manejo del agua y mejorar el nivel de crecimiento de las plantas del vivero forestal de la UNAMAD.

El sistema propuesto busca garantizar un riego uniforme y eficiente y también reducir el desperdicio de recursos hídricos, adaptándose a los niveles de capacidad del suelo que tengan cada planta del vivero, teniendo en cuenta las condiciones ambientales enfocándonos necesariamente en la humedad de suelo, y a la vez recopilando datos adicionales como la temperatura de suelo y la conductividad eléctrica.

Por lo que, para lograr los objetivos se utilizaron sensores que midan la humedad y la temperatura de suelo, lo que nos ayudaran a obtener datos precisos para el monitoreo de suelo y la activación oportuna del riego en el vivero.

Bach. SUAQUITA APAZA, Juan Carlos

Bach. MAMANI MAMANI, Jorge Luis

Resumen

El principal problema que existe en el vivero de la UNAMAD es uso ineficiente del agua que son utilizadas para el riego de las plantas que se encuentran dentro del vivero, ya que no se utiliza de manera correcta y eficiente teniendo como resultado perdidas de grandes cantidades de agua y la perdida de plantas que en algunos casos no pueden desarrollarse bien por el exceso de agua que puede tener dicha planta. La presente tesis titulada **“Sistema de riego automatizado basado en IOT en el vivero forestal de la universidad nacional amazónica de madre de dios, 2023”**, tiene como objetivo principal implementar un sistema de riego automatizado utilizando tecnologías de Internet de las Cosas IOT, el cual tiene como prioridad el monitoreo en tiempo real de los parámetros de suelo del vivero y a través de ellos poder optimizar el manejo del agua y mejorar el nivel de crecimiento de las plantas del vivero forestal de la UNAMAD, utilizando sensores de medición de humedad y temperatura de suelo que nos ayudarán a medir datos precisos para el monitoreo de suelo y la activación oportuna y eficiente del riego en el vivero. La metodología ágil utilizada es la Metodología SCRUM ya que fomenta la comunicación constante entre todos los involucrados, lo cual es clave para este proyecto de investigación, y para garantizar una estructura modular, escalable y se logre mantener el desarrollo del sistema de riego automatizado basado en IoT, se adoptó el patrón de diseño Modelo-Vista-Controlador. La implementación del sistema de riego automatizado basado en IoT ha transformado la forma en que se cuidan las plantas en el vivero forestal. Al poder monitorear en tiempo real la humedad del suelo, el sistema asegura que cada planta reciba justo el agua que necesita, en el momento adecuado. Esto no solo facilita el trabajo de quienes gestionan el vivero, sino que también permite ahorrar una cantidad considerable de agua, evitando el desperdicio que suele ocurrir con el riego manual o programado. En definitiva, se ha logrado un equilibrio entre tecnología y sostenibilidad para un mejor cuidado de las plantas y un uso más eficiente del recurso hídrico.

Palabras clave: sistema web, monitoreo de suelo, IOT.

Abstract

The main problem that exists in the UNAMAD nursery is the inefficient use of water that is used to irrigate the plants that are inside the nursery, since it is not used correctly and effectively, resulting in the loss of large amounts of water and the loss of plants that in some cases cannot develop well due to the excess water that said plant may have. The main objective of this thesis entitled **"Automated irrigation system based on IOT in the forestry nursery of the National Amazonian University of Madre de Dios, 2023"** is to implement an automated irrigation system using Internet of Things IOT technologies. We must highlight that this project focuses on monitoring the nursery's soil parameters in real time and through them to be able to optimize water management and improve the level of growth of the plants in the UNAMAD forestry nursery, using humidity and temperature measurement sensors. soil that will help us measure precise data for soil monitoring and timely activation of irrigation in the nursery. The agile methodology used is the SCRUM Methodology since it encourages constant communication between all those involved, which is key for this research project, and to guarantee a modular, scalable structure and the development of the automated irrigation system based on IoT, the Model View-Controller design pattern was adopted. The implementation of IoT-base automated irrigation system has transformed the way plants are cared for in the forest nursery. By being able to monitor soil moisture in real time, the system ensures that each plant receives just the water it needs, at the right time. This not only makes the work of those who manage the nursery easier, but also saves a considerable amount of water, avoiding the waste that usually occurs with manual or scheduled irrigation. In short, a balance has been achieved between technology and sustainability for better plant care and more efficient use of water resources.

Keywords: Web system, soil monitoring, IOT.

Introducción

La agricultura es uno de los sectores con mayor consumo de agua dulce, utilizando el 84% de este recurso para riego; sin embargo, su administración suele ser ineficiente e inadecuada (Liu et al. 2022). El agua dulce, considerada un recurso estratégico para la seguridad alimentaria, enfrenta una creciente demanda y escasez debido al aumento poblacional, la urbanización, el crecimiento de la agricultura, la deforestación, las malas prácticas en el sector y la contaminación de las fuentes hídricas (Donaldo Zúniga 2021). Este panorama, agravado por el crecimiento de la población mundial y el incremento en el consumo de agua para la producción de alimentos, exige la implementación de medidas para optimizar el uso del agua en el riego (García et al. 2020). Se estima que para 2025 la demanda de agua se incrementará en un 50%, un requerimiento que podría satisfacerse mejorando la eficiencia en los sistemas de riego (Sperandio et al. 2022).

En el Perú se presenta una situación similar, el sector agrícola consume el 80% del suministro de agua del país, del cual sólo es utilizado cerca del 30% y el restante 70% se desperdicia, a causa del uso de infraestructuras obsoletas carentes de tecnologías que permitan aprovechar el agua de manera eficiente. En razón de ello, diversos organismos nacionales e internacionales vienen emprendiendo acciones con el objetivo de mejorar los sistemas y las formas de riego que tienen los agricultores y de esa manera ayudar a promover una gestión integrada y eficiente del uso del agua (UNOPS 2021).

Otro aspecto que repercute sobre los ecosistemas forestales, es el cambio climático, por lo que urge se adopten medidas para su mitigación y contribuir significativamente en los objetivos sostenibles (Hazarika et al. 2021). En el país, la disminución del agua debido al cambio climático es preocupante, especialmente en los periodos de sequía por la falta de lluvias («AGROBANCO» [sin fecha]).

La deforestación ocurre cuando los bosques son transformados para otros usos, principalmente debido a la expansión de la agricultura y la ganadería («Evaluación de los recursos forestales mundiales 2020» 2021). Por otro lado, la degradación se refiere a la pérdida de calidad de los bosques, lo

que afecta su capacidad para brindar beneficios ambientales y ecológicos(MINISTERIO DEL AMBIENTE - PERU 2016).

En la selva amazónica del Perú, la deforestación entre los años 2001 a 2019 bordea los 2.5 millones de hectáreas de bosques húmedos, en promedio cada año se pierde alrededor de 130 mil hectáreas (GEOBOSQUES 2024). Esta situación está relacionada con la agricultura migratoria, con la roza y quema vinculada, la actividad minera y la tala ilegal (Luque Ramos 2021) (La Barreda Noa 2021).

Para hacer frente a esta problemática, el Estado peruano aprobó el Plan Nacional de Reforestación con el objetivo de promover el desarrollo sostenible en áreas estratégicas con potencial para la forestación y reforestación. Mediante la reforestación, que consiste en repoblar o establecer nuevas especies de árboles, se busca mitigar los impactos negativos de la tala y el tráfico de recursos forestales, contribuyendo así a la recuperación y conservación de los ecosistemas (Ministerio de Agricultura Instituto Nacional de Recursos Naturales 2005).

Una alternativa para la reforestación son los viveros forestales, espacios que tienen por finalidad producir plántulas de buena calidad destinados a la conservación de los recursos del bosque (Oliva, Vacalla y Perez 2014).

En este proceso de producción se les brinda a las semillas la atención y tratamientos pertinentes para lograr su adecuada germinación y un buen desarrollo, con el objetivo de aumentar las posibilidades de éxito cuando se planta en el campo (Rueda Sánchez et al. 2014).

En los viveros forestales, el riego por aspersión es el método más comúnmente utilizado; no obstante, este tipo de riego no permite una distribución uniforme del agua y presenta una alta tasa de desperdicio, lo que determina pérdidas de nutrientes en el sustrato donde se crecen las plántulas (Ramírez Galicia et al. 2022).

Adoptar tecnologías innovadoras para mejorar los sistemas de riego es esencial para lograr un uso más eficiente del agua y avanzar en los Objetivos de Desarrollo Sostenible, especialmente en lo relacionado con la gestión responsable del agua. Herramientas como el Internet de las Cosas (IOT) y los sistemas de control avanzados hacen posible monitorear y gestionar el riego

de manera más precisa en la agricultura, optimizando el recurso y contribuyendo a una mayor sostenibilidad (Abioye et al. 2020).

Los sistemas de riego automatizados juegan un papel esencial en la preservación y reducción en el uso del agua (Obaideen et al. 2022).

Además, permiten garantizar una buena productividad y disminuir la carga laboral de los agricultores (Smith et al. 2022).

El Vivero Forestal de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios está destinado a la producción y reproducción de plantas forestales, con el propósito de suministrar materiales de plantación de alta calidad para su uso en la reforestación de plantaciones forestales y agroforestales de la región.

La presente investigación tiene como objetivo desarrollar un sistema basado en IOT que permita el riego automatizado en el Vivero Forestal de la UNAMAD, estará estructurada en cuatro capítulos.

En el Capítulo I se fundamenta el planteamiento de problema, aquí se describirá la problemática de la investigación y se formulará el problema; además de los objetivos, hipótesis y variables de estudio. En el capítulo II se refiere el marco teórico, el cual describirá el estado del arte, es decir, los estudios realizados sobre el tema investigado, también se elaborará las bases teóricas y conceptuales que sustentan el problema. En el capítulo III se describe la metodología de la investigación, el diseño y métodos que se utilizarán para solucionar el problema, además de las técnicas e instrumentos de recopilación y procesamiento de datos y en el capítulo IV se presenta los resultados de la investigación, seguidos de la discusión y las conclusiones. Se adicionará las referencias bibliográficas y anexos.

Índice

Dedicatoria	
Agradecimiento	
Presentación	
Resumen	
Abstract	
Introducción	
Índice	
Índice de Tablas	
Índice de Figuras	
CAPITULO I. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	1
1.1.Descripción del problema	1
1.2.Formulación del problema	3
1.2.1. Problema general	3
1.2.2. Problemas específicos.....	3
1.3.Objetivos de la investigación	3
1.3.1. Objetivo general.....	4
1.3.2. Objetivos específicos	4
1.4.Variables de la investigación	4
1.5.Operacionalización de variables.....	4
1.6.Justificación.....	5
1.6.1. Justificación social	6
1.6.2. Justificación ambiental.....	6
1.6.3. Justificación metodológica	6
1.6.4. Justificación económica	7
1.7.Consideraciones éticas	7
CAPITULO II. MARCO TEÓRICO	8
2.1.Antecedentes de la investigación	8
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	8
2.1.2. Antecedentes nacionales.....	10
2.2.Marco Teórico	11
2.2.1. Sistema de riego automatizado	11

2.2.2. Internet de las Cosas (IoT)	12
2.2.3. Firebase	12
2.2.4. The Things Network.....	12
2.2.5. Amazon Lightsail	13
2.2.6. Metodología Ágil SCRUM	13
2.2.7. Patrón de diseño de software	14
2.2.8. Patrón de diseño Modelo-Vista-Controlador	15
2.2.9. Arquitectura IOT	16
2.2.10. Monitoreo del suelo	18
2.2.11. Temperatura del suelo	18
2.2.12. Humedad del suelo	19
2.2.13. Conductividad eléctrica del suelo	19
2.2.14. Gestión de riego	19
2.2.15. Cama de cultivo	20
2.2.16. Capacidad de campo	20
2.2.17. Punto de Marchitez Permanente	21
2.2.18. Sustrato de suelo	21
2.2.19. Riego por micro aspersión	21
2.2.20. Micro aspersores Nebulizadores FLF	22
2.2.21. Vivero forestal	23
2.3. Definición de términos	23
2.3.1. El nodo Lora WAN Dragino LSE01	23
2.3.2. LoRaWAN	24
2.3.3. RAK7258 LPWAN Micro Indoor Gateway	24
2.3.4. Sistema web	24
2.3.5. Automatización	25
2.3.6. Prototipo	25
2.3.7. Bomba de agua	25
2.3.8. Electroválvula	25
CAPITULO III. METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN	27
3.1. Tipo de estudio	27
3.2. Diseño de estudio	27
3.3. Nivel de investigación	27

3.4. Población y muestra.....	28
3.5. Métodos y técnicas.....	28
3.6. Tratamiento de los datos	28
CAPITULO IV. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN	29
4.1. Descripción general del sistema.....	29
4.2. Análisis de requisitos.....	30
4.3. Diagramas UML.....	31
4.4. Desarrollo de sistema con SCRUM	37
4.5. Diseño e implementación.....	67
4.6. Pruebas del software y hardware.....	85
4.7. Análisis de la Variabilidad de los Parámetros del Suelo.....	87
CONCLUSIONES.....	89
Anexos.....	102
Anexo 1. Operacionalización de variable	
Anexo 2. Matriz de consistencia	
Anexo 3. Solicitud de autorización para realizar el estudio.	

Índice de Tablas

Tabla 1. Operacionalización de variables	4
Tabla 2. Estructura de recopilación de datos	28
Tabla 3. Asignación de roles para el desarrollo	37
Tabla 4. Asignación de eventos para el desarrollo	37
Tabla 5. Personal implicado	39
Tabla 6. Definición de proyecto	39
Tabla 7. Definición de horarios	39
Tabla 8. Historia de Usuario N.º 01 – Elaboración de maqueta y visión general del sistema.....	40
Tabla 9. Historia de Usuario N.º 02 – Designación de herramientas a usar...40	
Tabla 10. Historia de Usuario N.º 03 – Configuración de la arquitectura IOT del sistema	40
Tabla 11. Historia de Usuario N.º 04 – Medición de la capacidad de campo del suelo.	41
Tabla 12. Historia de Usuario N.º 05 – Desarrollo de la interfaz de usuario ...41	
Tabla 13. Historia de Usuario N.º 06 – Almacenamiento de datos	41
Tabla 14. Historia de Usuario N.º 07 – Monitoreo de humedad, temperatura y conductividad	42
Tabla 15. Historia de Usuario N.º 08 – Activación automática del riego	42
Tabla 16. Historia de Usuario N.º 09 – Generación de reportes.....	42
Tabla 17. Historia de Usuario N.º 10 – Puesta en marcha del sistema web vivero-inteligente.info	43
Tabla 18. Product Backlog	43
Tabla 19. Compilación de historias de usuario a realizar en el sprint N.º 01 ..44	
Tabla 20. Tareas de historia de usuario N.º 01	44
Tabla 21. Tareas de historia de usuario N.º 02	45
Tabla 22. Tareas de historia de usuario N.º 03	45
Tabla 23. Tareas de historia de usuario N.º 04	45
Tabla 24. Tareas de historia de usuario N.º 05	46
Tabla 25. Tareas de historia de usuario N.º 06	46
Tabla 26. Listado de tareas terminadas para el sprint N.º 01	46

Tabla 27. Esfuerzo acumulado por tareas de usuario en historias N.º 1, 2, 3, 4, 5 y 6	47
Tabla 28. Comprobación de funcionalidad de las historias para el Sprint N.º 1.	48
Tabla 29. Compilación de historias de usuario completadas (tachadas) y las que se realizarán en el sprint N.º 2 (en negrita)	56
Tabla 30. Tareas de historia de usuario N.º 07	57
Tabla 31. Tareas de historia de usuario N.º 08	57
Tabla 32. Listado de tareas terminadas para el Sprint N.º2.	57
Tabla 33. Esfuerzo acumulado por tareas de usuario en historias N.º 7, 8, 9 y 10.....	58
Tabla 34. Compilación de historias de usuario realizadas (tachados) y pendientes (en negrita)	62
Tabla 35. Tareas de historia de usuario N.º 09	62
Tabla 36. Tareas de historia de usuario N.º 10	62
Tabla 37. Listado de tareas terminadas para el Sprint N.º3	63
Tabla 38. Esfuerzo acumulado por tareas de usuario en historias N.º 09 y 1063	
Tabla 39. Comprobación de funcionalidad de las historias para el Sprint N.º364	
Tabla 40. Evaluación del tiempo óptimo de riego según el incremento de humedad del suelo.....	73
Tabla 41. Análisis descriptivo de la humedad registrado durante 14 días.....	88

Índice de Figuras

Figura 1. Datos técnicos del micro aspersor nebulizador FLF	22
Figura 2. Nebulizador FLF de 4 boquillas	22
Figura 3. Diagrama de caso de uso–Acciones realizadas por el administrador	31
Figura 4. Diagrama de flujo de activación de riego.	32
Figura 5. Diagrama de componentes que interactúan en el sistema web.....	32
Figura 6. Diagrama de secuencia de Acceso al Sistema web.....	33
Figura 7. Diagrama de secuencia de Gestión de Capacidad de Campo.....	33
Figura 8. Diagrama de secuencia de Reportes.....	33
Figura 9. Flujo de Sprint.....	38
Figura 10. Interfaz de inicio de sesión.....	48
Figura 11. Interfaz de Gestión de Capacidad de campo y Punto de Marchitez.	49
Figura 12. Arquitectura IoT del sistema.	49
Figura 13. Modulo lora del sensor.....	50
Figura 14. Configuración de modulo lora del sensor.....	50
Figura 15. The Things Network.....	51
Figura 16. Interfaz principal de Firebase.....	51
Figura 17. Firebase (Firestore database).....	52
Figura 18. Firebase (Authentication).....	52
Figura 19. Amazon Lightsail.....	53
Figura 20. Informe válido del umbral de capacidad de campo del suelo.....	53
Figura 21. Diseño y desarrollo de la interfaz web.	54
Figura 22. Visualización de datos en tiempo real a través de gráficos estilizados.	54
Figura 23. Implementación de pestaña de reportes para poder exportar los datos en archivos de Excel.	55
Figura 24. Almacenamiento de lecturas del sensor y eventos del sistema en Firestore Database.	55
Figura 25. Almacenamiento de lecturas del sensor y eventos del sistema en el Sistema Web.....	56
Figura 26. Instalación de sensor	58

Figura 27. Instalación de electroválvula.	59
Figura 28. Instalación de micro aspersores.	59
Figura 29. Configuración de la Raspberry pi 3.....	60
Figura 30. Micro aspersores funcionando correctamente de acuerdo a los parámetros de la capacidad de campo.	60
Figura 31. Página principal con gráficos del monitoreo.....	61
Figura 32. Configuración de umbral de humedad en la interfaz del administrador.	61
Figura 33. Sección de reporte dentro del sistema web.	64
Figura 34. Visualización de los datos registrados durante el día.	64
Figura 35. Selección de fecha de reporte que se requiere por día.....	65
Figura 36. Selección de fecha de reporte que se requiere por rango.	65
Figura 37. Opción de descarga en formato de Microsoft Excel.....	65
Figura 38. Ejemplo de reporte generado.....	66
Figura 39. Puesta en marcha del sistema web.	66
Figura 40. Página principal como administrador	67
Figura 41. Arquitectura final del sistema basado en IoT para riego automatizado.	67
Figura 42. Registro del Gateway en la red The things Network.	68
Figura 43. Registro del sensor utilizado en la red The things Network.	68
Figura 44. Credenciales The Things Network para protocolo MQTT.	69
Figura 45. Página principal de Amazon Lightsail.	69
Figura 46. Creación del proyecto llamado vivero en Firestore Database.....	70
Figura 47. Firebase - Authentication	71
Figura 48. Firebase - Firestore Database	71
Figura 49. Datos actualizados del sensor en el Sistema Web.	72
Figura 50. Sección de Capacidad de campo de suelo.	72
Figura 51. Extracción de datos de la Red LoRaWan (TTN) mediante protocolo MQTT.....	76
Figura 52. Almacenamiento en la Firebase-Firestore Database.	77
Figura 53. Lectura de datos para la Raspberry Pi 3 para la activación de micro aspersores.	78
Figura 54. Acceso al Sistema Web.	79

Figura 55. Sensor instalado dentro de una bolsa almaciguera.	80
Figura 56. Instalación de Gateway, Raspberry Pi 3 y un estabilizador para regular la energía.	81
Figura 57. Módulo de seguridad.	82
Figura 58. Instalación de la electroválvula.	82
Figura 59. Instalación de los listones para agarrar los micro aspersores.	83
Figura 60. Excavación en el exterior del vivero para colocar los listones.	84
Figura 61. Instalación completa del sistema de riego con micro aspersores.	85
Figura 62. Datos registrados por el sensor durante 14 días.	88

CAPITULO I. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción del problema

La demanda de agua dulce ha aumentado considerablemente, impulsada principalmente por el crecimiento de la población mundial y la intensificación de eventos de sequía en regiones agrícolas. Este escenario ha puesto en evidencia una problemática crítica: la agricultura de regadío, aunque esencial para la producción de alimentos, representa uno de los sectores que más consume agua, muchas veces de forma ineficiente. Esta situación genera una presión significativa sobre los recursos hídricos, afectando tanto la sostenibilidad ambiental como la disponibilidad de agua para otros sectores (Bwambale, Abagale y Anornu 2022).

Frente a este panorama, la agricultura enfrenta serias dificultades debido al uso ineficiente de los recursos hídricos y fertilizantes. En muchas regiones, especialmente en zonas con estrés hídrico, los métodos tradicionales de riego y fertilización, como el riego por inundación, no solo desperdician grandes cantidades de agua, sino que también resultan en la sobre aplicación de nutrientes, afectando la calidad de los cultivos y los ecosistemas circundantes. Esto no solo ofrece una solución a la escasez de agua y al uso excesivo de fertilizantes, sino que también se presenta como una estrategia viable para optimizar el uso de los recursos naturales y garantizar la sostenibilidad en la agricultura (Li et al. 2021). Junto a ello, se está viviendo en la actualidad, el aumento de la población y los duros efectos del cambio climático los cuales han intensificado la presión sobre la producción agrícola, creando la necesidad de identificar y promover prácticas sostenibles (Yang et al. 2023).

La agricultura es uno de los pilares de la economía en países subdesarrollados, esta actividad productiva emplea mayormente el riego manual, el cual no es óptimo por el desperdicio y el exceso de humedad que genera, dificultando el

crecimiento del cultivo y ocasionando pérdidas en las cosechas (Smith et al. 2022).

El riego de los cultivos en el pasado se aplicaba sin conocer las cantidades adecuadas de agua, ocasionando grandes volúmenes de agua desperdiciadas y deterioro de algunos cultivos (Guambo Alvarado y Ordoñez Pilay 2022). Es por lo cual, que el uso ineficiente del agua es una de las problemáticas más críticas en la agricultura en el Perú y el mundo, especialmente en regiones afectadas por el estrés hídrico. La eficiencia en el uso del agua es esencial no solo para reducir el consumo de este recurso limitado, sino también para mejorar la productividad agrícola. Sin embargo, muchos métodos tradicionales de riego no cuentan con una medición precisa de la cantidad de agua que realmente necesitan los cultivos (Wang et al. 2024).

Perú está entre los 30 países a nivel mundial que enfrentan problemas de estrés hídrico, con la agricultura siendo el sector que más agua consume (Acero Catacora y Lanchipa Valencia 2021). En la región de la selva muchos agricultores persisten con usar el riego tradicional, lo que demanda un considerable esfuerzo, pérdidas económicas y principalmente un uso ineficiente del agua (Ramírez Díaz y Vergara Sierra 2020).

Con un sistema de riego tradicional o programado, pueden surgir problemas debido a errores humanos. Por ejemplo, si el sistema no se enciende o apaga en el momento adecuado, puede provocar un exceso de agua en los cultivos o, por el contrario, que se sequen por falta de riego. Además, este tipo de sistemas tiende a consumir más energía, lo que aumenta los costos operativos (Ruben Tavelic Inga Herrera 2021).

El riego tradicional, que se activa según horarios preestablecidos, no tiene en cuenta las necesidades reales de las plántulas, lo que resulta en un suministro excesivo o insuficiente de agua. Este mal manejo no solo genera un desperdicio de agua, sino que también puede afectar el desarrollo y la calidad de las plántulas (Ashok, Arunadevi y Sujitha 2020).

El vivero de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios tiene como objetivo la producción y reproducción de plantas forestales, que se utilizarán en plantaciones forestales y agroforestales. El área de germinación cuenta con un sistema de riego que se activa diariamente en horarios pre establecidos, sin

considerar las necesidades hídricas del sustrato donde crecen las plántulas. Esta forma de riego resulta ineficiente pues genera excesos en el suministro del agua, situación que se agrava en las temporadas de lluvia intensa, con pérdidas de nutrientes del sustrato, donde una mala gestión del riego puede afectar seriamente el crecimiento y desarrollo de las plántulas, dando como resultado plantas de baja calidad, un aumento en la presencia de plagas que incrementa el riesgo de mortalidad, y un mayor consumo de agua y electricidad, lo que eleva los costos operativos. Por esta razón, la investigación propone implementar un sistema de riego automatizado basado en Internet de las Cosas. Este sistema se ajustará a las necesidades hídricas del suelo donde crecen las plántulas, optimizando el uso del agua. Además, al medir en tiempo real los parámetros del suelo en el Vivero Forestal, se podrá controlar de manera eficiente la automatización del riego.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿De qué manera un sistema basado en IoT permite el riego automatizado en el Vivero Forestal de la UNAMAD?

1.2.2. Problemas específicos

- 1) ¿Cómo la implementación de una Arquitectura IOT permite el riego automatizado en el Vivero Forestal de la UNAMAD?
- 2) ¿Cómo la implementación de monitoreo del suelo permite el riego automatizado en el Vivero Forestal de la UNAMAD?
- 3) ¿Cómo la aplicación de Gestión del riego permite su automatización en el Vivero Forestal de la UNAMAD?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general

Desarrollar un sistema basado en IoT que permita el riego automatizado en el Vivero Forestal de la UNAMAD.

1.3.2. Objetivos específicos

- 1) Implementar una Arquitectura IoT que permita el riego automatizado en el Vivero Forestal de la UNAMAD.
- 2) Implementar el monitoreo del suelo que permita el riego automatizado en el Vivero Forestal de la UNAMAD.
- 3) Emplear la gestión del riego para permitir la automatización en el Vivero Forestal de la UNAMAD.

1.4. Variables de la investigación

Variable: Sistema de riego automatizado basado en IoT.

1.5. Operacionalización de variables

Tabla 1. Operacionalización de variables

Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores
Sistema de riego automatizado basado en IoT Sistema que emplea diversos sensores para realizar mediciones y en función a esos valores decidir encender o apagar el motor que acciona el riego (Akhund et al. 2022).	Arquitectura IOT La arquitectura IoT está compuesta por capas interconectadas que abarcan desde la capa de dispositivos y sensores hasta la capa de aplicaciones y servicios, facilitando la integración fluida de dispositivos y la generación de valor a partir de los datos recopilados (Atzori, Iera y Morabito 2010).	Diseño en la capa captura de datos.
		Diseño en la Capa de comunicación.
		Diseño en la Capa Almacenamiento.
		Diseño en la Capa aplicación.
	Monitoreo del suelo A través de sensores, se pueden detectar diversos componentes del suelo para evaluar su calidad, con el fin de garantizar que las condiciones sean las adecuadas para el crecimiento de las plantas y así lograr un alto rendimiento en la producción (Huang et al. 2020).	Temperatura del suelo.
		Humedad del suelo.
		Conductividad del suelo.
	Gestión del riego Tiene como objeto determinar el momento adecuado y la medida óptima de agua para el riego, con el fin de maximizar la eficiencia (Experimental et al. 2022a).	Frecuencia de medición de parámetros del suelo.
		Cantidad de agua para riego.

Fuente: Elaboración propia.

1.6. Justificación

El riego de agua es crucial para el desarrollo de las plantas, ya que juega un papel esencial en su crecimiento y supervivencia, cabe destacar también que la disponibilidad de agua en el sustrato durante el período de crecimiento es vital para un desarrollo óptimo, ya que facilita la disolución y absorción de nutrientes necesarios para sus funciones fisiológicas vitales (Quiroz Marchant et al. 2009).

Además, con el abastecimiento apropiado del agua, la planta realiza de manera eficiente la fotosíntesis, proceso que produce su alimento y libera oxígeno al ambiente, asimismo favorece a la regulación térmica disipando el exceso de calor y mantiene el equilibrio de temperatura interno asegurando el proceso fisiológico, sin el suministro de agua adecuado afectaría a su crecimiento y desarrollo de las plantas (Quiroz Marchant et al. 2009).

Con el paso del tiempo, la agricultura ha desarrollado diversos métodos y técnicas de riego, donde se resalta un estudio sobre conocimientos técnicos para el sector agrícola, el cual ayuda a promover el uso eficiente del agua mediante principios y prácticas de varios métodos de riego, destacando especialmente el riego por micro aspersion (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), INNOVA Agricultura Familiar y Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola (FIDA) 2020). Este método distribuye el agua de manera uniforme, lo que beneficia desde la germinación hasta el crecimiento de plántulas. En un vivero, su aplicación permite establecer un nivel de humedad constante en el sustrato, evitando la compactación y mejorando la absorción de nutrientes. Además, reduce la acumulación superficial del agua en el sustrato, disminuyendo así los riesgos asociados con enfermedades fúngicas.

Es por ello que en esta investigación se propone el desarrollo e implementación de un sistema de riego automatizado basado IOT en el vivero de la UNAMAD, propuesta innovadora y eficiente para optimizar el manejo del agua en la producción de plantas, garantizando un crecimiento saludable y sostenible donde se aplicaran tecnologías avanzadas para el uso eficiente del agua y reducir las intervenciones manuales durante el riego. Para lograrlo, se propone utilizar micro aspersores, una técnica de riego que permite aplicar el agua de

manera precisa y controlada, asegurando un aprovechamiento óptimo del recurso hídrico.

La plataforma web proporcionará datos en tiempo real y un registro histórico de los datos recopilados, lo que facilitará una mejor toma de decisiones al momento de aplicar el riego por micro aspersión y, en consecuencia, esto permitirá gestionar el proceso sin necesidad de desplazarse físicamente al vivero ni intervenir manualmente en el sistema de riego.

1.6.1. Justificación social

La implementación del sistema propuesto tendrá implicaciones sociales significativas, ya que las plántulas producidas en el Vivero Forestal tienen fines de reforestación de especies arbóreas para mitigar los efectos de la tala y tráfico de recursos del bosque amazónico. El riego brindará a las plántulas la cantidad óptima de agua para asegurar un desarrollo adecuado y así tener una mayor posibilidad de crecimiento al ser plantada en el campo.

1.6.2. Justificación ambiental

La implementación del sistema basado en IoT es relevante en términos ambientales porque permitirá el uso racional y eficiente del agua, al proporcionar información sobre la necesidad hídrica del suelo.

1.6.3. Justificación metodológica

Para el desarrollo de este proyecto se optó por una metodología ágil debido a la necesidad de contar con un proceso flexible, que permita adaptarse a cambios o mejoras que puedan surgir durante la implementación. Trabajar de forma iterativa y por etapas facilita que el sistema se construya de manera progresiva, probando y ajustando las funcionalidades en función de las necesidades reales del vivero forestal de la UNAMAD. Este enfoque también promueve una comunicación constante entre el equipo de desarrollo y los usuarios, asegurando que el producto final no solo cumpla con los requisitos técnicos, sino que sea verdaderamente útil y funcional para quienes lo operarán. Así, se busca minimizar errores, optimizar los recursos disponibles y lograr un sistema confiable en el menor tiempo posible.

1.6.4. Justificación económica

Desde el punto de vista económico, la implementación del sistema de riego automatizado representa una inversión inteligente para el vivero, ya que permitirá un uso más eficiente del agua y reducirá la necesidad de intervenciones manuales constantes. A mediano y largo plazo, esto se traduce en ahorros significativos tanto en el consumo de agua como en costos de mano de obra. Además, al garantizar que las plantas reciban el riego adecuado en el momento justo, se mejora la tasa de supervivencia de las plántulas, disminuyendo las pérdidas y, en consecuencia, los gastos en reposición. Todo esto contribuirá a hacer que la producción de especies forestales en el vivero sea más rentable, sostenible y eficiente.

1.7. Consideraciones éticas

La investigación se llevará a cabo con la autorización de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios. Durante la redacción del trabajo, se dará el debido crédito a los autores cuyas ideas se utilicen, siguiendo las normas de citación internacionales. Además, el proyecto de tesis respetará la estructura establecida en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios.

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes internacionales

El artículo titulado “Agricultura digital basada en un sistema de riego IoT inteligente y fácil de usar: estudio de caso de un vivero de coníferas”, se tuvo como objetivo desarrollar un sistema automatizado de riego por aspersión basado en IoT, para poder optimizar el uso del agua en condiciones climáticas variables. El sistema empleó lógica difusa Mamdani, predicción de precipitaciones y monitoreo en tiempo real. Se utilizaron sensores, válvulas solenoides, microcontroladores Raspberry Pi, una interfaz web y servicios en la nube. Entre sus resultados, destacó la eficiencia en el consumo de agua, la creación de un entorno saludable para los cultivos y la facilidad de uso para los agricultores (Florea et al., 2021).

La investigación titulada “Sistema de riego automatizado IoT aplicado en el cultivo del pepino” presentó una propuesta para la implementación de un sistema de riego automatizado basado en IoT, con el objetivo de comparar los resultados de producción frente a un sistema de riego convencional. Este sistema utilizó hardware como Arduino, NodeMCU, sensores de humedad del suelo, humedad relativa y temperatura. Los datos recopilados por los sensores se mostraban en la plataforma Thingspeak, y el riego era activado automáticamente en función de estos parámetros. Donde se obtuvieron como resultados que dichos cultivos de pepino alcanzaron niveles de producción satisfactorios, concluyendo que el sistema es completamente funcional (Sanchez et al. 2021).

El estudio titulado “Sistema de riego por goteo inteligente habilitado para IoT mediante aplicaciones web/Android” fue propuesto para el desarrollo de un sistema de riego por goteo inteligente basado en IoT, con el propósito de reducir el uso excesivo de agua y electricidad. Se utilizaron sensores de humedad y temperatura tanto del suelo como del ambiente, cuyos datos podían visualizarse a través de un sistema web respectivamente. Esto permitió a los usuarios monitorear las condiciones del cultivo desde cualquier dispositivo móvil y, al mismo tiempo, optimizar el consumo de agua y energía (Jain et al. 2020).

La siguiente investigación titulada “Sistema de riego inteligente que utiliza la nube y el internet de las cosas”, se planteó minimizar el uso de recursos hídricos mediante un sistema simplificado de riego para fincas agrícolas, con monitoreo en tiempo real de los parámetros de las plantas, donde se integraron sensores de humedad del suelo, sensores ultrasónicos y módulos de relé, todos vinculados a una Raspberry Pi. Donde se observó que el sensor ultrasónico HC-SR-04 emitía alertas cuando los tanques de agua estaban llenos, mientras que, mediante la plataforma SAP, los datos captados por los sensores se visualizaban en tiempo real. Este sistema permitió monitorear las condiciones ambientales y activar el riego según las necesidades de las fincas (Bhattacharya, Roy y Pal 2019).

La investigación titulada “Sistema de riego automatizado basado en IoT utilizando variables ambientales para cultivos de berenjena en la finca La Esperanza del municipio de Chinú-Córdoba”, planteo la implementación de un sistema de riego automatizado para la optimización del uso del agua en el cultivo de berenjenas. Cabe destacar que para la implementación se utilizó sensores de humedad del suelo y una placa Arduino, la cual era muy importante ya que enviaba señales a un relé para activar o desactivar una electrobomba. Y donde se obtuvo como resultado un monitoreo exitoso de la humedad del suelo y una distribución eficiente del agua (Ramírez Díaz y Vergara Sierra 2020).

El estudio titulado “Sistema de riego automatizado de jardín basado en el internet de las cosas” desarrolló un sistema para automatizar el riego de jardines utilizando IoT. Se emplearon tres sensores capacitivos de humedad del suelo y dos tarjetas Particle Photon, organizadas en módulos, donde el primer módulo registraba las lecturas de los sensores y, si la humedad era baja, enviaba un evento a la nube de Particle, lo que activaba la bomba de riego a través del segundo módulo. Y como resultado se obtuvo que este sistema logró mantener niveles óptimos de humedad en el césped y las plantas durante todo el día (Gonzalo et al. 2020).

2.1.2. Antecedentes nacionales

En el ámbito nacional, la tesis denominada “Implementación de un sistema de internet de las cosas para optimizar la gestión del agua en la agricultura de la región de Tacna, 2018”; tuvo como objetivo implementar un sistema para gestionar el agua de manera eficiente en cultivos agrícolas, donde se utilizaron diversos materiales como es un microcontrolador, sensores de temperatura, sensores de humedad ambiental y sensores de suelo, además de un activador. Los datos se podían visualizar en un sistema web accesible desde cualquier navegador. Y como resultados se obtuvo que se logró optimizar la gestión del agua, logrando reducir el tiempo de riego en un 21.25% (Acero Catacora y Lanchipa Valencia 2021).

La tesis titulada “Sistema de riego autónomo de bajo costo para expansión de área agrícola en laderas de los Valles del Sur del Perú basado en IoT”, tuvo como objetivo desarrollar un sistema de riego económico para ampliar las áreas agrícolas en el valle de Moquegua, y lo cual, para ello, se usaron dispositivos como la placa Arduino Mega 2560, NodeMCU ESP-12, el sensor de luz LM393 y el sensor de humedad de suelo TEROs 12. Los datos obtenidos se visualizaron en la plataforma Ubidots, y se utilizó una bomba de agua sumergible para el sistema de riego por goteo. Las pruebas finales realizadas demostraron que el sistema era funcional y eficiente y ayudaría en reducir el gasto de riego de los cultivos agrícolas (Mercado García 2020).

La tesis titulada “Implementación de un sistema informático para el control de riego de cultivos empleando IoT con Raspberry Pi en el vivero de la Municipalidad Provincial de San Martín, 2017” buscó mejorar el proceso de riego en cultivos del vivero municipal. Este sistema utilizó una Raspberry Pi3 modelo B, Arduino Uno, sensores de humedad del suelo, temperatura y un sensor de lluvia. Los datos se visualizaron en tiempo real a través de una interfaz web, logrando los objetivos planteados, como la automatización del riego y también viendo un crecimiento notable en sus cultivos dentro del vivero municipal y de esa manera concluyendo satisfactoriamente con los objetivos planteados en la investigación (Florián Pretell 2017).

La investigación titulada “Implementación de un sistema automático de riego agrícola basado en Raspberry Pi y plataforma IoT Artik Cloud”, desarrolló un sistema de riego automatizado para cultivos agrícolas utilizando tecnologías IoT y para lo cual se emplearon y utilizaron una Raspberry Pi 3, el sensor DHT11 para medir temperatura y humedad ambiental, el sensor FC-28 para la humedad del suelo y dos relés para activar válvulas de riego. Con la plataforma Ubidots se pudo visualizar y a la vez gestionar el riego por zonas en tiempo real, logrando automatizar y monitorear los niveles de humedad del suelo de manera efectiva (Inga Herrera 2021).

2.2. Marco Teórico

2.2.1. Sistema de riego automatizado

Un sistema de riego automatizado es un grupo de componentes electrónicos y mecánicos diseñados para controlar y gestionar la distribución de agua en áreas verdes, cultivos o jardines de forma automática y programable (Nigussie et al. 2020) . Estos sistemas incorporan sensores, controladores y actuadores para garantizar que las plantas dentro de una respectiva área reciban la cantidad necesaria de agua en el momento preciso para que de esa manera puedan crecer satisfactoriamente, lo que contribuye al ahorro de recursos hídricos y a la optimización del riego (Maestre-Valero et al. 2016).

2.2.2. Internet de las Cosas (IoT)

El Internet de las Cosas (IoT) es una tecnología que permite que objetos de uso cotidiano se conecten a la red para intercambiar información y funcionar de manera más eficiente, la cual incluye desde electrodomésticos y bombillas inteligentes hasta dispositivos médicos que monitorean la salud en tiempo real. Además, un sistema IoT se extiende a accesorios personales inteligentes y a infraestructuras urbanas, facilitando la automatización y optimización de los servicios en las llamadas ciudades inteligentes (Rivera Malhuayza 2021).

2.2.3. Firebase

Firebase es una plataforma en la nube para el desarrollo de aplicaciones web y móvil, la cual está disponible para distintos sistemas operativos, esto facilita trabajar más rápido en el desarrollo (FIREBASE 2024). Por otro lado, Firebase ofrece diversos servicios como lo es Firestore Database, el cual es una base de datos flexible y escalable para el desarrollo en servidores, dispositivos móviles y la Web desde Firebase y Google Cloud, mantiene los datos sincronizados entre apps cliente a través de objetos de escucha en tiempo real y ofrece soporte sin conexión para dispositivos móviles y la Web, por lo que se puede compilar apps con capacidad de respuesta que funcionan sin importar la latencia de la red ni la conectividad a Internet (CLOUD FIRESTORE | FIREBASE 2024).

Otro servicio que ofrece Firebase es Authentication, este proporciona servicios de backend, SDK fáciles de usar y bibliotecas de IU ya elaboradas para autenticar a los usuarios en la app, o sistema web; este servicio admite la autenticación mediante contraseñas, números de teléfono, proveedores de identidad federada populares, como Google, Facebook y Twitter, entre otros (FIREBASE AUTHENTICATION 2024).

2.2.4. The Things Network

The Things Network es una comunidad global colaborativa enfocada en el Internet de las Cosas (IoT), que permite crear redes, dispositivos y soluciones utilizando la tecnología LoRaWAN. Su funcionamiento se basa en The Things Stack, un servidor de red LoRaWAN que actúa como el pilar fundamental de

cualquier implementación con esta tecnología la cual es muy importante para poder conectarnos y estar cada vez más cerca, así como también en la mejora de la comunicación entre diferentes tecnologías (Félix Mateos 2021).

2.2.5. Amazon Lightsail

Amazon Lightsail es la forma más sencilla de comenzar a utilizar Amazon Web Services (AWS) para desarrolladores que tienen que crear sitios o aplicaciones web. Incluye todo lo necesario para iniciar rápidamente el proyecto, como instancias (servidores privados virtuales), servicios de contenedores, bases de datos administradas, distribuciones de red de entrega de contenido (CDN), equilibradores de carga, almacenamiento en bloques basado en SSD, direcciones IP estáticas, administración del DNS de dominios registrados e instantáneas de recursos (copias de seguridad), por un precio mensual bajo y predecible (AMAZON LIGHTSAIL 2024).

2.2.6. Metodología Ágil SCRUM

La metodología Ágil Scrum es un marco de trabajo utilizado para gestionar proyectos, especialmente en el desarrollo de software, basado en ciclos cortos, también es una de las más empleadas y se destaca por su estructura sencilla y efectiva. Se basa en dividir el trabajo en pequeños ciclos llamados Sprint, que suelen durar entre una y cuatro semanas y durante estos ciclos, el equipo se enfoca en completar un grupo específico de tareas y actividades previamente priorizadas en un tablero de trabajo, lo que asegura que los objetivos sean claros y alcanzables (Vinicio Estrada Velasco et al. 2021).

La metodología Ágil Scrum cuenta con roles clave como:

- **Product Owner:** Define las prioridades del proyecto y participa como representante del cliente (Vinicio Estrada Velasco et al. 2021).
- **Scrum Master:** Su rol consiste en eliminar cualquier obstáculo que pueda afectar el desarrollo del proyecto y fomentar un entorno de ayuda donde el equipo pueda trabajar de manera eficiente y autónoma (Vinicio Estrada Velasco et al. 2021).
- **Equipo de desarrollo:** Es responsable de construir el producto o solución (Vinicio Estrada Velasco et al. 2021).

SCRUM se seleccionó como metodología para el desarrollo del sistema de riego automatizado debido a su flexibilidad y enfoque iterativo, que son ideales para proyectos con cambios constantes y necesidades variables. En este proyecto, el sistema debe adaptarse a factores como el clima y las necesidades de riego de las plántulas, lo que hace necesario un enfoque que permita ajustes frecuentes. SCRUM, con sus ciclos cortos llamados Sprints, permite entregar funcionalidades del sistema de manera progresiva y hacer pruebas constantes, asegurando que el sistema cumpla con los requisitos desde las primeras fases del desarrollo.

Además, SCRUM fomenta la colaboración efectiva entre los diferentes equipos, como los de software, hardware y cultivo, facilitando la integración de todos los componentes del sistema. La priorización de tareas, gestionada por el Product Owner, asegura que el equipo trabaje en lo más importante en cada etapa, y las revisiones frecuentes permiten realizar mejoras continuas, garantizando un sistema eficiente y funcional (Vinicio Estrada Velasco et al. 2021).

2.2.7. Patrón de diseño de software

Un patrón de diseño de software es una solución general y reutilizable que puede aplicarse a diversos problemas relacionados con el diseño de software. Estas plantillas identifican situaciones comunes en un sistema y ofrecen soluciones adecuadas, basadas en la experiencia acumulada por los desarrolladores a lo largo del tiempo a través de prueba y error (Gamma et al. 2009).

Los patrones de diseño proporcionan un enfoque estructurado y reutilizable para afrontar problemas recurrentes en el desarrollo de software. Facilitan la comunicación entre desarrolladores y el intercambio de soluciones que han demostrado ser efectivas y exitosas en el pasado. Cada patrón tiene un propósito específico y está diseñado para resolver un problema de diseño común. Al emplear estos patrones, los desarrolladores pueden aprovechar el conocimiento previo y evitar empezar desde cero, lo que contribuye a crear software más eficiente, escalable y fácil de mantener. Es fundamental entender que los patrones de diseño no son algoritmos ni fragmentos de código listos para ser utilizados, sino más bien directrices o descripciones de soluciones a

problemas de diseño. Los desarrolladores deben personalizar e implementar estos patrones según las necesidades y particularidades de su proyecto de software (Gamma et al. 2009).

La elección del patrón adecuado depende del tipo de sistema, su complejidad, los requisitos funcionales y no funcionales, y el entorno tecnológico en el que será implementado. Por ello, en el desarrollo del presente sistema se evaluaron diversas opciones, como MVC, MVP, MVVM y microservicios, priorizando aquellos que aportan simplicidad, orden y facilidad de mantenimiento, y es por ello que el patrón MVC se adapta mejor a las necesidades de este proyecto, ya que proporciona una estructura más sencilla de implementar y mantener. Dado que el sistema se ejecutará en un entorno controlado y no requiere manejar servicios distribuidos a gran escala, optar por MVC facilita el desarrollo rápido, permite realizar modificaciones puntuales sin afectar otras partes del sistema y asegura una buena organización de código para futuras mejoras o escalabilidad, aspectos esenciales en un sistema académico y de bajo presupuesto como este (Gamma et al. 2009).

2.2.8. Patrón de diseño Modelo-Vista-Controlador

El patrón de diseño Modelo-Vista-Controlador (MVC) es una arquitectura que separa la lógica de negocio, la interfaz de usuario y el control de flujo en tres componentes distintos con el objetivo de mejorar la organización del código, facilitar la escalabilidad y simplificar el mantenimiento del sistema. En este patrón:

Modelo: Representa la lógica de negocio y la gestión de datos, asegurando que la información se almacene, procese y se actualice correctamente sin depender de la interfaz gráfica (MODELS - VIEWS - CONTROLLERS (MVC) 1979).

Vista: Muestra la información al usuario de manera estructurada y dinámica, asegurando una experiencia de usuario eficiente (MODELS - VIEWS - CONTROLLERS (MVC) 1979).

Controlador: Actúa como intermediario entre el Modelo y la Vista, gestionando las solicitudes del usuario, procesando la lógica necesaria y actualizando tanto

los datos como la interfaz según las interacciones del usuario (MODELS - VIEWS - CONTROLLERS (MVC) 1979).

Esta separación de responsabilidades permite que cada componente se desarrolle, modifique y mantenga de forma independiente, lo que hace que MVC sea ampliamente utilizado en el desarrollo de aplicaciones web, sistemas modulares y plataformas escalables (MODELS - VIEWS - CONTROLLERS (MVC) 1979).

Para el desarrollo de esta investigación, el patrón MVC resultó ser el más adecuado por varias razones:

- El sistema propuesto tiene una estructura clara de entrada (interacción del usuario), procesamiento (lógica de negocio) y salida (visualización de datos), lo cual se alinea perfectamente con la arquitectura MVC.
- La implementación se centra en una única variable medida por sensores, lo que hace innecesaria la complejidad de patrones como MVVM o microservicios, los cuales son más apropiados para sistemas distribuidos o con múltiples capas de interacción y sincronización entre datos y vistas.
- Comparado con MVP, que es más usado en entornos de aplicaciones de escritorio, MVC proporciona una mayor compatibilidad con frameworks web como Laravel, Django o Spring MVC, lo que facilita su integración y despliegue.
- Este responde a la necesidad de gestionar adecuadamente el flujo de información entre los sensores de humedad, la plataforma de almacenamiento Firebase y AWS; donde la interfaz de usuario que utilizará el administrador del vivero

2.2.9. Arquitectura IOT

La arquitectura de Internet de las Cosas (IoT) es un modelo técnico que organiza los factores involucrados y procesos necesarios para realizar la conexión y gestión de diferentes dispositivos físicos a través de Internet de manera eficiente, es por ello que se puede decir que uno de los propósitos precisos de la arquitectura IOT es poder realizar la recolección, el procesamiento y el uso de los datos generados por estos dispositivos en distintas aplicaciones, donde se puede observar que dicha arquitectura se

compone de varias capas, cada una con un rol específico como son la capa de percepción, la cual se encarga de captar datos del entorno, la capa de red es responsable de llevar a cabo la transmisión de información, la capa de procesamiento, se enfoca en el análisis y gestiona los datos, y por último, la capa de aplicación, donde se podrá visualizar en tiempo real la información necesaria (Khan et al. 2012).

A continuación, se detalla la organización de la arquitectura IOT:

- **Capa captura de datos**

La capa captura de datos es el nivel más básico en un sistema IoT, donde se recopilan datos del entorno mediante sensores, dispositivos u otros mecanismos de detección, donde el diseño se enfoca en cómo se capturan, procesan y transmiten las señales o datos iniciales de manera eficiente y precisa, garantizando la calidad de la información que será utilizada en las etapas posteriores del sistema (Chanchí Golondrino, Ospina Alarcón y Monroy Ríos 2020).

- **Capa de comunicación**

La capa comunicación aborda diferentes mecanismos y protocolos que ayudan a poder realizar la transmisión y comunicación de datos entre los diferentes componentes de un sistema. El diseño de esta capa se centra en crear una infraestructura confiable, segura y optimizada para el intercambio de información, prestando atención a aspectos como la conectividad, la velocidad de transmisión y la seguridad de los datos (Chanchí Golondrino, Ospina Alarcón y Monroy Ríos 2020).

- **Capa Almacenamiento**

La capa almacenamiento se caracteriza por verificar la organización, gestión y almacenamiento de los datos, pero ya recopilados y procesados, es decir ya considerados como información. La función de esta capa es buscar y garantizar el acceso a los datos, así como su seguridad y almacenamiento de manera eficiente, utilizando tecnologías como bases de datos relacionales y no relaciones, almacenamiento en la nube o sistemas distribuidos, dependiendo

de los requisitos del sistema (Chanchí Golondrino, Ospina Alarcón y Monroy Ríos 2020).

- **Capa aplicación**

La capa aplicación se enfoca en la interacción del usuario y las funcionalidades del sistema, es donde se desarrollan las interfaces, servicios y aplicaciones que permiten a los usuarios resultantes aprovechar la información procesada y almacenada, es por ello que se pueden destacar algunos aspectos importantes como vendría a ser la usabilidad, la disponibilidad y la información requerida que se necesite según las necesidades específicas (Chanchí Golondrino, Ospina Alarcón y Monroy Ríos 2020).

2.2.10. Monitoreo del suelo

El monitoreo del suelo es clave para poder realizar distintas acciones o requerimientos que se necesiten como la examinación de características físicas del suelo, así como las químicas y finalmente las características biológicas del sustrato. Además de ello, se encargan de medir y verificar concentraciones de suelos contaminados o sustancias en un lugar y periodo de tiempo determinado, donde se saca y valida información acerca de la variación de concentraciones de parámetros específicos durante un lapso y tiempo determinado, así como también puede ser posible en cualquier área que cuente con un espacio de tierra para su futura evaluación de características de suelo (Dirección General de Infraestructura Agraria y Riego 2015).

2.2.11. Temperatura del suelo

La temperatura de suelo es un indicador que afecta significativamente los procesos biogeoquímicos y la actividad microbiana en el suelo. También es conocida como un parámetro que varía con la profundidad y la hora del día, así como con las condiciones climáticas y estacionales. Puede influir en la velocidad de descomposición del sustrato de suelo o de las mismas plantas, y la cual al igual que la temperatura de aire, existen parámetros que son buenos dependiendo el tipo de suelo que se quiera realizar la evaluación (Davidson y Janssens 2006).

2.2.12. Humedad del suelo

La humedad de suelo es la cantidad de recurso hídrico presente en el dentro del suelo en relación con su capacidad de suelo o retención de líquidos conocido comúnmente entre los ambientalistas, considerada como una propiedad que influye en la germinación de semillas, el crecimiento del volumen de las plantas, la infiltración de líquido dentro del suelo y la disponibilidad de nutrientes para las plantas. Tiene diferentes formas de expresarse, así como en función del porcentaje de líquido en kg de peso con respecto al peso en kg seco del suelo, donde este tipo de medición ayudara a poder visualizar la capacidad de líquidos que tenga cada planta (Engman 1991).

2.2.13. Conductividad eléctrica del suelo

La conductividad eléctrica del suelo es una medida del suelo que ayuda a dirigir una corriente eléctrica, esta medida se relaciona únicamente con la cantidad sal que tienen los suelos o también conocidos como sustratos y nutrientes disueltos en el suelo, lo que puede afectar la viabilidad de una gran variedad de nutrientes muy necesarias para el crecimiento y desarrollo de las plantas y la salinidad que pueda tener el suelo (Rhoades et al. 2016). Cabe destacar también que cuando se realizar el monitoreo de la conductividad eléctrica dentro del sustrato, este tipo de parámetros son muy necesarios sobre todo en el capo agrícola para poder ver que tan fértiles son los campos de suelo para poder sembrar o plantar distintos tipos plantas en dicho suelo (Grattan y Grieve 2017).

2.2.14. Gestión de riego

La gestión de riego se encarga de poder evaluar y manejar las cantidades necesarias de recurso hídrico se va a aplicar a los cultivos, la cual se puede decir que es muy importante porque ayuda a mantener la rentabilidad de las explotaciones agrícolas donde es necesario en épocas en las que el agua es limitada y costosa, es por ello en pocas palabras se puede decir que es un conjunto de métodos, herramientas y tecnologías empleadas para regular de manera eficiente el uso del agua en la agricultura, asegurando que las plantas obtengan la cantidad necesaria en el momento adecuado. Su propósito

principal es maximizar el aprovechamiento del recurso hídrico, aumentar el rendimiento agrícola y minimizar su desperdicio (Roldán Cañas et al. 2010).

2.2.15. Cama de cultivo

La cama de cultivo es una estructura o superficie especialmente diseñada para la siembra y el desarrollo de plantas, caracterizada por proporcionar condiciones favorables para su crecimiento. Estas camas se suelen construir elevadas del nivel del suelo natural, utilizando bordes o cajones de madera, ladrillo, plástico u otros materiales, para mejorar la gestión del drenaje y la aireación del sistema radicular. Las camas de cultivo permiten un mejor control sobre la calidad del sustrato utilizado, la retención de humedad y la nutrición de las plantas, facilitando prácticas de manejo intensivo como la agricultura sostenible y la horticultura urbana. Además, las camas pueden diseñarse con diferentes dimensiones y profundidades según las especies cultivadas (Valeria Guerra, Nehuen Zacarro y Zapata Laura 2018).

2.2.16. Capacidad de campo

La capacidad de campo se refiere a la cantidad de agua que el suelo retiene después de que el exceso de agua ha drenado de forma natural, sin que intervengan pérdidas por evaporación o transpiración de las plantas. Esta medida suele coincidir con un potencial métrico del agua en el suelo de aproximadamente -0,33 bares. Generalmente, se estima que este nivel de humedad se alcanza entre 24 y 48 horas después de un riego abundante o una lluvia intensa. Para garantizar resultados más precisos, es recomendable cubrir la superficie del suelo con un plástico, evitando así que el agua se pierda por evaporación (Tamara Polo y Hernández Ducuara 2016). La capacidad de campo está determinada por las características físicas del suelo, incluyendo su textura, estructura, porosidad y la cantidad de materia orgánica que contiene. Los suelos arenosos tienen una capacidad de campo baja debido a sus poros grandes que no retienen bien el agua, mientras que los suelos arcillosos tienen una mayor capacidad, aunque parte del agua retenida puede no estar disponible para las plantas debido a la fuerza con la que se adhiere a las partículas del suelo (Lince-Salazar 2021).

2.2.17. Punto de Marchitez Permanente

El punto de marchitez permanente es el nivel de humedad en el suelo en el que las plantas ya no son capaces de absorber agua suficiente para mantenerse hidratadas, incluso si las condiciones externas no son extremas. En este estado, las plantas comienzan a marchitarse de manera irreversible, ya que el agua que queda en el suelo está tan fuertemente retenida por las partículas del mismo que las raíces no pueden extraerla. Este punto varía según el tipo de suelo y la especie vegetal, pero representa el límite crítico en el que la falta de agua disponible afecta seriamente el crecimiento y la supervivencia de las plantas (C Silva et al. 2015).

2.2.18. Sustrato de suelo

El sustrato de suelo es el medio físico que sirve de soporte para el crecimiento de las plantas, ofreciendo las condiciones necesarias para el desarrollo de sus raíces, como el acceso a nutrientes, agua y aire. Este compuesto por materiales orgánicos como turba, compost o fibra de coco, y materiales inorgánicos como arena, grava, perlita o vermiculita o mezclas de ambos, dependiendo de las necesidades del cultivo. Un buen sustrato debe ser ligero, tener una adecuada capacidad de retención de agua y nutrientes, permitir un buen drenaje para evitar encharcamientos y ser químicamente estable (Camacho, Toro y Díaz 2021).

2.2.19. Riego por micro aspersión

El riego por micro aspersión es la técnica de riego más conocida y usada por su buen manejo y distribución de agua, ya que al proyectar una lluvia fina que se encarga de cubrir todos los puntos de las plantas, ayuda a poder optimizar de mejor manera el agua y no desperdiciarla (Innova Agricultura Familiar 2020). El riego por micro aspersión es ideal para viveros, en específico para el suelo debido a la necesidad de mantener un ambiente húmedo y uniforme que ayudan y favorecen el crecimiento saludable de las plantas en etapas iniciales. Este método de riego permite un riego controlado y eficiente, adaptándose a las características específicas de los viveros, como el tamaño de las plantas, la densidad y las especies cultivadas (Jaime y Quesada 2020).

2.2.20. Micro aspersores Nebulizadores FLF

Los micro aspersores Nebulizadores FLF son dispositivos de micro aspersión de bajo caudal diseñados principalmente para el riego en invernaderos y túneles altos. Se utilizan para mantener la humedad, regular la temperatura y controlar la evaporación, siendo especialmente útiles en la propagación de plantas y la germinación de semillas. Es por ello que estos nebulizadores son ideales para crear condiciones óptimas en cultivos bajo ambientes controlados, favoreciendo un crecimiento saludable de las plantas y mejorando la eficiencia de los sistemas de riego (Centro de Innovación Científica Amazónica 2017). Este tipo de micro aspersión nebulizador, cuenta con diferentes opciones de salida, pero para el presente proyecto de investigación se usó el de 4 salidas, ya que emiten agua en forma rocío fino a baja presión, distribuyéndola de manera uniforme sobre la superficie del suelo o directamente sobre las plantas (Centro de Innovación Científica Amazónica 2017). A continuación, se detallará datos técnicos del micro aspersor nebulizador:

Figura 1. Datos técnicos del micro aspersor nebulizador FLF

Datos técnicos	
Rango de presión de trabajo	3,5 - 5,0 bar
Presión (para el cálculo de caudales)	3,5 bar
Presión de sellado	1,4 bar
Requisito de filtración	100 micrones / 150 mesh

Fuente: Tomado de (NEBULIZADORES FLF 2024)

Figura 2. Nebulizador FLF de 4 boquillas



Fuente: Tomado de (NEBULIZADORES FLF 2024)

Estos equipos se utilizan ampliamente en sistemas de riego localizado debido a su capacidad de cubrir áreas pequeñas o medianas con un alto nivel de precisión, minimizando el desperdicio de agua y maximizando su aprovechamiento. Los micro aspersores son ideales para cultivos hortícolas, viveros, invernaderos y plantaciones frutales, ya que permiten un riego suave que no altera la estructura del suelo ni daña las plantas jóvenes. Además, existen diferentes tipos de micro aspersores según el patrón de distribución del agua, lo que facilita su adaptación a diversas configuraciones de cultivo (Centro de Innovación Científica Amazónica 2017).

2.2.21. Vivero forestal

El vivero forestal es una superficie de terreno destinada a la producción y crianza de plantas forestales, debe constar de las instalaciones necesarias para brindar cuidados especiales, hasta llevar la planta al lugar definitivo de plantación (Centro de Innovación Científica Amazónica 2017).

2.3. Definición de términos

2.3.1. El nodo Lora WAN Dragino LSE01

El nodo Lora WAN Dragino LSE01 es un sensor basado en tecnología LoRaWAN, diseñado para monitorear variables del suelo en aplicaciones agrícolas dentro del Internet de las Cosas (IoT). Su función principal es medir la humedad del suelo, la temperatura y la conductividad eléctrica, enviando estos datos de manera inalámbrica a un servidor compatible con LoRaWAN para su análisis y gestión, este sensor utiliza el método FDR para calcular la humedad de suelo con compensación de temperatura y conductividad. Posee tecnología LoRa, la cual hace posible la transmisión de datos a grandes distancias y con un consumo mínimo de energía. El LSE01 se alimenta desde una batería Li-SOCI2 de 8500mA, que está diseñada para durar hasta 10 años. EL LSE01 viene pre configurado con un ser de claves únicas para su registro en una red LoRa WAN (Dragino technology co.. 2024).

2.3.2. LoRaWAN

LoRaWAN es una tecnología de comunicación inalámbrica de bajo consumo, bidireccional y para transmisión de un bajo volumen de datos y grandes distancias. Estas características la convierten en una alternativa en las iniciativas IoT en diferentes entornos, permite el despliegue en un área extensa de un gran conjunto de dispositivos de una manera sencilla y viable económicamente (Wu et al. 2019).

2.3.3. RAK7258 LPWAN Micro Indoor Gateway

El RAK7258 LPWAN Micro Indoor es un gateway LoRa de largo alcance que incorpora conectividad Wi-Fi y Ethernet, lo que facilita su instalación y configuración la cual tiene capacidad para gestionar hasta 8 canales y puede alcanzar una cobertura de hasta 15 kilómetros en espacios abiertos.

Este dispositivo es ideal para aplicaciones en el ámbito de la Internet de las Cosas IoT. Además, cuenta con un firmware listo para su uso, permitiendo una implementación rápida, y ofrece opciones de personalización mediante la plataforma OpenWRT y un SDK abierto (Teechnology RAK WIRELESS 2024).

2.3.4. Sistema web

Un sistema web es un tipo de software diseñado para ejecutarse en un navegador web. Estas aplicaciones se implementan en servidores web y se acceden a través de una interfaz de usuario en un navegador. Pueden proporcionar funcionalidades diversas, como procesamiento de datos, gestión de contenido, interacción en tiempo real, entre otras más (Shklar y Rosen 2003).

Además, al ser un software que se ejecuta en cualquier navegador puede beneficiar en el campo de la agricultura, ya que a través de las ello, se puede observar y analizar en tiempo real los datos que se quieran registrar o monitorear, lo que facilita en la toma de decisiones que sean necesarias para el campo de la agricultura y ayuda también en la mejora del uso eficiente de recursos naturales e hídricos (Shaheb et al. 2022).

2.3.5. Automatización

La Automatización está enfocada en la realización de tareas con poca intervención humana. Utilizando diversas tecnologías, maquinas o herramientas que nos ayudan a poder realizar actividades incrementando la eficiencia y eficacia al momento de realizar cada tarea, y esta puede ser aplicada en diversos sectores, no solo en la agricultura, sino en la ganadería, en la pesca y en muchas áreas también, como en la salud, educación las cuales hoy en día son muy importantes para realizar las actividades de manera rápida y precisa (Machado 2015).

2.3.6. Prototipo

El prototipo es un boceto o esquema desechable donde se puede probar distintas opciones de estructura sin tener que gastar mucho tiempo ni dinero. Además, ayuda a realizar varias pruebas y corregir de manera rápida los posibles errores que se encuentren, evitando problemas graves a futuro (Méndez López 2021).

2.3.7. Bomba de agua

La bomba de agua es una máquina generadora que transforma la energía con la que es alimentada en energía que permite mover un fluido incompresible. El fluido puede ser líquido o una mezcla de líquidos y sólidos (Faiz y Jaafar 2020).

2.3.8. Electroválvula

La electroválvula es un dispositivo electromecánico utilizado para regular el paso de líquidos o gases en un sistema, controlado a través de señales eléctricas. En sistemas de riego automatizado, las electroválvulas desempeñan un papel crucial al permitir la apertura y cierre del flujo de agua según un programa preestablecido o en respuesta a sensores, como los que detectan humedad en el suelo o condiciones climáticas. El funcionamiento de la electroválvula se basa en un solenoide, que genera un campo magnético al recibir corriente eléctrica, activando un mecanismo interno que abre o cierra el paso del líquido, están diseñadas para operar con diferentes presiones y caudales, y pueden fabricarse con materiales resistentes a la corrosión, como

plástico, latón o acero inoxidable. En sistemas de riego basados en IoT, las electroválvulas pueden integrarse con controladores inteligentes que permiten su manejo remoto desde dispositivos móviles o plataformas en la nube, optimizando la eficiencia en el uso del agua y reduciendo los costos operativos (Ministerio de agricultura pesca y alimentación 2024).

CAPITULO III. METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de estudio

De acuerdo con (Hernández Sampieri, Fernández Collado y Baptista Lucio 2014), indica que la investigación aplicada resulta eficaz al abordar problemas específicos, ejerciendo un impacto significativo sobre el objeto de estudio. Es por ello que la presente investigación pertenece al tipo de estudio aplicada porque busca la aplicación y utilización de los conocimientos adquiridos para el desarrollo e implementación de la solución tecnológica a la problemática, proporcionando resultado con utilidad práctica, mediante la validación efectiva a la solución del producto tecnológico desarrollado, combinando principios científicos, técnicos y creativos.

3.2. Diseño de estudio

Acorde con (Hernández Sampieri, Fernández Collado y Baptista Lucio 2014), el diseño de la presente investigación es no experimental y longitudinal, ya que no se manipulan variables de forma deliberada y la recolección de datos se realiza en múltiples momentos a lo largo del tiempo, mediante registros automáticos del sensor cada 20 minutos durante varios días. Esto permite observar el comportamiento y desempeño del sistema de riego automatizado basado en IoT en condiciones reales y continuas.

3.3. Nivel de investigación

La presente investigación se desarrolla en un nivel descriptivo, ya que, de acuerdo con (Hernández Sampieri, Fernández Collado y Baptista Lucio 2014), este nivel tiene como objetivo detallar las propiedades, características y aspectos relevantes de un fenómeno. En este caso, se describe cómo funciona el sistema automatizado de riego, qué tipo de información registra, cómo se visualiza en la interfaz web, y qué mejoras representa en comparación con el

riego manual. No se busca explicar causas ni establecer relaciones entre variables, sino ofrecer una descripción detallada del sistema tecnológico implementado y sus resultados.

3.4. Población y muestra

La población está compuesta por el conjunto total de datos registrados por el sensor LSE01 durante un periodo de 14 días, con una frecuencia de lectura de 20 minutos durante los 14 días. La muestra es de tipo censal, ya que incluye el 100 % de la población, de acuerdo con los requerimientos del análisis para el desarrollo de la investigación.

3.5. Métodos y técnicas

Para el desarrollo del sistema web y la implementación del sistema basado en IoT se empleó la metodología SCRUM, un enfoque ágil que proporciona flexibilidad, organización y las herramientas necesarias para gestionar la complejidad del proyecto. Este marco permite segmentar el trabajo en entregables y cumpla con los objetivos establecidos (Experimental et al. 2022). Para la recolección de datos se utilizó como instrumento de recolección al sensor LSE01 basado en la tecnología IOT, el cual nos permitió la lectura de la humedad de suelo y otros parámetros relevantes en el vivero forestal.

3.6. Tratamiento de los datos

Una vez recopilados los datos en el sistema web, estos podrán exportarse a un archivo de Excel 2019, organizados en columnas para facilitar su ordenamiento, y a la vez sacar la media, el registro máximo y mínimo de los datos recopilados, así como el promedio de los datos registrados de la humedad durante el día.

Tabla 2. Estructura de recopilación de datos

ESTRUCTURA DE RECOPIACIÓN DE DATOS	
Medición de parámetros	Humedad, temperatura y conductividad eléctrica de suelo.
Intervalo de medición	La frecuencia de lectura del sensor será de cada 20 minutos, lo que equivale a 3 mediciones por hora y 72 registros diarios.

Fuente: Elaboración propia.

CAPITULO IV. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

4.1. Descripción general del sistema

La presente investigación tiene como objetivo el desarrollo de un sistema basado en IoT que permita el riego automatizado en el Vivero Forestal de la UNAMAD, el cual se encuentra ubicado en el km 18 de la carretera Interoceánica, ruta Iñapari. Estudios anteriores resaltaron la necesidad de conocer los valores de humedad, conductividad eléctrica y temperatura del suelo para lograr el riego optimo. En base a estos parámetros se desarrolló la arquitectura IoT para garantizar la obtención de datos, conectividad y el correcto desempeño; mientras que el sistema web permite visualizar en tiempo real los datos obtenidos por los sensores y automatizar el riego por micro aspersión.

4.1.1. Escenario de Riego en el Vivero

En esta investigación, se desarrolló e implementó el sistema de riego automatizado basado en la arquitectura IoT, en el cual para este proceso comienza en obtener la captura de datos del suelo, se usó el sensor nodo LoRaWAN Dragino LSE01 que a través de la red Lora envía los datos al Gateway RAK7258, el mismo que se encarga de cargar los datos al Servidor de red LoRaWAN. Se implementó en Amazon -Lightsail para el desarrollo del módulo de transcripción de datos en protocolo MQTT para trasladar la data del servidor LoRaWAN a una base de datos FireBase - Firestore Database y a su vez evalúa la data para la activación de riego. En Amazon- Lightsail también se instancio la página web, el mismo que muestra los datos en tiempo real obtenido de Firebase mediante el protocolo http/s. Para la activación del riego automatizado en el vivero, se utilizó una Raspberry Pi 3 en el que se desarrolló un módulo para la obtención de datos evaluados de firebase mediante el protocolo http/s, el cual se encarga de activar y desactivar el sistema de riego por micro aspersión.

4.2. Análisis de requisitos

4.2.1. Requisitos funcionales

- Recepción y visualización de datos: El sistema debe recibir y mostrar en tiempo real los datos de humedad, temperatura y conductividad del suelo obtenidos desde el sensor de campo *Node LoRaWAN Dragino LSE01* a través del sistema web.
- Transmisión y almacenamiento en la nube: Los datos recolectados por los sensores deben ser enviados al servidor en la nube mediante la red LoRaWAN utilizando el *Gateway LoRaWAN RAK 7258* y almacenado en el servicio de Firebase llamado Firestore y Firebase Authentication.
- Registro histórico y análisis de datos: El sistema debe mantener un historial de los datos recolectados y presentar gráficos históricos para facilitar el análisis.
- Automatización del riego: El sistema debe activar o desactivar automáticamente las electroválvulas según los umbrales de humedad y temperatura configurados por el usuario en el sistema web.

4.2.2. Requisitos de calidad

- La información guardada en la nube debe estar protegida mediante autenticación de datos para prevenir ingresos no autorizados.
- El sistema debe mantenerse en funcionamiento de forma ininterrumpida, garantizando una disponibilidad del 99% y reduciendo al mínimo las fallas en la recepción y transmisión de datos.
- El sistema web debe ser fácil de usar y compatible con cualquier dispositivo que cuente con un navegador.
- Los datos deben mostrarse de manera clara para el usuario.

4.2.3. Restricciones

El sistema está diseñado como un sistema web, lo que significa que puede utilizarse desde cualquier dispositivo con acceso a un navegador, ya sea un teléfono móvil, una Tablet o una computadora.

4.3. Diagramas UML

a. Actores

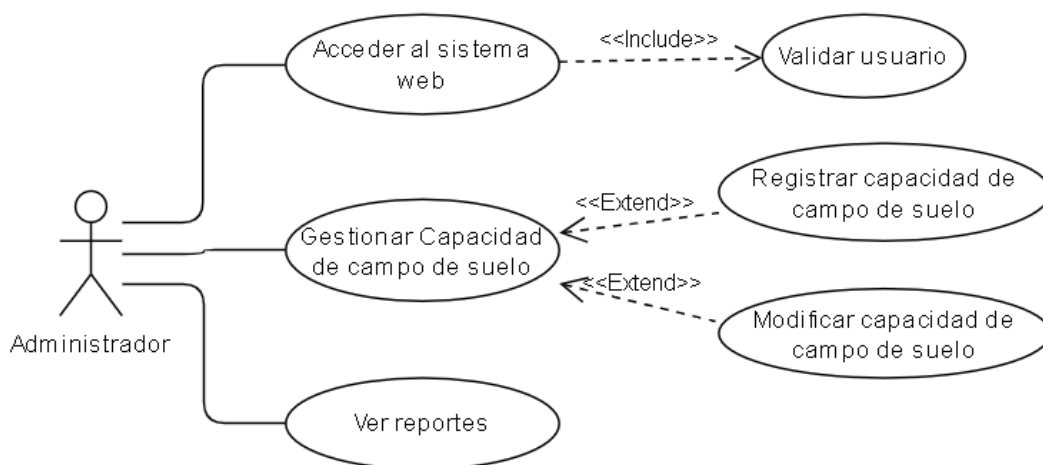
En este sistema los actores que participaron en los casos de uso son:

- **Administrador.** El administrador será el responsable de gestionar el sistema, contando con privilegios exclusivos para modificar los parámetros de riego y generar los reportes de monitoreo.
- **Estudiantes o público en general:** En el caso de los estudiantes, solo podrán visualizar en tiempo real los parámetros de la humedad, temperatura y conductividad eléctrica del suelo del vivero.

b. Diagramas de casos de uso

La figura 3 muestra el diagrama de caso de uso del administrador del vivero, en el caso del estudiante solo tendrá la opción de visualizar.

Figura 3. Diagrama de caso de uso–Acciones realizadas por el administrador

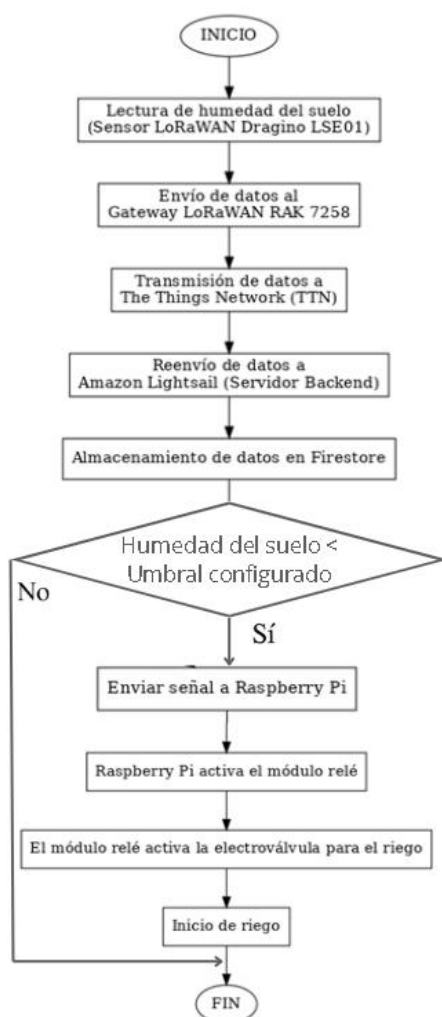


Fuente: Elaboración propia

c. Diagrama de flujo de activación de riego por micro aspersión

La figura 4 muestra el diagrama de flujo de activación de riego, mencionando los procesos que ocurren antes de poder activar el riego por micro aspersión.

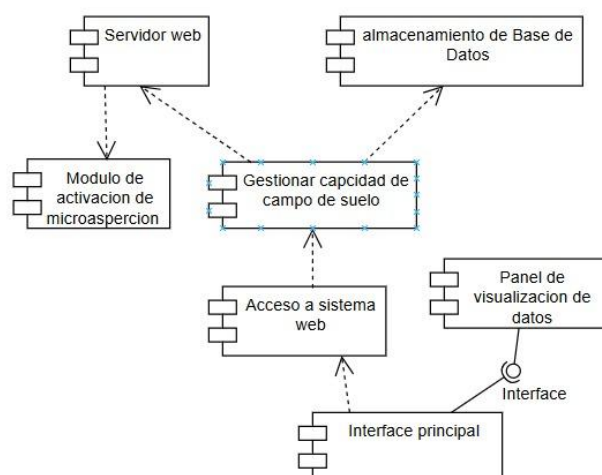
Figura 4. Diagrama de flujo de activación de riego.



Fuente: Elaboración propia

d. Diagrama de componentes

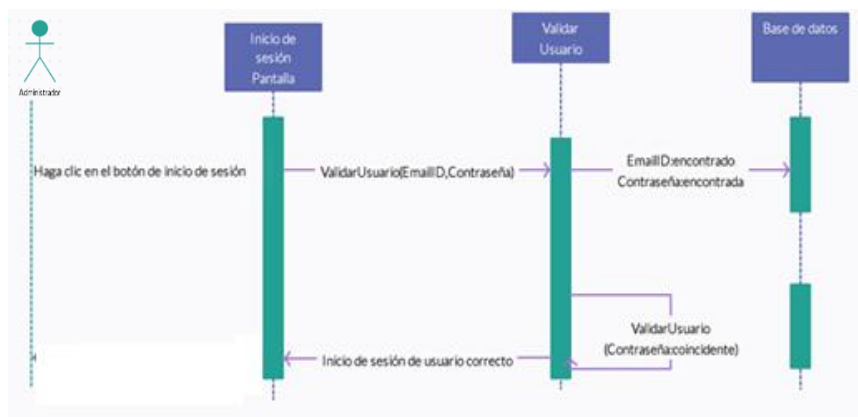
Figura 5. Diagrama de componentes que interactúan en el sistema web



Fuente: Elaboración propia

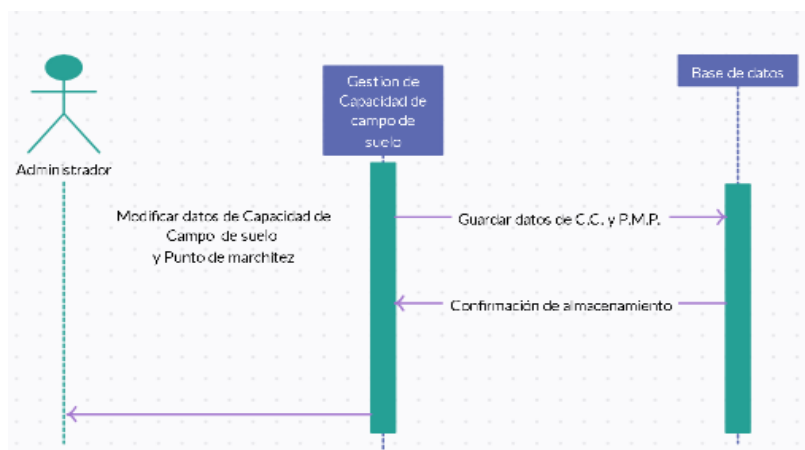
e. Diagrama de secuencias

Figura 6. Diagrama de secuencia de Acceso al Sistema web.



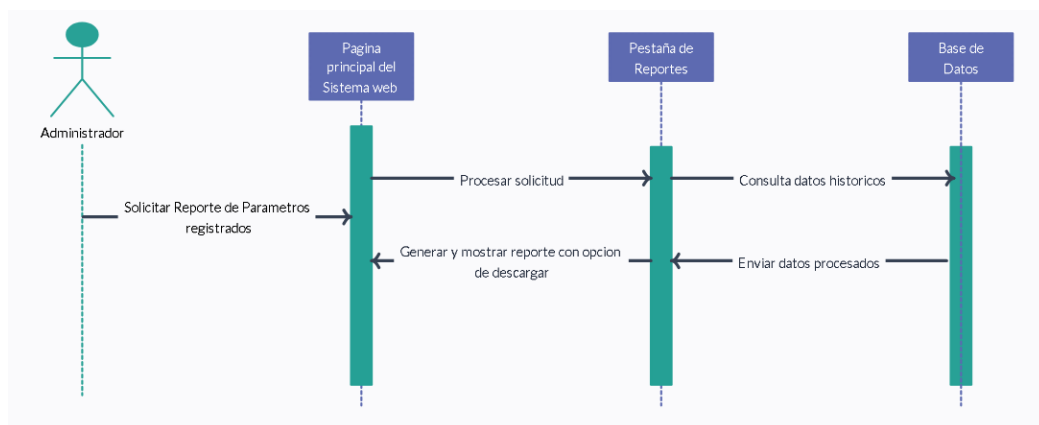
Fuente: Elaboración propia

Figura 7. Diagrama de secuencia de Gestión de Capacidad de Campo.



Fuente: Elaboración propia

Figura 8. Diagrama de secuencia de Reportes.



Fuente: Elaboración propia

f. Flujo de eventos

Caso de Uso: Acceder a Sistema web vivero-inteligente.info

Nombre de caso de uso: Acceder a sistema web vivero-inteligente.info	
Área:	Autenticación
Actores:	Administrador del vivero
Interesados:	Administrador, Sistema web
Nivel:	Alto
Descripción: Permite el acceso al administrador del vivero al sistema web vivero-inteligente.info para gestionar el sistema de monitoreo.	
Evento desencadenador: El administrador ingresa a cualquier navegador e ingresa a la dirección URL del sistema web.	
Tipo desencadenador: ☒ Externo ☐ Temporal	
Pasos realizados (ruta principal)	Información para los pasos
1. El administrador accede a la dirección web del sistema de riego desde un navegador.	Tener un navegador web instalado.
2. El sistema da clic en el botón de iniciar sesión que se encuentra en la parte superior del sistema web.	Pantalla principal del sistema web.
3. El administrador introduce su nombre de usuario y contraseña.	Formulario de inicio de sesión.
4. Se realiza la validación de los datos.	Base de datos de usuarios.
5. Al comprobarse el usuario y contraseña correcto, se permite el acceso al sistema web vivero-inteligente.info como administrador.	El administrador es redirigido a la página principal en modo administrador.
Precondiciones: El administrador debe contar con credenciales válidas, Es necesario que el administrador tenga acceso a internet y conozca la dirección del sistema web.	
Postcondiciones: Si las credenciales son correctas, el administrador accede exitosamente a la plataforma del sistema web en modo administrador.	
Garantía de éxito: El administrador del vivero ingresa de manera correcta al sistema web vivero-inteligente.info.	
Garantía mínima: En caso de error, el sistema muestra un mensaje indicando: "Error en usuario o contraseña".	
Requerimientos cumplidos: Garantizar un acceso seguro y restringido al sistema web vivero-inteligente.info	
Cuestiones pendientes: Ninguna.	
Prioridad: Prioridad alta	
Riesgo: Bajo.	

Fuente: Elaboración propia.

Caso de Uso: Gestionar la Capacidad de Campo de suelo

Nombre de caso de uso: Gestionar la Capacidad de Campo de suelo	
Área:	Administración de vivero
Actores:	Administrador del vivero
Interesados:	Administrador, Sistema web
Nivel:	Alto
Descripción: Permite al administrador gestionar la capacidad de campo de suelo y el punto de marchitez.	
Evento desencadenador: El administrador se dirige a la sección: “ GESTIÓN DE CAPACIDAD DE CAMPO DE SUELO ”, en la cual podrá modificar y guardar los cambios realizados.	
Tipo desencadenador: ☒ Externo ☐ Temporal	
Pasos realizados (ruta principal)	Información para los pasos
1. En la página inicial de modo administrador, este se dirige a la sección de Gestión de capacidad de campo de suelo .	Interfaz principal, sección de Gestión de capacidad de campo de suelo.
2. El administrador modifica la capacidad de campo y el punto de marchitez de acuerdo al nuevo tipo de suelo.	Datos modificados de la nueva Capacidad de Campo de suelo y el Punto de Marchitez.
3. El administrador da clic en el botón de Guardar .	Modificación de los datos de capacidad de campo registrada.
4. Al comprobarse el nuevo registro, el sistema confirma la nueva Capacidad de Campo de suelo y punto de marchitez modificada con un mensaje: “ Valores actualizados correctamente. ”	El administrador permanece en la página de modo administrador y visualiza los cambios realizados.
Precondiciones: El administrador debe contar con credenciales válidas, Es necesario que el administrador tenga acceso a internet y conozca la dirección del sistema web.	
Postcondiciones: La capacidad de campo de suelo fueron modificados.	
Garantía de éxito: La Capacidad de Campo de suelo es modificada correctamente en el sistema.	
Garantía mínima: No pueden existir posibles errores, porque está diseñado para colocar valores enteros o decimal, no se permiten letras ni otro tipo de caracteres.	
Requerimientos cumplidos: Permitir la gestión de Capacidad de Campo de suelo y punto de marchitez del vivero.	
Cuestiones pendientes: Ninguna.	
Prioridad: Prioridad alta	
Riesgo: Bajo.	

Fuente: Elaboración propia.

Caso de Uso: Ver reportes

Nombre de caso de uso: Ver reportes	
Área:	Administración de vivero
Actores:	Administrador del vivero
Interesados:	Administrador, Sistema web
Nivel:	Alto
Descripción: Permite al administrador la visualización del reporte completo de los parámetros registrado, así como el historial de las veces que el riego se activó.	
Evento desencadenador: El administrador selecciona la opción de Reportes que se encuentra en la parte superior del sistema web en modo administrador.	
Tipo desencadenador: ☒ Externo ☐ Temporal	
Pasos realizados (ruta principal)	Información para los pasos
1. En la página inicial de modo administrador, este se dirige a la pestaña de Reportes .	La interfaz principal del sistema web muestra un menú de navegación con opciones, incluida la pestaña de Reportes.
2. El administrador visualiza en columnas y filas los datos recopiladores del día actual, también visualiza el botón con la opción de Descargar reporte y a la vez se genera una opción delegable para seleccionar los reportes de días pasados, ya sea de un solo día o de un rango de días específico.	La sección de Reportes muestra una tabla que contiene la información recopilada por los sensores. En la parte superior de la interfaz se encuentran el botón para descargar los datos y la opción para seleccionar rangos de fechas.
3. El administrador da clic en el botón de Descargar reporte .	Acción de descarga iniciada desde la pestaña de Reportes.
4. Emerge una ventana para poder guardar con un nombre el archivo de Hoja de cálculo de Microsoft Excel o también dejarlo de forma predeterminada con el nombre de Reporte.	Generación del archivo de descarga.
5. Se confirma la descarga, y automáticamente comienza la descarga del archivo en la ubicación que se eligió anteriormente.	Confirmación y proceso de descarga.
6. Al confirmarse la descarga, el sistema web permanece en la pestaña de reportes para otra posible acción.	El administrador permanece en la pestaña de Reportes.
Precondiciones: El administrador debe contar con credenciales válidas, es necesario que tenga acceso a internet y conozca la dirección del sistema web.	
Postcondiciones: El administrador realizó la descarga del reporte.	
Garantía de éxito: Se realizó la descarga del reporte de manera exitosa.	
Garantía mínima: En caso de error, se descargará un archivo en blanco de Excel.	
Requerimientos cumplidos: Permitir descarga del reporte	
Prioridad: Prioridad alta	
Riesgo: Bajo.	

Fuente: Elaboración propia.

4.4. Desarrollo de sistema con SCRUM

En el desarrollo de nuestra tesis, hemos decidido implementar la metodología ágil SCRUM debido a su flexibilidad, enfoque iterativo y capacidad para entregar avances funcionales en periodos cortos de tiempo.

Esta metodología nos permitirá organizar y gestionar de manera eficiente el desarrollo del Sistema de Riego Automatizado Basado en IOT, cumpliendo con los objetivos planteados y garantizando un producto final de calidad.

4.4.1. Asignación de Roles en Scrum

En la aplicación de SCRUM, hemos asumido los siguientes roles para organizarnos y cumplir con las responsabilidades de cada etapa del proyecto:

Tabla 3. *Asignación de roles para el desarrollo*

Rol	Persona a cargo	Descripción
Product Owner	Define los requerimientos del sistema, prioriza las tareas y asegura que el sistema cumpla las necesidades del vivero.	Juan Carlos Suaquita Apaza y Jorge Luis Mamani Mamani.
Scrum Master	Facilita la implementación de la Metodología Scrum, supervisa el progreso del equipo y elimina impedimentos.	Juan Carlos Suaquita Apaza
Equipo de Desarrollo	Diseña, implementa y prueba el sistema, incluyendo hardware (microaspersores, sensores, microcontroladores) y software.	Juan Carlos Suaquita Apaza y Jorge Luis Mamani Mamani.

Fuente: Elaboración propia

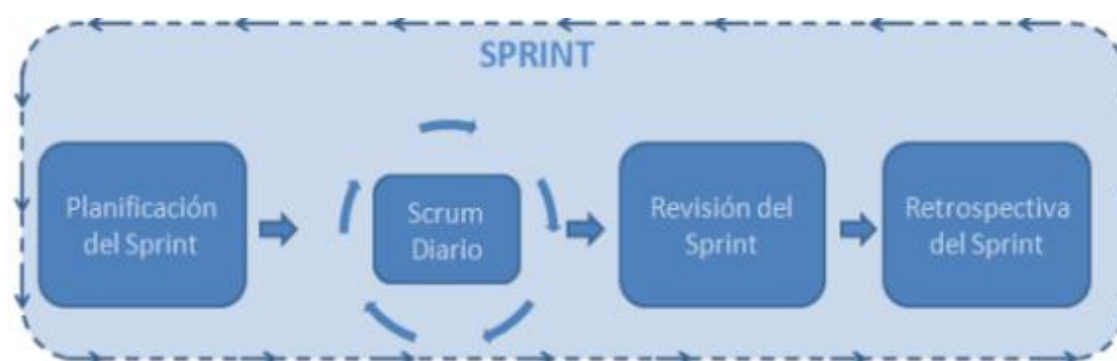
Tabla 4. *Asignación de eventos para el desarrollo*

Evento	Responsables	Descripción
Sprint Planning	Juan Carlos Suaquita Apaza y Jorge Luis Mamani Mamani	Reunión inicial de cada sprint donde se seleccionan las funcionalidades del sistema de riego automatizado a desarrollar y se planifica su ejecución.

Daily Scrum	Juan Carlos Suaquita Apaza y Jorge Luis Mamani Mamani	Breve reunión diaria para revisar los avances en el sistema de riego automatizado y resolver cualquier inconveniente que surja durante el desarrollo.
Sprint Review	Juan Carlos Suaquita Apaza y Jorge Luis Mamani Mamani	Evaluación al final de cada sprint para analizar el progreso alcanzado, verificar el cumplimiento de los objetivos y realizar ajustes en el enfoque si es necesario.
Sprint Retrospective	Juan Carlos Suaquita Apaza y Jorge Luis Mamani Mamani	Sesión posterior a la revisión del sprint para reflexionar sobre las lecciones aprendidas y determinar mejoras para próximos sprints.

Fuente: Elaboración propia

Figura 9. Flujo de Sprint



Fuente: Tomado de (Alarcón Eslava y Cabrales Oliden 2023)

Artefacto	Responsables	Descripción
Product Backlog	Juan Carlos Suaquita Apaza	Conjunto de funcionalidades y requisitos identificados como necesarios para el sistema de riego automatizado, organizados y priorizados por el Product Owner para su desarrollo progresivo.
Sprint Backlog	Juan Carlos Suaquita Apaza y Jorge Luis Mamani Mamani.	Lista de tareas específicas seleccionadas del Product Backlog que serán abordadas durante el sprint actual, garantizando el cumplimiento de los objetivos del proyecto.

Fuente: Elaboración propia

Otros implicados:

Tabla 5. Personal implicado

Usuarios finales:	
User 1	Administrador del vivero
User 2	Estudiantes

Fuente: Elaboración propia

4.4.2. SPRINT 0

Tabla 6. Definición de proyecto

Definición de proyecto:	Este proyecto tiene como objetivo implementar un sistema de riego automatizado basado en IoT que permita monitorear en tiempo real los parámetros del suelo.
Definición de “concluido”	Una tarea será considerada concluida cuando cumpla con todos los requisitos funcionales especificados y demuestre un funcionamiento correcto, garantizando la automatización del sistema de riego.

Fuente: Elaboración propia

Los entregables se desarrollaron en un período previamente establecido, indicando claramente los días y horarios asignados para cada tarea.

Tabla 7. Definición de horarios

	Descripción	Tiempo	Cantidad
Días de trabajo	Lun – Vie	días	5
Horas de trabajo al día	Lun – Vie	Horas/día	5
Tiempo de descanso total semanal	Lun – Vie	Horas	3
Tiempo estimado de un Sprint	4 semanas	días	20
Horas trabajadas en un Sprint			88 horas

Fuente: Elaboración propia

4.4.3. Historias de usuarios

Se recopilaban los requerimientos y se describen como historias de usuario.

Tabla 8. *Historia de Usuario N.º 01 – Elaboración de maqueta y visión general del sistema.*

Nombre de historia: Elaboración de maquetas de prototipo y visión general de sistema.		
Número:	01	Como: Equipo de desarrollo.
Prioridad: Alta		Riesgo en desarrollo: medio
Descripción: Elaborar diagramas de arquitectura del sistema y como se realizará el funcionamiento.		
Prueba de aceptación: - Diseñar diagramas de arquitectura del sistema. - Crear diagrama para entender el funcionamiento general. - Presentación amigable de interfaces		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9. *Historia de Usuario N.º 02 – Designación de herramientas a usar.*

Nombre de historia: Designación de herramientas a usar.		
Número:	02	Como: Equipo de desarrollo.
Prioridad: Alta		Riesgo en desarrollo: medio
Descripción: Escoger las herramientas necesarias a utilizar para el desarrollo.		
Prueba de aceptación: • Escoger las herramientas para el desarrollo del sistema web. • Escoger las herramientas para el almacenamiento en la nube. • Escoger las herramientas para el desarrollo del prototipo.		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10. *Historia de Usuario N.º 03 – Configuración de la arquitectura IOT del sistema*

Nombre de historia: Configuración de la arquitectura IOT del sistema		
Número:	03	Como: Equipo de desarrollo.
Prioridad: Alta		Riesgo en desarrollo: alto
Descripción: Definir la arquitectura general del sistema, integrando el sensor LSE01, la Raspberry Pi, el módulo relé y el Gateway IoT para la activación del riego.		
Prueba de aceptación: • Desarrollar la arquitectura IOT del sistema. • Definir los protocolos de comunicación entre los dispositivos. • Documentar la arquitectura y componentes principales.		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 11. *Historia de Usuario N.º 04 – Medición de la capacidad de campo del suelo.*

Nombre de historia: Medición de la capacidad de campo del suelo		
Número:	04	Como: Equipo de desarrollo.
Prioridad: Alta		Riesgo en desarrollo: alto
Descripción: Realizar el envío de suelo para la medición de capacidad de campo del suelo en el IIAP (Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana) para establecer los rangos de humedad que activarán el riego automáticamente.		
Prueba de aceptación: - La muestra es enviada, recibida y procesada correctamente en la IIAP. - Se obtiene un informe válido con los valores de capacidad de campo del suelo. - Los datos del informe son integrados correctamente en el sistema.		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 12. *Historia de Usuario N.º 05 – Desarrollo de la interfaz de usuario*

Nombre de historia: Desarrollo de la interfaz de usuario		
Número:	05	Como: Equipo de desarrollo.
Prioridad: Alta		Riesgo en desarrollo: medio
Descripción: Desarrollar una interfaz gráfica donde el administrador pueda monitorear los datos del sensor, configurar umbrales para activar o desactivar el riego automáticamente.		
Prueba de aceptación: - Diseño y desarrollo de la interfaz web. - Visualización de datos en tiempo real a través de gráficos estilizados. - Implementación de botones para poder exportar los datos en archivos de Excel.		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 13. *Historia de Usuario N.º 06 – Almacenamiento de datos*

Nombre de historia: Almacenamiento de datos		
Número:	06	Como: Equipo de desarrollo.
Prioridad: Alta		Riesgo en desarrollo: alto
Descripción: Diseñar una base de datos para almacenar las lecturas del sensor, eventos de riego y configuraciones del sistema.		
Prueba de aceptación: - Creación de una base de datos NoSQL. - Almacenamiento eficiente de lecturas del sensor y eventos del sistema. - Consultas rápidas para generar reportes.		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 14. *Historia de Usuario N.º 07 – Monitoreo de humedad, temperatura y conductividad*

Nombre de historia: Monitoreo de humedad, temperatura y conductividad		
Número:	07	Como: Administrador del sistema
Prioridad: Alta		Riesgo en desarrollo: alto
Descripción: El sistema debe permitir la visualización en tiempo real de los datos de humedad del suelo, temperatura y conductividad del suelo obtenidos por el sensor LSE01 dentro del sistema web.		
Prueba de aceptación: • Visualización de los datos de humedad, temperatura y conductividad del suelo en la interfaz del sistema web. • Los datos deben actualizarse en intervalos regulares. • Garantizar que los valores reflejen lecturas precisas del sensor.		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 15. *Historia de Usuario N.º 08 – Activación automática del riego*

Nombre de historia: Activación automática del riego		
Número:	08	Como: Administrador del sistema
Prioridad: Alta		Riesgo en desarrollo: alto
Descripción: El sistema debe activar el riego por micro aspersión cuando los valores de humedad del suelo estén por debajo del umbral predefinido.		
Prueba de aceptación: • Configuración de umbral de humedad en la interfaz del administrador. • Activación de la electroválvula a través del módulo relé en la Raspberry Pi. • Confirmación de que el riego se activa automáticamente al alcanzar el nivel mínimo de humedad establecido por la capacidad de campo.		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 16. *Historia de Usuario N.º 09 – Generación de reportes*

Nombre de historia: Generación de reportes		
Número:	09	Como: Administrador del sistema
Prioridad: Alta		Riesgo en desarrollo: medio
Descripción: El sistema debe generar reportes periódicos con el historial de humedad, temperatura, conductividad eléctrica y activaciones del riego.		
Prueba de aceptación: • Generación de reportes semanales y mensuales en la interfaz. • Posibilidad de descargar los reportes en formato Excel.		

Tabla 17. Historia de Usuario N.º 10 – Puesta en marcha del sistema web *vivero-inteligente.info*

Nombre de historia: Puesta en marcha del sistema web vivero-inteligente.info		
Número:	10	Como: Equipo de desarrollo.
Prioridad: Alta		Riesgo en desarrollo: alto
Descripción: La configuración del servidor AWS para la publicación del sistema web y la accesibilidad del mismo.		
Prueba de aceptación: • Configurar el entorno de alojamiento SSD-Hosting. • Crear los archivos de configuración para publicar el sistema web.		

Fuente: Elaboración propia

4.4.4. Backlog del Producto

Se aplicaron las técnicas valor de negocio vs complejidad para la priorización de las historias de usuario, donde se divide el valor de negocio definido por el Product owner sobre puntos de historia definido por el equipo.

A continuación, en la tabla 18 se muestra la recopilación completa de las historias de usuario completas definidas por un número, cargo, descripción de cada una de ellas y su prioridad.

Tabla 18. Product Backlog

RECOPILACIÓN DE HISTORIAS DE USUARIO			
Nº	Cargo	Descripción	Prioridad
01	Equipo	Elaboración de maquetas de prototipo y visión general de sistema.	Alta
02	Equipo	Designación de herramientas a usar.	Alta
03	Equipo	Configuración de la arquitectura IOT del sistema	Alta
04	Equipo	Medición de la capacidad de campo del suelo	Alta
05	Equipo	Desarrollo de la interfaz de usuario	Alta
06	Equipo	Almacenamiento de datos	Alta
07	Administrador	Monitoreo de humedad, temperatura y conductividad	Alta
08	Administrador	Activación automática del riego	Alta
09	Administrador	Generación de reportes	Alta
10	Equipo	Puesta en producción del sistema web	Alto

Fuente: Elaboración propia

4.4.5. SPRINT N°1:

a. Sprint Planning meeting

Planning Poker en Scrum estima el esfuerzo de las tareas de desarrollo usando una serie de Fibonacci modificada ((0, 1, 3, 5, 8, 13, 20, 40 y 100), reflejando el crecimiento exponencial de la complejidad.

Tabla 19. *Compilación de historias de usuario a realizar en el sprint N.º 01*

RECOPILACIÓN DE HISTORIAS DE USUARIO				
Nº	Cargo	Descripción	Complejo	Prioridad
01	Equipo	Elaboración de maquetas de prototipo y visión general de sistema.	20	Alta
02	Equipo	Designación de herramientas a usar.	20	Alta
03	Equipo	Configuración de la arquitectura IOT del sistema	20	Alta
04	Equipo	Medición de la capacidad de campo del suelo	20	Alta
05	Equipo	Desarrollo de la interfaz de usuario	20	Alta
06	Equipo	Almacenamiento de datos	20	Alta
07	Administrador	Monitoreo de humedad, temperatura y conductividad	20	Alta
08	Administrador	Activación automática del riego	20	Alta
09	Administrador	Generación de reportes	20	Alta
10	Equipo	Puesta en producción del sistema web	20	Alta

Fuente: Elaboración propia

Cada Sprint dura 4 semanas y contamos con 88 horas, las tareas se seleccionarán según la dificultad y se tomara en cuenta el orden de la tabla 19.

b. Sprint Backlog

El Sprint Backlog es el conjunto de tareas que el equipo de desarrollo se compromete a completar durante un sprint. Se selecciona a partir del Product Backlog y se desglosa en tareas específicas para su ejecución. Se detallan las tareas consideradas de cada historia de usuario.

Tabla 20. *Tareas de historia de usuario N.º 01*

H-Nº01	Elaboración de maquetas de prototipo y visión general de sistema.	
ID	Descripción	Tiempo (h)
T-Nº1	Definir los componentes principales del sistema IoT (sensores, actuadores, red de comunicación).	3
T-Nº2	Diseñar la arquitectura general del sistema IoT.	6

T-Nº3	Crear diagrama de flujo del sistema para visualizar su funcionamiento.	3
T-Nº4	Diseñar el esquema de comunicación entre sensores, gateway y la Raspberry Pi.	5
TOTAL		17

Fuente: Elaboración propia

Tabla 21. Tareas de historia de usuario N.º 02

H-Nº02	Designación de herramientas a usar	
ID	Descripción	Tiempo (h)
T-Nº1	Identificar los requisitos del sistema para elegir herramientas adecuadas.	3
T-Nº2	Evaluar frameworks y tecnologías para el desarrollo del sistema web (React).	3
T-Nº3	Seleccionar y configurar el entorno de backend en Amazon Lightsail.	3
T-Nº4	Comparar opciones de bases de datos y definir el uso de Firestore.	4
T-Nº5	Realizar pruebas básicas de integración con las herramientas seleccionadas.	4
TOTAL		17

Fuente: Elaboración propia

Tabla 22. Tareas de historia de usuario N.º 03

H-Nº03	Configuración de la arquitectura IOT del sistema	
ID	Descripción	Tiempo (h)
T-Nº1	Configuración de gateway y nodo Lora WAN Dragino LSE01	5
T-Nº2	Configuración de la Red LoRaWan (TTN) y AWS	4
T-Nº3	Configuración de AWS y almacenamiento en Firebase	5
T-Nº4	Prueba de integración entre plataforma de integración	4
TOTAL		18

Fuente: Elaboración propia

Tabla 23. Tareas de historia de usuario N.º 04

H-Nº04	Medición de la capacidad de campo del suelo	
ID	Descripción	Tiempo (h)
T-Nº1	Enviar una muestra del sustrato de suelo a la IIAP para su evaluación y medida de la capacidad de campo de suelo del vivero.	3
T-Nº2	Recepción del informe válido con los valores de capacidad de campo del suelo.	144
T-Nº3	Integración de los datos del informe correctamente en el sistema.	4
TOTAL		151

Fuente: Elaboración propia

Tabla 24. Tareas de historia de usuario N.º 05

H-Nº06	Desarrollo de la interfaz de usuario	
ID	Descripción	Tiempo (h)
T-Nº1	Diseño de la interfaz gráfica con panel de control.	7
T-Nº2	Implementación de gráficos para visualizar humedad, temperatura y conductividad eléctrica de suelo.	8
T-Nº3	Desarrollo de botón para poder exportar los datos en archivos de Excel.	8
T-Nº4	Pruebas de usabilidad y ajuste del diseño.	6
TOTAL		29

Fuente: Elaboración propia

Tabla 25. Tareas de historia de usuario N.º 06

H-Nº07	Almacenamiento de datos	
ID	Descripción	Tiempo (h)
T-Nº1	Definir estructura de documentos y colecciones	3
T-Nº2	Establecer estructura de datos y reglas de validación.	3
T-Nº3	Configurar Firestore y definir reglas de seguridad.	5
T-Nº4	Implementar la estructura de Firestore y crear colecciones.	4
T-Nº5	Realizar pruebas de lectura/escritura y seguridad.	4
TOTAL		19

Fuente: Elaboración propia

c. Sprint Review

El Sprint Review es una reunión formal que se realiza al final de cada sprint, con el objetivo de inspeccionar el trabajo realizado durante el sprint y adaptar el Product Backlog según sea necesario. En esta reunión, el equipo de desarrollo presenta el incremento (el trabajo completado) a los stakeholders, y se obtiene retroalimentación sobre el progreso y el producto.

Tabla 26. Listado de tareas terminadas para el sprint N.º 01

ID	Historia	Descripción	Estado	Tiempo (h)
T-Nº1	H-Nº1	Definir los componentes principales del sistema IoT (sensores, actuadores, red de comunicación).	Concluido	3
T-Nº2	H-Nº1	Diseñar la arquitectura general del sistema IoT.	Concluido	6
T-Nº3	H-Nº1	Crear diagrama de flujo del sistema para visualizar su funcionamiento.	Concluido	3

T-N°4	H-N°1	Diseñar el esquema de comunicación entre sensores, gateway y la Raspberry Pi.	Concluido	5
T-N°1	H-N°2	Identificar los requisitos del sistema para elegir herramientas adecuadas.	Concluido	3
T-N°2	H-N°2	Evaluar frameworks y tecnologías para el desarrollo del sistema web (React).	Concluido	3
T-N°3	H-N°2	Seleccionar y configurar el entorno de backend en Amazon Lightsail.	Concluido	3
T-N°4	H-N°2	Comparar opciones de bases de datos y definir el uso de Firestore.	Concluido	4
T-N°5	H-N°2	Realizar pruebas básicas de integración con las herramientas seleccionadas.	Concluido	4
T-N°1	H-N°3	Configuración de gateway y nodo Lora WAN Dragino LSE01	Concluido	5
T-N°2	H-N°3	Configuración de la Red LoRaWan (TTN) y AWS	Concluido	4
T-N°3	H-N°3	Configuración de AWS y almacenamiento en Firebase	Concluido	5
T-N°4	H-N°3	Prueba de integración entre plataforma de integración	Concluido	4
T-N°1	H-N°4	Enviar una muestra del sustrato de suelo para evaluar la capacidad de campo.	Concluido	3
T-N°2	H-N°4	Recepción del informe valido con los valores de capacidad de campo del suelo.	Concluido	144
T-N°3	H-N°4	Integración de los datos del informe correctamente en el sistema.	Concluido	4
T-N°1	H-N°5	Diseño de la interfaz gráfica con panel de control.	Concluido	7
T-N°2	H-N°5	Implementación de gráficos para visualizar humedad y temperatura.	Concluido	8
T-N°3	H-N°5	Desarrollo de botones para control manual del riego.	Concluido	8
T-N°4	H-N°5	Pruebas de usabilidad y ajuste del diseño.	Concluido	6
T-N°1	H-N°6	Definir estructura de documentos y colecciones	Concluido	3
T-N°2	H-N°6	Establecer estructura de datos y reglas de validación.	Concluido	3
T-N°3	H-N°6	Configurar Firestore y definir reglas de seguridad.	Concluido	5
T-N°4	H-N°6	Implementar la estructura de Firestore y crear colecciones.	Concluido	4
T-N°5	H-N°6	Realizar pruebas de lectura/escritura y seguridad.	Concluido	4

Fuente: Elaboración propia

Resumen de esfuerzo por tareas de usuario

Tabla 27. Esfuerzo acumulado por tareas de usuario en historias N.º 1, 2, 3, 4, 5 y 6

Historia de usuario	Estado	Complejidad	Tiempo estimado(h)	Tiempo final(h)
H-N°01	Concluido	20	17	18
H-N°02	Concluido	20	17	18
H-N°03	Concluido	20	18	19

H-N°04	Concluido	20	151	160
H-N°05	Concluido	20	29	30
H-N°06	Concluido	20	19	20
TOTAL		120	251	265

Fuente: Elaboración propia

d. Pruebas de funcionalidad

Tabla 28. Comprobación de funcionalidad de las historias para el Sprint N.º 1.

Historia de usuario	Definición	Resultado	Prioridad
H-N°01	Elaboración de maquetas de prototipo y visión general de sistema.	Válido	Alta
H-N°02	Designación de herramientas a usar.	Válido	Alta
H-N°03	Configuración de la arquitectura IOT del sistema	Válido	Alta
H-N°04	Medición de la capacidad de campo del suelo	Válido	Alta
H-N°05	Desarrollo de la interfaz de usuario	Válido	Alta
H-N°06	Almacenamiento de datos	Válido	Alta

Fuente: Elaboración propia

Resultado de SPRINT N°1:

A continuación, se presentan las maquetas creadas en el programa Figma, donde se diseñaron las interfaces del sistema.

Figura 10. Interfaz de inicio de sesión.

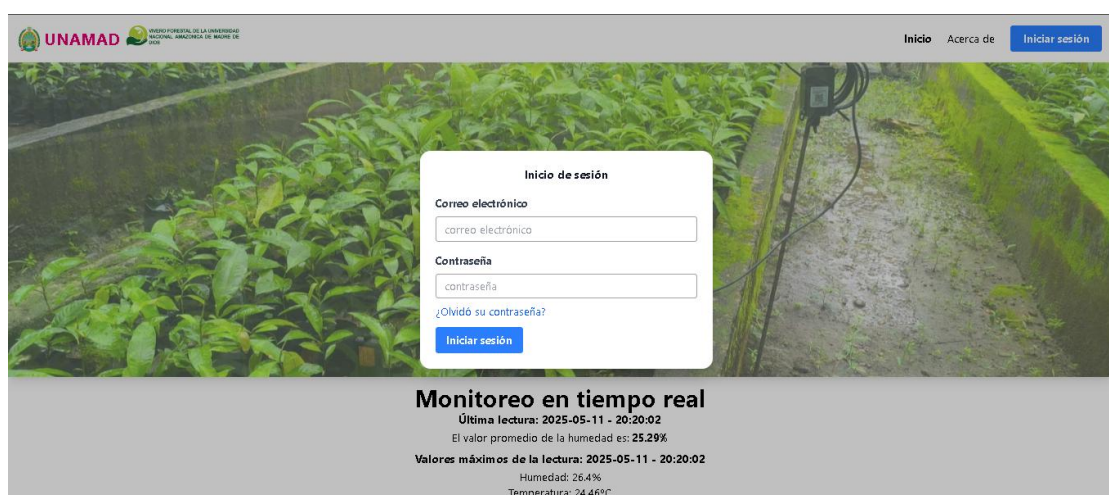


Figura 11. Interfaz de Gestión de Capacidad de campo y Punto de Marchitez.

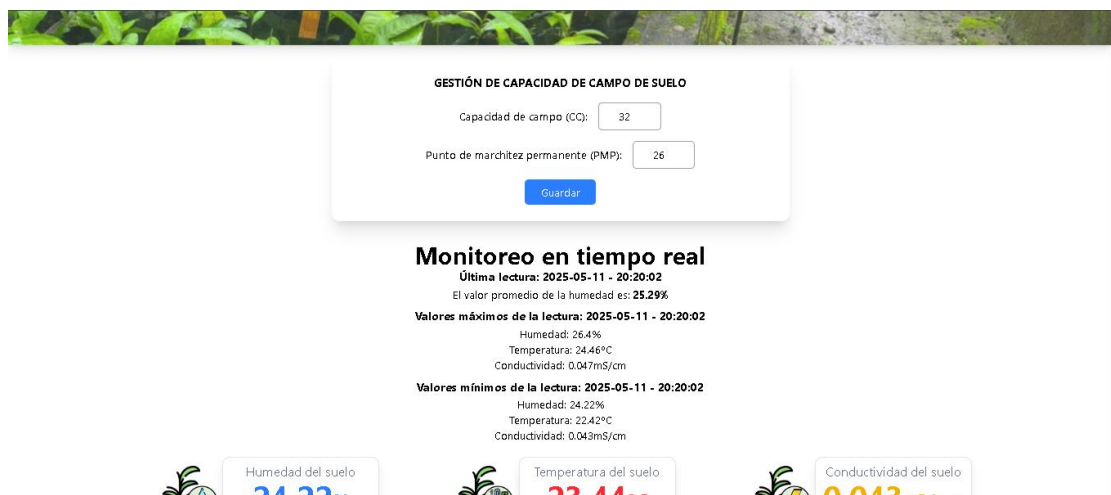
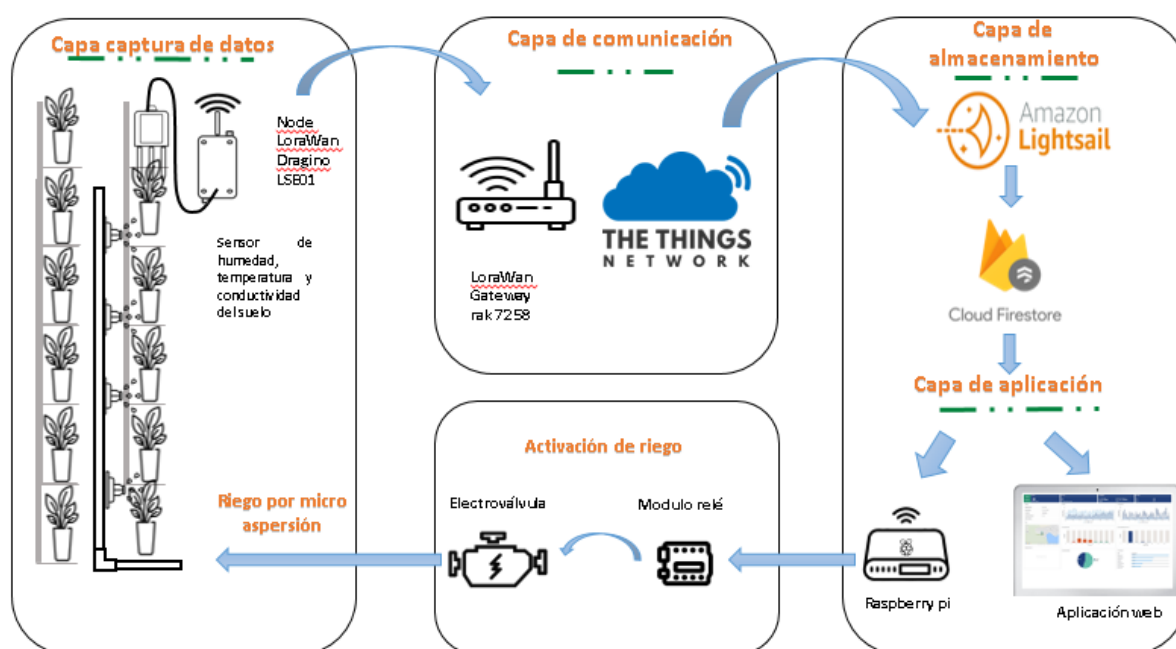


Figura 12. Arquitectura IoT del sistema.



Fuente: Elaboración propia

Figura 13. *Modulo lora del sensor.*

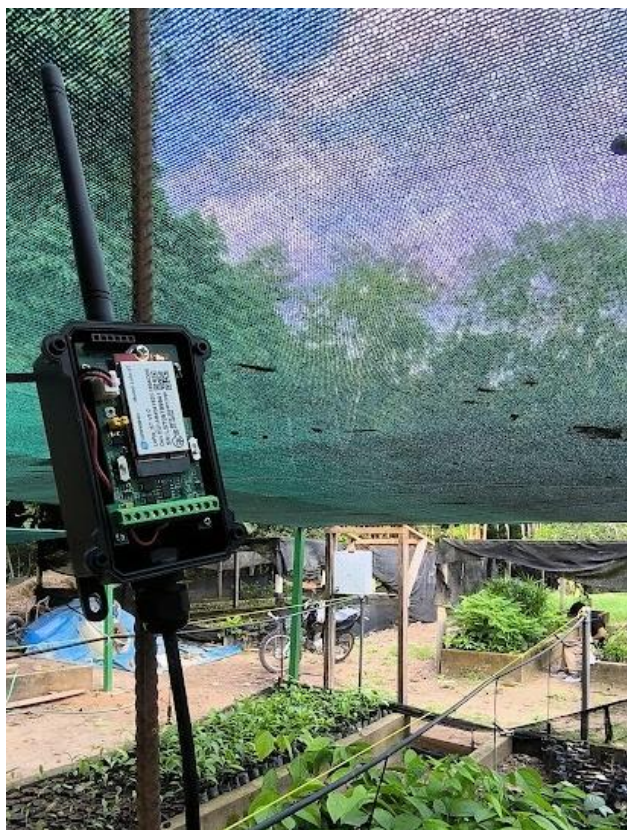


Figura 14. *Configuración de modulo lora del sensor*



Figura 15. *The Things Network.*

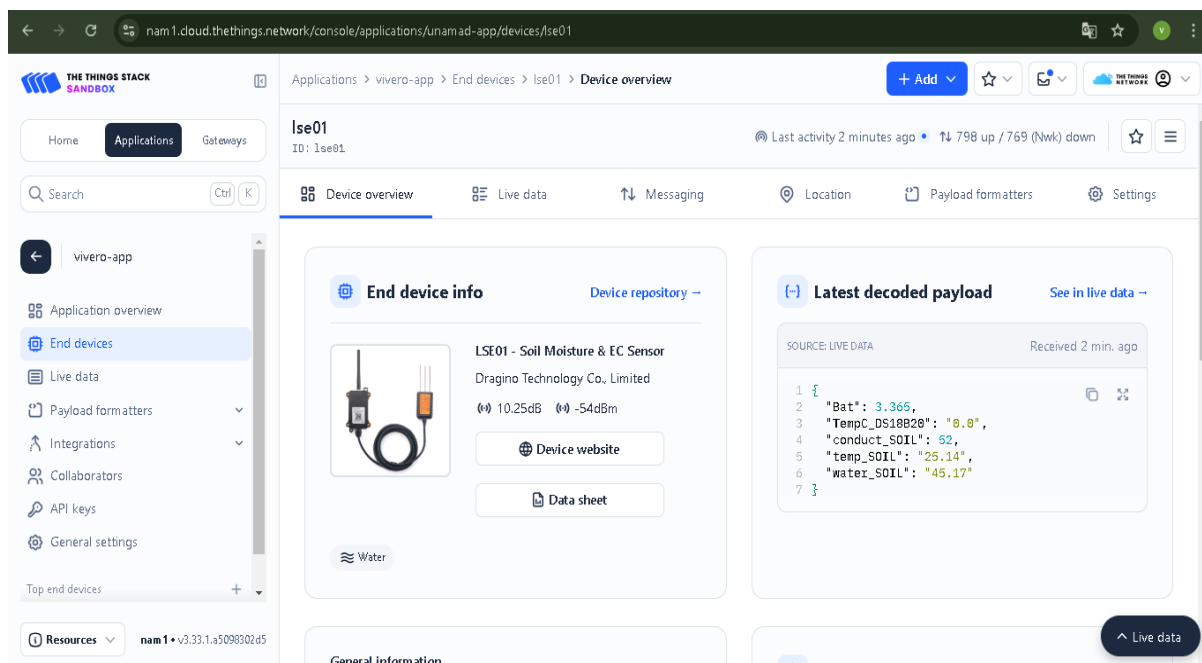


Figura 16. *Interfaz principal de Firebase.*

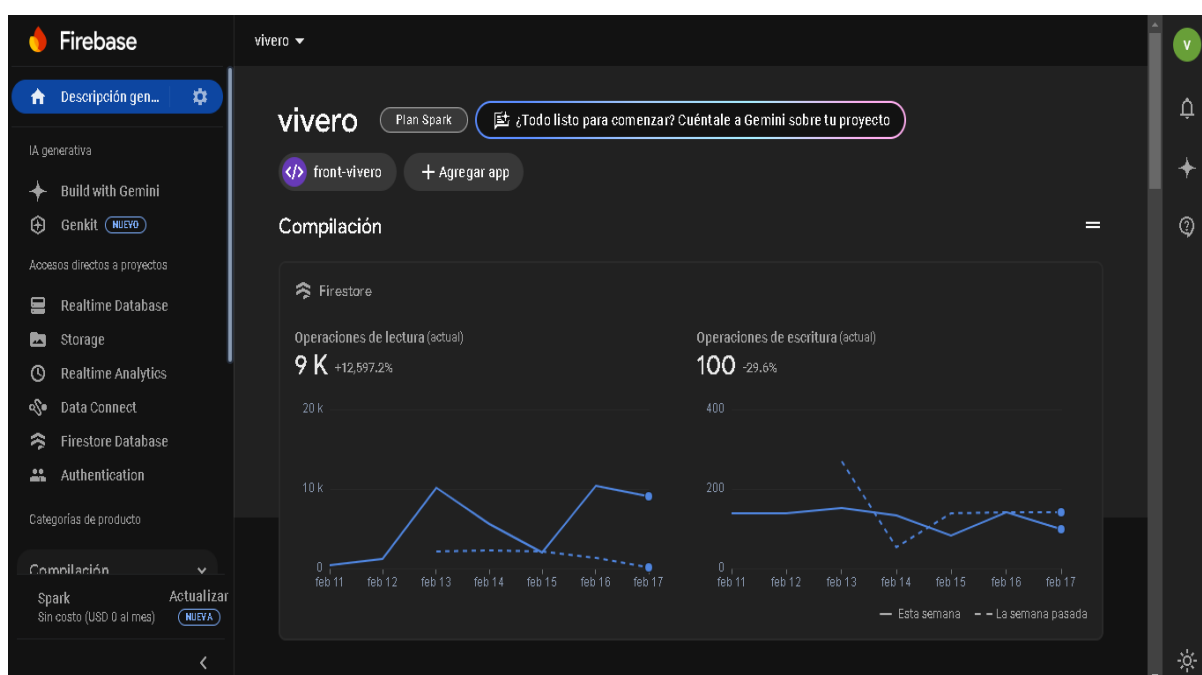


Figura 17. Firebase (Firestore database).

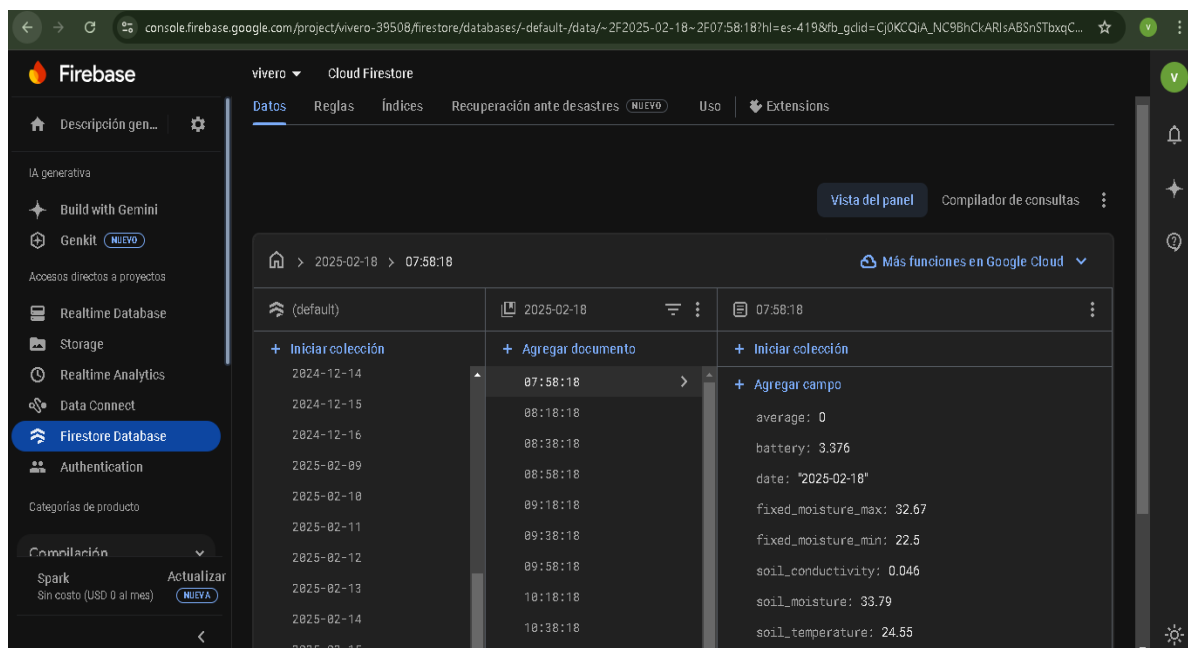


Figura 18. Firebase (Authentication).

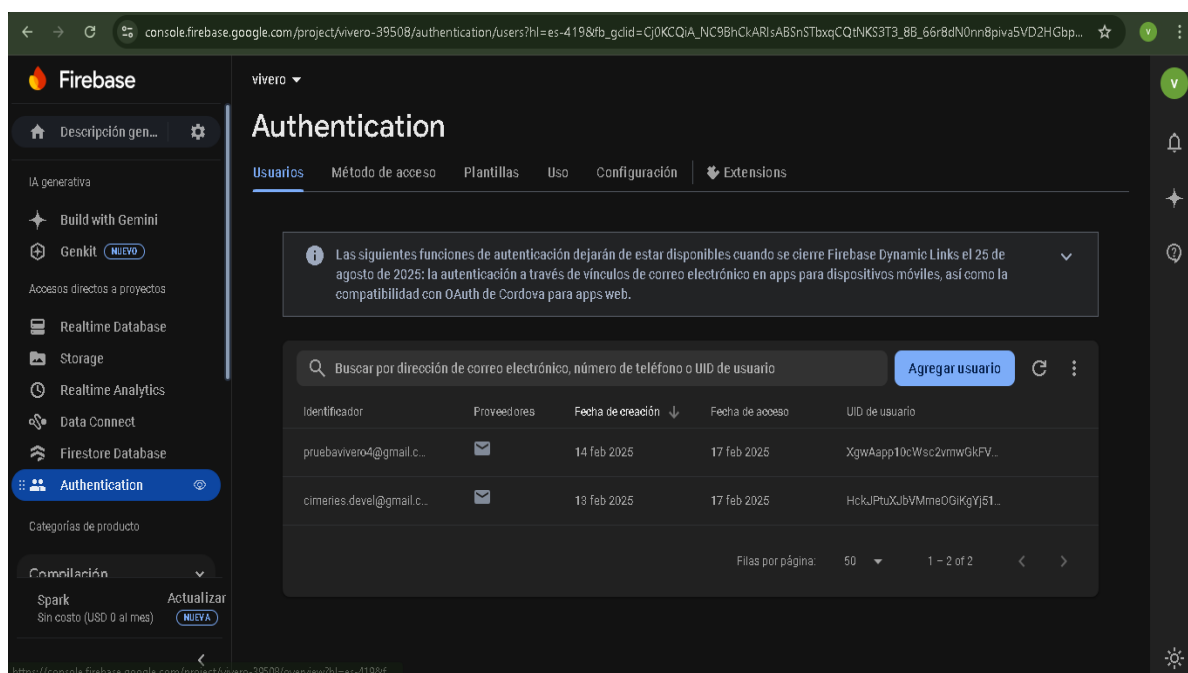


Figura 19. Amazon Lightsail.

Buenos días

Ordenar por: Fecha de creación

openSUSE
1 GB RAM, 2 vCPU, SSD de 40 GB

En ejecución 13.58.69.7
2600:1f16:1e66:b800:127c:73def3d6a0cf
Ohio, Zona A

Instancias

Su instancia de Amazon Lightsail es un servidor privado virtual (también denominado máquina virtual).

Configure la instancia con un sistema operativo además de una aplicación (WordPress, Drupal, Redmine, etc.) o con una pila de desarrollo (LAMP, Node.js, MEAN, etc.). O bien configure su instancia de Lightsail con solo un sistema operativo base (basado en Linux/Unix o en Windows Server).

Después de crear las instancias, puede administrárlas aquí. Filtre y ordene la vista para realizar más fácilmente un seguimiento de las instancias o para buscar una etiqueta para ver únicamente los recursos de Lightsail con esa etiqueta.

¿Fue útil este contenido?

CloudShell Soporte Comentarios

©2025, Amazon Web Services, Inc. o sus filiales. Privacidad Términos

Figura 20. Informe válido del umbral de capacidad de campo del suelo.

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES DE LA AMAZONIA PERUANA
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE FERTILIDAD DE SUELO Y PLANTA (LAFES)
Informe de ensayo N° 001-2025

Oficina en: Jr. Ica 1662 Teléfono: 51-082-571897
Centro experimental: Kilómetro 20 de la carretera interoceánica
Puerto Maldonado-Cusco

DETERMINACIÓN DE CAPACIDAD DE CAMPO DE SUSTRATO

N° Solicitud : S/N
Solicitante : Jorge Luis Mamani Mamani
Sector :
Distrito : Tambopata

Fecha de recep. Lab. : 09/01/2025
Fecha de reporte : 17/01/2025
Departamento : Madre de Dios
Provincia : Tambopata

Item	Código de la muestra	Contenedor	Capacidad de campo (%)	Promedio -Capacidad de campo (%)
1	M1_1	Bolsa amarilla de plástico	29.17	32.40
2	M1_2	Bolsa amarilla de plástico	34.36	
3	M1_3	Bolsa amarilla de plástico	33.66	
4	M2_1	Bolsa de almácigo	22.36	22.78
5	M2_2	Bolsa de almácigo	21.97	
6	M2_3	Bolsa de almácigo	24.01	
7	M3_1	Bolsa blanca de plástico	32.80	32.46
8	M3_2	Bolsa blanca de plástico	30.49	
9	M3_3	Bolsa blanca de plástico	34.09	

Método:
Capacidad de campo: Método gravimétrico

Firmado digitalmente por:
MUÑOZ USHÑAHUA Adenka
Estela FAU 20171781648 soft
Intetivo: Soy el autor del documento
Fecha: 17/01/2025 16:27:43-0500

Ing. Adenka Estela Muñoz Ushñahua
Investigador en Laboratorio de Suelos
Proyecto de Recuperación de Áreas degradadas y manejo sistémico del Bosque

Fuente: Realizado por Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP).

<https://acrobat.adobe.com/id/urn:aaid:sc:VA6C2:5b81b1ef-c89d-47f6-bd75-77042d3bef5c>

Figura 21. *Diseño y desarrollo de la interfaz web.*



Figura 22. *Visualización de datos en tiempo real a través de gráficos estilizados.*

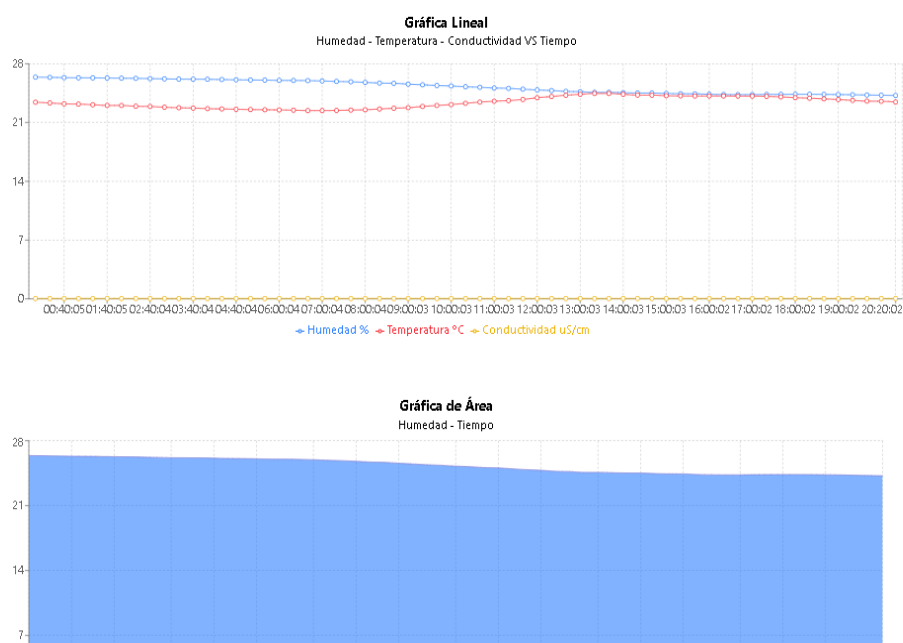


Figura 23. Implementación de pestaña de reportes para poder exportar los datos en archivos de Excel.

FECHA	HORA	TEMPERATURA DEL SUELO	CONDUCTIVIDAD DEL SUELO	HUMEDAD DEL SUELO	BATERÍA	HUMEDAD MÁXIMA FIJA	HUMEDAD MÍNIMA FIJA	PROMEDIO	ASPERSORES
2025-05-11	00:00:05	23.42	0.047	26.4	3.363	32	26	0	Inactivo
2025-05-11	00:20:04	23.33	0.046	26.38	3.36	32	26	26.4	Inactivo
2025-05-11	00:40:05	23.23	0.046	26.35	3.358	32	26	26.39	Inactivo
2025-05-11	01:00:05	23.19	0.046	26.33	3.356	32	26	26.38	Inactivo
2025-05-11	01:20:05	23.12	0.046	26.32	3.358	32	26	26.36	Inactivo
2025-05-11	01:40:05	23.04	0.046	26.3	3.358	32	26	26.36	Inactivo

Figura 24. Almacenamiento de lecturas del sensor y eventos del sistema en Firestore Database.

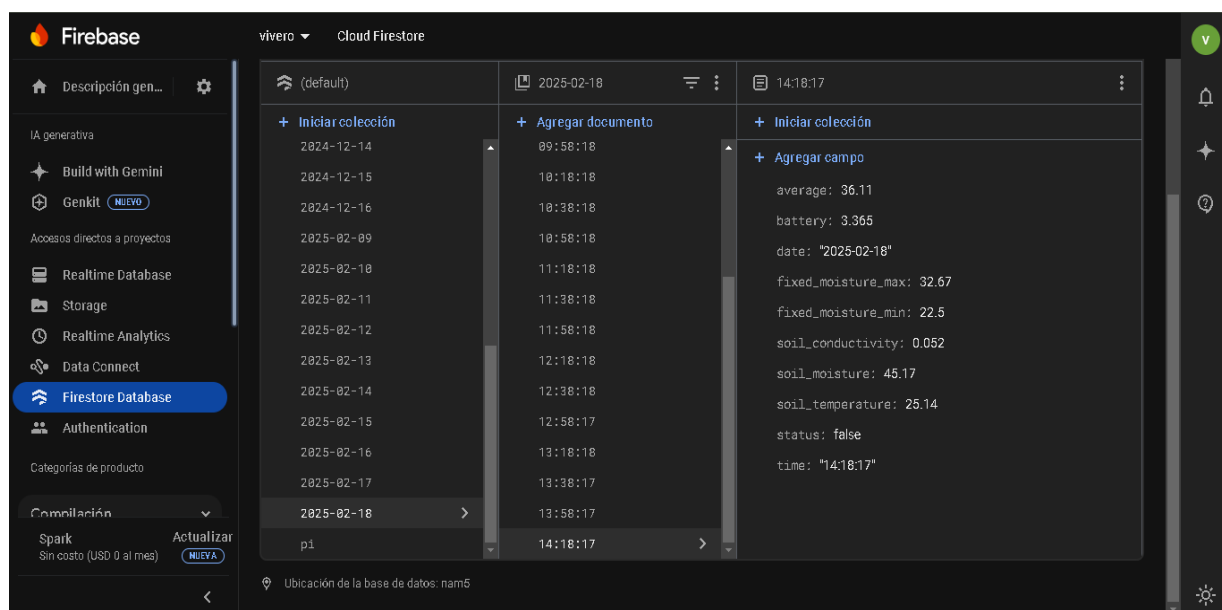


Figura 25. Almacenamiento de lecturas del sensor y eventos del sistema en el Sistema Web.

FECHA	HORA	TEMPERATURA DEL SUELO	CONDUCTIVIDAD DEL SUELO	HUMEDAD DEL SUELO	BATERÍA	HUMEDAD MÁXIMA FIJA	HUMEDAD MÍNIMA FIJA	PROMEDIO	ASPERSORES
2025-02-18	11:58:18	25.78	0.049	33.63	3.342	32.67	22.5	33.78	Inactivo
2025-02-18	12:18:18	25.67	0.049	33.67	3.327	32.67	22.5	33.77	Inactivo
2025-02-18	12:38:18	25.51	0.05	34.71	3.367	32.67	22.5	33.76	Inactivo
2025-02-18	12:58:17	25.29	0.052	43.89	3.351	32.67	22.5	33.82	Inactivo
2025-02-18	13:18:18	25.17	0.052	44.64	3.374	32.67	22.5	34.45	Inactivo
2025-02-18	13:38:17	25.17	0.051	45.01	3.365	32.67	22.5	35.05	Inactivo
2025-02-18	13:58:17	25.14	0.052	45.12	3.367	32.67	22.5	35.61	Inactivo
2025-02-18	14:18:17	25.14	0.052	45.17	3.365	32.67	22.5	36.11	Inactivo

Prim. Ant. 1 2 Sig. Últ.

4.4.6. SPRINT N.º 2:

b. Sprint Planning meeting

Marcamos como completadas las historias del sprint anterior y solo tomaremos en cuenta las que quedan pendientes.

Tabla 29. Compilación de historias de usuario completadas (tachadas) y las que se realizarán en el sprint N.º 2 (en negrita)

RECOPILACIÓN DE HISTORIAS DE USUARIO				
Nº	Cargo	Descripción	Complejo	Prioridad
01	Equipo	~~Elaboración de maquetas de prototipo y visión general de sistema.~~	20	Alta
02	Equipo	~~Designación de herramientas a usar.~~	20	Alta
03	Equipo	~~Configuración de la arquitectura IOT del sistema~~	20	Alta
04	Equipo	~~Medición de la capacidad de campo del suelo~~	20	Alta
05	Equipo	~~Desarrollo de la interfaz de usuario~~	20	Alta
06	Equipo	~~Almacenamiento de datos~~	20	Alta
07	Administrador	Monitoreo de humedad, temperatura y conductividad	20	Alta
08	Administrador	Activación automática del riego	20	Alta
09	Administrador	Generación de reportes	20	Alta
10	Equipo	Puesta en producción del sistema web	20	Alta

Fuente: Elaboración propia

c. Sprint Backlog

Se describen las tareas incluidas en cada historia de usuario.

Tabla 30. *Tareas de historia de usuario N.º 07*

H-Nº07	Monitoreo de humedad, temperatura y conductividad	
ID	Descripción	Tiempo (h)
T-Nº1	Desarrollar la lógica para monitoreo en tiempo real	8
T-Nº2	Visualizar de los datos de humedad, temperatura y conductividad del suelo en la interfaz.	3
T-Nº3	Realizar de pruebas de monitoreo de datos en tiempo real	4
TOTAL		15

Fuente: Elaboración propia

Tabla 31. *Tareas de historia de usuario N.º 08*

H-Nº07	Activación automática del riego	
ID	Descripción	Tiempo (h)
T-Nº1	Configurar de umbral de humedad en la interfaz del administrador.	9
T-Nº2	Activar la electroválvula a través del módulo relé en la Raspberry Pi.	5
T-Nº3	Confirmar que el riego se activa automáticamente al alcanzar el umbral.	4
TOTAL		18

Fuente: Elaboración propia

d. Sprint Review

Tabla 32. *Listado de tareas terminadas para el Sprint Nº2.*

ID	Historia	Descripción	Estado	Tiempo (h)
T-Nº1	H-Nº07	Desarrollar la lógica para monitoreo en tiempo real	Concluido	8
T-Nº2	H-Nº07	Visualizar de los datos de humedad, temperatura y conductividad del suelo en la interfaz.	Concluido	3
T-Nº3	H-Nº07	Realizar de pruebas de monitoreo de datos en tiempo real	Concluido	4
T-Nº1	H-Nº08	Configurar de umbral de humedad en la interfaz.	Concluido	9

T-N°2	H-N°08	Activar la electroválvula a través del módulo relé en la Raspberry Pi.	Concluido	5
T-N°3	H-N°08	Confirmar que el riego se activa automáticamente al alcanzar el umbral.	Concluido	4

Fuente: Elaboración propia.

Resumen de esfuerzo por tareas de usuario:

Tabla 33. Esfuerzo acumulado por tareas de usuario en historias N.º 7, 8, 9 y 10

Historia de usuario	Estado	Complejidad	Tiempo estimado(h)	Tiempo final(h)
H-N°07	Concluido	20	15	17
H-N°08	Concluido	20	18	18
TOTAL		40	33	35

Fuente: Elaboración propia.

e. Pruebas de funcionalidad

Tabla 37. Comprobación de funcionalidad de las historias para el Sprint N.º 2.

Historia de usuario	Definición	Resultado	Prioridad
H-N°07	Monitoreo de humedad, temperatura y conductividad	Válido	Alta
H-N°08	Activación automática del riego	Válido	Alta

Fuente: Elaboración propia.

Seguidamente, se muestran los resultados producidos en el segundo Sprint:

Figura 26. Instalación de sensor



Figura 27. *Instalación de electroválvula.*



Figura 28. *Instalación de micro aspersores.*

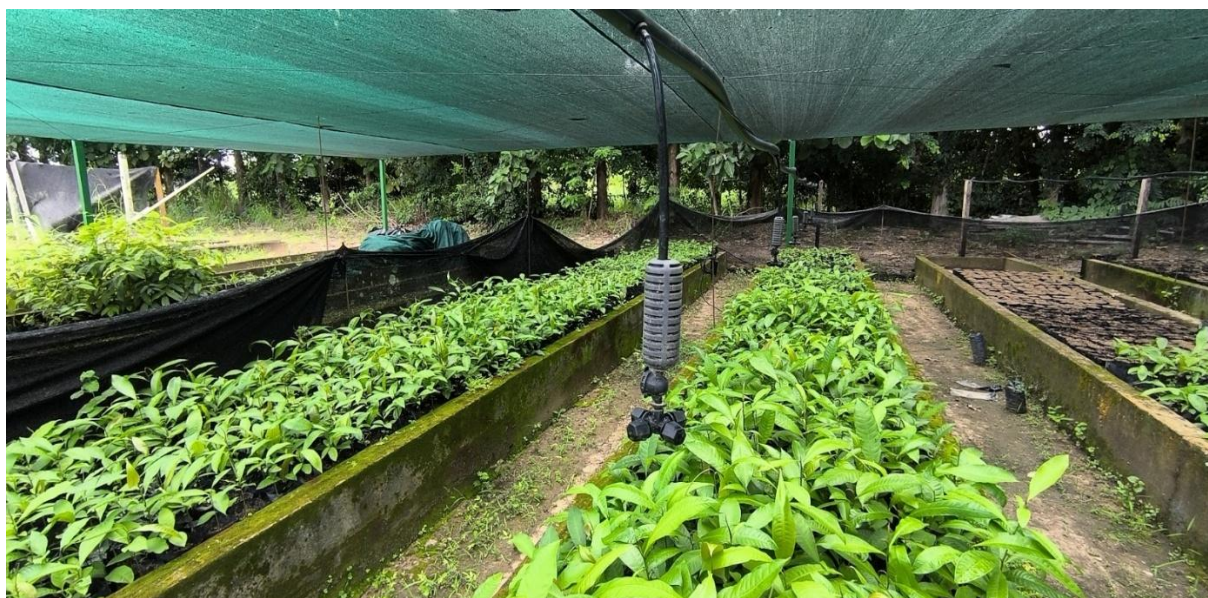


Figura 29. *Configuración de la Raspberry pi 3*



Figura 30. *Micro aspersores funcionando correctamente de acuerdo a los parámetros de la capacidad de campo.*



Figura 31. *Página principal con gráficos del monitoreo*

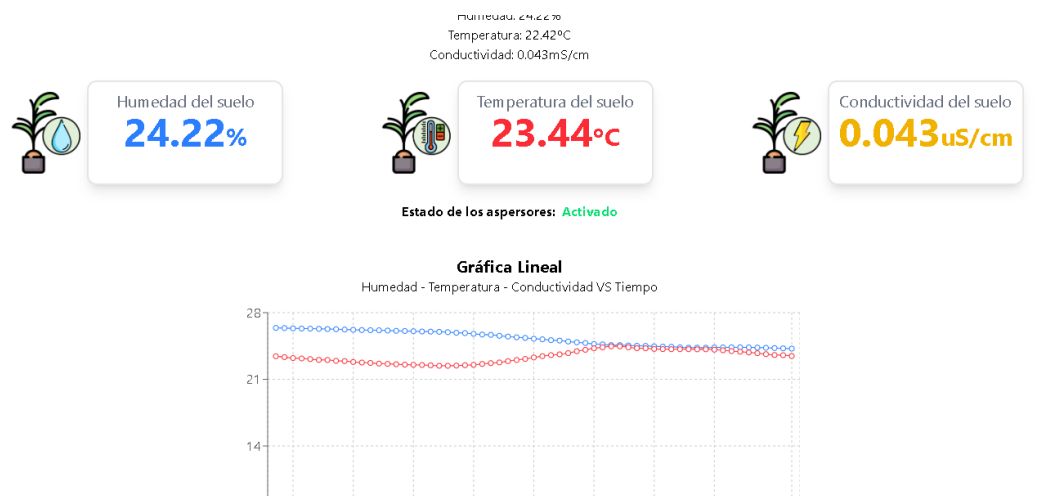
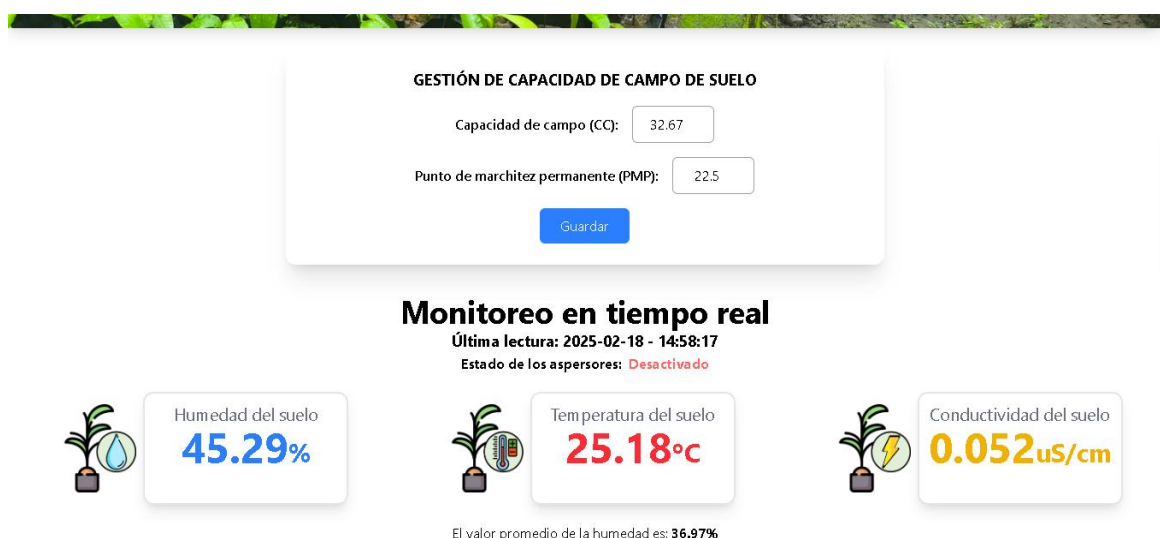


Figura 32. *Configuración de umbral de humedad en la interfaz del administrador.*



4.4.7. SPRINT N°3:

a. Sprint Planning meeting

Tachamos las historias que ya se realizaron en el sprint anterior y consideraremos solo las restantes:

Tabla 34. *Compilación de historias de usuario realizadas (tachados) y pendientes (en negrita)*

RECOPIACIÓN DE HISTORIAS DE USUARIO				
Nº	Cargo	Descripción	Complejo	Prioridad
01	Equipo	Elaboración de maquetas de prototipo y visión general de sistema.	13	Alta
02	Equipo	Designación de herramientas a usar.	20	Alta
03	Equipo	Configuración de la arquitectura IOT del sistema	20	Alta
04	Equipo	Medición de la capacidad de campo del suelo	20	Alta
05	Equipo	Desarrollo de la interfaz de usuario	13	Alta
06	Equipo	Almacenamiento de datos	20	Alta
07	Administrador	Monitoreo de humedad, temperatura y conductividad	20	Alta
08	Administrador	Activación automática del riego	20	Alta
09	Administrador	Generación de reportes	20	Alta
10	Equipo	Puesta en marcha del sistema web vivero-inteligente.info	20	Alta

Fuente: Elaboración propia

b. Sprint Backlog

Tabla 35. *Tareas de historia de usuario N° 09*

H-N°10	Generar reportes	
ID	Descripción	Tiempo (h)
T-N°1	Crear las pantallas y formularios necesarios para generar reportes semanales y mensuales en la interfaz.	7
T-N°2	Crear botón para exportar los datos en Excel.	6
TOTAL		13

Fuente: Elaboración propia

Tabla 36. *Tareas de historia de usuario N° 10*

H-N°11	Puesta en marcha del sistema web vivero-inteligente.info	
ID	Descripción	Tiempo (h)
T-N°1	Configurar el servidor en Amazon Lightsail y verificar compatibilidad con el entorno de desarrollo.	4

T-Nº2	Integrar Firestore para la gestión de la base de datos y Firebase Authentication para la autenticación de usuarios.	4
T-Nº3	Preparar y ajustar archivos de configuración para el despliegue en Amazon Lightsail.	4
T-Nº4	Realizar pruebas de carga para verificar el desempeño del sistema una vez en producción	6
TOTAL		18

Fuente: Elaboración propia

c. Sprint Review

Tabla 37. Listado de tareas terminadas para el Sprint N°3

ID	Historia	Descripción	Estado	Tiempo (h)
T-Nº1	H-Nº 09	Crear las pantallas y formularios necesarios para generar reportes semanales y mensuales en la interfaz.	Concluido	7
T-Nº2	H-Nº 09	Crear botón para exportar los datos en Excel.	Concluido	6
T-Nº1	H-Nº 10	Configurar el servidor en Amazon Lightsail y verificar compatibilidad con el entorno de desarrollo.	Concluido	4
T-Nº2	H-Nº 10	Integrar Firestore para la gestión de la base de datos y Firebase Authentication para la autenticación de usuarios.	Concluido	4
T-Nº3	H-Nº 10	Preparar y ajustar archivos de configuración para el despliegue en Amazon Lightsail.	Concluido	4
T-Nº4	H-Nº 10	Realizar pruebas de carga para verificar el desempeño del sistema una vez en producción	Concluido	6

Fuente: Elaboración propia

Resumen de esfuerzo por tareas de usuario:

Tabla 38. Esfuerzo acumulado por tareas de usuario en historias N° 09 y 10

Historia de usuario	Estado	Complejidad	Tiempo estimado(h)	Tiempo final(h)
H-Nº 09	Concluido	20	13	15
H-Nº 10	Concluido	20	18	19
TOTAL		40	31	34

Fuente: Elaboración propia

d. Pruebas de funcionalidad

Tabla 39. Comprobación de funcionalidad de las historias para el Sprint N°3

Historia de usuario	Definición	Resultado	Prioridad
H-N° 09	Generación de reportes	Válido	Alta
H-N° 10	Puesta en marcha del sistema web vivero-inteligente.info	Válido	Alta

Fuente: Elaboración propia

Ahora, se muestran los resultados producidos en el tercer Sprint:

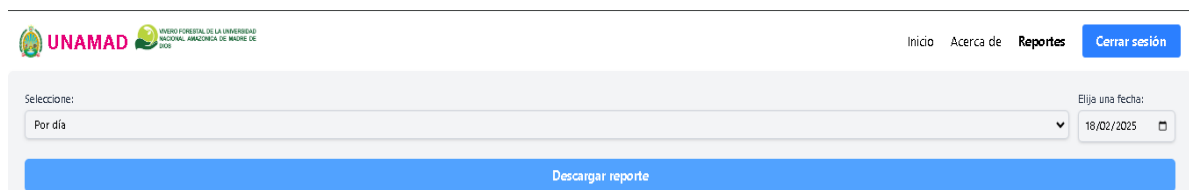
Figura 33. Sección de reporte dentro del sistema web.

FECHA	HORA	TEMPERATURA DEL SUELO	CONDUCTIVIDAD DEL SUELO	HUMEDAD DEL SUELO	BATERÍA	HUMEDAD MÁXIMA FIJA	HUMEDAD MÍNIMA FIJA	PROMEDIO	ASPERSORES
2025-02-18	07:58:18	24.55	0.046	33.79	3.376	32.67	22.5	0	Inactivo
2025-02-18	08:18:18	24.57	0.048	34.03	3.376	32.67	22.5	33.79	Inactivo
2025-02-18	08:38:18	24.67	0.048	34.04	3.372	32.67	22.5	33.91	Inactivo
2025-02-18	08:58:18	24.76	0.049	34.03	3.363	32.67	22.5	33.95	Inactivo
2025-02-18	09:18:18	24.88	0.049	33.94	3.356	32.67	22.5	33.97	Inactivo
2025-02-18	09:38:18	25.08	0.049	33.84	3.367	32.67	22.5	33.97	Inactivo

Figura 34. Visualización de los datos registrados durante el día.

FECHA	HORA	TEMPERATURA DEL SUELO	CONDUCTIVIDAD DEL SUELO	HUMEDAD DEL SUELO	BATERÍA	HUMEDAD MÁXIMA FIJA	HUMEDAD MÍNIMA FIJA	PROMEDIO	ASPERSORES
2025-02-18	07:58:18	24.55	0.046	33.79	3.376	32.67	22.5	0	Inactivo
2025-02-18	08:18:18	24.57	0.048	34.03	3.376	32.67	22.5	33.79	Inactivo
2025-02-18	08:38:18	24.67	0.048	34.04	3.372	32.67	22.5	33.91	Inactivo
2025-02-18	08:58:18	24.76	0.049	34.03	3.363	32.67	22.5	33.95	Inactivo
2025-02-18	09:18:18	24.88	0.049	33.94	3.356	32.67	22.5	33.97	Inactivo
2025-02-18	09:38:18	25.08	0.049	33.84	3.367	32.67	22.5	33.97	Inactivo
2025-02-18	09:58:18	25.27	0.049	33.76	3.367	32.67	22.5	33.95	Inactivo
2025-02-18	10:18:18	25.3	0.049	33.7	3.363	32.67	22.5	33.92	Inactivo
2025-02-18	10:38:18	25.5	0.049	33.65	3.376	32.67	22.5	33.89	Inactivo
2025-02-18	10:58:18	25.75	0.049	33.48	3.372	32.67	22.5	33.86	Inactivo
2025-02-18	11:18:18	25.92	0.049	33.51	3.369	32.67	22.5	33.83	Inactivo
2025-02-18	11:38:18	25.86	0.049	33.59	3.372	32.67	22.5	33.8	Inactivo

Figura 35. Selección de fecha de reporte que se requiere por día



UNAMAD MUESTRO FORESTAL DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Inicio Acerca de Reportes Cerrar sesión

Selección: Por día Elija una fecha: 18/02/2025

Descargar reporte

Figura 36. Selección de fecha de reporte que se requiere por rango.



UNAMAD MUESTRO FORESTAL DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Inicio Acerca de Reportes Cerrar sesión

Selección: Rango

Fecha de inicio: 18/02/2025 Fecha de fin: 18/02/2025

Descargar reporte

Figura 37. Opción de descarga en formato de Microsoft Excel.

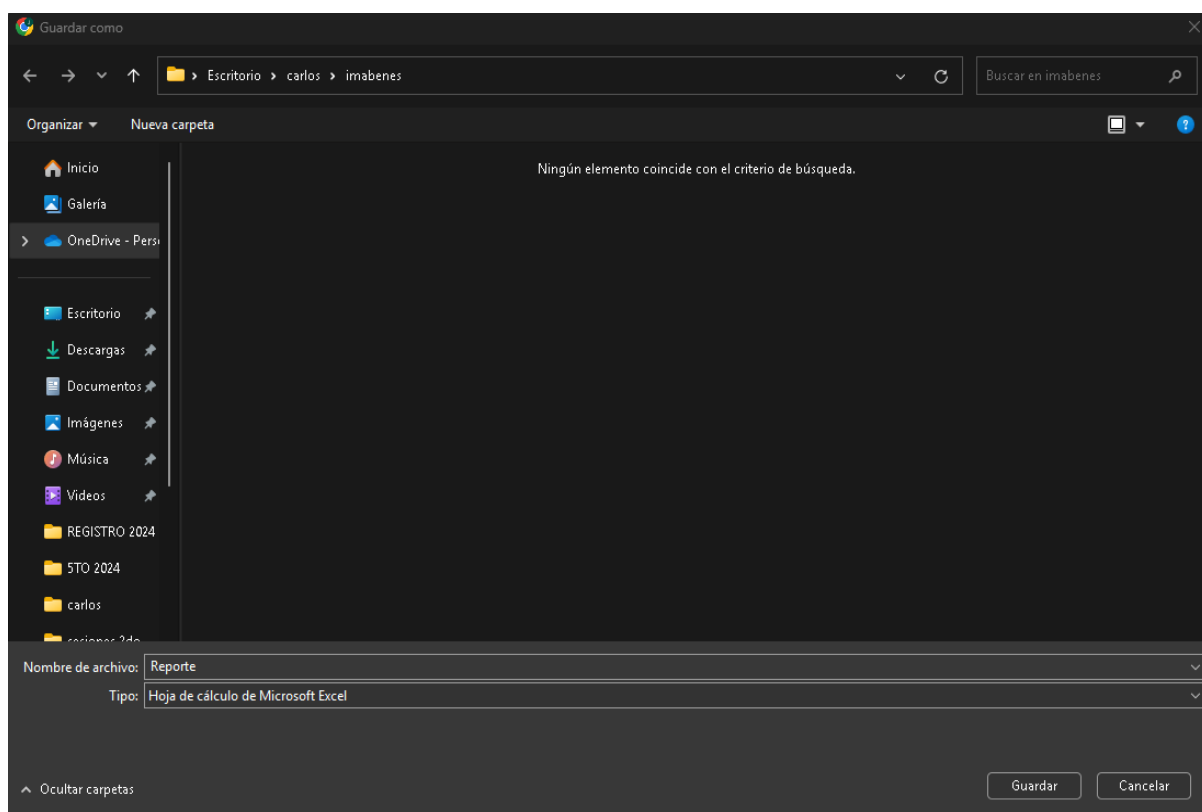


Figura 38. Ejemplo de reporte generado.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	fixed_moisture_max	soil_conductivity	date	time	fixed_moisture	battery	status	soil_moisture	soil_temperature	average					
2	32.67	0.046	2025-02-18	07:58:18	22.5	3.376	FALSO	33.79	24.55	0					
3	32.67	0.048	2025-02-18	08:18:18	22.5	3.376	FALSO	34.03	24.57	33.79					
4	32.67	0.048	2025-02-18	08:38:18	22.5	3.372	FALSO	34.04	24.67	33.91					
5	32.67	0.049	2025-02-18	08:58:18	22.5	3.363	FALSO	34.03	24.76	33.95					
6	32.67	0.049	2025-02-18	09:18:18	22.5	3.356	FALSO	33.94	24.88	33.97					
7	32.67	0.049	2025-02-18	09:38:18	22.5	3.367	FALSO	33.84	25.08	33.97					
8	32.67	0.049	2025-02-18	09:58:18	22.5	3.367	FALSO	33.76	25.27	33.95					
9	32.67	0.049	2025-02-18	10:18:18	22.5	3.363	FALSO	33.7	25.3	33.92					
10	32.67	0.049	2025-02-18	10:38:18	22.5	3.376	FALSO	33.65	25.5	33.89					
11	32.67	0.049	2025-02-18	10:58:18	22.5	3.372	FALSO	33.48	25.75	33.86					
12	32.67	0.049	2025-02-18	11:18:18	22.5	3.369	FALSO	33.51	25.92	33.83					
13	32.67	0.049	2025-02-18	11:38:18	22.5	3.372	FALSO	33.59	25.86	33.8					
14	32.67	0.049	2025-02-18	11:58:18	22.5	3.342	FALSO	33.63	25.78	33.78					
15	32.67	0.049	2025-02-18	12:18:18	22.5	3.327	FALSO	33.67	25.67	33.77					
16	32.67	0.05	2025-02-18	12:38:18	22.5	3.367	FALSO	34.71	25.51	33.76					
17	32.67	0.052	2025-02-18	12:58:17	22.5	3.351	FALSO	43.89	25.29	33.82					
18	32.67	0.052	2025-02-18	13:18:18	22.5	3.374	FALSO	44.64	25.17	34.45					
19	32.67	0.051	2025-02-18	13:38:17	22.5	3.365	FALSO	45.01	25.17	35.05					
20	32.67	0.052	2025-02-18	13:58:17	22.5	3.367	FALSO	45.12	25.14	35.61					

Figura 39. Puesta en marcha del sistema web.

UNAMAD UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MEXICO INSTITUTO TECNOLÓGICO DE MEXICO INSTITUTO TECNOLÓGICO DE MEXICO

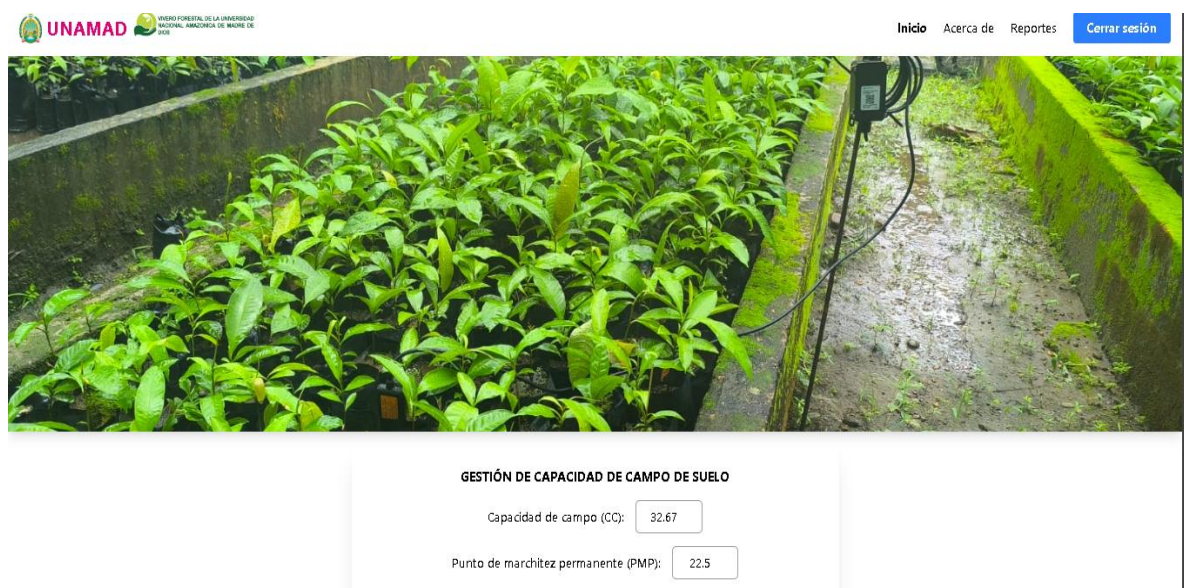
[Inicio](#) [Acercas de](#) [Iniciar sesión](#)

Monitoreo en tiempo real
 Última lectura: 2025-05-11 - 20:20:02
 El valor promedio de la humedad es: 25.29%

Valores máximos de la lectura: 2025-05-11 - 20:20:02
 Humedad: 26.4%
 Temperatura: 24.48°C
 Conductividad: 0.047mS/cm

Valores mínimos de la lectura: 2025-05-11 - 20:20:02

Figura 40. *Página principal como administrador*



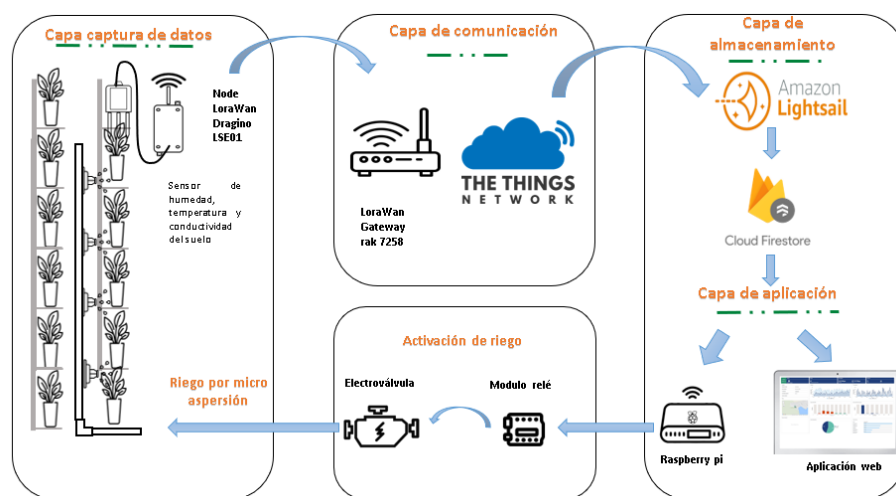
4.5. Diseño e implementación

4.5.1. Arquitectura del sistema web

La arquitectura del sistema está conformada por un sistema web destinado al administrador del vivero y una base de datos en la nube para el almacenamiento y procesamiento de los datos recopilados por los sensores.

A continuación, la figura 41 muestra como es la interacción a partir de la lectura de datos captados por el sensor, su almacenamiento y su publicación en tiempo real al sistema web.

Figura 41. *Arquitectura final del sistema basado en IoT para riego automatizado.*

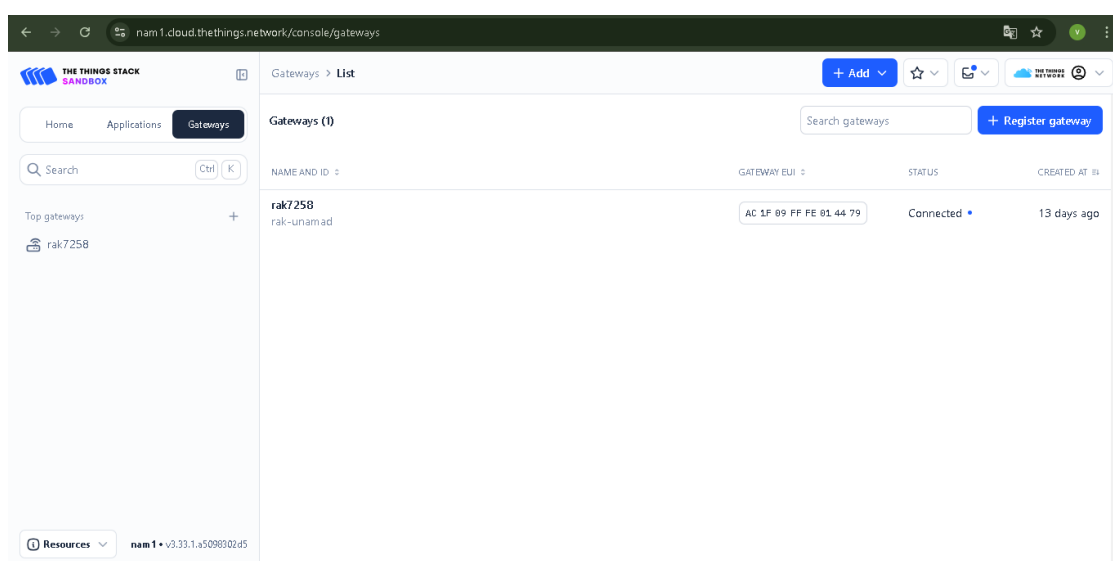


Fuente: Elaboración propia

4.5.2. Flujo de datos de activación de sistema de riego:

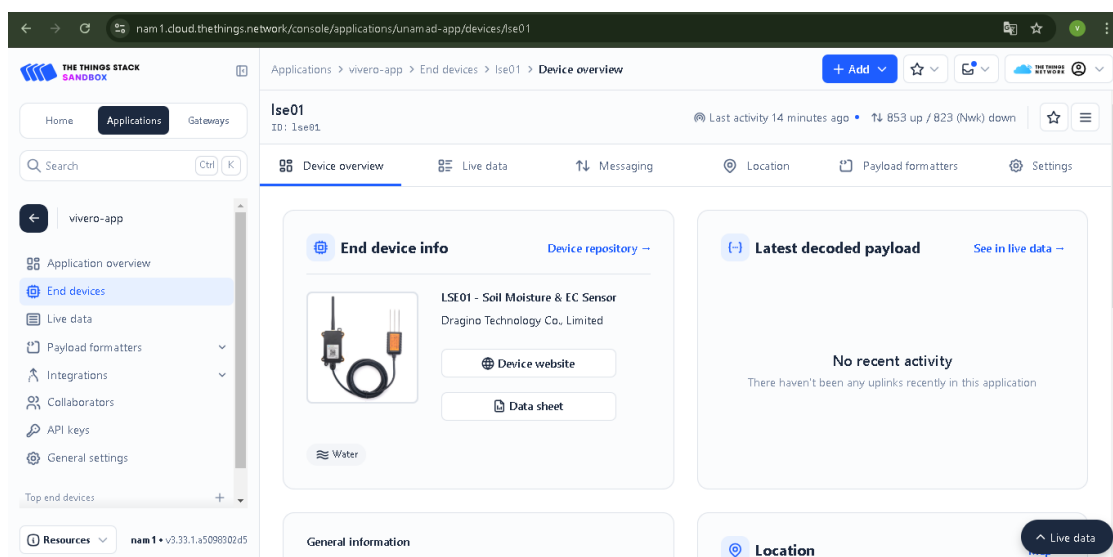
- a) El sensor nodo LoRaWAN Dragino LSE01 inicia con la recopilación de los parámetros de suelo, a través de su módulo de transmisión de datos Lora se conecta al Gateway Rak7258, para que los datos sean cargados al Servidor de LoRaWAN. Mediante la red The Things Network (TTN) se puede realizar las configuraciones para la carga y normalización de los datos.

Figura 42. Registro del Gateway en la red The things Network.



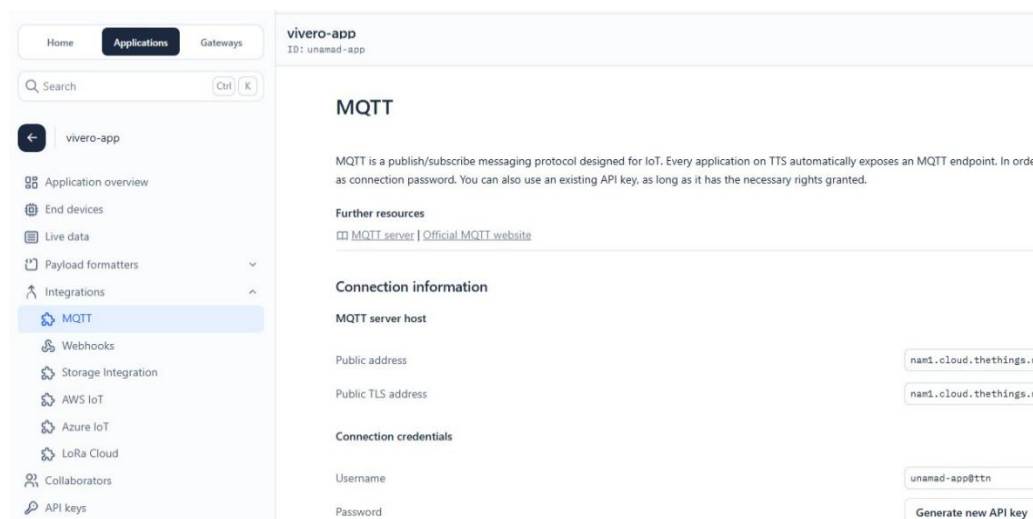
- b) En la imagen se puede observar que el Gateway ya está registrado al igual que el sensor.

Figura 43. Registro del sensor utilizado en la red The things Network.



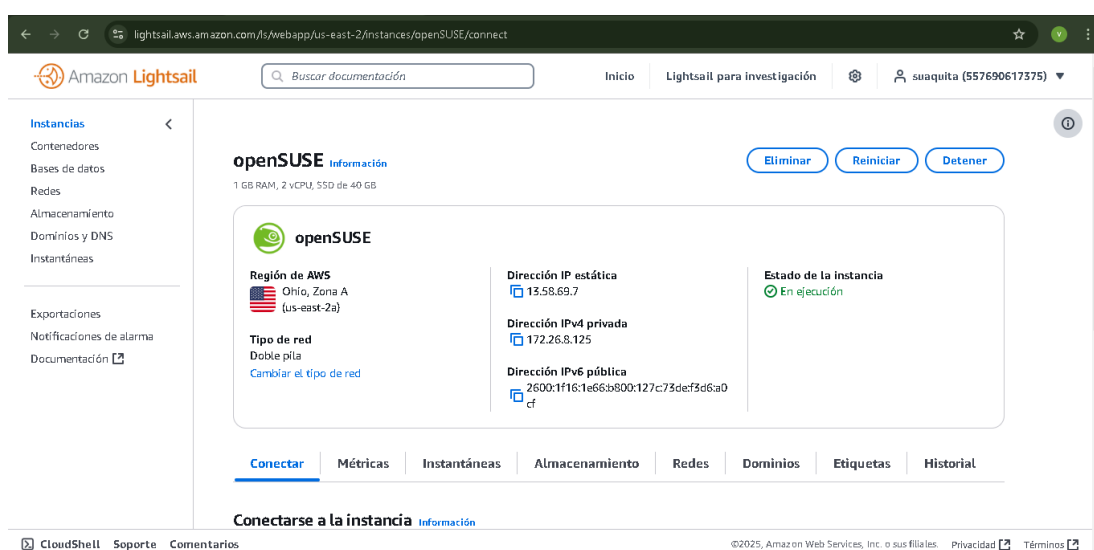
- c) Después, en Amazon Lightsail se implento un módulo de transcripción de datos en protocolo MQTT que se conecta al servidor LoRaWAN y extrae los datos para luego cargarlo en la Base de datos FireBase - Firestore Database el cual almacena los datos en tiempo real.

Figura 44. Credenciales The Things Network para protocolo MQTT.



- d) También en Amazon Lightsail se implementó el módulo de análisis de datos para evaluar los datos y a su vez almacenarlos en Firestore Database para que nos permita la activación del riego automatizado.

Figura 45. Página principal de Amazon Lightsail.



El Servidor virtual Amazon Lightsail tiene las características de 1 GB RAM, 2 v CPU, SSD de 40 GB, donde estará almacenado los módulos de proyecto y el

hosting de la página web. En Firebase se tiene el Plan Spark que es uso gratuito sin pago el cual nos permite 1Gb de almacenamiento de datos y 20,000 escrituras por día y 50 000 lecturas por día.

- e) A continuación, la data es llevado al firebase donde se creó un proyecto llamado “vivero” en el módulo de almacenamiento Firestore Database.
- f) Para la autenticación del acceso del administrador al sistema web se utilizó Firebase Authentication permitiéndonos gestionar los usuarios y contraseñas.

Figura 46. Creación del proyecto llamado vivero en Firestore Database.

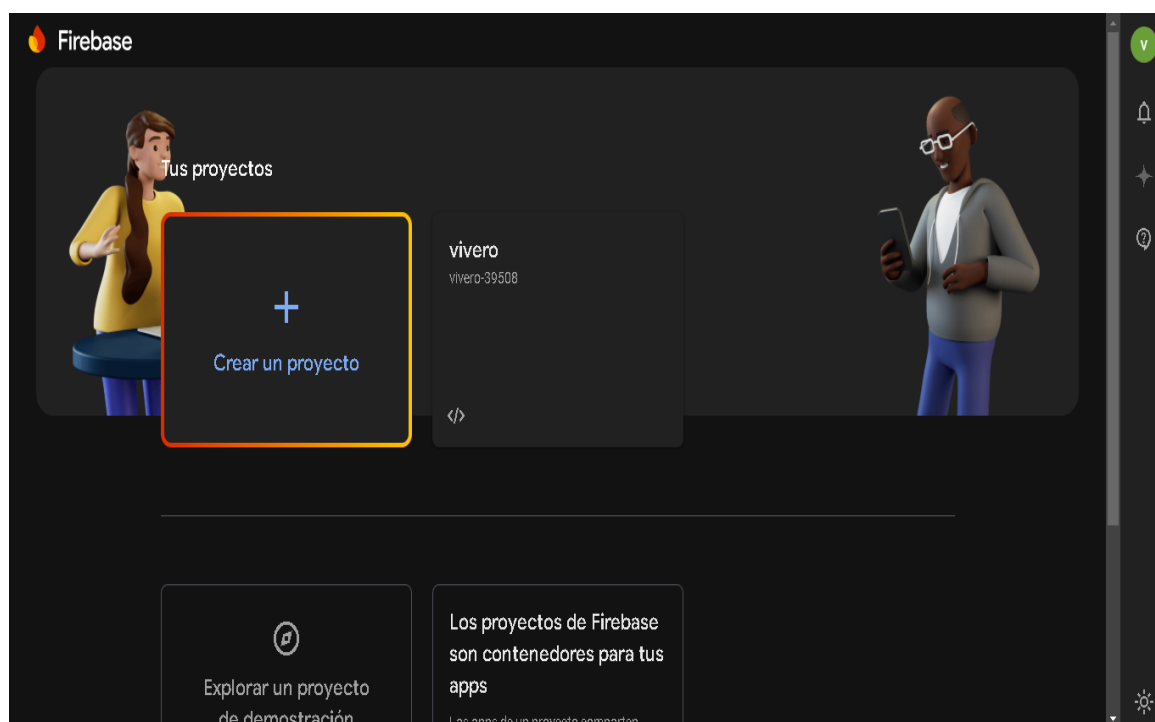


Figura 47. Firebase - Authentication

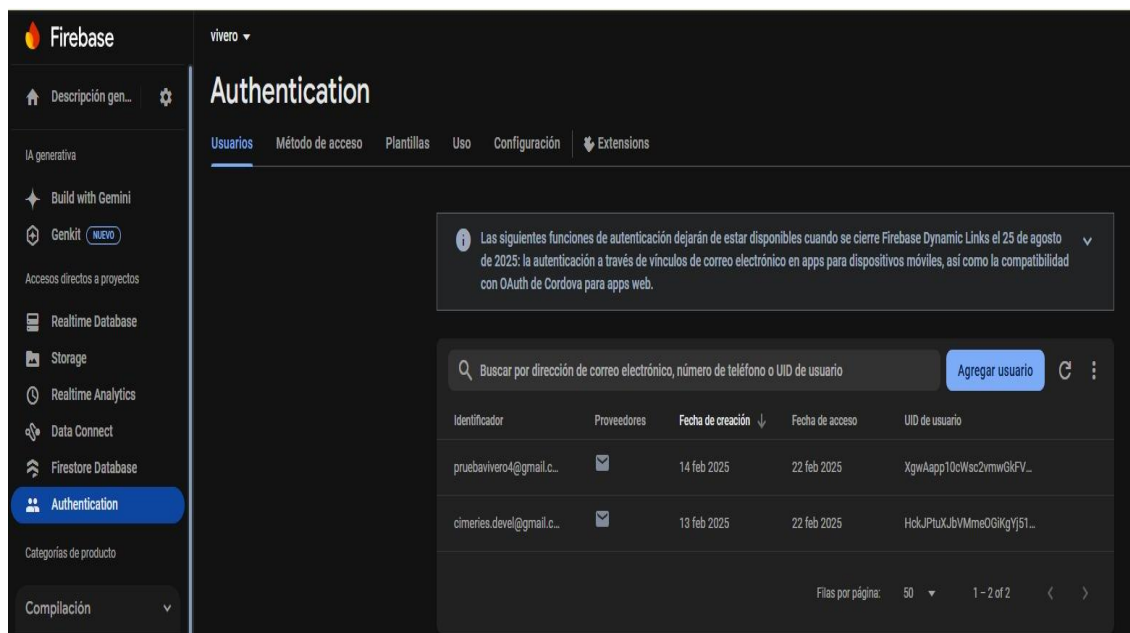
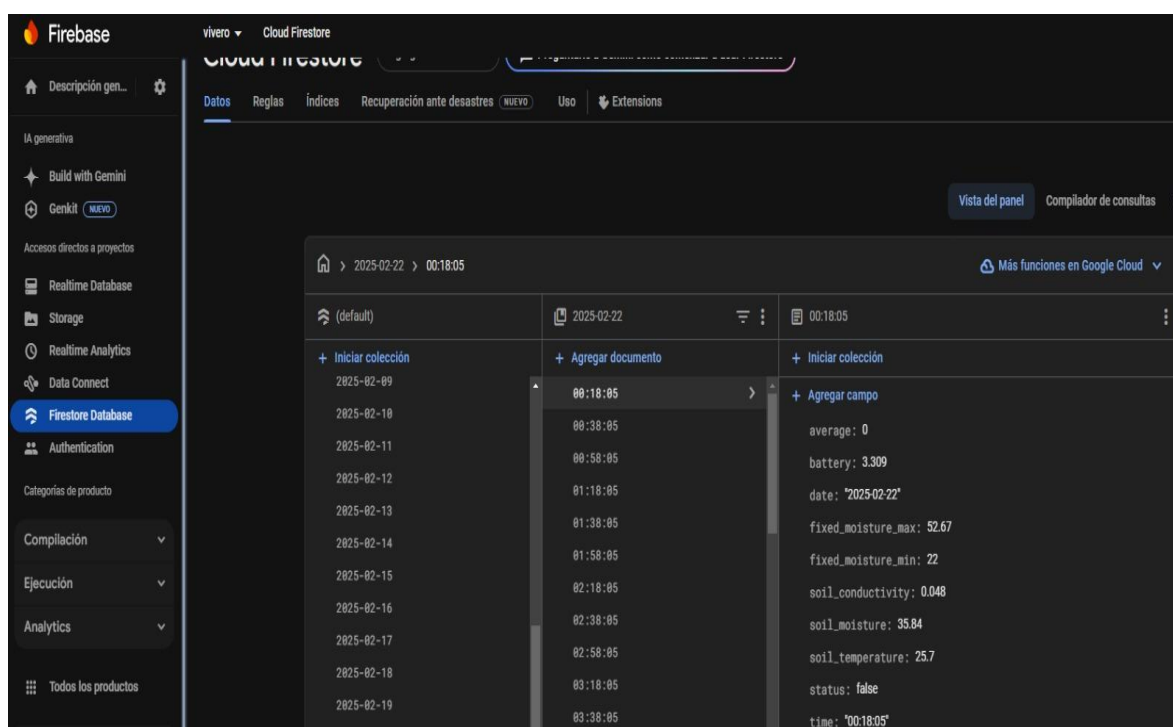


Figura 48. Firebase - Firestore Database



El servidor virtual Amazon Lightsail se utilizó para el hosting del sistema web, en el cual, a su vez, para la obtención de la data de Firebase - Firestore Database se utilizó el protocolo Http/s permitiéndonos proyectar en tiempo real los datos actualizados del sistema web.

Figura 49. Datos actualizados del sensor en el Sistema Web.



- g) Para el riego por micro aspersión se utilizó una Raspberry Pi 3 Model B, el cual realiza la lectura del dato evaluado almacenado en Firebase - Firestore Database mediante el protocolo Http/s, y a través del relé electrónico nos permite realizar la activación del electro válvula.
- h) El dato evaluado en Servidor virtual AWS – Lightsail depende del análisis datos recopilados del sensor nodo LoRaWAN LSE01 y el punto de marchitez del sustrato del suelo que el administrador ingrese al módulo de gestión de capacidad de campo del suelo en el sistema web.

Figura 50. Sección de Capacidad de campo de suelo.

GESTIÓN DE CAPACIDAD DE CAMPO DE SUELO

Capacidad de campo (CC):

Punto de marchitez permanente (PMP):

Guardar

- i) El riego se activará cuando la humedad de suelo del vivero este por debajo del punto de marchitez permanente y se detendrá después de 10 minutos de haberse activado, se consideró 10 minutos ya que de acuerdo a la tabla 40, se realizaron evaluaciones de tiempo optimo y se calculó el incremento respectivo para cada tiempo, el cual se puede observar que a los 10 minutos, el nivel de humedad de agua aumento un 15%, siendo un nivel óptimo y eficiente de riego a diferencia de 20 minutos que excede de manera considerable. El sistema registrara los nuevos datos y estos tienen que ser superior o igual a la capacidad de campo, caso contrario se activara y continuara la misma secuencia.

Tabla 40. Evaluación del tiempo óptimo de riego según el incremento de humedad del suelo.

Tiempo de riego (min)	Aumento de humedad (%)	Comentario
5	8%	Insuficiente
7	12%	Cercano, pero no óptimo
10	15%	Tiempo justo, eficiente
15	22%	Riego muy excesivo
20	30%	Desperdicio de agua

Fuente: Elaboración propia

4.5.3. Activación y desactivación de riego

En el sistema de riego automatizado basado en IoT implementado en el vivero forestal de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios, la activación automática del riego se lleva a cabo bajo el siguiente criterio:

- Se establece una capacidad de campo del suelo de 32% de humedad como referencia de acuerdo a la figura 20.
- El umbral de activación del riego se fija en 26% de humedad de acuerdo a la figura 20.
- Cuando el sistema detecta que la humedad del suelo desciende por debajo del 26%, se activa automáticamente el sistema de riego.

Respecto a la desactivación, se considera el siguiente procedimiento:

- El sistema mantiene el riego durante 10 minutos continuos luego de cada activación.
- Después de esos 10 minutos, el riego se detiene automáticamente.
- En la siguiente lectura de datos (que se realiza de forma periódica), si la humedad permanece por debajo del umbral de 26%, el sistema vuelve a activar el riego.
- Este ciclo se repite hasta que la humedad del suelo supere el valor establecido como umbral.

Cabe señalar que el umbral de activación puede ser modificado desde el sistema web, permitiendo su ajuste en función de las necesidades específicas de las diferentes especies arbóreas presentes en el vivero.

4.5.4. Producción del software

- **Desarrollo del código:**

El sistema fue desarrollado utilizando una arquitectura IoT, en el cual se utilizaron los lenguajes de programación llamados Java Script, Python y Express.js, lo que permite manejar solicitudes de manera eficiente.

En el Backend, el sensor LSE01 fue programado para capturar datos de humedad, temperatura y conductividad del suelo cada 20 minutos, transmitiéndolos al Gateway LoRaWAN, que a su vez los envía a la red The Things Network (TTN).

Desde TTN, los datos se transmiten mediante el protocolo MQTT a un servicio backend alojado en AWS Lightsail. Este servicio se encarga de procesar los datos recibidos y almacenarlos en Firestore, lo que permite su consulta en tiempo real desde la interfaz web. Para la activación del riego, una Raspberry Pi lee los valores almacenados en Firestore y, cuando es necesario, activa los microaspersores mediante un relé, controlando así la electroválvula para optimizar el uso del agua.

En el frontend, el sistema web fue desarrollado con React.js y desplegado en un servidor en la nube AWS Lightsail, proporcionando una interfaz interactiva y responsiva. A través de esta plataforma, los

administradores pueden visualizar los datos en tiempo real y modificar los parámetros del sistema según las necesidades del vivero.

- **Patrón de Diseño del Sistema**

Para garantizar una estructura modular, escalable y se logre mantener el desarrollo del sistema de riego automatizado basado en IoT, se adoptó el patrón de diseño Modelo-Vista-Controlador (MVC). Ya que este modelo permite separar la lógica del negocio, la gestión de datos y la interfaz de usuario, facilitando la administración del sistema y permitiendo futuras mejoras sin afectar toda la estructura del software.

- **Arquitectura del Modelo-Vista-Controlador (MVC)**

La implementación del patrón MVC en el sistema se distribuyó de la siguiente manera:

- **Modelo (M):** Gestión de datos y lógica del negocio: El Modelo se encarga de la administración de los datos del sistema y la lógica relacionada con el riego automatizado. Para ello, se utilizó Firestore, una base de datos NoSQL en la nube, donde se almacenan los datos capturados por el sensor nodo LoRaWAN LSE01. Además, en Amazon Lightsail, se implementaron procesos que analizan las lecturas y definen cuándo debe activarse el sistema de riego, dependiendo de la capacidad de campo definida para cada tipo de suelo.
- **Vista (V):** Interfaz de usuario: La Vista es la interfaz web desarrollada en React.js, la cual permite a los administradores del vivero visualizar los datos en tiempo real, modificar parámetros como la capacidad de campo del suelo y generar reportes de históricos en formato Excel. La interfaz se diseñó con un enfoque responsivo para asegurar su correcto funcionamiento en distintos dispositivos.

- Controlador (C): Comunicación entre el Modelo y la Vista: El Controlador actúa como intermediario entre el Modelo y la Vista, gestionando las solicitudes del usuario y enviando las respuestas adecuadas.

A continuación, se observa el código utilizado para los procesos de extracción de datos, almacenamiento en Firestore Database, lectura de datos de la *Raspberry Pi*, así como el acceso al sistema:

Figura 51. Extracción de datos de la Red LoRaWan (TTN) mediante protocolo MQTT.

```

mqtt > client > client.py > Client > connect
1  from paho.mqtt import subscribe
2  from paho.mqtt import MQTTException
3  from datetime import datetime
4  import json
5
6
7  class Client:
8      def __init__(self, config):
9          self.config = config
10
11     def connect(self):
12         try:
13             m = subscribe.simple(
14                 client_id='cimeries',
15                 topics=['#'],
16                 hostname='nam1.cloud.thethings.network',
17                 port=1883,
18                 auth={'username': self.config.get('user'),
19                     'password': self.config.get('pass')},
20                 msg_count=2)
21         except MQTTException:
22             return False
23         self.payload = m[1]
24         return True
25
26     def get_data(self):
27         data = json.loads(self.payload.payload.decode())
28         message = data.get('uplink_message')
29         if not message:
30             message = data.get('uplink_normalized')
31         d = message['normalized_payload']
32
33         if not isinstance(d, dict):
34             d = d[0]
35         return self.__serialize(d)
36
37     def is_valid_data(self):
38         return not self.payload
39
40     def __serialize(self, data: dict):
41         now = datetime.now()
42         ec = data.get('soil').get('ec')
43         temp = data.get('soil').get('temperature')
44         mois = data.get('soil').get('moisture')
45         serialize = {
46             'battery': data.get('battery'),
47             'soil_conductivity': float(ec) if ec else 0,
48             'soil_temperature': float(temp) if temp else 0,
49             'soil_moisture': float(mois) if mois else 0,
50             'date': now.strftime('%Y-%m-%d'),
51             'time': now.strftime('%H:%M:%S')}
52
53         return serialize
54

```

Figura 52. Almacenamiento en la Firebase-Firestore Database.

```

admin.py
mqtt > firebase > admin.py > ...
1  import firebase_admin
2  from firebase_admin import credentials
3  from firebase_admin import firestore
4  from os.path import join
5
6  class Admin:
7      def __init__(self, config, root):
8          self.config = config
9          self.root = root
10         file_key = join(root, config.get('key'))
11         self.cred = credentials.Certificate(file_key)
12         app = firebase_admin.initialize_app(self.cred)
13         self.db = firestore.client(app)
14         self.lse = self.db.collection('pi').document('lse01')
15
16     def send(self, data: dict):
17         self.document = self.db.collection(data['date']).document(data['time'])
18
19         temp_min, temp_max, average, status = self.get(data)
20
21         data['fixed_moisture_min'] = temp_min
22         data['fixed_moisture_max'] = temp_max
23         data['average'] = average
24         data['status'] = status
25
26         self.document.set(data)
27         self.lse.set(data)
28
29     def get(self, data: dict):
30         ds = self.lse.get()
31         if ds.exists:
32             ds = ds.to_dict()
33             self.config['temperature_min'] = ds.get('fixed_moisture_min')
34             self.config['temperature_max'] = ds.get('fixed_moisture_max')
35             self._save_env()
36
37             collection = self.db.collection(data.get('date'))
38             docs = collection.get()
39             sum = 0
40             for doc in docs:
41                 sum += doc.to_dict().get('soil_moisture')
42
43             average = round(sum/len(docs), 2)
44             status = data.get('soil_moisture') < ds.get('fixed_moisture_min')
45
46             return ds.get('fixed_moisture_min'), \
47                 ds.get('fixed_moisture_max'), \
48                 average, status
49
50         return self.config.get('temperature_min'), \
51             self.config.get('temperature_max'), \
52             0, False
53
54     def _save_env(self):
55         with open('{}/.env'.format(self.root), 'w') as f:
56             for key, value in self.config.items():
57                 f.write(f'{key}={value}\n')
58

```

Figura 53. Lectura de datos para la Raspberry Pi 3 para la activación de micro aspersores.

```

mqtt > firebase > client.py > ...
1  import threading
2  import firebase_admin
3  import time
4  import RPi.GPIO as GPIO
5  from firebase_admin import credentials
6  from firebase_admin import firestore
7  from os.path import join
8
9
10 class Pi:
11     def __init__(self, config, root):
12         self.config = config
13         GPIO.setwarnings(False)
14         GPIO.setmode(GPIO.BCM)
15         GPIO.setup(int(config.get('pin')), GPIO.OUT)
16
17         file_key = join(root, config.get('key'))
18         self.cred = credentials.Certificate(file_key)
19         app = firebase_admin.initialize_app(self.cred)
20         self.db = firestore.client(app)
21         self.lse = self.db.collection('pi').document('lse01')
22         self.callback_done = threading.Event()
23
24     def on_snapshot(self, doc_snapshot, changes, read_time):
25         for doc in doc_snapshot:
26             data = doc.to_dict()
27             status = data.get('status')
28             GPIO.output(int(self.config.get('pin')),
29                         GPIO.HIGH if status else GPIO.LOW)
30
31         self.callback_done.set()
32
33     def get(self):
34         data = self.lse.get()
35         if data.exists:
36             return data.to_dict()
37         return None
38
39     def watch(self):
40         self.lse.on_snapshot(self.on_snapshot)
41         while True:
42             try:
43                 time.sleep(1)
44             except KeyboardInterrupt:
45                 break
46

```

Figura 54. Acceso al Sistema Web.

```

Login.tsx x
vivero > src > components > navigation > Login.tsx
1 import { Dialog, Transition } from '@headlessui/react';
2 import { Fragment } from 'react/jsx-runtime';
3 import React, { ChangeEvent, useContext, useEffect, useState } from 'react';
4 import { DataContext } from '../../context/context';
5 import { loginUser } from '../../utils/AuthService';
6 import { NavLink } from 'react-router-dom';
7
8 interface Props {
9   visible: boolean,
10   action: ()=>void
11 }
12
13 export const Login: React.FC<Props> = ({visible, action}) => {
14
15   const {setUser} = useContext(DataContext);
16   const [error, setError] = useState(false);
17   const [data, setData] = useState({username:"",password:""});
18
19   useEffect(()=>{
20     setError(false);
21   },[])
22
23   const handleSubmit = async (event: React.FormEvent) => {
24     event.preventDefault();
25     try {
26       const user = await loginUser(data.username, data.password);
27       setUser(user);
28       action();
29       window.location.reload();
30     } catch (error) {
31       console.error("login ", error);
32       setError(true);
33     }
34   };
35
36   const onChangeData = (event: ChangeEvent<HTMLInputElement>) => {
37     const {name, value} = event.target;
38     setData({...data, [name]: value})
39   }
40
41   return (
42     <>
43     <Transition appear show={visible} as={Fragment}>
44       <Dialog as="div" className="relative z-10" onClose={action}>
45         <Transition.Child
46           as={Fragment}
47           enter="ease-out duration-300"
48           enterFrom="opacity-0"
49           enterTo="opacity-100"
50           leave="ease-in duration-200"
51           leaveFrom="opacity-100"
52           leaveTo="opacity-0">
53           <div className="fixed inset-0 bg-black/25" />
54         </Transition.Child>
55
56         <div className="fixed inset-0 overflow-y-auto">

```

4.5.5. Implementación

- **Instalación de componente y sensor:**

a) El sensor de suelo LSE-01 se instaló en uno de las bolsas almaciguera perteneciente a una de las cuatro camas almacigueros, el sensor tiene una carcasa impermeable de certificación IP66 el cual nos facilita dejarlo en ambientes naturales.

Figura 55. *Sensor instalado dentro de una bolsa almaciguera.*



b) Después el Gateway Rak 7258 se instaló en el vivero, en un módulo para protegerlo de los ambientes naturales, se conecta a la Red LoRaWAN con un chip de datos de 20 GB al mes, al igual que la Raspberry Pi, el cual está conectado junto con el relee para la activación de la electroválvula.

Figura 56. *Instalación de Gateway, Raspberry Pi 3 y un estabilizador para regular la energía.*



Figura 57. *Módulo de seguridad.*



Seguidamente se continuo con la instalación de la electroválvula, los micro aspersores, así como tuberías y cables dentro del vivero.

Figura 58. *Instalación de la electroválvula.*

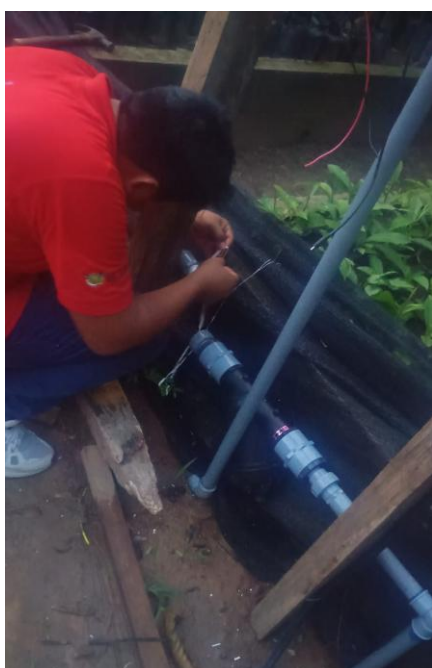


Figura 59. *Instalación de los listones para agarrar los micro aspersores.*

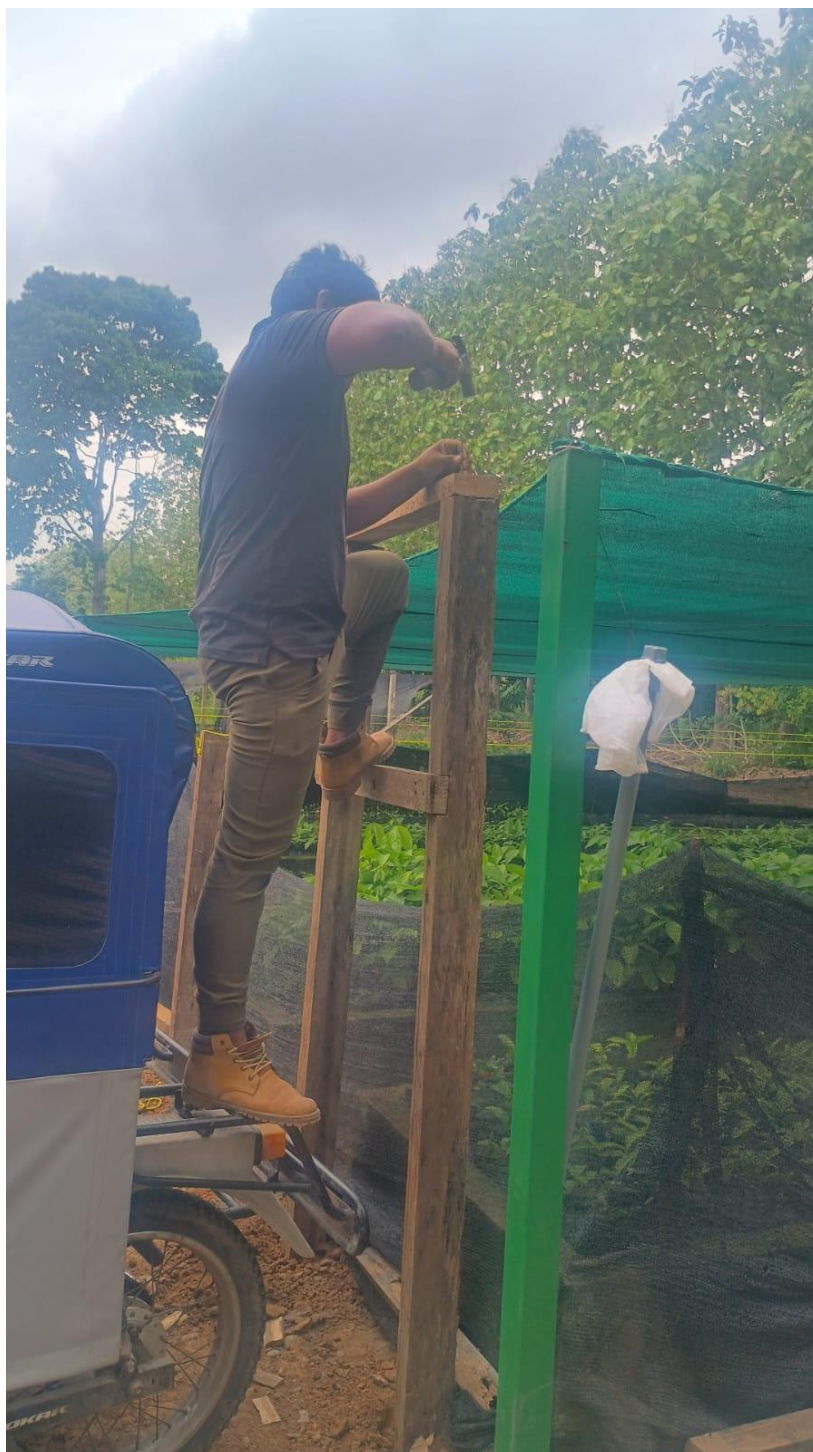


Figura 60. *Excavación en el exterior del vivero para colocar los listones.*



Figura 61. *Instalación completa del sistema de riego con micro aspersores.*



4.6. Pruebas del software y hardware

4.6.1. Pruebas de software

Para garantizar que el sistema de riego automatizado funcione correctamente, se llevaron a cabo diferentes pruebas enfocadas en evaluar su rendimiento, estabilidad y precisión. Aquí se describe el enfoque y los resultados obtenidos en cada tipo de prueba.

a) Pruebas de Caja Negra

Estas pruebas se centraron en evaluar cómo funciona el software desde el punto de vista del usuario, sin analizar su estructura interna ni el código detrás.

- **Inicio de sesión:** Se ingresaron credenciales válidas para confirmar que el sistema permitiera el acceso y redirigiera al usuario correctamente a la página principal.
- **Visualización de datos en tiempo real:** Se verificó que los valores de humedad, temperatura y conductividad del suelo, registrados en Firestore, pudieran consultarse desde la interfaz sin retrasos ni errores.
- **Modificación de parámetros de riego:** Se probaron diferentes configuraciones capacidad de campo y punto de marchitez de suelo para confirmar que el sistema almacenaba y aplicaba correctamente estos valores al controlar el riego.

- **Generación de reportes en Excel:** Se seleccionaron distintos rangos de fechas y se comprobó que los datos históricos descargados coincidieran exactamente con la información registrada en el sistema.

En general, todas estas pruebas fueron satisfactorias y mostraron que el software responde adecuadamente a los requerimientos planteados.

b) Pruebas de Caja Blanca

A diferencia de las pruebas de caja negra, estas se enfocaron en analizar la estructura interna y la lógica del código para garantizar que estuviera bien implementado y optimizado.

- **Cobertura del código:** Se evaluaron todas las rutas posibles de los métodos principales del sistema, como autenticación, visualización de datos y control del riego. Los resultados mostraron un alto porcentaje de cobertura, lo que indica que el código está bien estructurado.
- **Revisión de bucles:** Se analizaron los bucles que monitorean los parámetros en tiempo real, asegurando que no generen errores o bloqueos en la ejecución del sistema.
- **Condicionales del riego:** Se validó que las condiciones que controlan la activación y desactivación del riego respondieran correctamente a los valores configurados por el usuario.

Los resultados confirmaron que la lógica interna del software funciona de manera eficiente y sin fallos, lo que garantiza la estabilidad del sistema.

c) Pruebas Unitarias

Se realizaron pruebas específicas para evaluar funciones individuales del sistema de manera aislada.

- **Autenticación:** Se probaron credenciales válidas e inválidas para verificar que solo el usuario autorizado pueda acceder al sistema.
- **Control del riego:** Se comprobó que la electroválvula se activara cuando la humedad sea baja del umbral mínimo configurado, es decir del punto de marchitez y se desactivara después de 10 minutos de haberse activado, eso se realizó en base a una evaluación de incremento de humedad de suelo detallado en la tabla 40.
- **Generación de reportes:** Se verificó que los reportes en Excel incluyeran correctamente la información dentro del rango de fechas seleccionado.

El resultado fue positivo en todos los casos, mostrando que cada función del sistema cumple con su propósito sin problemas.

d) Pruebas de Integración

El objetivo de estas pruebas fue asegurarse de que los diferentes módulos del sistema funcionaran correctamente de manera conjunta.

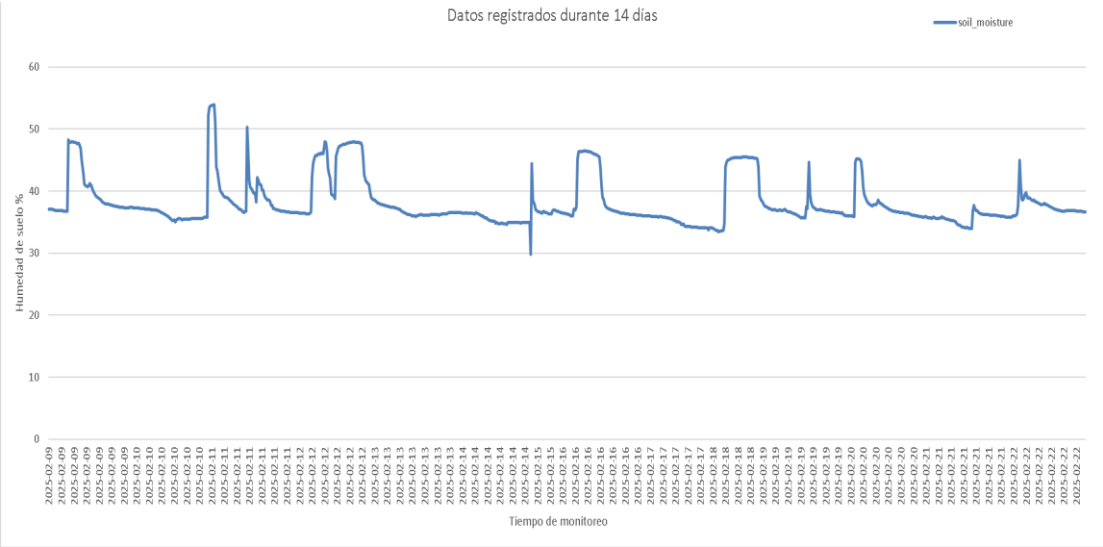
- **Modificación de parámetros:** Se validó que los usuarios autenticados pudieran modificar los parámetros de riego desde la interfaz web y que estos cambios se reflejaran correctamente en la base de datos y en la operación del sistema.
- **Visualización de datos:** Se comprobó que los datos registrados en Firestore pudieran visualizarse en tiempo real en la plataforma web sin inconsistencias.
- **Interacción software-hardware:** Se verificó que cualquier cambio en los parámetros de humedad, realizado desde la interfaz web, se tradujera en una respuesta inmediata del sistema físico, como la activación o desactivación de la electroválvula.

El sistema demostró que los módulos trabajan de manera coordinada y estable, garantizando una integración efectiva entre software y hardware.

4.7. Análisis de la Variabilidad de los Parámetros del Suelo.

En la Figura 59 se puede observar los valores de humedad de suelo registrados durante los días 09-02-2025 y 22-02-2025, en el cual se podrá visualizar y detallar los valores mínimos y máximos de humedad de suelo registrados en el vivero forestal durante un período de 14 días. El gráfico muestra la evolución de estos parámetros a lo largo de estos días monitoreados, permitiendo identificar patrones y analizar la relación entre las condiciones del suelo y la activación del sistema de riego.

Figura 62. Datos registrados por el sensor durante 14 días.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 41. Análisis descriptivo de la humedad registrado durante 14 días.

Estadísticos	Datos
Promedio	37.28%
Máximo	53.89%
Mínimo	29.83%

Fuente: Elaboración propia.

Análisis del comportamiento de la humedad del suelo

Durante los 14 días de monitoreo, se registró un comportamiento dinámico en los niveles de humedad del suelo, influenciado principalmente por factores climatológicos propios de la región de Madre de Dios en época de lluvias. El promedio de humedad fue de 37.28%, con un valor máximo de 53.89% registrado el 11 de febrero de 2025 y un valor mínimo de 29.83% el 15 de febrero de 2025.

El análisis detallado de estos datos permite concluir que el comportamiento de la humedad del suelo sigue patrones esperados en un entorno de selva alta en temporada de lluvias, y valida la pertinencia de los umbrales de activación establecidos para el sistema de riego automatizado.

CONCLUSIONES

Primera. Se desarrolló un sistema basado en IoT para el riego automatizado en el Vivero Forestal de la UNAMAD, en el cual, a través de un sistema web, es posible visualizar en tiempo real parámetros registrados como la humedad, temperatura y conductividad del suelo, así también como gráficos que detallan los parámetros de manera más precisa. La humedad del suelo se estableció como el factor clave para la activación del riego, permitiendo ajustar la capacidad de campo y el punto de marchitez según el tipo de suelo, a razón de ello se garantizó una distribución eficiente del agua, asegurando que cada planta reciba la cantidad necesaria para su crecimiento.

Segunda. Se diseñó una arquitectura IoT que soporta el sistema de riego automatizado, el cual está integrado con el nodo LoRaWAN Dragino LSE01, el cual monitorea y registra en tiempo real los parámetros de humedad, temperatura y conductividad del suelo, un Gateway de comunicación LoRaWAN y plataformas en la nube como The Things Network, Amazon Lightsail y Firestore. Esta arquitectura permitió la recolección, transmisión y procesamiento eficiente de los datos en tiempo real, asegurando un diseño escalable y adaptable a futuras mejoras.

Tercera. Se implementó un sistema de monitoreo del suelo que posibilitó la medición y análisis en tiempo real de la humedad, temperatura y conductividad. El cual, en función del monitoreo, se logró establecer umbrales precisos para la activación automática del riego, permitiendo un uso más eficiente del recurso hídrico y evitando el desperdicio de agua en el vivero.

Cuarta. Se empleó un sistema de gestión del riego automatizado que optimizó la administración del agua en el vivero forestal, donde a través del sistema web, el administrador puede visualizar los datos en tiempo real, generar reportes históricos en Excel y modificar los parámetros de activación del riego según las condiciones del suelo.

SUGERENCIAS

Primero. Se sugiere la ampliación del sistema a otras áreas del vivero ya que de esa manera se podrá llegar poco a poco a un sistema de riego automático completo en todo el vivero forestal, sin necesidad de hacerlo manualmente o de manera programada y haciendo una gestión eficiente del agua.

Segundo. Se sugiere que se realice una protección contra condiciones extremas, ya que debemos recordar que Madre de Dios es una región donde el clima es muy tropical, lo cual se refiere a un clima cambiante y que pueden caer rayos o trueno que malogren los dispositivos electrónicos, y en este caso al sensor y Gateway, es por ello que se sugiere el uso de recubrimientos impermeables o estructuras de sombra si es necesario ante climas muy bruscos.

Tercero. Se sugiere la verificación del estado de los cables y conexiones al menos 3 veces al mes, ya que el vivero es un ambiente donde habitan una gran diversidad de animales silvestres los cuales podrían ingresar y podrían alterar o dañar algunos cables y conexiones del riego, y también por causas naturales como son los vientos y lluvias torrenciales que son comunes en nuestra región de Madre de Dios.

Cuarta. Se recomienda capacitar de manera continua al personal técnico del vivero y a los estudiantes encargados del sistema, quienes serán los principales usuarios y beneficiarios. La formación en el uso del sistema web, mantenimiento básico del hardware y análisis de datos permitirá maximizar el aprovechamiento de la tecnología implementada, garantizar su sostenibilidad y fortalecer las capacidades tecnológicas dentro del ámbito universitario.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABIOYE, E.A., ABIDIN, M.S.Z., MAHMUD, M.S.A., BUYAMIN, S., ISHAK, M.H.I., RAHMAN, M.K.I.A., OTUOZE, A.O., ONOTU, P. y RAMLI, M.S.A., 2020. A review on monitoring and advanced control strategies for precision irrigation. *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 173, pp. 105441. ISSN 0168-1699. DOI 10.1016/J.COMPAG.2020.105441.
- ACERO CATACTORA, C.C. y LANCHIPA VALENCIA, E., 2021. Implementación de un sistema de internet de las cosas para optimizar la gestión del agua en la agricultura de la Región Tacna. *Ingeniería Investiga*, vol. 3, no. 1, pp. 519-533. DOI 10.47796/ing.v3i1.478.
- AGROBANCO. *agroreporte* [en línea], [sin fecha]. [consulta: 11 mayo 2024]. Disponible en: https://www.agrobanco.com.pe/wp-content/uploads/2021/08/AGROREPORTE_AGOSTO_2021.pdf.
- AKHUND, T.M.N.U., NEWAZ, N.T., ZAMAN, Z., SULTANA, A., BARROS, A. y WHAIDUZZAMAN, M., 2022. IoT-Based Low-Cost Automated Irrigation System for Smart Farming. *Lecture Notes in Networks and Systems* [en línea], vol. 333, pp. 83-91. [consulta: 20 octubre 2023]. ISSN 23673389. DOI 10.1007/978-981-16-6309-3_9/COVER. Disponible en: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-16-6309-3_9.
- ALARCON ESLAVA, V.J. y CABRALES OLIDEN, R.S., 2023. Aplicación de la metodología ágil SCRUM con la herramienta JIRA para mejorar la gestión de proyectos de telecomunicaciones.
- AMAZON LIGHTSAIL. [en línea], 2024. [consulta: 11 mayo 2024]. Disponible en: https://docs.aws.amazon.com/es_es/lightsail/latest/userguide/what-is-amazon-lightsail.html.
- ASHOK, Dr.A., ARUNADEVI, Dr.K. y SUJITHA, Dr.E., 2020. Improving water use efficiency in greenhouse cultivation: A review. *International Journal of Chemical Studies*, vol. 8, no. 5, pp. 543-546. ISSN 23498528. DOI 10.22271/chemi.2020.v8.i5h.10351.
- ATZORI, L., IERA, A. y MORABITO, G., 2010. The Internet of Things: A survey. *Computer Networks*, vol. 54, no. 15, pp. 2787-2805. ISSN 1389-1286. DOI 10.1016/J.COMNET.2010.05.010.

- BHATTACHARYA, M., ROY, A. y PAL, J., 2019. Smart irrigation system using internet of things. *Department of Computer Science and Systems Engineering, Andhra University*, vol. 137, pp. 119-129. ISSN 23673389. DOI 10.1007/978-981-15-6198-6_11.
- BWAMBALE, E., ABAGALE, F.K. y ANORNU, G.K., 2022. Smart irrigation monitoring and control strategies for improving water use efficiency in precision agriculture: A review. *Agricultural Water Management*, vol. 260, ISSN 18732283. DOI 10.1016/j.agwat.2021.107324.
- C SILVA, P., R SILVA, H., S GARRIDO, M. y H ACEBEDO, E., 2015. *Manual de estudio y ejercicios relacionados con el contenido de agua en el suelo y su uso por los cultivos*. Santiago - Chile: Departamento de Producción Agrícola. ISBN 978-956-19-0906-9.
- CAMACHO, O.I.M., TORO, M.C.H. y DÍAZ, J.S.G., 2021. Caracterización de materiales con uso potencial como sustrato en sistemas de cultivo sin suelo. *Ciencia Tecnología Agropecuaria*, vol. 22, no. 1, pp. 1-23. ISSN 25005308. DOI 10.21930/RCTA.VOL22_NUM1_ART:1977.
- CENTRO DE INNOVACION CIENTÍFICA AMAZÓNICA, 2017. Se inauguró en Inambari el primer vivero tecnificado de Madre de Dios. *Wake Forest University* [en línea]. Disponible en: <https://cincia.wfu.edu/prensa/se-inauguro-en-inambari-el-primer-vivero-tecnificado-de-madre-de-dios/>.
- CHANCHÍ GOLONDRINO, C.G., OSPINA ALARCÓN, M.A. y MONROY RÍOS, M.E., 2020. Arquitectura IoT para el desarrollo de sistemas de monitorización y análisis de variables fisiológicas en el área de asistencia médica. *Investigación e Innovación en Ingenierías*, vol. 8, no. 3, pp. 1-13. DOI 10.17081/invinno.8.3.4699.
- CLOUD FIRESTORE | FIREBASE. [en línea], 2024. [consulta: 9 diciembre 2024]. Disponible en: <https://firebase.google.com/docs/firestore?hl=es-419>.
- DAVIDSON, E.A. y JANSSENS, I.A., 2006. Temperature sensitivity of soil carbon decomposition and feedbacks to climate change. , DOI 10.1038/nature04514.

- DIRECCIÓN GENERAL DE INFRAESTRUCTURA AGRARIA Y RIEGO, 2015. Mantenimiento de Infraestructura de Sistema De Riego. *Ministerio de Agricultura y Riego*, pp. 36.
- DONALDO ZÚNIGA, R.M., 2021. *INNOVA AGRICULTURA FAMILIAR* [en línea]. IICA. Costa Rica: 2021. [consulta: 9 junio 2024]. vol. 1. Disponible en: <https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/19866/CDHN22038298e.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- DRAGINO TECHNOLOGY CO., 2024. LoraWan Soil Moisture &EC Sensor. [en línea]. [consulta: 9 mayo 2024]. Disponible en: <https://www.dragino.com/products/lora-lorawan-end-node/item/159-lse01.html>.
- ENGMAN, E.T., 1991. Applications of microwave remote sensing of soil moisture for water resources and agriculture. *Remote Sensing of Environment*, vol. 35, no. 2-3, pp. 213-226. ISSN 0034-4257. DOI 10.1016/0034-4257(91)90013-V.
- Evaluación de los recursos forestales mundiales 2020. *Evaluación de los recursos forestales mundiales 2020* [en línea], 2021. [consulta: 20 octubre 2023]. DOI 10.4060/CA9825ES. Disponible en: <http://www.fao.org/forest-resources-assessment/2020/es>.
- EXPERIMENTAL, K., ADAM, G.K., MUKHOPADHYAY, S., BELLAVISTA, P., YOUSIF, J.H. y ABDALGADER, K., 2022a. Experimental and Mathematical Models for Real-Time Monitoring and Auto Watering Using IoT Architecture. *Computers 2022, Vol. 11, Page 7* [en línea], vol. 11, no. 1, pp. 7. [consulta: 20 octubre 2023]. ISSN 2073-431X. DOI 10.3390/COMPUTERS11010007. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2073-431X/11/1/7/htm>.
- EXPERIMENTAL, K., ADAM, G.K., MUKHOPADHYAY, S., BELLAVISTA, P., YOUSIF, J.H. y ABDALGADER, K., 2022b. *Experimental and Mathematical Models for Real-Time Monitoring and Auto Watering Using IoT Architecture* [en línea]. s.n. [consulta: 20 octubre 2023]. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2073-431X/11/1/7/htm>.

- FAIZ, M. y JAAFAR, M., 2020. Uso del sistema inteligente de monitoreo de viveros de cacao TI para Riego por Goteo Automático. *Universidad Tecnológica de Auckland*, pp. 108-113.
- FÉLIX MATEOS, J., 2021. CONSTRUYENDO UNA RED GLOBAL DE INTERNET DE LAS COSAS ENTRE TODOS. [en línea]. [consulta: 11 febrero 2025]. Disponible en: www.thethingsnetwork.org.
- FIREBASE. [en línea], 2024. [consulta: 28 noviembre 2024]. Disponible en: <https://firebase.google.com/?hl=es-419>.
- FIREBASE AUTHENTICATION. [en línea], 2024. [consulta: 9 mayo 2024]. Disponible en: <https://firebase.google.com/docs/auth?hl=es-419>.
- FLORIÁN PRETELL, T.K., 2017. Implementación de un sistema informático para el control de riego de cultivos empleando IoT con Raspberry Pi en el vivero de la Municipalidad Provincial de San Martín, 2017. *Ucv*, pp. 0-116.
- GAMMA, E., HELM, R., JOHNSON, R. y VLISSIDES, J., 2009. *DESIGN PATTERNS*. Addison Wesley. States United: s.n. ISBN 0201633612.
- GARCÍA, L., PARRA, L., JIMENEZ, J.M., LLORET, J. y LORENZ, P., 2020. IoT-Based Smart Irrigation Systems: An Overview on the Recent Trends on Sensors and IoT Systems for Irrigation in Precision Agriculture. *Sensors* 2020, Vol. 20, Page 1042 [en línea], vol. 20, no. 4, pp. 1042. [consulta: 20 octubre 2023]. ISSN 1424-8220. DOI 10.3390/S20041042. Disponible en: <https://www.mdpi.com/1424-8220/20/4/1042/htm>.
- GEOBOSQUES. [en línea], 2024. [consulta: 20 octubre 2024]. Disponible en: <https://geobosques.minam.gob.pe/geobosque/view/perdida.php>.
- GONZALO, M.C., FLORES, S., JUAN, M.C.C., FUENTES, J. y ZAYAS, I., 2020. Sistema de riego automatizado de jardín basado en el internet de las cosas (IoT). , vol. 12, no. 8, pp. 2483-2487.
- GRATTAN, S.R. y GRIEVE, C.M., 2017. Salinity–mineral nutrient relations in horticultural crops. *Scientia Horticulturae*, vol. 78, no. 1-4, pp. 127-157. ISSN 0304-4238. DOI 10.1016/S0304-4238(98)00192-7.
- GUAMBO ALVARADO, D.I. y ORDOÑEZ PILAY, D.C., 2022. Desarrollo de un Sistema de Riego Automatizado por Aspersión Mediante Comunicación IOT. [en línea]. Guayaquil - Ecuador: [consulta: 10 junio 2023]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/24009>.

- HAZARIKA, R., BOLTE, A., BEDNAROVA, D., CHAKRABORTY, D., GAVIRIA, J., KANZIAN, M., KOWALCZYK, J., LACKNER, M., LSTIBŮREK, M., LONGAUER, R., NAGY, L., TOMÁŠKOVÁ, I. y SCHUELER, S., 2021. Multi-actor perspectives on afforestation and reforestation strategies in Central Europe under climate change. *Annals of Forest Science* [en línea], vol. 78, no. 3, pp. 1-31. [consulta: 20 octubre 2023]. ISSN 1297966X. DOI 10.1007/S13595-021-01044-5/TABLES/12. Disponible en: <https://annforsci.biomedcentral.com/articles/10.1007/s13595-021-01044-5>.
- HERNÁNDEZ SAMPIERI, R., FERNÁNDEZ COLLADO, C. y BAPTISTA LUCIO, M. del P., 2014. *Metodología de la investigación* [en línea]. Sexta. España: s.n. [consulta: 9 febrero 2025]. ISBN 978-1-4562-2396-0. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=775008>.
- HUANG, H., YANG, L., ZHANG, L., -, al, JING WANG, C., HAN, J., ZHANG, Y., SH ALRAWI, N. y ALRAWI, M.K., 2020. Perspective—Electrochemical Sensors for Soil Quality Assessment. *Journal of The Electrochemical Society* [en línea], vol. 167, no. 3, pp. 037550. [consulta: 20 octubre 2023]. ISSN 1945-7111. DOI 10.1149/1945-7111/AB69FE. Disponible en: <https://iopscience.iop.org/article/10.1149/1945-7111/ab69fe>.
- INGA HERRERA, R.T., 2021. Implementación de un sistema automático de riego agrícola basado en Raspberry Pi y plataforma IoT Artik Cloud. *Universidad Nacional de Piura* [en línea], [consulta: 20 octubre 2023]. Disponible en: <http://repositorio.unp.edu.pe/handle/20.500.12676/3393>.
- INNOVA AGRICULTURA FAMILIAR, 2020. SISTEMAS DE RIEGO POR GOTEJO, MICROASPERSIÓN Y ASPERSIÓN.
- INSTITUTO INTERAMERICANO DE COOPERACIÓN PARA LA AGRICULTURA (IICA), INNOVA AGRICULTURA FAMILIAR y FONDO INTERNACIONAL DE DESARROLLO AGRÍCOLA (FIDA), 2020. *SISTEMAS DE RIEGO POR GOTEJO, MICROASPERSIÓN Y ASPERSIÓN* [en línea]. I. Loja, Ecuador: s.n. [consulta: 8 febrero 2025]. Disponible en: <https://repositorio.iica.int/handle/11324/21092>.
- JAIME, I. y QUESADA, A., 2020. *Riego a baja presión*. Instituto Nacional de Aprendizaje.

- JAIN, R.K., GUPTA, B., ANSARI, M. y RAY, P.P., 2020. IOT Enabled Smart Drip Irrigation System Using Web/Android Applications. *IEEE. 11th International Conference on Computing, Communication and Networking Technologies, ICCCNT 2020*, DOI 10.1109/ICCCNT49239.2020.9225345.
- KHAN, R., KHAN, S.U., ZAHEER, R. y KHAN, S., 2012. Future internet: The internet of things architecture, possible applications and key challenges. *Proceedings - 10th International Conference on Frontiers of Information Technology, FIT 2012*, pp. 257-260. DOI 10.1109/FIT.2012.53.
- LA BARREDA NOA, S.D., 2021. Deforestación en la región amazónica del Perú: situación y perspectivas. *M+A, revista electrónica de medioambiente, ISSN-e 1886-3329, Vol. 22, Nº. 2, 2021, págs. 20-39* [en línea], vol. 22, no. 2, pp. 20-39. [consulta: 20 octubre 2023]. ISSN 1886-3329. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8488495&info=resumen&idioma=ENG>.
- LI, H., MEI, X., WANG, J., HUANG, F., HAO, W. y LI, B., 2021. Drip fertigation significantly increased crop yield, water productivity and nitrogen use efficiency with respect to traditional irrigation and fertilization practices: A meta-analysis in China. *Agricultural Water Management*, vol. 244, ISSN 18732283. DOI 10.1016/j.agwat.2020.106534.
- LINCE-SALAZAR, L.A., 2021. Capacidad de almacenamiento de agua en suelos cultivados en café y otras propiedades edáficas relacionadas. *Revista Cenicafé*, vol. 72, no. 1, pp. 1-72. ISSN 01200275. DOI 10.38141/10778/72101.
- LIU, X., LIU, W., TANG, Q., LIU, B., WADA, Y. y YANG, H., 2022. Global Agricultural Water Scarcity Assessment Incorporating Blue and Green Water Availability Under Future Climate Change. *Earth's Future*, vol. 10, no. 4, ISSN 23284277. DOI 10.1029/2021EF002567.
- LUQUE RAMOS, L., 2021. Análisis de la deforestación de la Amazonia peruana: Madre de Dios. *Revista Innova Educación, ISSN-e 2664-1488, ISSN 2664-1496, Vol. 3, Nº. 3, 2021, págs. 198-212* [en línea], vol. 3, no. 3, pp. 198-212. [consulta: 20 octubre 2023]. ISSN 2664-1496. DOI 10.35622/j.rie.2021.03.013. Disponible en:

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8152455&info=resumen&idioma=ENG>.

MACHADO, J., 2015. *Automatización de los procesos Productivos en la planta II División Partes y Piezas para la Empresa Indurama S.A.*

MAESTRE-VALERO, J.F., MARTIN-GORRIZ, B., ALARCÓN, J.J., NICOLAS, E. y MARTINEZ-ALVAREZ, V., 2016. Economic feasibility of implementing regulated deficit irrigation with reclaimed water in a grapefruit orchard. *Agricultural Water Management*, vol. 178, pp. 119-125. ISSN 0378-3774. DOI 10.1016/J.AGWAT.2016.09.019.

MÉNDEZ LÓPEZ, A.L., 2021. *PROTOTIPO DE SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL AGRÍCOLA BASADO EN IoT. CASO DE ESTUDIO: CULTIVOS SEMI HIDROPÓNICOS DE FRESA EN EL MUNICIPIO DE GUASCA CUNDINAMARCA.*

MERCADO GARCÍA, J.C., 2020. Sistema de riego autónomo de bajo costo para expansión de área agrícola en laderas de los Valles del Sur del Perú basado en IOT. *Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa*, pp. 147.

MINISTERIO DE AGRICULTURA INSTITUTO NACIONAL DE RECURSOS NATURALES, 2005. PLAN NACIONAL DE REFORESTACIÓN. [en línea], [consulta: 20 octubre 2024]. Disponible en: https://www.agrorural.gob.pe/dmdocuments/bnsf/plan_nacional_de_reforestacion.pdf.

MINISTERIO DE AGRICULTURA PESCA Y ALIMENTACIÓN, 2024. TELECONTROL-ELECTROVÁLVULAS. *Jornadaonline* [en línea], [consulta: 9 mayo 2024]. Disponible en: <https://www.mapa.gob.es/es/desarrollo-rural/temas/gestion-sostenible-regadios/formacion-difusion/documentacion/detalle.aspx?id=tcm:30-561832-16>.

MINISTERIO DEL AMBIENTE - PERU, 2016. *LA CONSERVACIÓN DE BOSQUES EN EL PERU* [en línea]. Lima: s.n. [consulta: 20 octubre 2023]. Disponible en: <https://www.minam.gob.pe/informesectoriales/wp-content/uploads/sites/112/2016/02/11-La-conservaci%C3%B3n-de-bosques-en-el-Per%C3%BA.pdf>.

- MODELS - VIEWS - CONTROLLERS (MVC). [en línea], 1979. [consulta: 10 mayo 2024]. Disponible en: <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=4ef90a7b9c1b1cd02acf273694e4059a70c7d198>.
- NEBULIZADORES FLF. [en línea], 2024. [consulta: 10 febrero 2025]. Disponible en: www.rivulis.com.
- NIGUSSIE, E., OLWAL, T., MUSUMBA, G., TEGEGNE, T., LEMMA, A. y MEKURIA, F., 2020. IoT-based Irrigation Management for Smallholder Farmers in Rural Sub-Saharan Africa. *Procedia Computer Science*, vol. 177, pp. 86-93. ISSN 1877-0509. DOI 10.1016/J.PROCS.2020.10.015.
- OBAIDEEN, K., YOUSEF, B.A.A., ALMALLAHI, M.N., TAN, Y.C., MAHMOUD, M., JABER, H. y RAMADAN, M., 2022. An overview of smart irrigation systems using IoT. *Energy Nexus*, vol. 7, pp. 100124. ISSN 2772-4271. DOI 10.1016/J.NEXUS.2022.100124.
- OLIVA, M., VACALLA, F. y PEREZ, D., 2014. *Vivero forestal para producción de plántones de especies forestales nativas: experiencia en molinopampa, Amazonas – Perú*. Chachapoyas.
- QUIROZ MARCHANT, I., GARCIA RIVAS, E., GONZALES ORTEGA, M., CHUNG GUIN-PO, P. y SOTO GUEVARA, H., 2009. *VIVERO FORESTAL: PRODUCCIÓN DE PLANTAS NATIVAS A RAÍZ CUBIERTA* [en línea]. Centro tecnológico. Chile: s.n. [consulta: 8 febrero 2025]. Disponible en: <https://rngr.net/publications/vivero-forestal-produccion-de-plantas-nativas-a-raiz-cubierta>.
- RAMIREZ DIAZ, E.J. y VERGARA SIERRA, J.D., 2020. *Sistema de riego automatizado basado en iot utilizando variables ambientales para cultivos de berenjena en la finca la esperanza del municipio de chinú-córdoba*.
- RAMÍREZ DÍAZ, E.J. y VERGARA SIERRA, J.D., 2020. Sistema de riego automatizado basado en lot utilizando variables ambientales para cultivos de berenjena en la finca La Esperanza del municipio de Chinú-Córdoba. *Facultad de ingenierías de la Universidad de Córdoba*, pp. 135. ISSN 1098-6596.
- RAMÍREZ GALICIA, K., LÓPEZ LÓPEZ, M.Á., CETINA ALCALÁ, V.M., MOHEDANO CABALLERO, L., RAMÍREZ GALICIA, K., LÓPEZ LÓPEZ,

- M.Á., CETINA ALCALÁ, V.M. y MOHEDANO CABALLERO, L., 2022. Prototipo de vivero forestal con fertirriego por subirrigación. *Revista mexicana de ciencias forestales* [en línea], vol. 13, no. 74, pp. 174-185. [consulta: 20 octubre 2023]. ISSN 2007-1132. DOI 10.29298/RMCF.V13I74.1195. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11322022000600174&lng=es&nrm=iso&tlng=es.
- RHOADES, J.D., BINGHAM, F.T., LETEY, J., HOFFMAN, G.J., DEDRICK, A.R., PINTER, P.J. y REPLOGLE, J.A., 2016. Use of saline drainage water for irrigation: Imperial Valley study. *Agricultural Water Management*, vol. 16, no. 1-2, pp. 25-36. ISSN 0378-3774. DOI 10.1016/0378-3774(89)90038-3.
- RIVERA MALHUAYZA, G., 2021. *El internet de las cosas IoT*. UNIVERSIDAD NACIONAL DE EDUCACIÓN ENRIQUE GUZMÁN Y VALLE.
- ROLDÁN CAÑAS, A., JIMÉNEZ, D., ARELLANO, P., PÉREZ, M. y FÁTIMA, M., 2010. Mejora de la gestión del agua de riego mediante el uso de indicadores de riego. [en línea], vol. 42, no. 1, pp. 107-124. ISSN 0370-4661. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=382837646007>.
- RUBEN TAVELIC INGA HERRERA, 2021. *Implementación de un sistema automático de riego agrícola basado en raspberry pi y plataforma IOT artik cloud*. UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA.
- RUEDA SÁNCHEZ, A., BENAVIDES SOLORIO, J. de D., SAENZ REYEZ, J.T., MUÑOZ FLORES, H.J., PRIETO RUIZ, J.Á. y OROZCO GUTIÉRREZ, G., 2014. Calidad de Planta Producida en los Viveros Forestales de Nayarit. ,
- SANCHEZ, Eval, SANCHEZ, Erick, ACOSTA, A. y GONZÁLEZ, E., 2021. Sistema de riego automatizado IoT aplicado en el cultivo del pepino (*Cucumis sativus*). *Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología – APANAC*, no. Apanac, pp. 523-529. DOI 10.33412/apanac.2021.3234.
- SHAHEB, Md.R., SARKER, A., SHEARER, S.A., SHAHEB, Md.R., SARKER, A. y SHEARER, S.A., 2022. Precision Agriculture for Sustainable Soil and Crop Management. *Soil Science - Emerging Technologies, Global Perspectives and Applications* [en línea], [consulta: 20 octubre 2023]. DOI

- 10.5772/INTECHOPEN.101759. Disponible en: <https://www.intechopen.com/chapters/82490>.
- SHKLAR, L. y ROSEN, R., 2003. *Web Application Architecture: Principles, Protocols and Practices*. s.n. ISBN 0471486566.
- SMITH, E., CARRASCO, M., ANTONIO, M. y YGNACIO, C., 2022. Una revisión de procesos de implementación para sistemas de riego automatizado. *ReCIBE, Revista electrónica de Computación, Informática, Biomédica y Electrónica* [en línea], vol. 11, no. 1, pp. C1-19. [consulta: 10 junio 2023]. ISSN 2007-5448. DOI 10.32870/RECIBE.V11I1.216. Disponible en: <http://recibe.cucei.udg.mx/index.php/ReCIBE/article/view/216>.
- SPERANDIO, G., PAGANO, M., ACAMPORA, A., CIVITARESE, V., CEDROLA, C., MATTEI, P. y TOMASONE, R., 2022. Deficit Irrigation for Efficiency and Water Saving in Poplar Plantations. *Sustainability 2022, Vol. 14, Page 13991* [en línea], vol. 14, no. 21, pp. 13991. [consulta: 10 junio 2023]. ISSN 2071-1050. DOI 10.3390/SU142113991. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/21/13991/htm>.
- TAMARA POLO, L.A. y HERNÁNDEZ DUCUARA, J., 2016. CAPACIDAD DE CAMPO Y PUNTO DE MARCHITEZ PERMANENTE. *Programa de Biología Fisiología Vegetal*, vol. 2,
- TEECHNOLOGY RAK WIRELESS, 2024. Indoor LoRa Gateway. [en línea]. [consulta: 11 febrero 2025]. Disponible en: https://downloads.rakwireless.com/LoRa/Indoor-Gateway-RAK7258/Hardware-Specification/Indoor_Gateway_RAK7258_Product_Brief_V1.2.pdf.
- UNOPS, 2021. Lucha contra la escasez de agua en el Perú | UNOPS. [en línea]. [consulta: 10 junio 2023]. Disponible en: <https://www.unops.org/es/news-and-stories/stories/combating-water-scarcity-in-peru>.
- VALERIA GUERRA, A., NEHUEN ZACARRO, M. y ZAPATA LAURA, O., 2018. *Manual de Vivero*. Buenos Aires: Ministerio de Agroindustria.
- VINICIO ESTRADA VELASCO, M.I., ALEXANDRA NÚÑEZ VILLACIS, J.I., SALTOS CHAVEZ, R.P.I. y CLEMENTE CUNUHAY CUCHIPE, W.I., 2021. Revisión Sistemática de la Metodología Scrum para el Desarrollo de Software. *Ciencias Técnicas y Aplicadas* [en línea], vol. 7, pp. 434-447.

DOI 10.23857/dc.v7i4.2429. Disponible en:
<http://dominiodelasciencias.com/ojs/index.php/es/index>.

WANG, T., SUN, S., YIN, Y., ZHAO, J., TANG, Y., WANG, Y., GAO, F. y LUAN, X., 2024. *Status of crop water use efficiency evaluation methods: A review*. abril 2024. Elsevier B.V.

WU, S., WANG, K.I.K., IVOGHLIAN, A., SALCIC, Z., AUSTIN, A. y ZHOU, X., 2019. LWS: A LoRaWAN wireless underground sensor network simulator for agriculture applications. *Proceedings - 2019 IEEE SmartWorld, Ubiquitous Intelligence and Computing, Advanced and Trusted Computing, Scalable Computing and Communications, Internet of People and Smart City Innovation, SmartWorld/UIC/ATC/SCALCOM/IOP/SCI 2019*, pp. 475-482. DOI 10.1109/SMARTWORLD-UIC-ATC-SCALCOM-IOP-SCI.2019.00123.

YANG, P., WU, L., CHENG, M., FAN, J., LI, S., WANG, H. y QIAN, L., 2023. *Review on Drip Irrigation: Impact on Crop Yield, Quality, and Water Productivity in China*. mayo 2023. MDPI.

Anexos

Anexo 1. Operacionalización de variables

Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores
Sistema de riego automatizado basado en IoT Sistema que emplea diversos sensores para realizar mediciones y en función a esos valores decidir encender o apagar el motor que acciona el riego (Akhund et al. 2022).	Arquitectura IOT La arquitectura IoT se compone de capas interconectadas que abarcan desde la capa de dispositivos y sensores hasta la capa de aplicaciones y servicios, facilitando la integración fluida de dispositivos y la generación de valor a partir de los datos recopilados (Atzori, Iera y Morabito 2010).	Diseño en la capa captura de datos
		Diseño en la Capa de comunicación
		Diseño en la Capa Almacenamiento
		Diseño en la Capa aplicación
	Monitoreo del suelo Mediante sensores se detectan uno o varios componentes del suelo para evaluar su calidad, con el propósito de mantener las condiciones adecuadas para el crecimiento de las plantas y un alto rendimiento del producto (Huang et al. 2020).	Temperatura del suelo
		Humedad del suelo
	Gestión del riego Tiene como objeto determinar el momento adecuado y la medida óptima de agua para el riego, con el fin de maximizar la eficiencia (Experimental et al. 2022a).	Conductividad del suelo
		Frecuencia de medición de parámetros del suelo.
		Cantidad de agua para riego.

Anexo 2. Matriz de consistencia

Título: Sistema de riego automatizado basado en IOT en el Vivero Forestal de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios, 2023.

PROBLEMAS	OBJETIVOS	VARIABLES / DIMENSIONES	METODOLOGÍA
General ¿De qué manera un sistema basado en IoT permite el riego automatizado en el Vivero Forestal de la UNAMAD? Específicos 1) ¿Cómo la implementación de una Arquitectura IOT permite el riego automatizado en el Vivero Forestal de la UNAMAD? 2) ¿Cómo la implementación de monitoreo del suelo permite el riego automatizado en el Vivero Forestal de la UNAMAD? 3) ¿Cómo la aplicación de Gestión del riego permite su automatización en el Vivero Forestal de la UNAMAD?	General Desarrollar un sistema basado en IoT que permita el riego automatizado en el Vivero Forestal de la UNAMAD. Específicos 1) Implementar una Arquitectura IOT que permita el riego automatizado en el Vivero Forestal de la UNAMAD. 2) Implementar el monitoreo del suelo que permita el riego automatizado en el Vivero Forestal de la UNAMAD. 3) Emplear la gestión del riego para permitir la automatización en el Vivero Forestal de la UNAMAD.	Variable: Sistema de riego automatizado basado en IOT. Dimensiones / Indicadores: D1. Arquitectura IOT - Diseño en la Capa captura de datos. - Diseño en la Capa de comunicación. - Diseño en la Capa Almacenamiento. - Diseño en la Capa aplicación. D2. Monitoreo del suelo - Temperatura del suelo. - Humedad del suelo. - Conductividad del suelo. D3. Gestión del riego - Frecuencia de medición de parámetros del suelo. - Cantidad de agua para riego.	Tipo: Aplicada. Diseño: No experimental y longitudinal. Nivel de investigación: Descriptivo. Población: La población está compuesta por el conjunto total de datos registrados por el sensor LSE01 durante un periodo de 14 días. Muestra: Muestra Censal, es decir el 100% de la población. Técnica: Observación sistemática mediante sensores. Instrumento: Sensor LSE01.

Anexo 3. Solicitud de autorización para realizar el estudio.

"Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho"

"Madre de Dios capital de la Biodiversidad del Perú"

SOLICITA: AUTORIZACIÓN PARA EL ACCESO AL VIVERO FORESTAL DE UNAMAD PARA EL DESARROLLO DE INVESTIGACIÓN.

Señor:

Dr. EMER RONALD ROSALES SOLÓRZANO

Director de la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal y Medio Ambiente

S.D.



Yo, **Juan Carlos Suaquita Apaza** identificado con DNI N° 72705984 y **Jorge Luis Mamani Mamani** identificado con DNI N° 76075036, bachilleres de la carrera profesional de Ingeniería de Sistemas e Informática; ante usted con el debido respeto nos presentamos y solicitamos la autorización para el acceso al Vivero Forestal de la UNAMAD con el fin de realizar la instalación y configuración del sistema IOT.

Que, estando en proceso de desarrollo de la investigación titulada **"SISTEMA DE RIEGO AUTOMATIZADO BASADO EN IOT EN EL VIVERO FORESTAL DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZÓNICA DE MADRE DE DIOS, 2023"** aprobada con Resolución de Decanatura N° 615-2023-UNAMAD-DFI, se requiere acceder a las instalaciones del Vivero Forestal de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios para implementar nuestra propuesta tecnológica. Adicionalmente se adjunta un cronograma de horario y también las acciones, manejos y manipulaciones que se realizarán dentro del Vivero Forestal.

Agradecemos de antemano su atención y quedamos a disposición para cualquier consulta o aclaración adicional que sea necesaria. Asimismo, reiteramos nuestro compromiso de cumplir con todas las normativas y procedimientos establecidos por la Universidad para el uso adecuado de las instalaciones del Vivero Forestal.

Sin más que agregar, y confiando en su pronta respuesta, nos despedimos.

Puerto Maldonado, 13 de septiembre del 2024



Juan Carlos Suaquita Apaza
DNI N° 72705984



Jorge Luis Mamani Mamani
DNI N° 76075036