



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



TESIS

Plataforma IoT para monitorear el terreno de cultivo de maíz amiláceo en el predio

Cristo Pobre-Mórrope

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Electrónico

AUTORES:

Bach. Sanchez Rea Diana Carolina

Bach. Vidaurre Santisteban Rooyer Rosel

ASESORA:

Dra. Chamán Cabrera Lucía Isabel
ORCID: 0000-0003-2901-1427

LAMBAYEQUE-PERÚ

2026

UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS

TESIS

**Plataforma IoT para monitorear el terreno de cultivo
de maíz amiláceo en el predio Cristo Pobre-Mórrope**

Presentado por:



Bach. Sanchez Rea Diana Carolina
Tesisista



Bach. Vidaurre Santisteban Rooyer Rosel
Tesisista



Dra. Ing. Lucía Isabel Chamán Cabrera
Asesora

LAMBAYEQUE-PERÚ

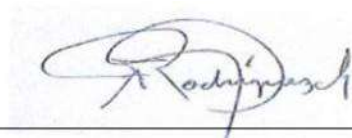
2026

UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS

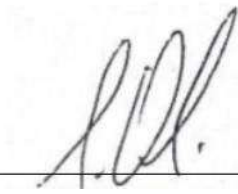
**Plataforma IoT para monitorear el terreno de cultivo
de maíz amiláceo en el predio Cristo Pobre-Mórrope**

Tesis para optar el título profesional de
INGENIERO ELECTRÓNICO

Aprobado por el siguiente jurado:



Dr. Ing. Frank Richard Rodríguez Chirinos
Presidente



Dr. Ing. Carlos Leonardo Oblitas Vera
Secretario



Mg. Ing. Martín Augusto Nombera Lossio
Vocal

LAMBAYEQUE-PERÚ

2026



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE CIENCIAS FISICAS Y MATEMATICAS
DECANATO

Ciudad Universitaria - Lambayeque

LICENCIADA - RESOLUCION DEL CONSEJO DIRECTIVO N° 015 -2023-SUNEDU / CD



ACTA DE SUSTENTACIÓN N° 81-2026-D/FACFyM

Siendo las 11:30 horas del día 19 de octubre del 2026, se reunieron los miembros del jurado evaluador de la Tesis titulada:

PLATAFORMA IOT PARA MONITOREAR EL TERRENO DE CULTIVO DE MAIZ AMILACEO EN EL PREDIO CRISTO FORGE - MOROPPE

Designados por Resolución N° 390 - 2025 - D/FACFyM de fecha 02 de mayo de 2025 con la finalidad de evaluar y calificar la sustentación de la tesis antes mencionada, conformada por los siguientes docentes:

DR. ING. FRANK RICHARD RODRIGUEZ CHIRINOS Presidente

DR. ING. CARLOS LEONARDO OBLITAS VERA Secretario

ING. ING. MARTIN AUGUSTO NOMBENA LOSSIO Vocal

La tesis fue asesorada por (el) (la) DRA. ING. LUCIA ISABEL CHAMON CABRERA, nombrado por Resolución N° 390 - 2025 - D/FACFyM de fecha 02 de mayo de 2025

El Acto de Sustentación fue autorizado por Resolución N° 720-2026 D/FACFyM de fecha 12 de octubre de 2026

La Tesis fue presentada y sustentada por (el) (los) Bachiller (es): SANCHEZ VEGA DIANA CAROLINA Y VIDAURIE SANTISTEBAN RODRIGUEZ ROSALDO, tuvo una duración de 45 minutos.

Después de la sustentación, y absueltas las preguntas y observaciones de los miembros del jurado se procedió a la calificación respectiva, otorgándole el Calificativo de diecisiete (17) en la escala vigesimal, mención BUENO.

Por lo que queda(n) apto(s) para obtener el Título Profesional de INGENIERO ELECTRONICO, de acuerdo con la Ley Universitaria 30220 y la normatividad vigente de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas y la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

Siendo las 12:45 horas se dio por concluido el presente acto académico, dándose conformidad al presente acto con la firma de los miembros del jurado.

DR. ING. FRANK RICHARD RODRIGUEZ CHIRINOS
Presidente

DR. ING. CARLOS LEONARDO OBLITAS VERA
Secretario

ING. ING. MARTIN AUGUSTO NOMBENA LOSSIO
Vocal

DRA. LUCIA ISABEL CHAMON CABRERA
Asesor

CONSTANCIA DE VERIFICACIÓN DE ORIGINALIDAD DEL ASESOR

Yo, Dra. Chamán Cabrera Lucía Isabel, usuaria revisora del documento titulado:
“Plataforma IoT para monitorear el terreno de cultivo de maíz amiláceo en el predio Cristo Pobre-Mórrope”

Cuyos autores son:

- Bach. Sanchez Rea Diana Carolina
- Bach. Vidaurre Santisteban Rooyer Rosel

Identificada con Documento de Identidad N.º 40866057, declaro que la evaluación realizada por el Programa Informático Turnitin, ha arrojado un porcentaje de similitud de **10%**, verificable en el Resumen de Reporte automatizado de similitudes que se acompaña.

La suscrita analizó dicho reporte y concluyó que cada una de las coincidencias detectadas dentro del porcentaje de similitud permitido no constituyen plagio y que el documento cumple con la integridad científica y con las normas para el uso de citas y referencias establecidas en los protocolos respectivos.

Se cumple con adjuntar el Recibo Digital a efectos de la trazabilidad respectiva del proceso.

Lambayeque, 02 de octubre de 2026



Dra. Chamán Cabrera Lucía Isabel
DNI N.º 40866057

INFORME DE TESIS

INFORME DE ORIGINALIDAD

10%

INDICE DE SIMILITUD

9%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

1%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.unprg.edu.pe	Fuente de Internet	1%
2	dehesa.unex.es:8443	Fuente de Internet	1%
3	www.slideshare.net	Fuente de Internet	<1%
4	repositorio.continental.edu.pe	Fuente de Internet	<1%
5	sedici.unlp.edu.ar	Fuente de Internet	<1%
6	www.coursehero.com	Fuente de Internet	<1%
7	repositorio.upt.edu.pe	Fuente de Internet	<1%
8	dspace.ups.edu.ec	Fuente de Internet	<1%
9	Submitted to Universidad de Cantabria	Trabajo del estudiante	<1%
10	Submitted to Universidad Carlos III de Madrid - EUR	Trabajo del estudiante	<1%
11	alicia.concytec.gob.pe	Fuente de Internet	<1%
12	repositorio.unicomfauca.edu.co	Fuente de Internet	<1%
13	repositorio.unemi.edu.ec	Fuente de Internet	<1%
14	webapps.ifad.org	Fuente de Internet	<1%
15	www.bmegrowth.es	Fuente de Internet	<1%



Dra. Chamán Cabrera Lucía Isabe
DNI: 40866057

16	docslib.org Fuente de Internet	<1 %
17	gredos.usal.es Fuente de Internet	<1 %
18	repositorio.concytec.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
19	m.moam.info Fuente de Internet	<1 %
20	Submitted to unasam Trabajo del estudiante	<1 %
21	www.monografias.com Fuente de Internet	<1 %
22	dspace.esPOCH.edu.ec:8080 Fuente de Internet	<1 %
23	www.theibfr.com Fuente de Internet	<1 %
24	www.xn--kombigerte-x5a.eu Fuente de Internet	<1 %
25	repositorio.uct.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
26	Submitted to Universidad Inca Garcilaso de la Vega Trabajo del estudiante	<1 %
27	Rosen, S.A.. "Long distance trinket trade: Early Bronze Age obsidian from the Negev", Journal of Archaeological Science, 200505 Publicación	<1 %
28	Submitted to Universidad De Cuenca Trabajo del estudiante	<1 %
29	livrosdeamor.com.br Fuente de Internet	<1 %
30	sidalc.net Fuente de Internet	<1 %
31	www.perulicitaciones.com Fuente de Internet	<1 %
32	Submitted to PUCMM Virtual Trabajo del estudiante	<1 %

Lucía Isabel Chamán Cabrera

Dra. Chamán Cabrera Lucía Isabe
DNI: 40866057

33	fdocuments.net Fuente de Internet	<1 %
34	fr.slideshare.net Fuente de Internet	<1 %
35	rraae.cedia.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
36	saber.unerg.edu.ve Fuente de Internet	<1 %
37	www.haciendachiapas.gob.mx Fuente de Internet	<1 %
38	es.slideshare.net Fuente de Internet	<1 %
39	patents.google.com Fuente de Internet	<1 %
40	repositorio.chapingo.edu.mx Fuente de Internet	<1 %
41	scielo.pt Fuente de Internet	<1 %
42	www.iginstrumentos.com.ar Fuente de Internet	<1 %
43	www.researchgate.net Fuente de Internet	<1 %
44	Madrigal, Candida R. "Acculturation, ethnic identity, resilience, self-esteem and general well-being: A psychosocial study of Colombians in the United States", Proquest, 2011 1108 Publicación	<1 %
45	artificialwww.redalyc.org Fuente de Internet	<1 %
46	crea.ujaen.es Fuente de Internet	<1 %
47	dspace.utb.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
48	dspace.utpl.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
49	jobtoday.com Fuente de Internet	<1 %



Dra. Chamán Cabrera Lucía Isabe
DNI: 40866057

		<1 %
50	pasosonline.org Fuente de Internet	<1 %
51	repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
52	repositorio.uncp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
53	repositorio.undc.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
54	repository.unad.edu.co Fuente de Internet	<1 %
55	tesis.pucp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
56	tesis.usat.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
57	www.iwmi.cgiar.org Fuente de Internet	<1 %
58	www.sciencegate.app Fuente de Internet	<1 %
59	www.siamazonia.org.pe Fuente de Internet	<1 %
60	www.sybase.es Fuente de Internet	<1 %
61	"Proposal on a new climatic zoning for building in the south of Chile", Pontificia Universidad Catolica de Chile, 2021 Publicación	<1 %
62	Cristhel Valeria Romero-García, Carmen Marlene Saraguro-Reyes, Bertha Eugenia Mazon-Olivo, Rodrigo Fernando Morocho-Román. "Agricultura de precisión en la producción de banano. Revisión sistemática", Ingenium et Potentia, 2025 Publicación	<1 %
63	Garcia, Alejandra Rivero. "Protocolos Para La Seguridad De La informacion En eHealth: Criptografia En Entornos mHeath", Universidad de La Laguna (Canary Islands, Spain), 2022 Publicación	<1 %



Dra. Chamán Cabrera Lucía Isabe
DNI: 40866057



Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por **Turnitin**. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Diana_rooyer San
Título del ejercicio: Quick Submit
Título de la entrega: INFORME DE TESIS
Nombre del archivo: A_CAROLINA_SANCHEZ_REA_-_ROOYER_ROSEL_VIDAURRE_SA...
Tamaño del archivo: 6.75M
Total páginas: 103
Total de palabras: 16,263
Total de caracteres: 102,388
Fecha de entrega: 28-sept-2026 12:21p. m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega: 3044779131

UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

INFORME FINAL

"Plataforma IoT para monitorear el terreno de cultivo de maíz amiláceo en el predio
Cristo Pobre-Mórrope"

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Electrónico

AUTORES:
Bach. Sanchez Rea Diana Carolina
Bach. Vidaurte Santisteban Rooyer Rosel

ASESORA:
Dra. Chamin Cabrera Lucía Isabel


Dra. Chamin Cabrera Lucía Isabel
DNI: 40866057

LAMBAYEQUE-PERÚ
2026

DEDICATORIA

Principalmente, dedico esta tesis a Dios, quien me ha proporcionado la sabiduría y la fortaleza requeridas para culminar con esta fase académica.

A mis padres, Gloria y Mario; por su esfuerzo y compromiso que me proporcionaron para alcanzar todas mis metas establecidas y por sus sabios consejos que han moldeado mi crecimiento personal.

A mis hermanos que han constituido el motor y la motivación en este viaje académico. Además, a mi familia, que siempre creyó en mí y que fui un ejemplo para seguir creciendo profesionalmente.

Y a mi pequeña Azul, que ha constituido mi principal impulso para concluir este proceso y continuar con mi desarrollo profesional.

Bach. Sanchez Rea Diana Carolina

DEDICATORIA

Inicialmente, deseo otorgar este trabajo a Dios, dado que durante todo este proceso siempre
experimenté su compañía y orientación.

Además, deseo dedicar este logro a mis padres. Todo mi desarrollo y logros han sido posibles
gracias al esfuerzo realizado para proporcionarme una educación.

A mi familia, que me brindó su confianza y me motivó a seguir avanzando no solo en mi rol
académico, sino también en mi desarrollo personal y futuro como ingeniero.

A mi hija Azul, quien me proporcionó la fortaleza necesaria para
continuar luchando por este objetivo.

Bach. Vidaurre Santisteban Rooyer Rosel

AGRADECIMIENTO

Le doy gracias a Dios por ser mi guía en cada etapa de mi formación académica y por proporcionarme la fuerza necesaria para enfrentar todas las dificultades.

A mis padres por los sacrificios que han hecho para que cumpliera mis sueños.

A mis hermanos e hija, por su apoyo incondicional y por la confianza que me brindaron.

A la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, por contribuir en mi formación profesional.

A la Dra. Lucía Isabel Chamán Cabrera por sus significativas contribuciones a esta investigación.

A la Sra. Dora Vidaurre Valdera; agricultora del terreno Cristo Pobre, por facilitar la implementación del sistema y colaborar en la recolección de datos para este estudio.

Bach. Sanchez Rea Diana Carolina

AGRADECIMIENTO

Primero, a Dios por darme fuerza, salud y sabiduría para enfrentar cada desafío que se me presentó durante mi vida en la universidad.

A mis padres y mi familia, que siempre han creído en mí y me han dado su apoyo sin condiciones. Este logro también es de ellos, porque sin su apoyo tendría que haberme esforzado mucho más para lograr esta meta.

También, a los maestros de la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica por compartir sus conocimientos y experiencias durante mi carrera universitaria.

A la Dra. Lucía Isabel Chamán Cabrera por el tiempo que dedicó y su ayuda para hacer posible esta investigación.

A la Sra. Dora Vidaurre Valdera; agricultora del terreno Cristo, que posibilitó el área de estudio y colaboró con la implementación y evaluación de la plataforma.

Bach. Vidaurre Santisteban Rooyer Rosel

INDICE GENERAL

DEDICATORIA	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
AGRADECIMIENTO	v
INDICE GENERAL	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS	xii
INFORMACIÓN GENERAL.....	1
RESUMEN	2
ABSTRACT.....	3
INTRODUCCIÓN	5
DISEÑO TEÓRICO.....	8
1.1 Antecedentes	8
1.2 Bases teóricas.....	11
1.2.1. Comunicación inalámbrica en sistemas IoT.....	11
1.2.2. Problemática del monitoreo agrícola	12
1.2.3. Monitoreo agrícola mediante IoT	12
1.2.4. Gestión y visualización de datos	14
1.2.5. Sensores para monitoreo agrícola	15
1.2.6. Alarmas y notificaciones.....	17
1.2.7. Unidad de procesamiento y control.....	18
1.2.8. Arquitectura de sistemas IoT	18
1.3 Definiciones conceptuales	19
1.4 Operacionalización de Variables	21

DISEÑO METODOLÓGICO.....	22
2.1 Tipo de Investigación.....	22
2.2 Diseño de contrastación de hipótesis	22
2.3 Población, Muestra y Muestreo	24
2.3.1 Población.....	24
2.3.2 Muestra.....	24
2.3.3 Muestreo.....	24
2.4 Técnicas, instrumentos, equipos y materiales.....	25
2.4.1 Técnicas.....	25
2.4.2 Instrumentos.....	25
2.4.3 Equipos y Materiales.....	26
RESULTADOS.....	27
3.1 Estado del monitoreo de cultivos de maíz amiláceo	27
3.2 Diseño del sistema	27
3.2.1. Arquitectura del sistema	28
3.2.2. Selección de hardware.....	30
3.2.3. Selección de software.....	35
3.2.4. Nodos esclavos.....	37
3.2.5. Nodo maestro.....	38
3.2.6. Almacenamiento de respaldo en memoria SD	39
3.2.7. Notificaciones mediante Telegram.....	41
3.3 Ensamblaje del sistema	42
3.3.1 Montaje de componentes en los nodos esclavos y maestro	42
3.4 Mediciones.....	49
3.5 Evaluación comparativa con la plataforma IoT	64

3.6 Presupuesto	65
DISCUSIÓN DE RESULTADOS	67
CONCLUSIONES	70
RECOMENDACIONES	72
REFERENCIAS.....	73
ANEXOS	80
Anexo A: Guía de Entrevista	80
Anexo B: Ficha de Observación del Terreno.....	81
Anexo C: Protocolo de Pruebas	82
Anexo D: Resultados del Protocolo de Pruebas	83
Montaje del nodo de monitoreo en el terreno de cultivo	84
Instalación del nodo y sensores en el terreno de cultivo.....	85
Sistema esquemático de los nodos esclavos	86
Sistema PCB del nodo esclavo	87
Imagen en 3D del nodo esclavo	87
Imagen en 3D del nodo maestro	89
Panel de control Grafana.....	90
Panel de control página Web	91
Página Web	92
Notificaciones en Telegram	92

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Sensores comerciales de humedad del suelo dieléctrico	16
Figura 2 Tipos de sensores electrónicos de temperatura	17
Figura 3 Diagrama de funcionamiento del sistema	28
Figura 4 Sensor DS18B20	31
Figura 5 Sensor capacitivo de humedad v1.2	31
Figura 6 Sensor DHT11	31
Figura 7 Módulo ESP32 con conector tipo C	32
Figura 8 Enrutador Huawei B612-533.....	33
Figura 9 Módulo lector de memoria microSD utilizado en los esclavos.....	33
Figura 10 Batería KAZO GP4-4.....	34
Figura 11 Free Plan InfluxDB Cloud 2.0.....	35
Figura 12 Arduino IDE V2.3.7	36
Figura 13 Grafana Cloud	36
Figura 14 Telegram.....	37
Figura 15 Flujo de operación nodos esclavos.....	38
Figura 16 Flujo de operación nodo maestro	39
Figura 17 Flujo de operación almacenamiento en microSD.....	40
Figura 18 Flujo de operación notificaciones mediante Telegram.....	41
Figura 19 Montaje en protoboard	42
Figura 20 Diseño del esquema en Proteus	42
Figura 21 Montaje del diseño del esquema en 3D.....	43
Figura 22 Quemado del circuito	43
Figura 23 Diseño del circuito en placas.....	44
Figura 24 Montaje de los sensores.....	44

Figura 25 Carga del firmware	45
Figura 26 Calibración de sensores	46
Figura 27 Pruebas de calibración de sensores	46
Figura 28 Encapsulado completo del sistema electrónico	47
Figura 29 Implementación en el campo.....	47
Figura 30 Descarga en archivos.....	48
Figura 31 Archivo de descarga en Excel	48
Figura 32 Mediciones del 10/04/2026	51
Figura 33 Mediciones del 11/04/2026	51
Figura 34 Mediciones del 12/04/2026	52
Figura 35 Mediciones del 13/04/2026	52
Figura 36 Mediciones del 14/04/2026	53
Figura 37 Mediciones del 15/04/2026	53
Figura 38 Descarga de datos de mediciones del 16/04/2026.....	55
Figura 39 Descarga de datos de mediciones del 17/04/2026.....	55
Figura 40 Visualización panel de desarrollo Grafana del 16/04/2026.....	56
Figura 41 Visualización panel de desarrollo Grafana del 17/04/2026.....	56
Figura 42 Visualización de la Página Web del 16/04/2026 y 17/04/2026.....	57
Figura 43 Mediciones del 18/04/2026	58
Figura 44 Mediciones del 19/04/2026	58
Figura 45 Mediciones del 20/04/2026	59
Figura 46 Mediciones del 21/04/2026	59
Figura 47 Mediciones del 22/04/2026	60
Figura 48 Mediciones del 23/04/2026	60
Figura 49 Mediciones del 24/04/2026	61

Figura 50	Mediciones del 25/04/2026	61
Figura 51	Mediciones del 26/04/2026	62

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Operacionalización de Variables.....	21
Tabla 2	Contrastación de hipótesis mediante criterios técnicos	23
Tabla 3	Deficiencias en el monitoreo del cultivo del maíz amiláceo en el Predio Cristo Pobre-Mórrope.....	27
Tabla 4	Características de sensores electrónicos	30
Tabla 5	Características del enrutador Huawei B612-533	33
Tabla 6	Fuente de alimentación	34
Tabla 7	Resumen de los resultados de monitoreo	64
Tabla 8	Matriz de indicadores de los monitoreos	65
Tabla 9	Presupuesto	66

INFORMACIÓN GENERAL

Título

PLATAFORMA IOT PARA MONITOREAR EL TERRENO DE CULTIVO DE MAÍZ
AMILÁCEO EN EL PREDIO CRISTO POBRE-MÓRROPE.

Autores

Bach. Sanchez Rea Diana Carolina.

Bach. Vidaurre Santisteban Rooyer Rosel.

Asesora de especialidad

Dra. Chamán Cabrera Lucía Isabel.

Línea de investigación

Ingenierías y tecnologías.

Lugar

Predio Cristo Pobre, Mórrope.

RESUMEN

El estudio se realizó con el fin de desarrollar una plataforma IoT para monitorear la temperatura y el índice relativo de humedad del suelo, así como la temperatura y humedad relativa del ambiente, en el cultivo de maíz amiláceo en Cristo Pobre, Mórrope, diseñando una estructura con un nodo maestro y cuatro nodos esclavos que empleaban microcontroladores ESP32; los datos se guardaban en InfluxDB Cloud y se podían visualizar en Grafana, con respaldo local en microSD ante interrupciones de la comunicación Wi-Fi; se recogieron datos automáticamente cada media hora durante el periodo comprendido entre el 10 y el 26 de abril de 2026, considerando 15 días efectivos de monitoreo y dos días destinados a la prueba de falla de comunicación. Se esperaban 2880 registros y se obtuvieron 2808 registros efectivos con una completitud del 97,5 %, durante el periodo de evaluación se obtuvieron registros periódicos de temperatura e índice relativo de humedad del suelo en las cuatro zonas de monitoreo, así como registros de temperatura y humedad relativa del ambiente mediante el nodo maestro

Los resultados obtenidos mostraron que la plataforma desarrollada permitió realizar el monitoreo periódico del terreno bajo las condiciones de evaluación establecidas. La información producida posibilitó visualizar y analizar de forma remota las condiciones de temperatura e índice relativo de humedad del suelo, así como las condiciones de temperatura y humedad relativa del ambiente. De igual forma, la arquitectura implementada mostró posibilidades de incorporar nuevos sensores y ampliar sus funciones en investigaciones futuras.

Palabras clave: IoT, ESP32, InfluxDB, Grafana, monitoreo agrícola, temperatura del suelo, índice relativo de humedad del suelo, maíz amiláceo.

ABSTRACT

The study was conducted to develop an IoT platform designed to monitor soil temperature and relative humidity, as well as ambient temperature and relative humidity, in a starchy maize crop in Cristo Pobre, Mórrope. The system design comprised a master node and four slave nodes based on ESP32 microcontrollers; data were stored in InfluxDB Cloud and visualized in Grafana, with local backups on microSD cards to ensure data retention during Wi-Fi communication interruptions. Data collection was performed automatically every half hour between April 10 and April 26, 2026, covering 15 days of active monitoring and two days dedicated to communication failure testing. A total of 2,880 records were anticipated, and 2,808 valid records were obtained, representing a 97.5% completion rate; throughout the evaluation period, periodic readings of soil temperature and relative humidity were obtained across the four monitoring zones, alongside ambient temperature and relative humidity data captured by the master node.

The results obtained showed that the developed platform enabled periodic monitoring of the terrain under the established evaluation conditions. The generated data allowed for the remote visualization and analysis of soil temperature and a relative soil moisture index, as well as ambient temperature and relative humidity. Furthermore, the implemented architecture demonstrated potential for incorporating new sensors and expanding its functionality in future research.

Keywords: IoT, ESP32, InfluxDB, Grafana, agricultural monitoring, soil temperature, relative soil moisture index, starchy corn.

INTRODUCCIÓN

Hoy en día el principal problema de la agricultura es satisfacer las necesidades de la creciente población, por ende, la industria agrícola necesita adoptar nuevas tecnologías. Según Fatama Mora (2020), en Mórrope-Lambayeque como en otros lados de la costa peruana, los agricultores no reciben lluvias durante todo el año, en ese periodo son abastecidos por la Represa de Tinajones-Lambayeque, presentando temporadas con clima seco; así mismo, el agricultor no emplea tecnología para dar seguimiento a los terrenos, obligados a reducir aún más su producción durante los años de sequía. Como consecuencia, Vadlamudi (2020) describe que la aplicación del Internet de las cosas (IoT) brinda soluciones a los problemas en la agricultura, como la respuesta a la sequía, el avance del rendimiento, la racionalidad de la tierra, el sistema de agua y el control de plagas.

Además, Karthikkumar et al. (2021) mencionaron que hay varios factores de los que depende el rendimiento de un cultivo, por ejemplo, la disponibilidad de agua, temperatura y humedad; en esta línea, hay 2 aspectos importantes del riego agrícola los cuales son definir cuándo y cómo regar las plantas, ya que esto influye en su desarrollo y su productividad. Por otra parte, Sadiku et al. (2021) argumentaron que en la actualidad las empresas agrícolas deben lidiar con la agitación financiera, las condiciones climáticas impredecibles, la creciente escasez de agua, la reducción de las tierras cultivables, la disponibilidad limitada de recursos naturales y los costos fluctuantes.

De tal modo que, Rorissa (2023) indicó que la combinación de varios dispositivos en la infraestructura de IoT permiten recolectar información de los campos agrícolas para la toma de decisiones, pues esto contribuye a la supervisión de la variabilidad climática, automatizar el proceso de riego y obtener características esenciales del suelo.

Por ello, la Institución de Servicio Nacional de Sanidad Agraria del Perú (SENASA, 2025) llevó a cabo actividades con agricultores en el país desde 2019 hasta 2023, orientándolos en la implementación de buenas prácticas agrícolas, esta técnica tuvo una duración de 6 meses y enseñó a solucionar en el campo los problemas, la cual utilizaron parcelas de demostración para verificar la efectividad de las recomendaciones.

De la misma manera, el Instituto Internacional de Investigación de Cultivos para las Zonas Tropicales Semiáridas (ICRISAT, 2025) lanzó el aplicativo “Plant Health Detector”, una herramienta digital orientada al diagnóstico de problemas de salud de los cultivos, esta herramienta fue capaz de identificar carencias nutricionales, plagas y enfermedades en los cultivos como el maíz, el maní el mijo perla, el arroz y el sorgo, asimismo proporciona análisis en tiempo real para apoyar a manejar en los cultivos sus pérdidas.

Por lo tanto, resultó fundamental emplear la tecnología IoT para el monitoreo periódico y automatizado en el terreno; finalmente, se obtuvieron los parámetros de humedad y temperatura, lo que permitió proporcionar información y alertas que podían servir como apoyo para la toma de decisiones relacionadas con el manejo del cultivo.

Tras conocer la realidad problemática, se planteó la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo implementamos una plataforma IoT para monitorear el terreno de cultivo de maíz amiláceo en el predio Cristo Pobre-Mórrope?

Como hipótesis se planteó que la implementación de una plataforma IoT permitirá monitorear las condiciones de temperatura e índice relativo de humedad del suelo, así como la temperatura y humedad relativa del ambiente, en el terreno de cultivo de maíz amiláceo del predio Cristo Pobre-Mórrope, mediante la adquisición, transmisión y visualización de datos durante el periodo de evaluación.

El objetivo general de la investigación fue implementar una plataforma IoT para monitorear el terreno de cultivo de maíz amiláceo en el predio Cristo Pobre-Mórrope. Los objetivos específicos planteados fueron los siguientes: a) Analizar la realidad problemática del predio Cristo Pobre-Mórrope para identificar los indicadores ambientales claves, como el índice relativo de humedad y la temperatura en el terreno de cultivo del maíz amiláceo; b) Analizar la bibliografía científica para fundamentar la contribución de las tecnologías IoT en el desarrollo de la presente investigación; c) Identificar los indicadores de temperatura e índice relativo de humedad del suelo, así como la temperatura y humedad relativa del ambiente para obtener la base de datos del monitoreo en el terreno de cultivo del maíz amiláceo a partir de la lectura periódica de los sensores; y d) Desarrollar el diseño de una plataforma IoT entre la base de datos con el servidor web para adquirir periódicamente los indicadores del terreno de cultivo del maíz amiláceo.

La presente investigación se limitó a la implementación de una plataforma IoT que permitió realizar el monitoreo remoto periódico de la humedad y la temperatura. La implementación permitió integrar la adquisición periódica de datos mediante sensores, su transmisión hacia el nodo maestro y su almacenamiento y visualización mediante las plataformas utilizadas. La información generada y las alertas emitidas pueden servir como apoyo para el seguimiento y manejo del cultivo de maíz amiláceo.

DISEÑO TEÓRICO

1.1 Antecedentes

A nivel internacional, en Rusia, Levin (2024) llevó a cabo un estudio en un complejo agroindustrial, en el que se implementó un sistema de monitoreo y gestión inteligente basado en sensores IoT y algoritmos de aprendizaje automático, para este diseño, se emplearon sondas Sentek Drill & Drop la cual registraron la humedad del suelo y sensores Onset HOB0 que supervisaron la temperatura del aire y del suelo, utilizaron la plataforma FarmLogs que integro los datos, facilitó el análisis y automatizó las operaciones agrícolas, asimismo para la visualización y evaluación del rendimiento usaron el software Tableau, por último el sistema logró una precisión del 87,4% en la predicción de riego y del 85,7% en fertilización, optimizando recursos y reduciendo el impacto ambiental.

De la misma manera, en Colombia, Martinez et al. (2024) desarrollaron la investigación de IoT aplicado a la agricultura: estado actual y su aplicación mediante un prototipo, donde diseñaron un prototipo de sistema de monitoreo de variables agrícolas, los cuales se midieron con los sensores RM52203 para medir la precipitación y DHT-11 para medir la temperatura, los cuales estaban conectados a un módulo ESP32 y un módulo Wi-Fi, a su vez enviaban los datos a una plataforma Ubidots logrando almacenar y visualizar los datos mediante gráficos, finalmente se pudo concluir la factibilidad de desarrollar estos sistemas sin necesidad de tener tecnologías complejas.

En el mismo contexto, en la India, Pandey et al. (2023) realizaron un monitoreo del suelo en tiempo real con IoT, los cuales utilizaron principalmente 3 suelos para estudios experimentales; el suelo franco rojo (terroso, poroso), suelo negro (arcilloso) y suelo aluvial (franco ligero y poroso); se colocaron sensores de humedad, temperatura y de pH en diferentes puntos del campo para conocer la acidez del suelo; donde los datos se recopilaban en Arduino y las estadísticas se

envían a la aplicación móvil mediante transmisión Wi-Fi donde se utilizó el módulo ESP8266 para la comunicación con el Android, como resultado se logró verificar que la capacidad de retención de agua de los distintos suelos estudiados fue: primero el negro, después el aluvial y por último el rojo.

A nivel nacional, en Trujillo, Correa-Quiroz et al. (2025) desarrollaron un sistema IoT con ESP32 para la supervisión del clima en invernaderos y el riego por goteo inteligente, para ello, emplearon sensores como el DHT11, el HC-SR04, el GUVVA-S12SD y un sensor capacitivo de humedad del suelo, los datos recolectados son procesados por el ESP32, que funcionó como controlador central y determinó las acciones necesarias según las lecturas recibidas, además, contaba con un relé que encendía o apagaba la bomba de agua dependiendo de los niveles de humedad hallados en el terreno, también se utilizó una pantalla LCD de 16x2 que permitió al usuario observar el estado del sistema a través de una interfaz web, como resultado, se consiguió disminuir hasta un 35 % el consumo de agua comparado con los sistemas tradicionales.

Por otro lado, en Huancavelica Montañez Huamán et al. (2025) implementaron un sistema de IoT entre las instalaciones de la Universidad Nacional Autónoma de Tayacaja Daniel Hernández Morillo y los invernaderos que es de aproximadamente 1 km de distancia, así mismo se instalaron un servidor LoRa y un servidor web AWS EC2 Linux. Se utilizaron sensores especializados para medir con precisión las variables del invernadero, como un kit de desarrollo ESP32 y Raspberry Pi, como resultado los valores obtenidos de temperatura y humedad relativa del suelo para ambos invernaderos mostraron picos altos en sus mediciones al mediodía, mientras que disminuyeron durante la noche, facilitando la toma de decisiones adecuadas para el cultivo de maíz amiláceo.

Asimismo, en Arequipa, Huarancca et al. (2024) realizaron el diseño y desarrollo de un sistema integrado de monitoreo y riego con IoT, el cual utilizó microcontroladores ESP32, módulos transceptores NRF24L01; que garantizan una conexión inalámbrica estable y de bajo consumo, donde cada nodo sensor está equipado con un sensor THPH-S, que integra funciones de medición de pH, temperatura y humedad del suelo; donde los resultados obtenidos mostraron una reducción del 16,12% en el consumo de agua y un aumento del 18% en el rendimiento del cultivo de papa, lo que resaltó que esta tecnología optimizó el uso de los recursos hídricos y proporcionó información para la toma de decisiones basada en datos en tiempo real.

Por último, en Lambayeque, Castro (2023) llevó a cabo el estudio para un invernadero inteligente aplicando las IoT para la conservación del cultivo de tomates nativos donde se implementó un sistema IoT, con la finalidad de conservar estas especies de tomates autóctonos de forma más eficaz en un ambiente que brinda un control y monitoreo más efectivos en tiempo real, asimismo se realizó la construcción de un circuito ubicado en un invernadero, que conectaba sensores de temperatura y humedad, RS485 y mecanismos; este enviaba la información recolectada por los sensores y el estado de los actuadores, logrando así resultados de 5 plantas, con un rendimiento efectivo de 4.17% por el grupo experimental.

1.2 Bases teóricas

1.2.1. *Comunicación inalámbrica en sistemas IoT*

Según Wu et al. (2020), las tecnologías IoT que utilizan microcontroladores se han implementado en varias áreas, como en los sistemas portátiles para supervisar a distancia lo que hacen los usuarios, donde sus funciones principales es recolectar, transmitir y analizar datos, además, sirven para conectar dispositivos de distintos productores, entre los microcontroladores más empleados se encuentra Arduino, placa de microcontrolador Raspberry Pi y un microcontrolador de 8 bits para alimentar sensores livianos.

Asimismo, Senoo et al. (2024) señalan que las placas de microcontroladores, frecuentemente empleadas en diferentes investigaciones como dispositivos de borde, son el Arduino Uno, ESP8266, ESP32 y ATmega; estas se pueden aplicar en la implementación más próxima al punto de observación o control; es decir, cerca de los sensores y actuadores; en este lugar, ofrecen una plataforma flexible y rentable para obtener, procesar y controlar datos en aplicaciones agrícolas. Por ende, Oner (2021) indica que el ESP32 es de fácil escalamiento de proyectos, y se caracteriza por sus funciones avanzadas de comunicación, lo cual lo hace una opción excelente para proyectos que necesitan conectarse a redes Bluetooth y Wi-Fi, por ello, es una de esas herramientas y existen muchas razones para ello: su precio y su disponibilidad. Bluetooth y Wi-Fi. Las plataformas IoT según Nardis et al. (2022), sirven como middleware fundamental en los ecosistemas del IoT, permitiendo una conectividad fluida, la recopilación de datos, la gestión de dispositivos y el análisis en tiempo real entre sensores y aplicaciones heterogéneos, así los estudios académicos recientes destacan la diversidad de las plataformas del IoT, desde servicios empresariales en la nube como AWS IoT Core y Microsoft Azure IoT Hub hasta soluciones de código abierto como ThingsBoard, Grafana, ThingSpeak y FIWARE.

1.2.2. Problemática del monitoreo agrícola

Según SENAMHI (2021) el maíz amiláceo necesita ciertas condiciones climáticas entre los principales indicadores que se deben considerar están las temperaturas máximas de 18 a 21 °C durante la fase de producción y la humedad promedio necesaria del agua que es del 60 al 95 %. Del mismo modo, Ngoune Tandzi et al. (2020) indicaron que se debe examinar diversos métodos de estimación del rendimiento del maíz, teniendo en cuenta los parámetros de rendimiento disponibles, y también se analiza la brecha entre el rendimiento potencial del maíz y el rendimiento alcanzable, donde los métodos más sencillos y fiables de estimación se basan en los parámetros de rendimiento recogidos en el campo. Por otra parte, MINAGRI (2019) mencionó que las semillas del maíz amiláceo se ajustan a diferentes clases de terrenos, no obstante, su desarrollo es óptimo en los suelos de textura media; profundos, bien drenados y con una estructura sólida que garantiza un crecimiento óptimo de las hojas.

1.2.3. Monitoreo agrícola mediante IoT

El monitoreo de terreno según Wang et al. (2023) es el proceso sistemático y continuo de medición, registro y análisis de parámetros físicos, químicos y biológicos del suelo y del ambiente, tales como la humedad, temperatura, pH y variables climáticas, con el propósito de evaluar el estado del suelo, detectar cambios ambientales y apoyar la toma de decisiones en la gestión agrícola y ambiental; en ese contexto, Choudhary et al. (2025) sostuvieron que los sistemas de monitoreo agrícola basados en diferentes sensores ambientales también pueden utilizarse para monitorear la contaminación además de las condiciones climáticas, por ende la información importante se transmite a las agencias relacionadas y a los agricultores desde una ubicación remota para investigaciones anticipadas.

Aplicaciones

Según Getahun et al. (2024), las principales aplicaciones que benefician a los agricultores: la administración del estado del suelo, tal cual mejora el rendimiento y la calidad de las cosechas mediante la optimización de recursos como agua y fertilizantes; la gestión del agua, que determina con exactitud las necesidades hídricas de áreas particulares dentro de un campo para garantizar que las plantas tengan suficiente hidratación; el seguimiento de cultivos, que brinda información detallada sobre sus campos, incluyendo el estado del suelo, los niveles de humedad y el estado de las cosechas; y por último, la gestión de nutrientes, que permite recopilar datos sobre sus campos con cuidado y posibilita acciones específicas como reducir el impacto ambiental o aplicar pesticidas y fertilizantes en cantidades variables.

Importancia

Por otra parte, Hamouda et al. (2024) mencionaron que es fundamental en la agricultura contemporánea, ya que permite la supervisión permanente de las condiciones del suelo y del entorno; además, la literatura indica que las tecnologías IoT pueden ayudar en el seguimiento de las condiciones del suelo y ofrecer datos que respalden la optimización del riego y la administración de recursos; no obstante, estos beneficios requieren evaluaciones particulares para cada situación.

Parámetros

La humedad del suelo según Deshpande et al. (2022), es la cantidad de moléculas de agua almacenadas en los espacios porosos del suelo; es un parámetro clave para los procesos hidrometeorológicos; además es un componente crucial en estudios agrícolas, de riesgos naturales (deslizamientos y flujos de escombros), ecológicos, hidrometeorológicos y climáticos. La disponibilidad de datos es útil para obtener conclusiones relevantes en estos ámbitos, ya que el

contenido de agua del suelo fluctúa significativamente con el paso del tiempo y a nivel regional.

Del mismo modo, la temperatura del suelo de acuerdo con Chavanne & Frangi (2024) la temperatura juega un papel en la capacidad del sistema radicular de la planta para absorber agua y nutrientes, donde en climas muy fríos; tanto la temperatura del suelo como el contenido de agua líquida son críticos para estudiar la extensión y evolución de la capa de suelo, el cual es la parte del suelo que permanece permanentemente congelado, influenciado por el clima cambiante o la presencia de un río que fluye.

En el mismo contexto, Brown et al. (2021) mencionaron que la textura del suelo es una propiedad fundamental para el flujo de agua y la adecuada aireación, sin embargo, se deteriora fácilmente cuando se somete a tensiones, estas pueden ser causadas por el cultivo, el pisoteo animal, el tráfico pesado de la tala, motos de cross y vehículos todoterreno, etc., por ello una buena estructura (es decir, un equilibrio de macroporos y microporos) es fundamental para el crecimiento vegetal, ya que mejora el drenaje y la aireación, a la vez que mantiene el agua disponible para la planta en los agregados.

1.2.4. Gestión y visualización de datos

Según Di Felice (2023) los análisis sistemáticos demuestran que las plataformas de código abierto, en particular InfluxDB, son idóneas para el prototipado rápido y proyectos de investigación gracias a su extensibilidad y capacidades de guardar datos mientras que las plataformas en la nube destacan por su firmeza, confianza y servicios de datos avanzados; ya que los investigadores que evalúan las plataformas en la nube para IoT destacan características cruciales como la seguridad, el rendimiento y la integración de análisis, que influyen en la selección de la plataforma según los requisitos de la aplicación así mismo siendo elegible en la investigación.

Del mismo modo Sharma (2025) indica que las encuestas académicas indican que el rol de la plataforma se extiende más allá del simple transporte de datos, abarcando protocolos optimizados, integración de Grafana y soporte de decisiones en tiempo real, lo que hace que la elección de una plataforma de IoT sea una decisión de diseño central tanto en implementaciones industriales como de investigación sería la mejor opción.

1.2.5. Sensores para monitoreo agrícola

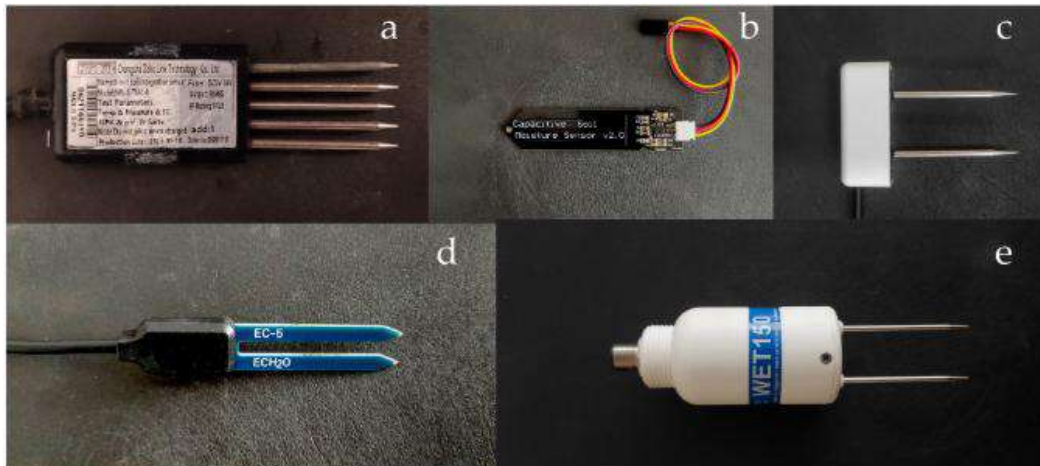
Como resaltaron Nurwarsito y Alkaf (2025), el monitoreo de cultivos se apoya en sensores electrónicos que permiten medir parámetros del suelo y del ambiente en tiempo real; estos dispositivos permiten automatizar el riego, realizar el control ambiental y apoyar la toma de decisiones basada en datos en la agricultura de precisión.

Los sensores de humedad del suelo, de acuerdo con Abdelmoneim et al. (2025), miden la cantidad de agua en el suelo mediante sus propiedades dieléctricas, las cuales se basan en que el agua tiene una constante dieléctrica mucho más alta (cerca a 80) que el aire (cerca de 1) y el suelo seco (entre 3 y 7), esta discrepancia posibilita que el sensor calcule la humedad del suelo al detectar cambios en las propiedades dieléctricas del entorno; además, normalmente están compuestos por dos superficies conductoras o placas metálicas que constituyen un condensador; estas se ubican en el suelo o cerca de él, cuando se aplica un campo eléctrico a través de las placas, el sensor funciona como un pequeño condensador, con el terreno actuando como material dieléctrico entre ellas.

Además, Zhang et al. (2024) indican que los sensores disponibles comercialmente (Figura 1), dependen de la medición de la permitividad relativa electromagnética del suelo, dado que la constante dieléctrica del suelo húmedo se ve afectada principalmente por su contenido de agua, actúa como un indicador eficaz, rápido y fiable para medir la humedad del suelo, asimismo se ven

afectadas por factores como la frecuencia electromagnética, la temperatura, la salinidad, el contenido volumétrico de agua del suelo, la relación entre el agua ligada y el agua total del suelo, la densidad del suelo, la forma de las partículas del suelo, el contenido de humedad, la composición de la arcilla, la materia orgánica y la porosidad.

Figura 1 *Sensores comerciales de humedad del suelo dieléctrico*

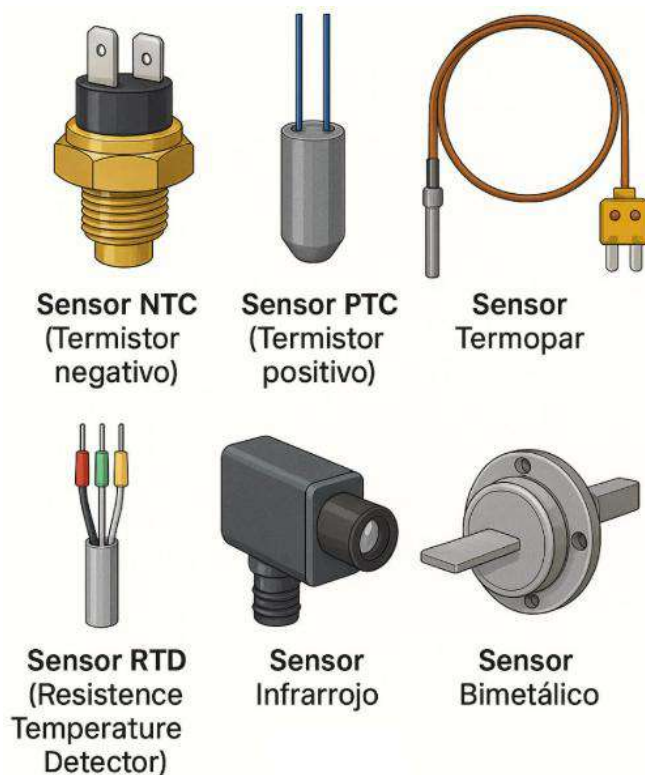


Por otro lado los sensores de temperatura como lo mencionaron Santiago y Ciampitti (2024), son componentes clave en muchas áreas de investigación, sobre todo en la agricultura, porque tienen un efecto directo sobre el rendimiento y la salud de las cosechas; también es crucial comprender cómo este elemento afecta a los sistemas de cultivo, dado que incide en la germinación, el desarrollo de las raíces y la actividad microbiana, todos factores esenciales para el crecimiento saludable de las plantas; además, la temperatura del suelo influye en cuántos nutrientes están disponibles y cuántos se asimilan, lo que tiene consecuencias en el rendimiento global; por consiguiente, estos sensores ayudan a los agricultores a mejorar sus programas de riego, fertilización y siembra; esto conduce a prácticas agrícolas más sostenibles.

Del mismo modo, Yin et al. (2021) indican que constan de sondas de temperatura para convertir la variación de temperatura en una señal eléctrica y un sistema electrónico de polarización y lectura para interpretar la señal eléctrica en datos digitales, además existe una gran

cantidad de sensores electrónicos de temperatura (Figura 2) que pueden emplearse como sensores térmicos del suelo, entre ellos termistores, termopares, detectores RTD (o de resistencia) y sensores semiconductores, donde los termistores están hechos de semiconductores cerámicos o polímeros en lugar de metal, y destacan el hecho de que poseen un coeficiente de temperatura negativo (NTC) o positivo (PTC), asimismo pueden ofrecer resoluciones superiores en contraposición a los RTD, ya que los semiconductores cerámicos tienden a tener coeficientes térmicos más altos.

Figura 2 *Tipos de sensores electrónicos de temperatura*



1.2.6. Alarmas y notificaciones

Hakim et al. (2025) crearon un sistema de supervisión de redes que incorpora Telegram y Grafana con el objetivo de identificar errores y emitir notificaciones automáticas al instante. Grafana se encarga de mostrar la información y activar las reglas de alerta cuando encuentra una irregularidad, mientras que el sistema utiliza Prometheus para recolectar y procesar las métricas

adquiridas a través de SNMP, en cuanto las alertas se envían a Telegram de inmediato, lo que posibilita que el personal a cargo esté al tanto del estado de la infraestructura y tome acciones adecuadas con prontitud. Los hallazgos evidenciaron que la integración de Grafana con Telegram optimiza el seguimiento constante, disminuye el tiempo de reacción ante defectos y simplifica la administración del sistema de monitoreo a distancia.

1.2.7. Unidad de procesamiento y control

Según Dhanaraju et al. (2022), es un ambiente tecnológico que facilita la vinculación, administración y evaluación de información proveniente de aparatos inteligentes y sensores vinculados a la red donde su objetivo es simplificar la interacción entre los aparatos físicos y los sistemas de computación para la automatización y mejora de procesos. Asimismo, Villa-Henriksen et al. (2020) resaltaron que el IoT está permitiendo que la agricultura se base en datos, lo que conduce a una producción y gestión de las explotaciones agrícolas más oportunas y rentables, permitiendo reducir su impacto medioambiental. La arquitectura de IoT integran y unifican todos los pasos de detección/actuación de datos desde/hacia dispositivos, transmisión/recepción de mensajes, almacenamiento de datos, procesamiento, análisis y explotación final mediante el uso de computación en la nube y aplicaciones (Bellini et al., 2022).

1.2.8. Arquitectura de sistemas IoT

Capas de la arquitectura IoT

Según Senoo et al. (2023), la arquitectura del IoT cuenta con cinco capas: adquisición de datos, comunicación, procesamiento, aplicación y gestión y toma de decisiones; esta arquitectura se inicia con la recopilación y creación de datos a través de sensores; luego proporciona funciones como el reenvío y la transmisión entre subsistemas diversos; a continuación, sirve como una capa para compilar información, incorporando datos provenientes de todas las fuentes; seguidamente,

opera como una capa para procesar y guardar los datos recibidos y esto permite que interactúe con los dispositivos y la información generada por los sensores del sistema mediante aplicaciones, y al final, ordene el modo en que el usuario se comunica con el sistema de IoT a través de interfaces intuitivas.

Metodologías para implementar la arquitectura IoT

De acuerdo con Lamsal et al. (2023), adopta un enfoque metodológico que consta de los siguientes pasos: evaluación de plataformas, donde se hace un examen exhaustivo de las aplicaciones actuales del IoT en el sector agrícola; diseño de la arquitectura del IoT, que debe considerar aspectos como la ubicación, personalización, fiabilidad, coste y escalabilidad; recolección y análisis de datos e investigación en campo mediante sensores IoT instalados en el campo para recolectar información que luego es analizada con el propósito de determinar cuán efectiva es la arquitectura propuesta del IoT para cumplir con los objetivos y preguntas del estudio; y evaluación arquitectónica, que evalúa en función de su confiabilidad, coste y facilidad de uso para agricultores pequeños.

1.3 Definiciones conceptuales

Al respecto, con el monitoreo del terreno de cultivo de maíz amiláceo, Choudhary et al. (2025) señalaron que es un método de observación, evaluación, estudio de las condiciones del terreno y factores ambientales que inciden en el crecimiento y evolución del cultivo.

Ikram et al. (2024) explicaron que los sensores de temperatura y humedad tienen un rol prometedor en la agricultura de precisión ya que posibilitan el monitoreo simultáneo y preciso de los cambios en la humedad y la temperatura del microclima de las plantas, estos sensores flexibles tienen la capacidad de ofrecer información esperanzadora para perfeccionar el entorno de crecimiento de los cultivos y luchar contra el estrés abiótico para que estos tengan un rendimiento

más alto.

Soussi et al. (2024) señalaron que de acuerdo con la capacidad de medición, es el análisis predictivo y sistema de pronóstico donde se recoge los datos agrícolas para ofrecer a los agricultores asesoramiento sobre el manejo del suelo, la rotación de cultivos y los tiempos óptimos de siembra y cosecha, esto ayuda al monitoreo para mantener un crecimiento óptimo de las plantas y permitir la detección temprana de condiciones que podrían conducir a pérdida del cultivo.

Por otro lado, la generación de alertas, Rajak et al. (2023) señalaron que la implicación de las tecnologías de sensores inalámbricos puede alertar a los agricultores sobre fallas en los equipos e iniciar la resolución de problemas, ya que detectan la temperatura y humedad enviando un mensaje de alerta al agricultor cuando la temperatura y humedad cae por debajo del nivel umbral.

De igual forma, Skendžić et al. (2021) destacó que las condiciones climáticas comprenden diversos componentes atmosféricos, como la temperatura, humedad, lluvia y viento, que influyen directamente en el crecimiento de los cultivos, por lo tanto es indispensable vigilar estos factores para evitar condiciones climáticas adversas y modificar las técnicas agrícolas con el fin de incrementar la producción y disminuir los riesgos.

De igual forma, Villa-Henriksen et al. (2020) señalaron que la plataforma IoT es un sistema tecnológico que permite conectar dispositivos inteligentes a través de internet con el fin de optimizar procesos y aumentar la eficiencia en diversos campos como la agricultura.

Finalmente, Tahat et al. (2020) mencionan que las condiciones del suelo hacen referencia a las características químicas, físicas y biológicas del terreno que inciden en el desarrollo y crecimiento de las cosechas, por lo que es muy importante analizar la calidad y salud del suelo para verificar su potencial productivo y establecer estrategias de gestión adecuadas que permitan potenciar la sostenibilidad en la agricultura.

1.4 Operacionalización de Variables

Tabla 1 Operacionalización de Variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de medición
Plataforma IOT (INDEPENDIENTE)	Es un sistema tecnológico que facilita la conexión de dispositivos inteligentes mediante internet con el fin de optimizar procesos y aumentar la eficiencia en diversas áreas como la agricultura (Villa-Henriksen et al., 2020)	Infraestructura tecnológica que permitió recolectar, transmitir y visualizar periódicamente datos de temperatura e índice relativo de humedad del suelo, así como de temperatura y humedad relativa del ambiente.	Características de medición	Variables monitoreadas Periodo de muestreo 30 min	Nominal Razón
			Generación de alertas	Tipos de alertas: conexión/desconexión de zona, pérdida de comunicación y anomalía en sensores	Nominal
Monitoreo del terreno de cultivo de maíz amiláceo (DEPENDIENTE)	Es un método de observación, evaluación, estudio de las condiciones del terreno y factores ambientales que inciden en el crecimiento y evolución del cultivo (Choudhary et al., 2025)	La recolección de datos se realizó mediante la adquisición periódica y automatizada de datos de temperatura e índice relativo de humedad del suelo, así como de temperatura y humedad relativa del ambiente.	Condiciones del suelo	Índice relativo de humedad del suelo (0–100 %) Temperatura del suelo (-55-125°C)	Razón Intervalo
			Condiciones climáticas	Temperatura ambiental (0-50°C) Humedad relativa (20-90%)	Intervalo Razón

DISEÑO METODOLÓGICO

2.1 Tipo de Investigación

La presente investigación fue de enfoque cuantitativo, de tipo aplicado y tecnológico. Así lo denomina Mohajan (2020), metodología cuantitativa, aquella que se enfoca en la recopilación y análisis de datos numéricos, a través de técnicas estadísticas, con el fin de comprobar hipótesis y evaluar variables; mientras que la investigación aplicada, según el estudio de OECD (2015), es aquella que se enfoca en la obtención de nuevos conocimientos para conseguir un propósito práctico y concreto y; por último, Sánchez Carlessi et al. (2018) señalan que la investigación tecnológica es una investigación que requiere un procedimiento de investigación organizado, sistemático y regular que persigue confirmar una tecnología, o sea, evidenciar su efectividad debido a que está íntimamente relacionado con la innovación tecnológica, ya que ocurre en diferentes campos aplicables del saber relacionados con el diseño, creación, innovación y validación de métodos, técnicas, instrumentos y dispositivos

Del mismo modo, el método que se empleó para esta investigación fue el hipotético-deductivo; como afirma Khan et al. (2023), se basa en la formulación y comprobación de hipótesis mediante la deducción lógica y la experimentación, método habitual en las ciencias naturales, sociales y tecnológicas. Por ello el diseño de la investigación correspondió a un diseño tecnológico de evaluación, debido a que se desarrolló e implementó una plataforma IoT y posteriormente se evaluó su funcionamiento en condiciones reales de operación mediante criterios técnicos relacionados con la frecuencia de adquisición, completitud de registros, almacenamiento local, visualización y generación de alertas.

2.2 Diseño de contrastación de hipótesis

Para la contrastación de la hipótesis se establecieron criterios técnicos relacionados con las funciones principales de la plataforma IoT: frecuencia de adquisición, completitud de registros, almacenamiento local, visualización de información y generación de alertas; estos

criterios permitieron verificar objetivamente el funcionamiento de la plataforma durante el periodo de evaluación y determinar el cumplimiento de las condiciones planteadas para el monitoreo.

Tabla 2 *Contrastación de hipótesis mediante criterios técnicos*

Indicador	Criterio técnico	Resultado obtenido	Evaluación
Frecuencia de adquisición	Adquisición automática cada 30 minutos.	Registros generados con una frecuencia programada de 30 minutos.	Cumple
Compleitud de registros	Determinar la proporción de registros obtenidos respecto de los registros esperados durante el periodo de evaluación.	Se obtuvieron 2808 de 2880 registros esperados, equivalente a una completitud de 97,5 %, constituyendo el resultado observado durante el periodo de evaluación.	Resultado obtenido
Almacenamiento local	Conservar los datos ante una interrupción de comunicación.	384 registros almacenados localmente en microSD durante la interrupción.	Cumple
Visualización de información	Visualizar los datos adquiridos mediante las interfaces implementadas.	Datos visualizados mediante Grafana e interfaz web.	Cumple
Generación de alertas	Generar notificaciones ante los eventos definidos.	Notificaciones generadas mediante Telegram.	Cumple

Conforme a los resultados alcanzados, la plataforma IoT presentó el funcionamiento esperado en los criterios técnicos relacionados con la frecuencia de adquisición, el almacenamiento local, la visualización de información y la generación de alertas, en cuanto a la completitud de los registros, se obtuvo un resultado de 97,5 %, correspondiente a 2808 registros de un total esperado de 2880, constituyendo el resultado observado durante el periodo de evaluación. Asimismo, durante la interrupción de la comunicación se almacenaron localmente 384 registros en la memoria microSD, mientras que la información adquirida pudo ser visualizada mediante Grafana e interfaz web y se generaron notificaciones mediante

Telegram ante los eventos definidos. Por lo tanto, los resultados obtenidos respaldan la hipótesis de investigación bajo las condiciones de evaluación establecidas. Los resultados obtenidos durante la ejecución de las pruebas descritas en el protocolo se presentan en el Anexo D.

2.3 Población, Muestra y Muestreo

2.3.1 Población

Según Andaristo et al. (2025) la población se refiere al conjunto completo de individuos, elementos o casos que poseen características comunes y sobre los cuales se desea obtener conclusiones; por lo cual, la población de este estudio estuvo constituida por el terreno de cultivo de maíz amiláceo del predio Cristo Pobre, Mórrope, con un área total de 6700 m².

2.3.2 Muestra

En cuanto a la muestra, Martello y Cleve (2024) indicaron que está conformada por una parte de la población seleccionada para realizar el estudio, en la cual se recopilan los datos necesarios para analizar el problema de investigación, debido a que no siempre es posible trabajar con toda la población. Por esta razón, la muestra permitió obtener información útil para el desarrollo del estudio y el cumplimiento de los objetivos planteados. Por ende, para el desarrollo experimental de la investigación se consideró un área de intervención de 350 m² dentro del terreno de cultivo de 6700 m², esta área fue seleccionada considerando la distribución geográfica del terreno, las condiciones observadas y la accesibilidad para la instalación y operación de los nodos de monitoreo; asimismo, constituyó el espacio experimental utilizado para implementar y evaluar el funcionamiento de la plataforma IoT.

2.3.3 Muestreo

Makwana et al. (2023) describen el muestreo como la selección de un segmento de la población para el estudio, por ende esta investigación utilizó un muestreo no probabilístico e intencional, seleccionando las zonas de monitoreo según la distribución geográfica,

condiciones observadas y accesibilidad para la instalación y operación de los nodos, esta selección evaluó el funcionamiento de la plataforma IoT en condiciones reales, sin inferencia estadística sobre el terreno total, por ello los resultados corresponden al área intervenida y no se generalizan a los 6700 m².

2.4 Técnicas, instrumentos, equipos y materiales

Según Arias Gonzáles (2020), los métodos e instrumentos empleados para recolectar y registrar la información que se requiere para llevar a cabo el análisis son los procedimientos de investigación, donde los métodos que se utilizan para compilar información son las técnicas, mientras que los instrumentos son las herramientas que se usan en la investigación para compilar y organizar esos datos.

2.4.1 Técnicas

Para la recopilación de información, inicialmente, se utilizó una entrevista al agricultor con el objetivo de recopilar datos cualitativos acerca del proceso de monitoreo, además, se realizó la observación directa con el objetivo de examinar el proceso actual de monitoreo del terreno.

2.4.2 Instrumentos

Se utilizó una guía de entrevista con el agricultor, la cual permitió recopilar información relacionada con la realidad problemática y las condiciones del proceso de monitoreo del terreno de cultivo de maíz amiláceo, la información obtenida sirvió como insumo para caracterizar el problema e identificar necesidades de monitoreo consideradas en el desarrollo de la plataforma IoT. (ANEXO A)

También se realizó la observación directa del terreno, mediante una ficha de recolección de datos con el objetivo de determinar las condiciones del suelo en el que se cultiva el maíz amiláceo. Se notó la escasez de humedad y la alta temperatura en distintas áreas del terreno. (ANEXO B)

2.4.3 Equipos y Materiales

Los equipos y materiales utilizados en esta investigación fueron dos laptops i5 de 12.^a generación. En estos equipos se realizó la búsqueda de información y se instaló el software de programación del microcontrolador. Asimismo, se desarrolló la programación de los sensores de temperatura e índice relativo de humedad del suelo, así como de temperatura y humedad relativa del ambiente, se configuró la plataforma de base de datos y se creó la interfaz gráfica para visualizar los datos obtenidos durante la investigación.

RESULTADOS

3.1 Estado del monitoreo de cultivos de maíz amiláceo

Luego de realizar y observar cómo se realiza el monitoreo del terreno de cultivo del maíz amiláceo en el predio Cristo Pobre – Mórrope, se encontraron las deficiencias mostradas en la Tabla 3.

Tabla 3 *Deficiencias en el monitoreo del cultivo del maíz amiláceo en el Predio Cristo Pobre-Mórrope*

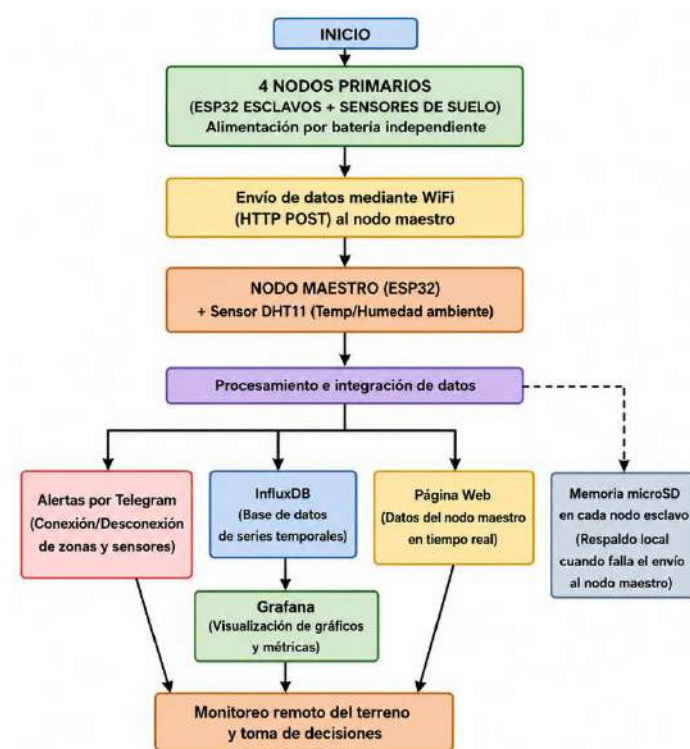
Deficiencia	Consecuencia
Monitoreo empírico del riego	Los agricultores riegan el terreno de cultivo con base en su experiencia, lo que puede generar diferencias en la cantidad y frecuencia del agua aplicada, por consiguiente, esta situación puede dificultar un manejo uniforme del riego.
Falta de monitoreo periódico y automatizado	La falta de monitoreo periódico y automatizado dificulta detectar cambios en factores como la humedad y la temperatura del terreno, los cuales pueden afectar el desarrollo del maíz amiláceo.
Ausencia de monitoreo instrumental periódico del suelo	La ausencia de sensores destinados al monitoreo periódico de las condiciones del suelo dificulta disponer de información objetiva y sistemática sobre las variaciones de humedad y temperatura del terreno.
Ausencia de alertas	Los agricultores no identifican los factores ambientales ni reciben alertas de fallas de sensores o pérdida de comunicación en el terreno, lo cual dificulta identificar los problemas que pueden ocurrir en el monitoreo.
Dependencia del conocimiento empírico	Los agricultores gestionan sus cultivos a partir de la experiencia empírica, lo que produce resultados inconsistentes y complica la normalización del proceso productivo.

3.2 Diseño del sistema

En la Figura 3, se mostró un diagrama de flujo que representó el funcionamiento del sistema de monitoreo. El sistema estuvo compuesto por cuatro nodos esclavos encargados de adquirir datos de temperatura e índice relativo de humedad del suelo y transmitirlos al nodo maestro, donde además se registraron la temperatura y humedad relativa del ambiente; estos datos se transmitieron mediante Wi-Fi utilizando solicitudes HTTP POST hacia el nodo maestro,

encargado de recibir, procesar e integrar la información. Dicha información fue posteriormente enviada a la base de datos de series temporales y también se remitió directamente a la página web. Además, se generaron alertas a través de Telegram en caso de conexión o desconexión de zonas y sensores. El respaldo local mediante memoria microSD se activó cuando el envío de los datos al nodo maestro no se realizó correctamente, incluyendo situaciones de interrupción de la comunicación Wi-Fi.

Figura 3 Diagrama de funcionamiento del sistema



3.2.1. Arquitectura del sistema

A continuación, se mostró el sistema desarrollado, el cual se basó en la arquitectura de cinco capas del IoT y tuvo como objetivo monitorear periódicamente las variables ambientales y del suelo que incidieron directamente en el desarrollo del maíz amiláceo. La arquitectura fue formada por cinco capas esenciales: adquisición de datos, comunicación, procesamiento, aplicación y gestión y toma de decisiones.

Capa de adquisición de datos

Fue compuesta por los cuatro nodos esclavos que se fundamentaban en la tecnología ESP32, y cada nodo contaba con 2 sensores de temperatura DS18B20 y 2 sensores capacitivos que se encargaban de medir la humedad del suelo; donde sus tareas principales consistían en recopilar las variables relacionadas con el desarrollo del cultivo y posteriormente transmitir las hacia el nodo maestro encargado del procesamiento de la información.

Capa de comunicación

La comunicación entre los nodos esclavos y el nodo maestro se realizó mediante Wi-Fi utilizando solicitudes HTTP. El nodo maestro recibió y procesó la información enviada por los nodos esclavos y posteriormente gestionó el envío de los datos hacia la plataforma de almacenamiento y visualización.

Capa de procesamiento

Integrada principalmente por la base de datos InfluxDB que tenía como función almacenar los datos enviados por el nodo maestro ESP32 el cual recibía información de los 4 nodos esclavos; además, cada nodo esclavo contaba con una memoria microSD de 8 GB la cual fue usada como respaldo en situaciones donde la conexión Wi-Fi experimentaba fallos inesperados.

Capa de aplicación

Compuesta por la herramienta de monitoreo Grafana y la interfaz web desarrollada en el dispositivo ESP32 como nodo central, lo que posibilitaba la observación remota de los distintos parámetros y variables registrados por el sistema.

Capa de gestión y toma de decisiones

Esta capa se enfocó en orientar al agricultor, quien revisaba los datos mediante la interfaz del Grafana, y recibía alertas por Telegram para apoyar el seguimiento del cultivo.

3.2.2. Selección de hardware

Se trató de una fase crucial, dado que su eficacia y fiabilidad de la información adquirida dependían de ella; por ello, los dispositivos seleccionados se eligieron teniendo en cuenta las exigencias técnicas, tales como la cuantificación de factores climáticos y del suelo, la reducción de consumo de energía, la conectividad inalámbrica, el potencial de procesamiento, la compatibilidad entre los diversos componentes empleados y los costos vinculados.

Seguidamente, se describen los componentes fundamentales que constituyeron el sistema: sensores de temperatura e índice relativo de humedad del suelo, así como de temperatura y humedad relativa del ambiente, tarjetas para el desarrollo, módulos para la comunicación, almacenamiento, monitoreo y alertas.

Sensores

El sensor DS18B20 (Figura 4) fue seleccionado para medir la temperatura del suelo debido a su rango de medición, resolución, durabilidad y compatibilidad con el ESP32 mediante el protocolo OneWire. Asimismo, se utilizó el sensor capacitivo de humedad del suelo versión 1.2 (Figura 5), debido a su mayor resistencia a la corrosión frente a los sensores resistivos. Finalmente, el sensor DHT11 (Figura 6), incorporado en el nodo maestro, fue utilizado para medir la temperatura y humedad ambiental. En la Tabla 4 se muestran sus principales características.

Tabla 4 Características de sensores electrónicos

Sensor	Variable	Rango de medición	Precisión
DHT11	Temperatura ambiente	0 °C a 50 °C	±2 °C
DHT11	Humedad ambiente	20 % a 90 % RH	±5 % RH
DS18B20	Temperatura del suelo	-55 °C a 125 °C	±0.5 °C
Sensor capacitivo de humedad v1.2	Humedad del suelo (escala relativa)	0 % a 100 %	Según calibración realizada

Figura 4 *Sensor DS18B20*



Figura 5 *Sensor capacitivo de humedad v1.2*

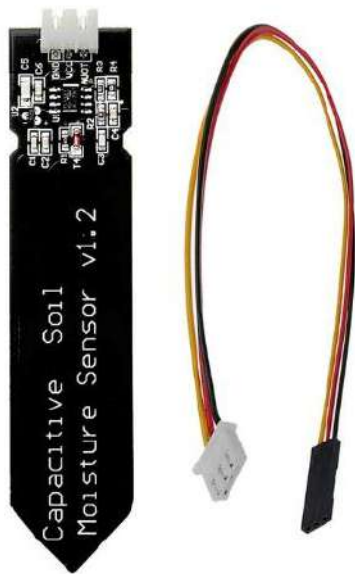
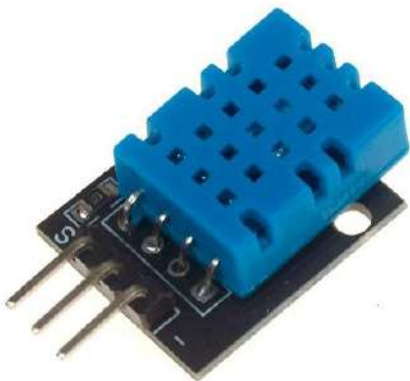


Figura 6 *Sensor DHT11*



Tarjeta de desarrollo

El ESP32 mostrado en la Figura 7 se eligió como unidad de procesamiento para los nodos maestro y esclavos, ya que sirvió como el núcleo del sistema y se encargó de captar y procesar las señales provenientes de los sensores, así como de mostrar localmente la información recopilada; principalmente, la elección de este dispositivo se debió a que contaba con una conexión Wi-Fi estable, una capacidad de procesamiento adecuada, un consumo de energía reducido y, lo que es más importante, su accesibilidad y disponibilidad en el mercado; estas son características fundamentales para la implementación de sistemas IoT distribuidos en diferentes entornos.

Figura 7 *Módulo ESP32 con conector tipo C*



Protocolo de comunicación

Para la transmisión inalámbrica de los datos entre los Nodos Esclavos y el Nodo Maestro, se utilizó comunicación mediante Wi-Fi utilizando solicitudes HTTP POST; puesto que para esta comunicación permitió enviar las mediciones obtenidas por los sensores hacia el nodo maestro para su posterior procesamiento y almacenamiento. Al inicializar el sistema, cada ESP32 configuraba los sensores conectados y verificaba el funcionamiento de la tarjeta microSD. Posteriormente, los nodos esclavos se conectaban a la red Wi-Fi proporcionada por el enrutador Huawei B612-533 y enviaban los datos al nodo maestro mediante solicitudes HTTP POST. La adquisición se realizó cada 30 minutos y la transmisión se efectuó después de cada adquisición. El nodo maestro recibía la información a través del endpoint /receive y

posteriormente realizaba el almacenamiento de los datos en InfluxDB Cloud mediante la librería InfluxDbClient.

Tabla 5 *Características del enrutador Huawei B612-533*

Parámetro	Especificación
Equipo	Huawei B612-533
Tecnología	Router 4G LTE Cat 6
Frecuencia Wi-Fi	2.4 GHz y 5 GHz
Alcance referencial del equipo	Alcance referencial: Hasta 100 m en campo abierto (valor referencial del equipo).
Tipo de red	WLAN (Red de Área Local Inalámbrica)

Figura 8 *Enrutador Huawei B612-533*



Selección de Almacenamiento

Cada nodo esclavo contaba con una memoria de 8 GB; esta memoria guardaba la información solamente cuando el nodo maestro perdía la conexión Wi-Fi, de modo que los registros almacenados podían ser revisados posteriormente de forma local mediante la memoria microSD.

Figura 9 *Módulo lector de memoria microSD utilizado en los esclavos*



Fuente de alimentación

Como fuente de alimentación para los nodos maestro y esclavos durante la evaluación, el sistema de monitoreo agrícola empleó baterías KAZO GP4-4, de 4 V y 4 Ah (20HR). No se llevó a cabo en el estudio actual ni una caracterización de la autonomía de las baterías ni una medición experimental del consumo de corriente, así que estos parámetros no se tomaron en cuenta como indicadores para la evaluación.

Tabla 6 Fuente de alimentación

Elemento	Alimentación	Función
Nodo Maestro	Batería KAZO GP4-4, 4 V – 4 Ah (20HR)	Recibir y procesar datos
Nodos Esclavos	Batería KAZO GP4-4, 4 V – 4 Ah (20HR)	Adquirir y enviar datos de sensores
Intervalo de adquisición y envío	Cada 30 minutos	Registro periódico de las variables
Periodo de evaluación	15 días	Operación durante la evaluación

Figura 10 Batería KAZO GP4-4

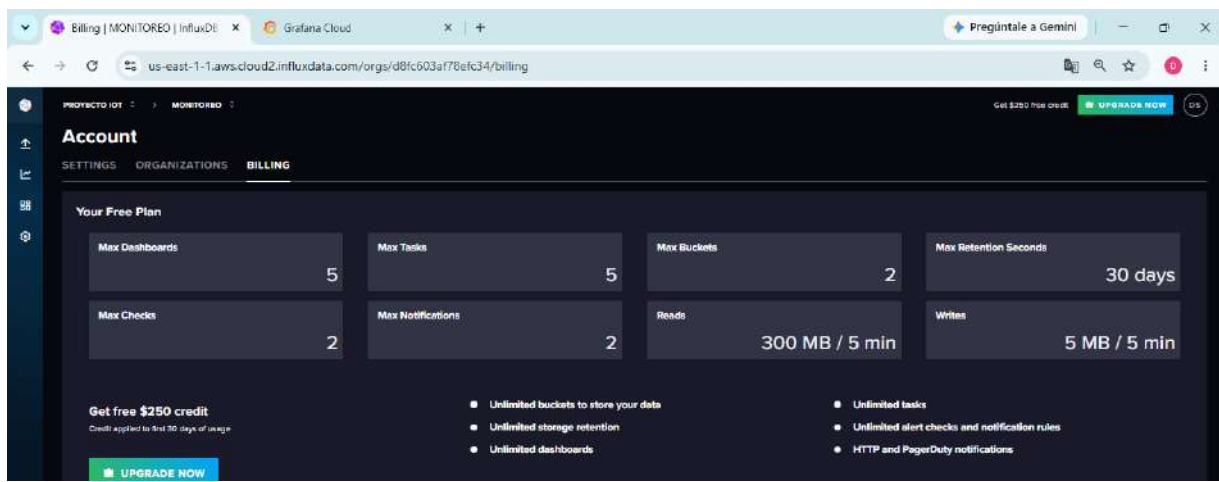


3.2.3. Selección de software

Software de base de datos

Se procedió a implementar InfluxDB Cloud 2.0 para la organización y almacenamiento de la información, ya que se trataba de una plataforma de base de datos diseñada para el manejo de series temporales y permitió capturar de manera efectiva los registros de temperatura y humedad del terreno; se escogió la versión sin costo, la cual guardaba los datos por un lapso de 30 días según el plan utilizado, lo que facilitó la revisión y evaluación de los datos en dicho intervalo de tiempo. De igual manera, esta alternativa era compatible con diferentes herramientas de visualización y supervisión, lo que enriquecía la experiencia de análisis de la información recolectada. En la Figura 11 se muestran las características y límites del plan utilizado, los cuales fueron considerados para el almacenamiento de los datos durante el periodo de evaluación.

Figura 11 *Free Plan InfluxDB Cloud 2.0*



Software de programación

La programación de los ESP32 correspondientes al nodo maestro y a los nodos esclavos se realizó mediante la plataforma Arduino IDE versión 2.3.7, la cual se mostró en la Figura 12 y, debido a que era una herramienta muy empleada y sumamente compatible para la codificación de ESP32, además, ofrecía una interfaz fácil de usar que permitía escribir,

compilar y cargar el código en el microcontrolador. También, gracias a sus librerías y gestores de placas integrados, ofrecía soporte nativo para las placas ESP32.

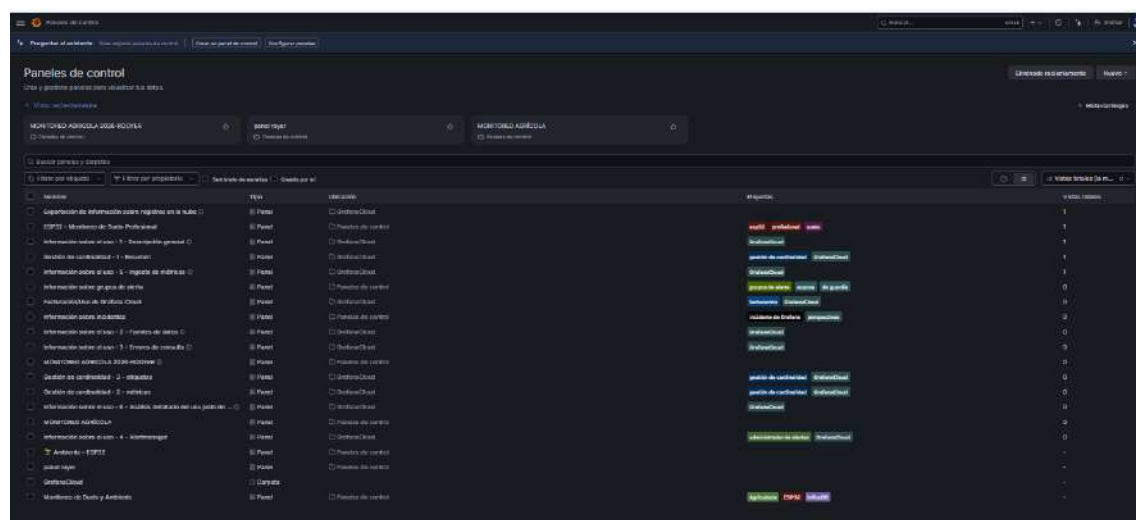
Figura 12 Arduino IDE V2.3.7



Software de visualización y monitoreo

Se utilizó Grafana Cloud (Figura 13), plataforma de software orientada hacia el monitoreo y la visualización de datos. Dentro de este se hizo una conexión con la base de datos de series temporales InfluxDB Cloud 2.0 para realizar el análisis de los datos creados por el sistema; esta unificación permitió visualizarlos de forma remota mediante gráficos interactivos y la revisión histórica de factores como temperatura, humedad, alarmas y otros datos del sistema correspondientes al periodo de monitoreo de 15 días.

Figura 13 Grafana Cloud



Sistema de notificaciones

Se escogió Telegram (Figura 14) como plataforma de notificaciones debido a que el sistema monitoreaba el estado de los sensores y la conexión entre los diferentes dispositivos, los cuales fueron las áreas conectadas al nodo maestro, y si se producía un error en alguno de los sensores, una zona se encontraba desconectada o existía una pérdida de comunicación con el nodo maestro, se producía una alarma para avisar del hecho; por ello, este mecanismo permitió informar al agricultor sobre cualquier anomalía que se detectaba, de modo que el usuario estuviera siempre informado de las alertas.

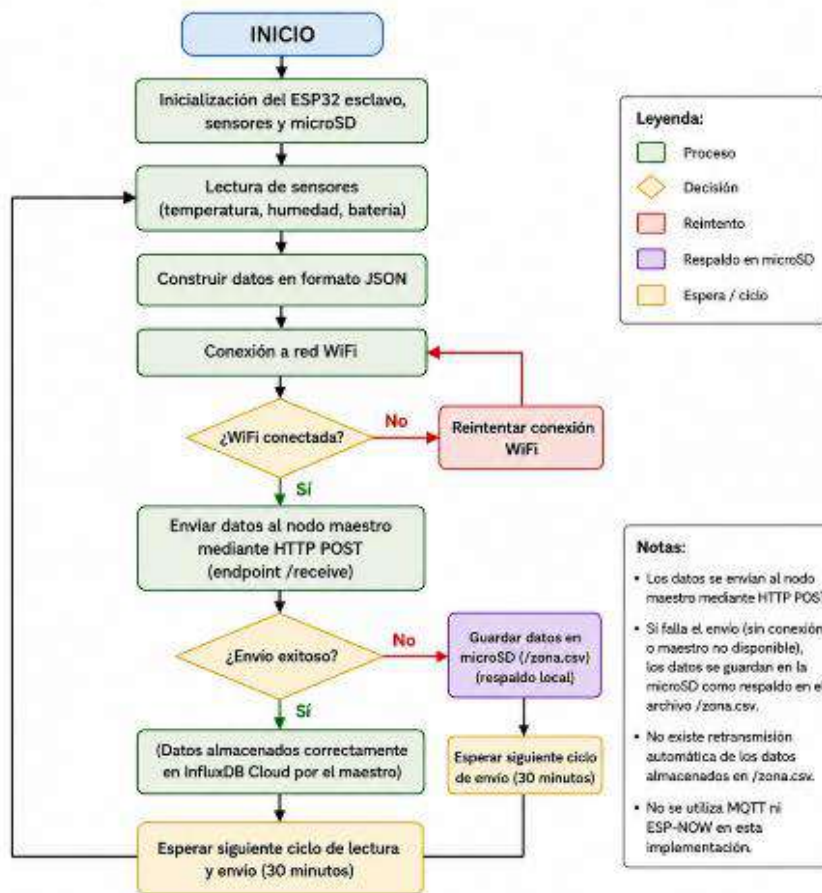
Figura 14 *Telegram*



3.2.4. *Nodos esclavos*

El nodo esclavo iniciaba el sistema configurando el ESP32 y sus periféricos. A continuación, comprobaba la inicialización de los sensores y de la memoria microSD. Cuando se detectaba un error, el sistema volvía a iniciar el proceso, una vez que los componentes estaban inicializados, procedía a leer la temperatura y humedad del suelo y comprobaba los valores obtenidos. Las lecturas válidas se enviaban al nodo maestro mediante peticiones POST sobre HTTP. Los registros se guardaban localmente en la memoria microSD en caso de envío fallido. Por último, el nodo esperaba 30 minutos antes de hacer una nueva adquisición.

Figura 15 Flujo de operación nodos esclavos

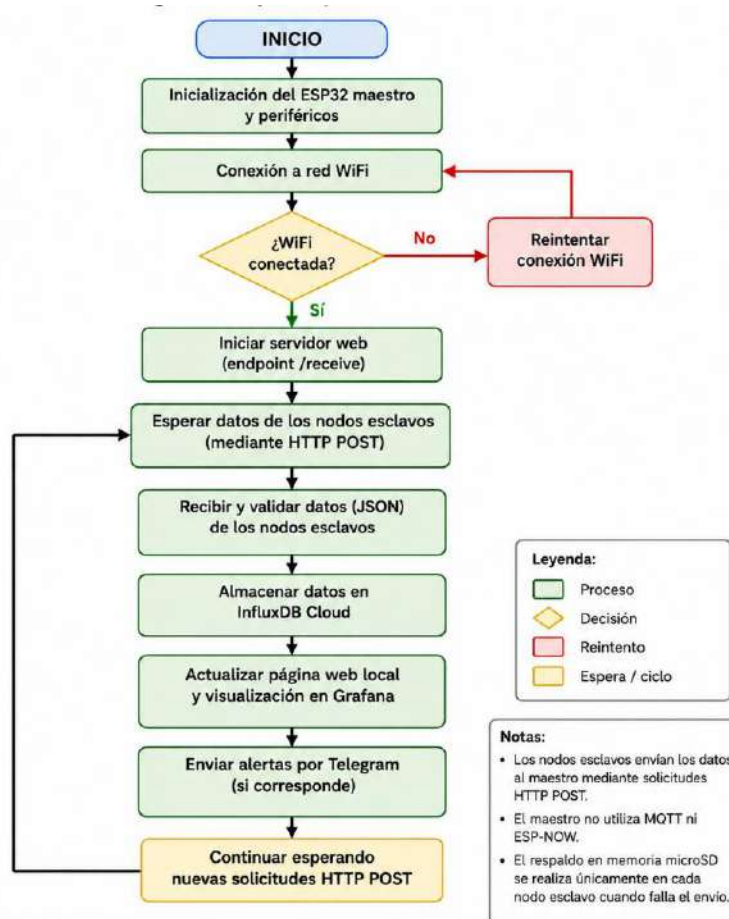


3.2.5. Nodo maestro

El flujo de operación del nodo maestro (Figura 16), operó con la puesta en marcha del ESP32 maestro y de los periféricos requeridos para el sistema. Cuando esta fase se terminaba, el sistema intentaba conectarse a la red Wi-Fi hasta establecer la conexión. El nodo maestro, después de establecer conexión con la red, esperaba los datos enviados por los nodos esclavos mediante solicitudes HTTP POST, si todavía no se recibían lecturas, el sistema seguía esperando hasta recibir información nueva, seguidamente los datos fueron validados e integrados después de ser recibidos para verificar su correcta recepción antes de procesarlas. Una vez recibidos y procesados los datos, el nodo maestro los almacenaba directamente en la base de datos InfluxDB Cloud para su posterior visualización. No obstante, si el nodo esclavo no lograba enviar correctamente las mediciones al nodo maestro mediante HTTP POST,

almacenaba localmente los registros en su respectiva memoria microSD como mecanismo de respaldo. Esto permitió conservar localmente los registros generados durante la interrupción de la comunicación.

Figura 16 *Flujo de operación nodo maestro*



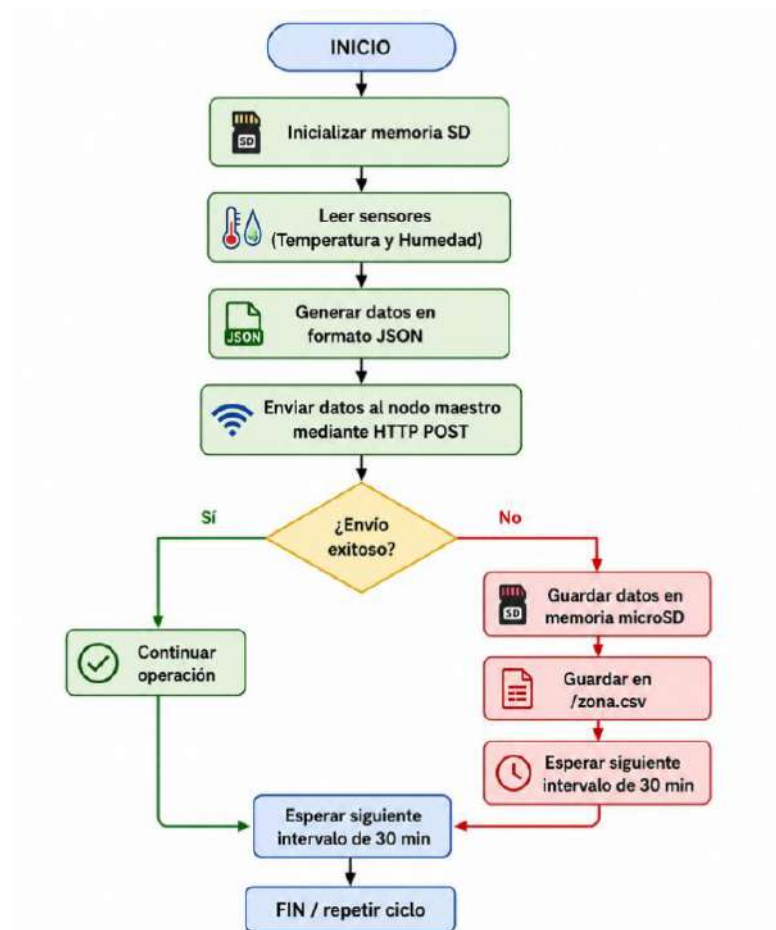
3.2.6. Almacenamiento de respaldo en memoria SD

La Figura 17 muestra el flujo de operación del almacenamiento de respaldo mediante la memoria microSD. En cada nodo esclavo, la tarjeta microSD se inicializó durante el arranque del sistema y se utilizó como mecanismo de respaldo cuando el envío de los datos al nodo maestro no se realizaba correctamente. Ante esta situación, el sistema generó o abrió el archivo “/zona.csv” y almacenó las mediciones registradas, incluyendo la fecha y hora, número de zona, temperatura y humedad del suelo. De esta manera, las mediciones obtenidas durante una interrupción en la comunicación pudieron conservarse localmente en el nodo esclavo. El código

implementado permitió almacenar los registros en la memoria microSD cuando el envío al nodo maestro no era exitoso.

El almacenamiento en memoria microSD implementado en los nodos esclavos permitió conservar localmente los registros generados durante la interrupción de la comunicación con el nodo maestro, esta función corresponde a un mecanismo de respaldo local ante fallos de comunicación y no a un mecanismo de recuperación automática, debido a que la versión implementada no incorporó un proceso de retransmisión y sincronización automática de los registros almacenados en la memoria SD una vez restablecida la comunicación.

Figura 17 Flujo de operación almacenamiento en microSD

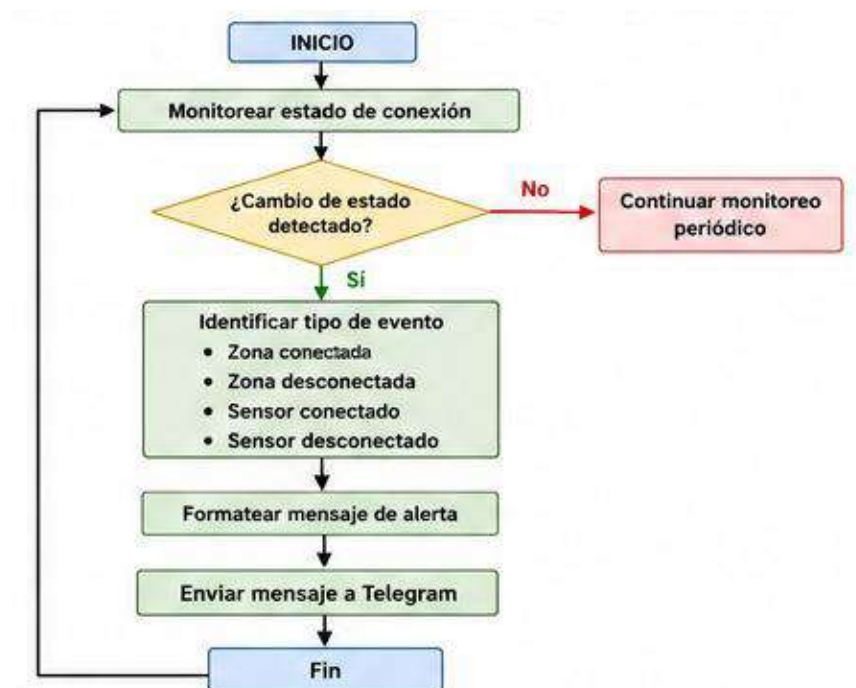


3.2.7. Notificaciones mediante Telegram

El flujo de operación de las notificaciones mediante Telegram (Figura 18), se llevó a cabo con el seguimiento constante de las áreas y los sensores. El sistema continuó operando de manera normal mientras no había cambios en su estado. Ya que si se conectaba o desconectaba un elemento, este cambio se detectaba de manera automática, después de identificar el evento, se creaba un mensaje que contenía la información requerida y se enviaba a través de Telegram, de esta forma, el usuario podía saber lo que estaba sucediendo en el sistema sin tener que revisarlo directamente en el campo, lo que simplificaba la supervisión y seguimiento del monitoreo, usualmente se enviaba el estado de cada zona y cualquier inconveniente con los sensores conectados.

Las alertas implementadas estuvieron orientadas principalmente a eventos relacionados con el estado operativo de la plataforma, se generaron notificaciones cuando se detectó la conexión o desconexión de una zona, pérdida de comunicación o anomalía asociada a los sensores. Estas alertas tuvieron como finalidad informar sobre eventos que pudieran afectar la continuidad del monitoreo.

Figura 18 Flujo de operación notificaciones mediante Telegram

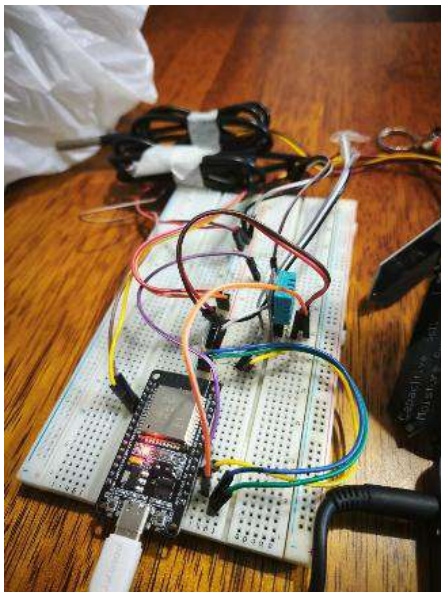


3.3 Ensamblaje del sistema

3.3.1 Montaje de componentes en los nodos esclavos y maestro

Se realizó el montaje inicial del circuito en una placa de pruebas (protoboard) con el fin de verificar las conexiones y asegurarse de que todo funcione correctamente antes de proceder con la soldadura de los componentes.

Figura 19 Montaje en protoboard



Posteriormente, se diseñó con detalle el esquema eléctrico y la disposición final de la placa de circuito impreso de acuerdo con la complejidad y requisitos de la arquitectura del sistema.

Figura 20 Diseño del esquema en Proteus

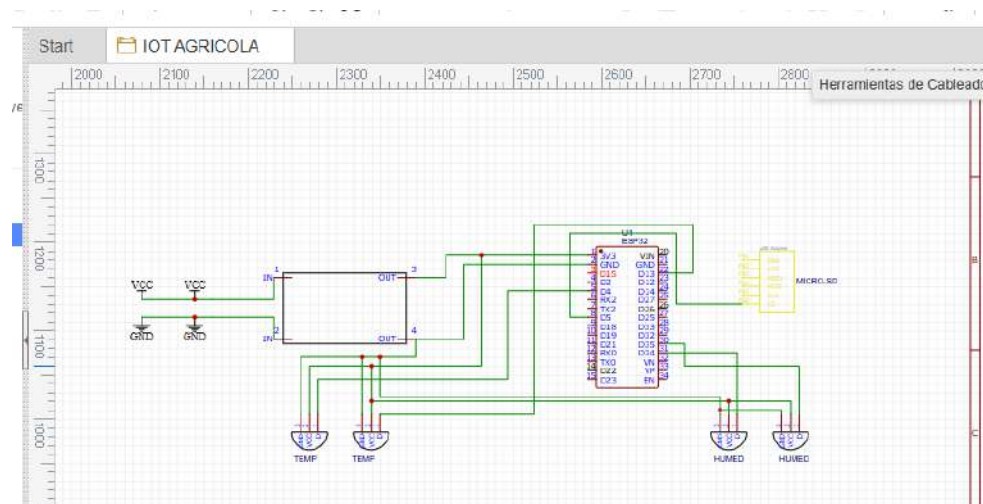
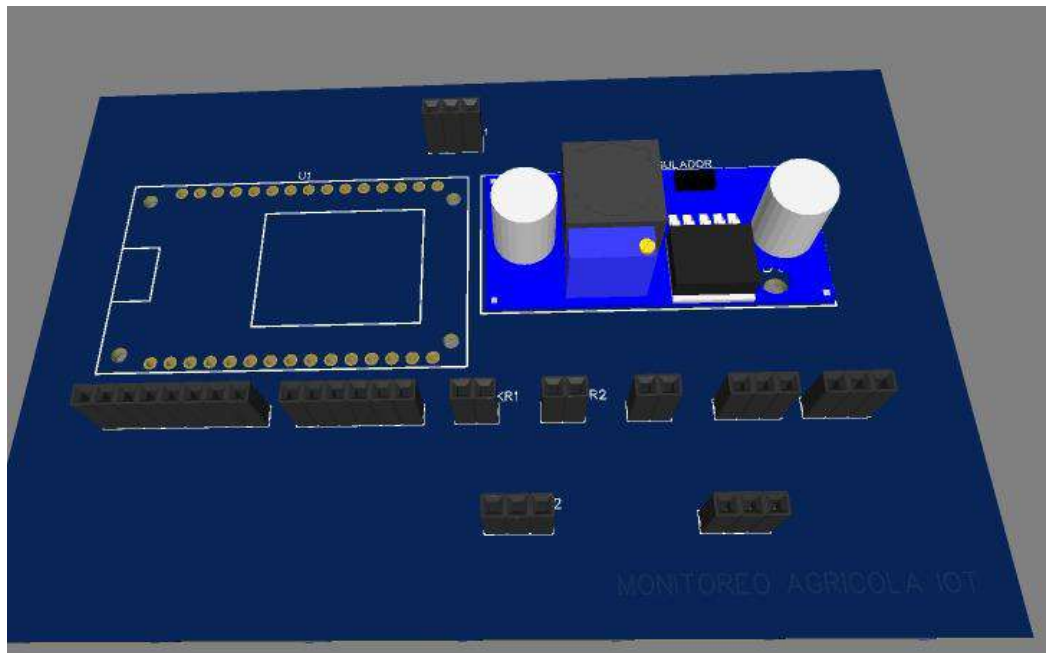


Figura 21 *Montaje del diseño del esquema en 3D*



Seguidamente se transfirió el diseño del circuito desde un protoboard o placa de pruebas a una placa perforada o PCB de uso generalizado.

Figura 22 *Quemado del circuito*



Luego se realizó el proceso de soldadura de los diferentes componentes electrónicos en la placa de circuito impreso, tales como pines, sensores, resistencias y conectores, fue una tarea crucial en el proceso de ensamblaje de dispositivos electrónicos. La soldadura garantizó una conexión eléctrica estable y duradera entre los elementos, lo que contribuyó al correcto

funcionamiento del circuito. Fue importante realizar esta tarea con precisión y cuidado para evitar posibles fallos en el dispositivo final.

Figura 23 *Diseño del circuito en placas*

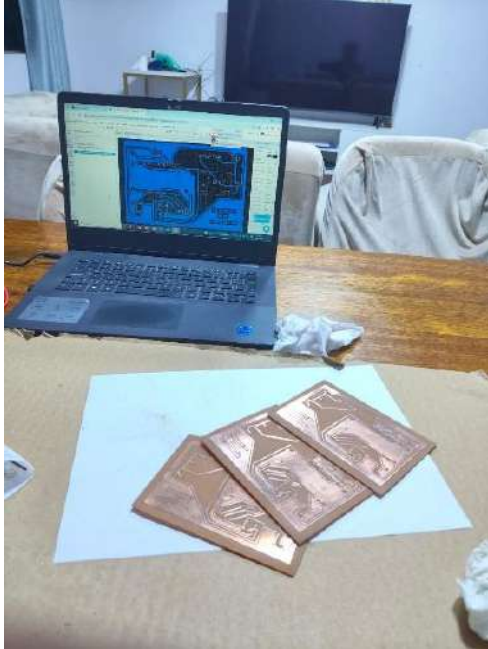
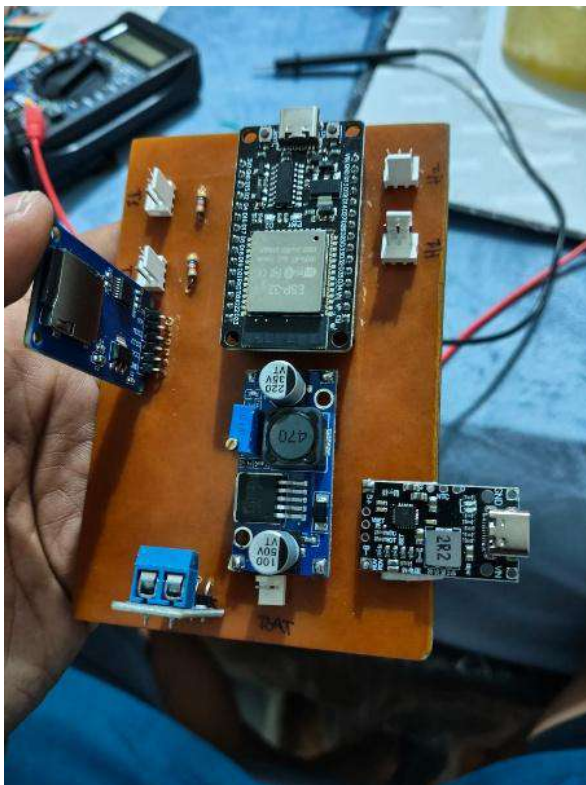


Figura 24 *Montaje de los sensores*



Posteriormente se realizó la programación o carga del firmware en el ESP32 a través del entorno de desarrollo Arduino IDE.

Figura 25 *Carga del firmware*



Se realizó la calibración individual de los sensores capacitivos de humedad del suelo considerando dos condiciones de referencia: seca y húmeda. Para el sensor de humedad 1 se obtuvieron valores de 3032 ADC para la condición seca y 2096 ADC para la condición húmeda; mientras que para el sensor de humedad 2 se obtuvieron valores de 3765 ADC y 1697 ADC, respectivamente.

Estos valores permitieron establecer una escala relativa de humedad del suelo de 0 % a 100 %. Para convertir las lecturas ADC obtenidas durante el monitoreo al índice relativo de humedad del suelo (IRH), se empleó interpolación lineal:

$$IRH = \frac{ADC_{seco} - ADC_{actual}}{ADC_{seco} - ADC_{húmedo}} \times 100$$

La conversión se realizó automáticamente mediante el programa implementado en los ESP32, por lo que el IRH mostrado en la plataforma corresponde al resultado de dicha conversión.

Figura 26 *Calibración de sensores*

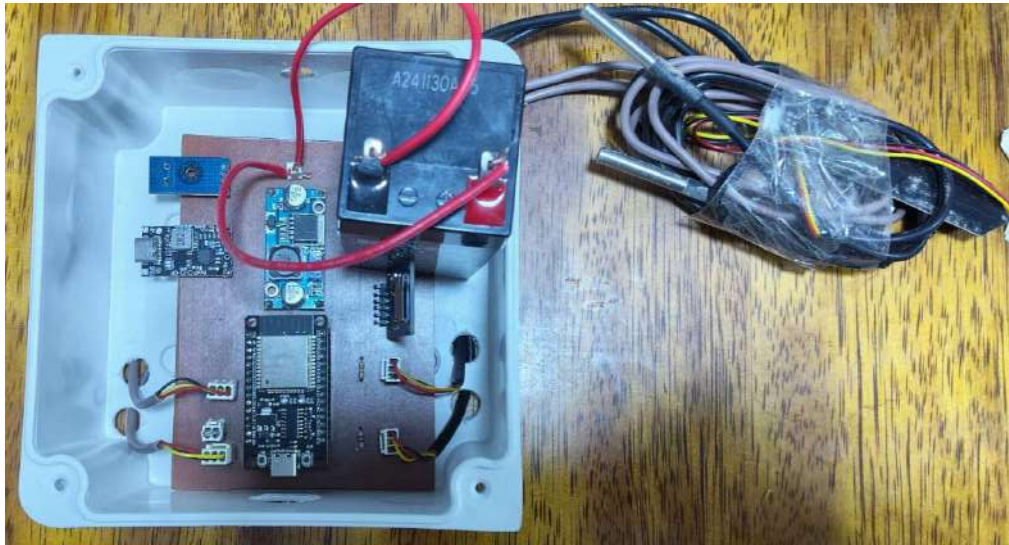


Figura 27 *Pruebas de calibración de sensores*



Como acto seguido se realizó el encapsulado completo del sistema electrónico en una resistente caja protectora diseñada para soportar las variadas condiciones ambientales presentes en entornos de campo.

Figura 28 *Encapsulado completo del sistema electrónico*



Posteriormente, se realizaron pruebas funcionales y operativas en el terreno para verificar el funcionamiento del sistema IoT.

Figura 29 *Implementación en el campo*



Finalmente, se realizó la evaluación funcional y operativa de la plataforma, así como la descarga de la información obtenida, verificando previamente la integridad de los datos antes de su descarga

Figura 30 Descarga en archivos

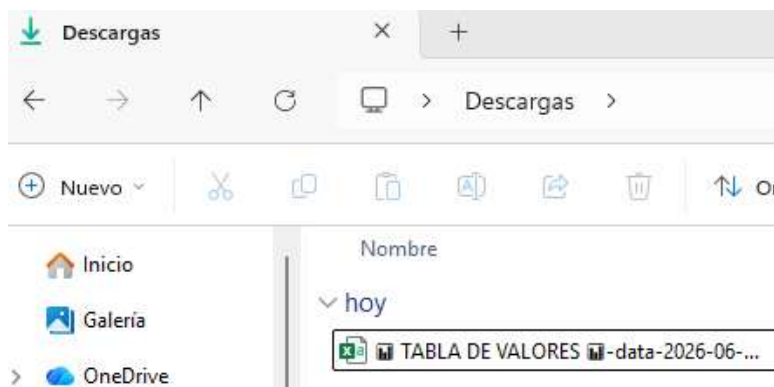


Figura 31 Archivo de descarga en Excel

The image shows an Excel spreadsheet titled 'TABLA DE VALORES -data-2026-04-18_13_10_48 - Excel'. The spreadsheet contains a table with 20 rows of data. The first row is a header with the following labels: 'time', 'TEMP1', 'TEMP2', 'HUM1', 'HUM2'. The subsequent rows contain numerical data representing time, temperature, and humidity measurements.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	time,"TEMP1","TEMP2","HUM1","HUM2"										
2	2026-04-17 22:46:34,20.1,19.8,82.4,78.6										
3	2026-04-17 21:16:24,20.3,19.9,83.1,79.2										
4	2026-04-17 18:16:24,21.2,20.5,84.7,81.0										
5	2026-04-17 17:46:25,21.5,20.8,85.2,82.1										
6	2026-04-17 17:16:25,21.3,20.6,84.8,81.5										
7	2026-04-17 16:46:29,21.0,20.3,83.6,80.4										
8	2026-04-17 16:16:31,20.7,20.1,82.9,79.8										
9	2026-04-17 15:46:24,20.5,20.0,82.1,79.1										
10	2026-04-17 15:16:25,20.3,19.8,81.4,78.5										
11	2026-04-17 14:46:25,20.1,19.6,80.8,77.9										
12	2026-04-17 14:16:25,19.9,19.4,79.6,76.8										
13	2026-04-17 13:46:33,19.8,19.3,78.9,76.1										
14	2026-04-17 13:16:24,19.7,19.2,78.1,75.4										
15	2026-04-17 12:46:25,19.6,19.1,77.5,74.8										
16	2026-04-17 12:16:46,19.5,19.0,76.8,74.1										
17	2026-04-17 11:46:24,19.6,19.1,75.9,73.5										
18	2026-04-17 11:16:25,19.8,19.3,74.6,72.8										
19	2026-04-17 10:46:24,20.0,19.5,73.8,71.9										
20	2026-04-17 10:16:25,20.2,19.7,72.4,71.0										

3.4 Mediciones

Los resultados obtenidos durante el seguimiento del cultivo de maíz amiláceo mediante la plataforma IoT correspondieron al periodo comprendido entre el 10 y el 26 de abril de 2026. Durante este periodo se realizaron las mediciones mediante cuatro nodos ESP32; colocados de manera estratégica en la zona de investigación. Cada uno de ellos registró el índice relativo de humedad del suelo mediante dos sensores capacitivos y la temperatura del suelo mediante dos sensores DS18B20; además, el sistema registró la temperatura y humedad relativa del ambiente.

Se obtuvieron los datos automáticamente cada media hora, resultando en 2880 registros esperados correspondientes a 15 días efectivos de monitoreo (4 nodos multiplicados por 48 mediciones al día). Se envió la información al nodo maestro para que fuera almacenada en InfluxDB y luego se pudo observar a través de Grafana, lo cual permitió verificar la conducta de las variables mediante monitoreo remoto periódico. Los datos se guardaron en la memoria microSD de cada nodo esclavo cuando ocurrieron interrupciones en la comunicación Wi-Fi, lo que permitió conservar localmente los registros durante la interrupción de la comunicación Wi-Fi.

Durante el periodo de evaluación, la plataforma realizó el registro automático de las mediciones cada 30 minutos mediante los cuatro nodos implementados, permitiendo obtener información de las condiciones de temperatura e índice relativo de humedad del suelo, así como de temperatura y humedad relativa del ambiente. Estos resultados evidenciaron el funcionamiento de la plataforma para la adquisición y registro periódico de los datos durante el periodo de monitoreo; con ello se generaron los registros necesarios para el monitoreo periódico de los indicadores de temperatura e índice relativo de humedad del suelo, así como de temperatura y humedad relativa del ambiente durante el periodo de evaluación.

Al evaluar el funcionamiento de la plataforma IoT, se consideraron indicadores relacionados con la frecuencia de adquisición, la completitud de los registros, el almacenamiento local ante fallas de comunicación y la generación de alertas. Durante los 15 días efectivos de monitoreo se esperaban 2880 registros, considerando cuatro nodos y 48 mediciones por día. Se obtuvieron 2808 registros, por lo que se registraron 72 datos faltantes, donde estos no fueron asociados a una causa específica debido a que la versión implementada de la plataforma no incorporó un mecanismo de registro de eventos que permitiera identificar de manera individual si cada pérdida correspondió a una interrupción de comunicación, reinicio del nodo, falla de sensor o interrupción de alimentación. Por esta razón, estos registros fueron considerados como datos no adquiridos durante el periodo de evaluación. A partir de estos resultados, se calculó una completitud del 97,5 %. Asimismo, durante los 2 días seleccionados para la prueba de falla de comunicación se esperaron 384 registros, calculados considerando 2 días, 4 nodos y 48 mediciones por día. Estos registros fueron almacenados localmente en las memorias microSD de los cuatro nodos, sin pérdida de registros durante la interrupción de la comunicación Wi-Fi. El sistema realizó las mediciones periódicamente cada 30 minutos y permitió visualizar los datos mediante Grafana, mientras que las condiciones de alerta fueron comunicadas mediante Telegram durante todo el periodo de evaluación.

El periodo de evaluación comprendió 15 días efectivos de monitoreo, durante los cuales se verificó la adquisición periódica de datos, el almacenamiento local ante interrupciones de comunicación, la visualización de información y la generación de alertas. La alimentación de los nodos se realizó mediante baterías KAZO GP4-4 de 4 V y 4 Ah (20HR). No se realizó una caracterización experimental del consumo de corriente ni de la autonomía de las baterías, debido a que estos parámetros no formaron parte de los indicadores de evaluación establecidos.

Figura 32 Mediciones del 10/04/2026



Figura 33 Mediciones del 11/04/2026



Figura 34 Mediciones del 12/04/2026



Figura 35 Mediciones del 13/04/2026



Figura 36 Mediciones del 14/04/2026



Figura 37 Mediciones del 15/04/2026

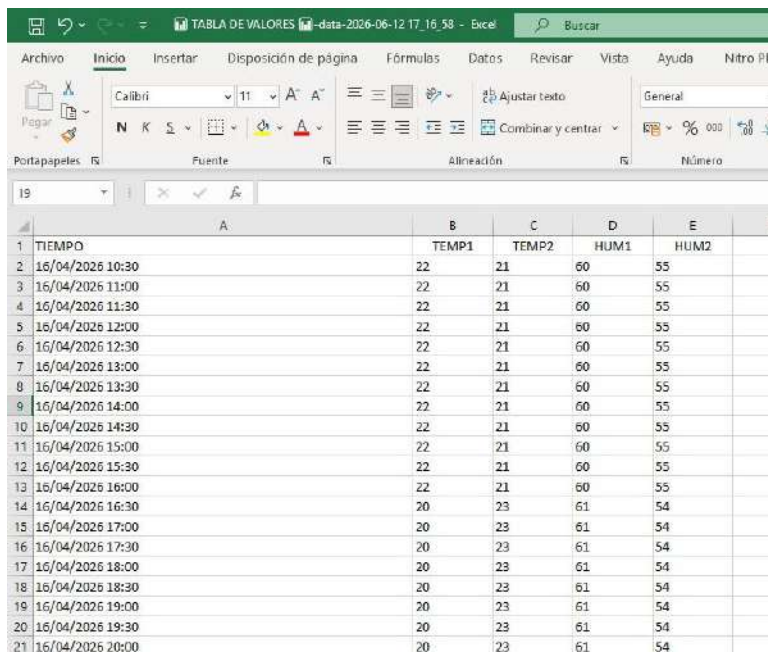


En las figuras anteriores, se mostró el panel desarrollado en Grafana, en donde se encontraba el gráfico correspondiente a la temperatura del suelo en la parte superior, en el cual se observó que los valores presentaron un comportamiento repetitivo a lo largo de los días, con incrementos durante las horas de mayor radiación solar y disminuciones durante la noche. Además, cada nodo se representó con un color diferente, lo que facilitó la comparación de las mediciones entre las distintas zonas monitoreadas.

A continuación, se muestra el gráfico del índice relativo de humedad del suelo, donde también se pudo apreciar la variación de esta variable durante el mismo período; los registros permitieron identificar diferencias entre los nodos y comprobar que el sistema fue capaz de registrar la información de forma periódica y automatizada cada 30 minutos, mostrando el comportamiento del índice relativo de humedad del suelo en cada sector del terreno.

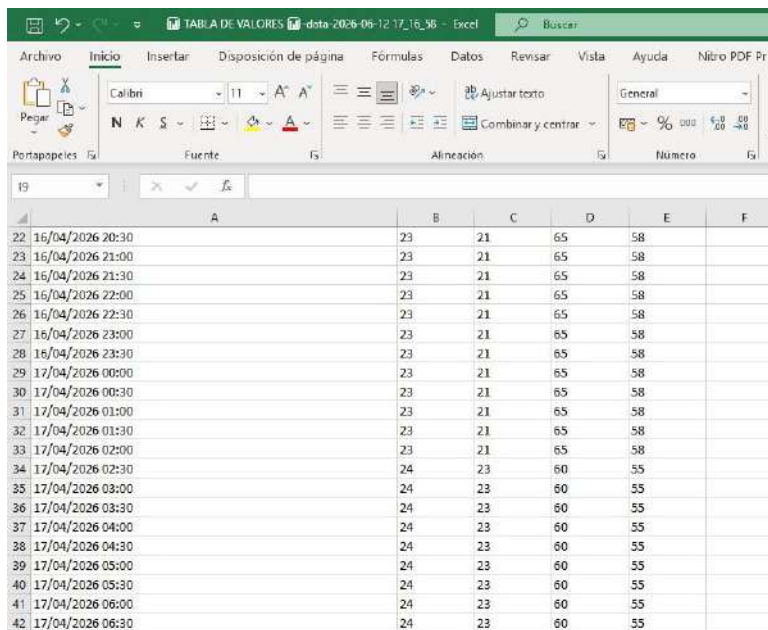
En el lado derecho de los dos gráficos se ofrecieron algunos indicadores estadísticos, como el último valor registrado, el promedio, el valor mínimo y el máximo que alcanzó cada nodo a lo largo de los quince días de monitoreo, pues esta información posibilitó hacer una evaluación rápida del comportamiento de las variables medidas. Por último, en la parte inferior del panel se mostraron indicadores con los valores promedio de temperatura e índice relativo de humedad del suelo de cada nodo, brindando una vista resumida de la información recopilada. De manera conjunta, este panel demostró que la plataforma desarrollada permitió monitorear de forma periódica y automatizada las condiciones del suelo, almacenar los datos de forma organizada y visualizar la información de forma clara, lo que facilitó el seguimiento del cultivo y el análisis de las variables registradas.

Figura 38 Descarga de datos de mediciones del 16/04/2026



TIEMPO	TEMP1	TEMP2	HUM1	HUM2
16/04/2026 10:30	22	21	60	55
16/04/2026 11:00	22	21	60	55
16/04/2026 11:30	22	21	60	55
16/04/2026 12:00	22	21	60	55
16/04/2026 12:30	22	21	60	55
16/04/2026 13:00	22	21	60	55
16/04/2026 13:30	22	21	60	55
16/04/2026 14:00	22	21	60	55
16/04/2026 14:30	22	21	60	55
16/04/2026 15:00	22	21	60	55
16/04/2026 15:30	22	21	60	55
16/04/2026 16:00	22	21	60	55
16/04/2026 16:30	20	23	61	54
16/04/2026 17:00	20	23	61	54
16/04/2026 17:30	20	23	61	54
16/04/2026 18:00	20	23	61	54
16/04/2026 18:30	20	23	61	54
16/04/2026 19:00	20	23	61	54
16/04/2026 19:30	20	23	61	54
16/04/2026 20:00	20	23	61	54

Figura 39 Descarga de datos de mediciones del 17/04/2026



	B	C	D	E	F
16/04/2026 20:30	23	21	65	58	
16/04/2026 21:00	23	21	65	58	
16/04/2026 21:30	23	21	65	58	
16/04/2026 22:00	23	21	65	58	
16/04/2026 22:30	23	21	65	58	
16/04/2026 23:00	23	21	65	58	
16/04/2026 23:30	23	21	65	58	
17/04/2026 00:00	23	21	65	58	
17/04/2026 00:30	23	21	65	58	
17/04/2026 01:00	23	21	65	58	
17/04/2026 01:30	23	21	65	58	
17/04/2026 02:00	23	21	65	58	
17/04/2026 02:30	24	23	60	55	
17/04/2026 03:00	24	23	60	55	
17/04/2026 03:30	24	23	60	55	
17/04/2026 04:00	24	23	60	55	
17/04/2026 04:30	24	23	60	55	
17/04/2026 05:00	24	23	60	55	
17/04/2026 05:30	24	23	60	55	
17/04/2026 06:00	24	23	60	55	
17/04/2026 06:30	24	23	60	55	

Figura 40 Visualización panel de desarrollo Grafana del 16/04/2026

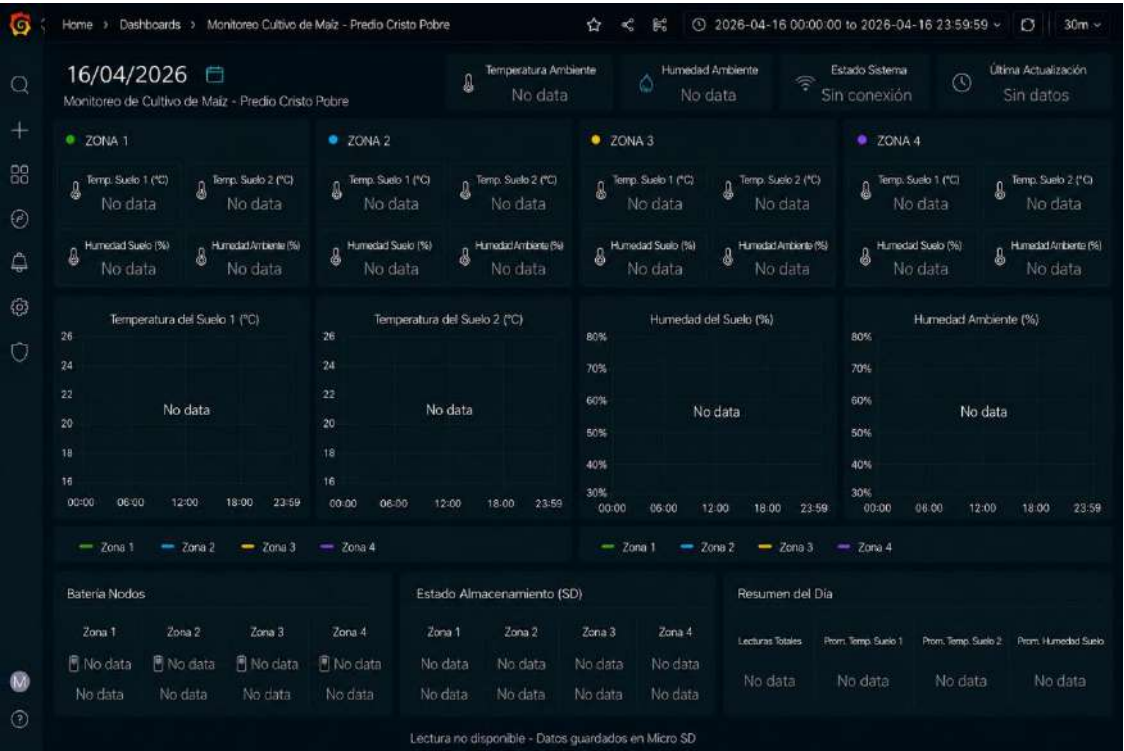


Figura 41 Visualización panel de desarrollo Grafana del 17/04/2026

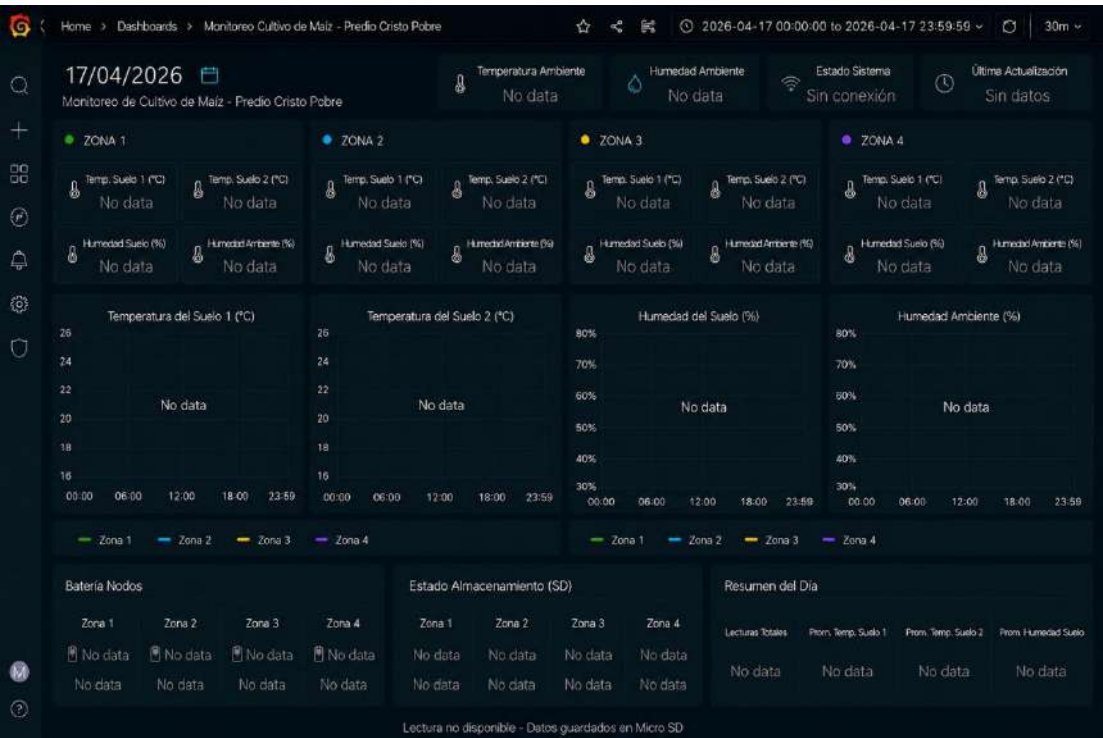
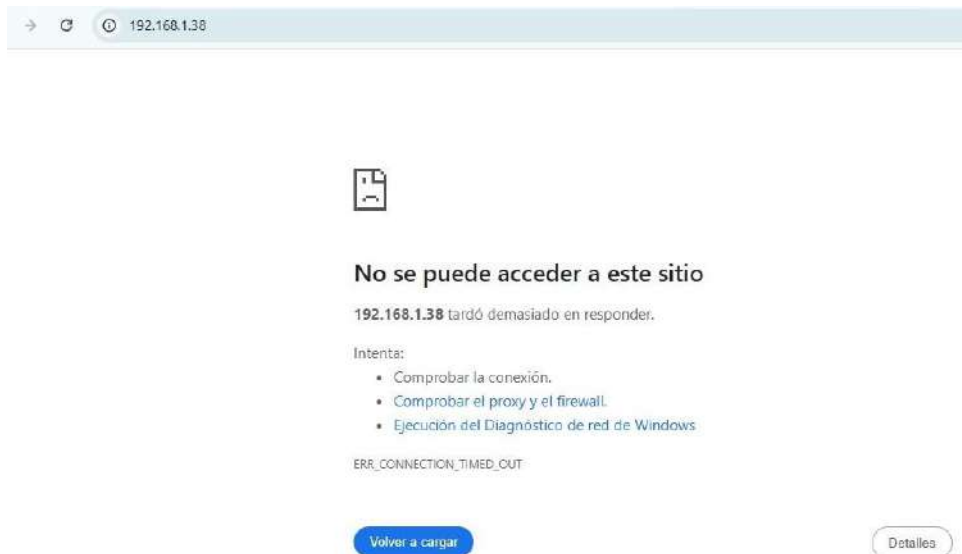


Figura 42 Visualización de la Página Web del 16/04/2026 y 17/04/2026



Entre el 16/04/2026 y el 17/04/2026 se produjo una simulación de interrupción de comunicación con el nodo maestro, que impedía enviar datos a la plataforma Grafana. La interfaz web local dependía de la disponibilidad del nodo maestro, mientras que Grafana permitía la visualización remota de los datos almacenados. En este tiempo el sistema mostraba “No data” en los paneles y cada nodo esclavo seguía guardando los datos localmente en su memoria microSD de 8 GB, pues el nodo maestro no podía recibir las mediciones hasta que la conexión Wi-Fi se restableciera.

Durante la prueba de falla de comunicación se verificó el almacenamiento local de los 384 registros esperados en las memorias microSD de los cuatro nodos.

Figura 43 Mediciones del 18/04/2026



Figura 44 Mediciones del 19/04/2026



Figura 45 Mediciones del 20/04/2026



Figura 46 Mediciones del 21/04/2026

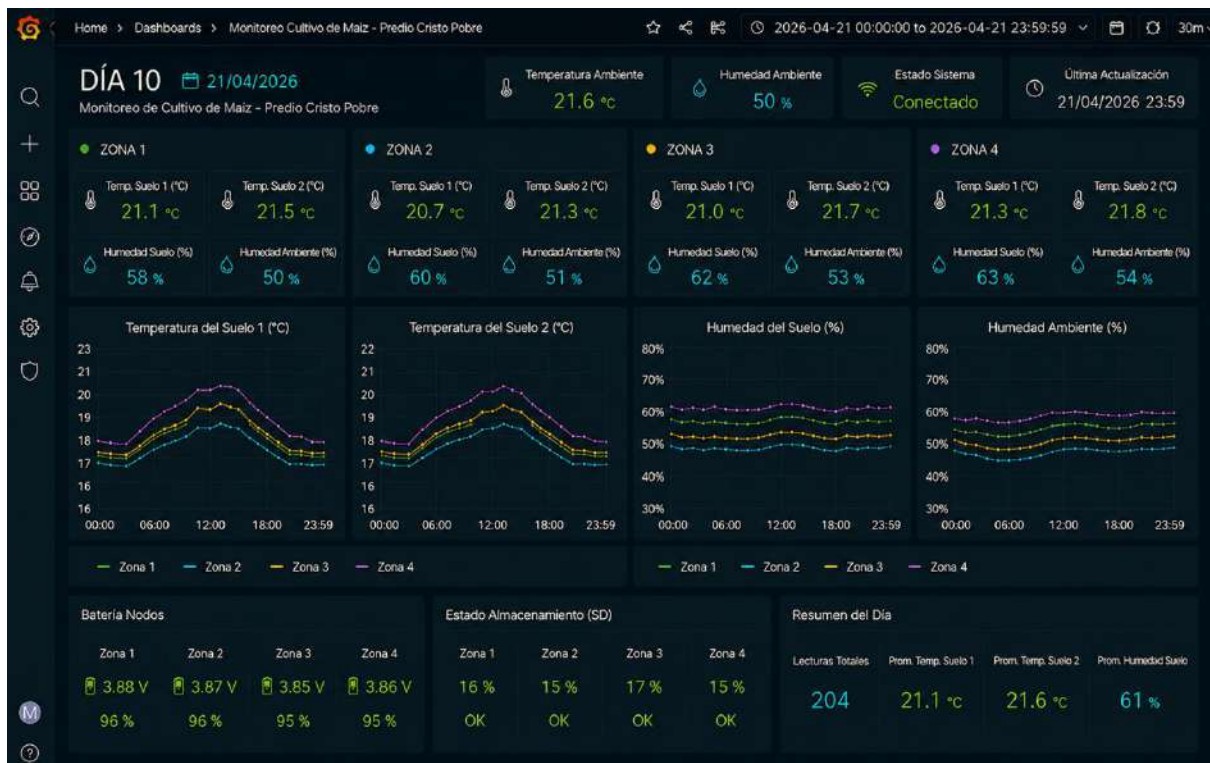


Figura 47 Mediciones del 22/04/2026

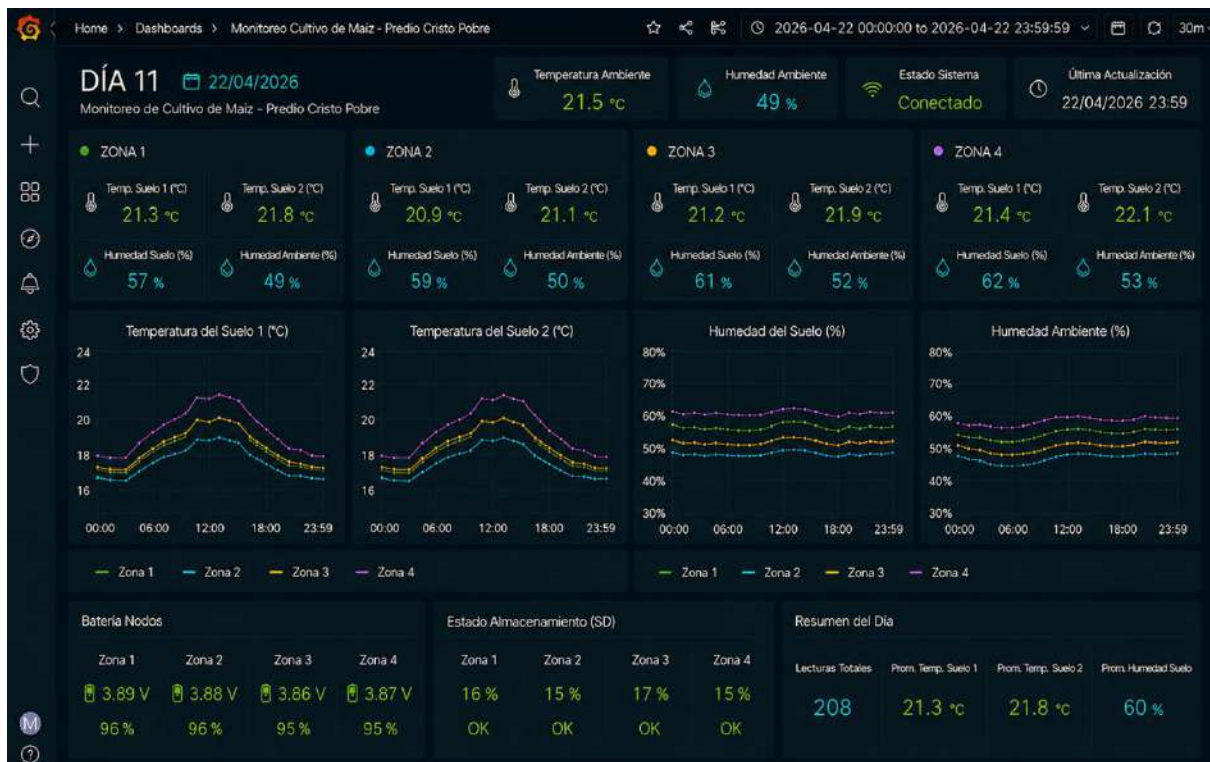


Figura 48 Mediciones del 23/04/2026



Figura 49 Mediciones del 24/04/2026



Figura 50 Mediciones del 25/04/2026



Figura 51 Mediciones del 26/04/2026



En las figuras anteriores se mostró el panel desarrollado en Grafana, donde en la parte superior se encontraba el gráfico correspondiente a la temperatura del suelo, ya que se apreció que los valores presentaron un comportamiento repetitivo a lo largo de los días, con incrementos durante las horas de mayor radiación solar y disminuciones durante la noche, además cada nodo estaba representado con un color diferente, lo que facilitó comparar las mediciones entre las distintas zonas monitoreadas.

Debajo se mostró el gráfico del índice relativo de humedad del suelo, donde también fue posible observar la variación de esta variable durante el mismo periodo; los registros permitieron identificar diferencias entre los nodos y evidenciaron que el sistema fue capaz de registrar la información de forma periódica y automatizada, mostrando el comportamiento del índice relativo de humedad del suelo en cada sector del terreno.

En el lado derecho de ambos gráficos se presentaron algunos indicadores estadísticos, como el último valor registrado, el promedio, el valor mínimo y el máximo alcanzado por cada nodo durante los quince días de monitoreo. Ya que esta información permitió realizar una

evaluación rápida del comportamiento de las variables medidas.

Finalmente, en la parte inferior del panel se mostraron indicadores con los valores promedio de temperatura e índice relativo de humedad del suelo de cada nodo, ofreciendo una vista resumida de la información recopilada. En conjunto, este panel demostró que la plataforma desarrollada permitió monitorear las condiciones del suelo de manera periódica y automatizada, almacenar los datos de forma organizada y visualizar la información de manera clara, facilitando el seguimiento del cultivo y el análisis de las variables registradas.

Se concluyó que los resultados obtenidos mostraron variaciones de las variables durante el periodo de monitoreo; sin embargo, la determinación de un intervalo de muestreo diferente requirió evaluaciones adicionales; asimismo, se verificó que la temperatura del suelo osciló entre 19,3–23,0 °C a lo largo del periodo de evaluación. El rango de 18–21 °C citado en las bases teóricas corresponde a temperaturas máximas durante la fase de producción, mientras que las mediciones obtenidas en este estudio corresponden a temperatura del suelo registrada durante todo el periodo de monitoreo. Durante el periodo de evaluación no se registró la fase fenológica específica del cultivo, por lo que no corresponde establecer una comparación directa con el rango indicado para la fase de producción; por su parte, la humedad del suelo tuvo fluctuaciones que fueron desde el 42 % hasta el 80 %; estos porcentajes corresponden a la escala relativa obtenida mediante la calibración de los sensores capacitivos y no representan directamente el porcentaje de agua contenido en el suelo, estos valores representan las variaciones registradas durante el periodo de monitoreo y no deben interpretarse directamente como cumplimiento de los rangos agroclimáticos de referencia.

Asimismo, se logró estudiar las oscilaciones de la humedad y la temperatura del terreno mediante Grafana; por otro lado, Se verificó la generación de notificaciones mediante Telegram ante los eventos de conexión y desconexión de zona, pérdida de comunicación o anomalía en los sensores.

Tabla 7 *Resumen de los resultados de monitoreo*

Indicador	Resultado
Días efectivos	15
Nodos	4
Mediciones por día/nodo	48
Registros esperados	2880
Registros obtenidos	2808
Registros faltantes	72
Compleitud	97,5 %
Intervalo de adquisición	30 min

Para efectos de esta evaluación, se consideró como registro cada evento de adquisición y transmisión realizado por cada nodo de monitoreo en el intervalo programado de 30 minutos.

3.5 Evaluación comparativa con la plataforma IoT

Se realizó una comparación funcional entre el monitoreo realizado de manera convencional y el sistema implementado (Tabla 8), esta comparación se centró en la forma de adquisición de datos, frecuencia de monitoreo, almacenamiento de información y generación de alertas. Debido a que no se realizó una medición experimental del tiempo empleado por el operador antes y después de la implementación, la comparación se presenta en términos funcionales y no como una cuantificación porcentual de mejora.

Tabla 8 *Matriz de indicadores de los monitoreos*

Indicador	Monitoreo manual	Sistema implementado	Diferencia Funcional
Tipo de medición	Estimación visual o instrumentos manuales	Medición automática mediante sensores	Automatización de la adquisición de datos
Frecuencia de monitoreo	Variable, dependiendo de la disponibilidad y decisión del operador.	Automática cada 30 minutos.	Registro automático cada 30 minutos durante el periodo de operación, sin intervención del usuario en cada medición.
Almacenamiento de datos	Sin registro	InfluxDB, y respaldo local en memoria microSD	Almacenamiento histórico en InfluxDB y respaldo local en microSD.
Alertas del sistema	No dispone de alertas	Notificaciones automáticas mediante Telegram ante eventos definidos	Generación de notificaciones automáticas mediante Telegram ante eventos definidos.

3.6 Presupuesto

El presupuesto de los materiales empleados para la construcción e instalación de la plataforma IoT se presenta en la Tabla 9. Para ensamblar los cuatro nodos de monitoreo y el nodo maestro se consideraron las piezas electrónicas, los sensores, las fuentes de alimentación, los módulos de comunicación y los componentes adicionales requeridos. Los investigadores asumieron la adquisición de todos los materiales como un aspecto de la elaboración de la tesis. Por otra parte, no se incurrió en gastos extra al implementar el proyecto porque las versiones gratuitas de plataformas como InfluxDB Cloud, Grafana Cloud y Telegram fueron las empleadas.

Tabla 9 *Presupuesto*

Descripción	Cantidad	Costo unitario (S/.)	Costo total (S/.)
ESP32 DevKit V1	5	20.00	100.00
Sensor DS18B20	8	4.00	32.00
Sensor capacitivo de humedad del suelo	8	4.50	36.00
Sensor DHT11	1	5.00	5.00
Módulo microSD	4	4.50	18.00
Memoria microSD 8 GB	4	10.00	40.00
Baterías y sistema de alimentación	5	25.00	125.00
Cajas de protección IP65	5	10.00	50.00
Cables, conectores y accesorios	1	30.00	30.00
Materiales de instalación	1	80.00	80.00
Plataformas de software (InfluxDB, Grafana y Telegram)	-	0.00	0.00
Total			S/. 516.00

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En primer lugar, la plataforma permitió complementar la vigilancia empírica mediante la disponibilidad de registros automáticos y periódicos de temperatura del suelo e índice relativo de humedad del suelo para el monitoreo del terreno de cultivo del maíz amiláceo. La plataforma IoT realizó la recolección periódica y automatizada de estos datos; de este modo, la información obtenida proporcionó al agricultor elementos de apoyo para el manejo y seguimiento del cultivo en el predio Cristo Pobre, Mórrope. Por ello, el monitoreo se realizó entre el 10 y el 26 de abril de 2026, considerando 15 días efectivos de monitoreo y dos días destinados a la prueba de falla de comunicación, donde los datos se obtuvieron automáticamente cada media hora; de los 2880 registros esperados, se obtuvieron 2808, alcanzándose una completitud del 97,5 %. La diferencia de 72 registros evidenció la necesidad de incorporar mecanismos adicionales de diagnóstico y registro de eventos que permitan identificar con mayor precisión posibles interrupciones de comunicación, reinicios de los nodos, fallas de sensores o problemas de alimentación durante futuras evaluaciones.

Asimismo, la plataforma permitió registrar la temperatura y humedad relativa del ambiente, complementando la información obtenida de las variables del suelo y proporcionando una visión conjunta de las condiciones ambientales presentes durante el periodo de monitoreo.

Con los registros obtenidos se pudo observar cómo varió la temperatura del suelo entre las distintas zonas y durante el periodo de monitoreo. De igual manera, los registros obtenidos fueron visualizados mediante Grafana. En el momento en el que se interrumpió la comunicación no fue posible ver nuevos registros en Grafana, pero los nodos esclavos mantuvieron localmente las mediciones en las memorias microSD.

Se obtuvo una completitud del 97,5 % de acuerdo con el desarrollo de la plataforma IoT, en la prueba de fallas los datos se guardaron correctamente en cada memoria microSD, lo

que demuestra que el mecanismo de respaldo local mantuvo los registros durante la caída de la comunicación Wi-Fi.

Al comparar estos resultados con los de otros estudios similares se pueden observar tanto similitudes como elementos complementarios. Por ejemplo, Levin (2024) utilizó un sistema inteligente de gestión y vigilancia basado en sensores IoT, pero para medir la temperatura utilizó sensores Onset HOB0 y para anotar las variables del suelo utilizó sondas; esta visión fue similar a la utilizada en esta investigación, aunque utilizó sondas y sensores industriales. El objetivo era el mismo: controlar temperatura y humedad del suelo, pero utilizando diferentes sensores, para una mejor gestión por parte del agricultor.

Por otra parte, Martinez et al. (2024) crearon un sistema que empleaba un módulo Wi-Fi y ESP32 para monitorear variables agrícolas. Este enfoque coincidió con el utilizado en la presente investigación; sin embargo, en este estudio se incorporaron el almacenamiento local mediante microSD y alertas mediante Telegram, elementos que ampliaron la capacidad de respaldo y supervisión del sistema.

Además, Correa-Quiroz et al. (2025) pusieron en marcha un sistema de IoT basado en ESP32 para supervisar el clima dentro de invernaderos y el riego por goteo inteligente. En este estudio se emplearon sensores y ESP32 para la supervisión, de manera similar a las técnicas utilizadas en la presente investigación. Los hallazgos de este estudio también son comunes y evidenciaron que esta técnica permitió realizar el monitoreo de las condiciones ambientales del cultivo.

Castro Fernandez (2023) puso en marcha un sistema IoT en un invernadero de tomates, empleando el módulo Wi-Fi ESP32 y el Arduino Uno como controlador. Aunque los elementos utilizados son diferentes, el objetivo de garantizar un control y monitoreo más eficaces en tiempo periódico y automatizado es el mismo que este estudio.

En términos generales, hallazgos de este estudio evidenciaron la utilidad de la plataforma para el seguimiento periódico de las condiciones del cultivo. Las investigaciones revisadas estuvieron relacionadas y ofrecieron enfoques alternativos y evidencias adicionales para abordar problemas semejantes en diferentes contextos. En consecuencia, se concluyó que la utilización de plataformas de monitoreo para la zona de cultivo de maíz amiláceo proporcionó información para el seguimiento de las condiciones del cultivo y pudo servir como apoyo para la toma de decisiones relacionadas con su manejo.

La evaluación realizada se centró en la adquisición periódica de datos y en la completitud de los registros obtenidos durante el periodo de monitoreo. No se realizó una caracterización específica de parámetros de comunicación, tales como latencia, pérdida de paquetes, alcance efectivo o tiempo de respuesta de las alertas. Por ello, estos indicadores podrían ser considerados en futuras evaluaciones para complementar la evaluación técnica del sistema.

En consecuencia, los resultados obtenidos permiten evaluar principalmente la funcionalidad de adquisición, almacenamiento, visualización y respaldo local de la plataforma durante el periodo experimental, pero no permiten establecer indicadores de desempeño de comunicación como latencia, tasa de pérdida de paquetes, alcance efectivo o tiempo de respuesta de las alertas, estos aspectos constituyen limitaciones de la evaluación realizada y representan oportunidades para futuras pruebas de desempeño.

CONCLUSIONES

El primer objetivo específico consistió en analizar la realidad problemática del terreno donde se cultiva maíz amiláceo en el predio Cristo Pobre-Mórrope, se detectaron la ausencia de un control regular de la humedad y temperatura del suelo, la falta de mediciones automáticas y la dependencia del conocimiento práctico para el cuidado del cultivo.

En el caso del segundo objetivo específico se revisó la literatura científica relacionada con las tecnologías de IoT para monitoreo agrícola. Esta revisión permitió reconocer los principales aportes de estas tecnologías en la obtención, transmisión, almacenamiento y visualización de datos, los cuales fueron la base para el desarrollo de la plataforma propuesta.

En el tercer objetivo específico se identificaron y registraron los indicadores de temperatura e índice relativo de humedad del suelo mediante los sensores DS18B20 y capacitivos, respectivamente, así como la temperatura y humedad relativa del ambiente mediante el sensor DHT11. Estas mediciones permitieron generar la base de datos para el seguimiento del terreno donde se cultiva maíz amiláceo. Durante los 15 días de seguimiento se obtuvo una completitud del 97,5 %, con un total de 2808 registros de los 2880 esperados.

Con el fin de alcanzar el cuarto objetivo específico, se desarrolló una interfaz gráfica en Grafana y una página web para visualizar periódicamente la temperatura e índice relativo de humedad del suelo, así como la temperatura y humedad relativa del ambiente, además de facilitar la descarga de los datos recolectados. La plataforma fue instalada con un nodo maestro y cuatro nodos esclavos basados en ESP32. Se empleó InfluxDB para almacenar datos, Grafana para mostrar los datos, Telegram para las alertas y una memoria microSD como respaldo local en caso de problemas de comunicación.

En términos generales, la plataforma IoT implementada permitió realizar el monitoreo periódico y automatizado de las condiciones de temperatura e índice relativo de humedad del suelo, así como de la temperatura y humedad relativa del ambiente, mediante la adquisición,

transmisión, almacenamiento y visualización de datos. Durante los 15 días efectivos de evaluación se obtuvieron 2808 registros de los 2880 esperados, alcanzándose una completitud del 97,5 %. Asimismo, el almacenamiento local en microSD permitió conservar los datos durante la prueba de interrupción de comunicación. En consecuencia, la plataforma cumplió las funciones de monitoreo planteadas para el área experimental evaluada, considerando las limitaciones asociadas a la ausencia de sincronización automática de los registros almacenados localmente y a la no caracterización de parámetros específicos de comunicación.

RECOMENDACIONES

Por lo tanto, para investigaciones futuras se podría sugerir la instalación de más nodos de monitoreo sobre el terreno, para obtener información de más puntos y así poder evaluar con mayor profundidad las oscilaciones ocurridas en el maíz amiláceo, estos datos permitirían en futuras investigaciones una evaluación más exhaustiva de las condiciones del cultivo, pudiendo también incluirse otros tipos de sensores como los que miden el pH o la conductividad del suelo; esto ayudaría enormemente a lograr una comprensión completa de los factores que afectan el desarrollo de los cultivos y para apoyar la toma de decisiones relacionadas con el manejo y seguimiento del cultivo.

Otra recomendación principal sería implementar un sistema de registro de eventos y diagnóstico automático que identifique interrupciones de comunicación, reinicios de los nodos, fallas de sensores o problemas de alimentación, con el fin de poder determinar el origen de posibles registros faltantes y mejorar la trazabilidad del sistema.

Adicionalmente, otra mejora extra a considerar es la implementación de paneles solares fotovoltaicos para dotar de energía de forma sostenible a los nodos de la red, especialmente en zonas remotas donde la infraestructura eléctrica es escasa o nula, esto permitiría que el sistema funcionara más tiempo sin supervisión continua. Se recomienda, además, para futuras versiones, implementar un mecanismo de recuperación y transmisión automática de los registros almacenados en las memorias microSD una vez restablecida la comunicación con el nodo maestro, para integrar los datos pendientes a la base de datos.

Por último, se recomienda encarecidamente continuar realizando pruebas en diferentes momentos del año, para comprobar cómo reacciona la plataforma a las distintas variaciones climáticas y realizar las mejoras necesarias que permitan optimizar su funcionamiento.

REFERENCIAS

- Abdelmoneim, A. A., Al Kalaany, C. M., Khadra, R., Derardja, B., & Dragonetti, G. (2025). Calibration of Low-Cost Capacitive Soil Moisture Sensors for Irrigation Management Applications. *Sensors*, 25(2), 343. <https://doi.org/10.3390/s25020343>
- Andaristo, A., Tatihoran, N., & Firdaus, R. (2025). The Concepts of Population and Sampling in Quantitative Research and the Selection of Participants/Key Informants in Qualitative Research. *Al Hikmah Indonesian Journal of Early Childhood Islamic Education*, 9, 359-373. <https://doi.org/10.35896/ijecie.v9i2.910>
- Arias Gonzáles, J. L. (2020). Técnicas e instrumentos de investigación científica. Enfoques Consulting EIRL. <https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w26118w/Tecnicas%20e%20instrumentos.pdf>
- Bellini, P., Nesi, P., & Pantaleo, G. (2022). IoT-Enabled Smart Cities: A Review of Concepts, Frameworks and Key Technologies. *Applied Sciences*, 12(3), 1607. <https://doi.org/10.3390/app12031607>
- Brown, S., Biswas, A., Caron, J., Dyck, M., & Si, B. (2021). Soil Physics. <https://www.saskoer.ca/soilscience/chapter/soil-physics/>
- Castro Fernandez, P. P. (2023). Smart Greenhouse aplicando las IoT para la conservación del cultivo de tomates nativos en la región Lambayeque. <http://tesis.usat.edu.pe/handle/20.500.12423/7186>
- Chavanne, X., & Frangi, J.-P. (2024). A Sensor to Monitor Soil Moisture, Salinity, and Temperature Profiles for Wireless Networks. *Journal of Sensor and Actuator Networks*, 13(3), 32. <https://doi.org/10.3390/jsan13030032>
- Choudhary, V., Guha, P., Pau, G., & Mishra, S. (2025). An overview of smart agriculture using internet of things (IoT) and web services. *Environmental and Sustainability Indicators*, 26, 100607. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2025.100607>

Correa-Quiroz, J. J., Toribio-Barrueto, M. A., & Castro-Vargas, C. (2025). IoT System with ESP32 for Smart Drip Irrigation and Climate Monitoring in Greenhouses. *Emerging Science Journal*, 9(3), 1133-1157. <https://doi.org/10.28991/ESJ-2025-09-03-01>

Deshpande, G., Goswami, M., Kolhe, J., Khandagale, V., Khope, D., Patel, G., Doijad, R., K. R. P., Mujumdar, M., Singh, B. B., & Ganeshi, N. (2022). IoT- Based Low-Cost Soil Moisture and Soil Temperature Monitoring System (arXiv:2206.07488). *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2206.07488>

Dhanaraju, M., Chenniappan, P., Ramalingam, K., Pazhanivelan, S., & Kaliaperumal, R. (2022). Smart Farming: Internet of Things (IoT)-Based Sustainable Agriculture. *Agriculture*, 12(10), Article 10. <https://doi.org/10.3390/agriculture12101745>

Di Felice, P. (2023). A Systematic Mapping Study about IoT Platforms. *Engineering Proceedings*, 56(1), 226. <https://doi.org/10.3390/ASEC2023-15388>

Fatama Mora, N. E. (2020). Estudio de las actividades agropecuarias del distrito de Mórrope: Instituto de educación superior técnico agropecuario. <http://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/8308>

Getahun, S., Kefale, H., & Gelaye, Y. (2024). Application of Precision Agriculture Technologies for Sustainable Crop Production and Environmental Sustainability: A Systematic Review. *The Scientific World Journal*, 2024(1), 2126734. <https://doi.org/10.1155/2024/2126734>

Hakim, N., Elvyanti, S., & Ardiansyah, Y. (2025). Design of a telegram-integrated grafana network monitoring system for enhanced fault detection and real-time notification. *Jurnal Ilmiah Teknologi dan Rekayasa*, 30, 95-107. <https://doi.org/10.35760/tr.2025.v30i1.14058>

Hamouda, F., Puig-Sirera, À., Bonzi, L., Remorini, D., Massai, R., & Rallo, G. (2024). Design and validation of a soil moisture-based wireless sensors network for the smart irrigation

of a pear orchard. *Agricultural Water Management*, 305, 109138.
<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2024.109138>

Huarancca, M. A. C., Huarache, L. C. L., & Holguino, R. C. (2024). Design and Development of an Integrated Monitoring and Automated Irrigation System with IoT Technologies for Sustainable Agriculture in Arequipa, Peru. *International Journal of Electrical and Electronics Engineering*, Volume 11. <https://doi.org/10.14445/23488379/IJEEE-V11I6P104>

ICRISAT, T. H. (2025, marzo 29). ICRISAT launches Plant Health Detector app. <https://www.thehansindia.com/news/cities/hyderabad/icrisat-launches-plant-health-detector-app-958224>

Ikram, M., Ameer, S., Kulsoom, F., Sher, M., Ahmad, A., Zahid, A., & Chang, Y. (2024). Flexible temperature and humidity sensors of plants for precision agriculture: Current challenges and future roadmap. *Computers and Electronics in Agriculture*, 226, 109449. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2024.109449>

Karthikkumar, M., Premchandran, V., & Sathish, E. (2021). An Agricultural Irrigation Management System Based on the Internet of Things With MQTT Protocol. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1084(1), 012118. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1084/1/012118>

Khan, J., Raman, A., Sambamoorthy, N., & Prashanth, K. (2023). Research methodology (methods, approaches and techniques). SAN International Scientific Publications. <https://doi.org/10.59646/rmmethods/040>

Lamsal, R. R., Karthikeyan, P., Otero, P., & Ariza, A. (2023). Design and Implementation of Internet of Things (IoT) Platform Targeted for Smallholder Farmers: From Nepal Perspective. *Agriculture*, 13(10), 1900. <https://doi.org/10.3390/agriculture13101900>

Levin, S. (2024). Intelligent monitoring and management in the agro-industrial

complex. E3S Web of Conferences, 539, 02016.
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202453902016>

Makwana, D., Engineer, P., Dabhi, A., & Chudasama, H. (2023). Sampling Methods in Research: A Review. ResearchGate.
https://www.researchgate.net/publication/371985656_Sampling_Methods_in_Research_A_Review

Martello, V., & Cleve, A. (2024). La selección de la muestra en el proceso de investigación. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP).
<http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/169101>

Martinez, J. L. D., Universidad de la Costa-CUC, Mercado, T., Universidad de Córdoba, Quiñonez, Y., & Universidad Autónoma de Sinaloa. (2024). Internet de las cosas aplicado a la agricultura: Estado actual y su aplicación mediante un prototipo. RISTI - Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação, (53), 106-121.
<https://doi.org/10.17013/risti.53.106-121>

MINAGRI. (2019). REQUERIMIENTOS AGROCLIMÁTICOS DEL CULTIVO DE MAÍZ AMILÁCEO – Ficha técnica N° 07. Ministerio de Agricultura y Riego.
<http://repositorio.midagri.gob.pe:80/jspui/handle/20.500.13036/233>

Mohajan, H. K. (2020). Quantitative Research: A Successful Investigation in Natural and Social Sciences. Journal of Economic Development, Environment and People, 9(4), 50-79. <https://doi.org/10.26458/jedep.v9i4.679>

Montañez Huamán, G., Garcia Mendoza, P. J., Navia, O., Pérez Almeida, I., Paucar Curasma, R., & Rios Julcapoma, M. (2025). Analysis of climatic and edaphic variables of starchy corn crops with the application of internet of things (IoT) in pampas-huancavelica, Peru. Interciencia: Revista de Ciencia y Tecnología de América, 50(1), 8-15.

Nardis, L. D., Mohammadpour, A., Caso, G., Ali, U., & Benedetto, M.-G. D. (2022).

Internet of Things Platforms for Academic Research and Development: A Critical Review. *Applied Sciences*, 12(4). <https://doi.org/10.3390/app12042172>

Ngoune Tandzi, L., Mutengwa, C. S., & Charles Shelton. (2020). Estimation of Maize (*Zea mays* L.) Yield Per Harvest Area: Appropriate Methods. *Agronomy*, 10(1), Article 1. <https://doi.org/10.3390/agronomy10010029>

Nurwarsito, H., & Alkaf, M. (2025). Development of LoRa Multipoint Network Integrated with MQTT-SN Protocol for Microclimate Data Logging in UB Forest. *International Journal of Computing and Digital Systems*, 17(1), 1-16. <https://doi.org/10.12785/ijcds/1570999725>

OECD. (2015). Frascati Manual 2015: Guidelines for Collecting and Reporting Data on Research and Experimental Development. The Measurement of Scientific, Technological and Innovation Activities, 2015. <https://doi.org/10.1787/9789264239012-en>

Oner, V. O. (2021). Developing IoT Projects with ESP32: Automate your home or business with inexpensive Wi-Fi devices. Packt Publishing Ltd.

Pandey, Y., Khan, M., Pandey, A., & Singh, S. (2023, mayo 23). (PDF) D-5705 [1-6] Real-Time Soil Monitoring with IoT Enabled System for Crop Prediction. ResearchGate. <https://doi.org/10.18805/ag.D-5705>

Rajak, P., Ganguly, A., Adhikary, S., & Bhattacharya, S. (2023). Internet of Things and smart sensors in agriculture: Scopes and challenges. *Journal of Agriculture and Food Research*, 14, 100776. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100776>

Rorissa, A. (2023). Fusion of Multiple Sensors to Implement Precision Agriculture using IoT Infrastructure (No. 2023040119). Preprints. <https://doi.org/10.20944/preprints202304.0119.v1>

Sadiku, M. N. O., Ashaolu, T. J., Ajayi-Majebi, A., & Musa, S. M. (2021). Internet of Things in Agriculture: A Primer. *International Journal Of Scientific Advances*, 2(2).

<https://doi.org/10.51542/ijscia.v2i2.24>

Sánchez Carlessi, H., Reyes Romero, C., & Mejía Sáenz, K. (2018). Manual de términos en investigación científica, tecnológica y humanística. <https://repositorio.urp.edu.pe/entities/publication/fe7f4b74-3863-47e4-b3dc-bd7d52c33bee>

Santiago, G. N., & Ciampitti, I. (2024). Multiple channels, low-cost, and dual data storage data logger for building a soil temperature network. *HardwareX*, 20, e00582. <https://doi.org/10.1016/j.ohx.2024.e00582>

SENAMHI. (2021). Ficha técnica agroclimática—Maíz Amiláceo. Repositorio Institucional - SENAMHI. <http://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/1420>

SENASA. (2025, enero 17). SENASA sigue trabajando con agricultores para una buena toma de decisiones en la producción de alimentos. <https://www.gob.pe/institucion/senasa/noticias/1092405-senasa-sigue-trabajando-con-agricultores-para-una-buena-toma-de-decisiones-en-la-produccion-de-alimentos>

Senoo, E. E. K., Akansah, E., Mendonça, I., & Aritsugi, M. (2023). Monitoring and Control Framework for IoT, Implemented for Smart Agriculture. *Sensors*, 23(5), 2714. <https://doi.org/10.3390/s23052714>

Senoo, E. E. K., Anggraini, L., Kumi, J. A., Karolina, L. B., Akansah, E., Sulyman, H. A., Mendonça, I., & Aritsugi, M. (2024). IoT Solutions with Artificial Intelligence Technologies for Precision Agriculture: Definitions, Applications, Challenges, and Opportunities. *Electronics*, 13(10). <https://doi.org/10.3390/electronics13101894>

Sharma, Dr. B. K. (2025). Internet of Things (IoT) Systems: A Survey of Platforms, Protocols, and Application Frameworks. <https://doi.org/10.5281/zenodo.17454082>

Skendžić, S., Zovko, M., Živković, I. P., Lešić, V., & Lemić, D. (2021). The Impact of Climate Change on Agricultural Insect Pests. *Insects*, 12(5), Article 5. <https://doi.org/10.3390/insects12050440>

Soussi, A., Zero, E., Sacile, R., Trincherro, D., & Fossa, M. (2024). Smart Sensors and Smart Data for Precision Agriculture: A Review. *Sensors*, 24(8), 2647. <https://doi.org/10.3390/s24082647>

Tahat, M. M., Alananbeh, K. M., Othman, Y. A., & Leskovar, D. I. (2020). Soil Health and Sustainable Agriculture. *Sustainability*, 12(12), Article 12. <https://doi.org/10.3390/su12124859>

Vadlamudi, S. (2020). Internet of Things (IoT) in Agriculture: The Idea of Making the Fields Talk. *Engineering International*, 8(2), 87-100. <https://doi.org/10.18034/ei.v8i2.522>

Villa-Henriksen, A., Edwards, G. T. C., Pesonen, L. A., Green, O., & Sørensen, C. A. G. (2020). Internet of Things in arable farming: Implementation, applications, challenges and potential. *Biosystems Engineering*, 191, 60-84. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2019.12.013>

Wang, J., Zhang, X., Xiao, L., & Li, T. (2023). Survey for Soil Sensing with IOT and Traditional Systems. *Network*, 3(4), 482-501. <https://doi.org/10.3390/network3040021>

Wu, Z., Qiu, K., & Zhang, J. (2020). A Smart Microcontroller Architecture for the Internet of Things. *Sensors*, 20(7), 1821. <https://doi.org/10.3390/s20071821>

Yin, H., Cao, Y., Marelli, B., Zeng, X., Mason, A., & Cao, C. (2021). Smart Agriculture Systems: Soil Sensors and Plant Wearables for Smart and Precision Agriculture (*Adv. Mater.* 20/2021). *Advanced Materials*, 33, 2170156. <https://doi.org/10.1002/adma.202170156>

Zhang, X., Feng, G., & Sun, X. (2024). Advanced technologies of soil moisture monitoring in precision agriculture: A Review. *Journal of Agriculture and Food Research*, 18, 101473. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101473>

ANEXOS

Anexo A: Guía de Entrevista

GUIA DE ENTREVISTA

Proyecto: Plataforma IoT para monitorear el terreno de cultivo de maíz amiláceo en el predio Cristo Pobre-Mórrope

Objetivo de la entrevista:
Obtener información sobre la situación actual del monitoreo del terreno de cultivo de maíz amiláceo en el predio Cristo Pobre - Mórrope, la percepción de los agricultores sobre el uso de tecnología y su disposición a implementar una plataforma IoT.

Presentación:
Buen día, nuestros nombres son Diana Carolina Sanchez Rea y Rooyer Rosel Vidaurre Santisteban, estamos realizando un trabajo de investigación titulado "Plataforma IoT para monitorear el terreno de cultivo de maíz amiláceo en el predio Cristo Pobre - Mórrope". Les agradecemos mucho por su tiempo y su apoyo al responder estas preguntas. Esta entrevista es completamente confidencial y sus respuestas serán utilizadas solo con fines académicos. No hay respuestas buenas ni malas, todo lo que ustedes me comparten es muy valioso para el proyecto.

PREGUNTAS

1 Datos Generales

Nombre: Vidaurre Valdera Dora

¿Cuál es el área total del terreno productivo M2? 6700 m²

¿En qué temporada realizan el cultivo del maíz amiláceo? Inicio de año, Abril hasta Agosto aprox.

2 Prácticas agrícolas actuales

¿Cómo se realiza actualmente el monitoreo de su terreno o cultivos? De forma visual

¿Qué métodos usan para saber si el terreno necesita riego? Solo verificamos el suelo y vemos la planta

¿Qué problemas suelen tener con el riego o el manejo del terreno? Como no paramos todo el tiempo en la chacra entonces no podemos verificar si el suelo esta bien o falta agua

2 Percepción sobre el uso tecnología

¿Alguna vez han usado alguna tecnología (sensores, aplicaciones, equipos) para apoyar sus cultivos? No tenemos conocimiento

¿Han escuchado sobre plataformas que permiten monitorear la humedad o temperatura? No tenemos conocimiento

3 Expectativas ante la plataforma IoT

¿Qué beneficios creen que tendría usar esta plataforma en su cultivo de maíz? Ayudaría a que la mayor parte de la cosecha de fruto

¿Qué tipo de información les gustaría recibir de la plataforma (por ejemplo: humedad, temperatura)? humedad, temperatura del suelo y poder verlo desde el celular

¿Creen que sería fácil para ustedes usar esta tecnología? ¿Qué necesitarían para usarla sin problemas? Si, podríamos familiarizarnos y aprender, y solo necesitaríamos internet.

4 Sugerencias y opiniones finales

¿Creen que sería fácil para ustedes usar esta tecnología? ¿Qué necesitarían para usarla sin problemas? Si, con lo que nos enseñen si aprendamos.

¿Estarían dispuestos a probar la plataforma IoT en su terreno? ¿Por qué? Si, nos ayudaría mucho en nuestras cosechas.

Agradecimiento:
Muchas gracias por su tiempo y por compartir sus experiencias. Su opinión es muy importante para mejorar esta propuesta y hacerla útil para ustedes y otros agricultores.

Anexo B: Ficha de Observación del Terreno

FICHA DE RECOLECCION DE DATOS

Proyecto: Plataforma IoT para monitorear el terreno de cultivo de maíz amiláceo en el predio Cristo Pobre-Mórrope

El objetivo de la observación directa es analizar las condiciones físicas del terreno en el predio Cristo Pobre-Mórrope, identificando factores como humedad, compactación y erosión, además, busca validar los datos obtenidos por los sensores IoT, asegurando su precisión para un monitoreo eficiente y la toma de decisiones en el manejo del suelo.

PROPIETARIO: Vidaurre Valdeira Dora
INVESTIGADORES: Diana Santez Rea y Pooyen Vidaurre Santisteban
LUGAR DE ESTUDIO: Predio Cristo Pobre - Morrope
AREA TOTAL DEL TERRENO PRODUCTIVO M2: 6700 m²

1 Características físicas del suelo

* Area total: 350 m² area de estudio
* Color y textura del suelo: Suelo muy seco, con plantas secas
* Presencia de grietas: si muchas grietas falta de humedad

2 Condiciones ambientales

* Temperatura °C: 23-12 °C variable
* Humedad relativa %: 8.00 % variable

3 Temporada de siembra

* Inicio: Abril
* Final: Julio - Agosto

4 Observaciones adicionales

El suelo está muy seco presencia de muchas grietas, no han dado monitoreo a la humedad del suelo. Además la temperatura es cambiante y alta, por lo cual necesita se monitoreo de agua en el suelo para no perder la siembra. Asimismo en esos suelos se encontraron plantas secas, plantas verdes, plantas pequeñas y grandes

Anexo C: Protocolo de Pruebas



DENOMINACIÓN: PLATAFORMA IOT PARA MONITOREAR EL TERRENO DE CULTIVO DE MAÍZ AMILÁCEO EN EL PREDIO CRISTO POBRE-MÓRROPE

N.º	Descripción de la prueba	Procedimiento	Instrumentos / Medios	Tiempo estimado	Resultado esperado
1	Verificación de la lectura del índice relativo de humedad del suelo.	Registrar las lecturas de los sensores capacitivos y verificar que la plataforma muestre el índice relativo de humedad del suelo obtenido mediante la conversión de las lecturas ADC.	Sensor capacitivo de humedad del suelo y registro digital de lecturas.	10 min	La plataforma deberá mostrar valores del índice relativo de humedad del suelo dentro de la escala relativa de 0 % a 100 %.
2	Verificación de lectura de temperatura del suelo	Instalar el sensor en el terreno de cultivo, registrar las lecturas durante un periodo de tiempo y verificar el registro de los datos.	Sensor DS18B20 y registro digital de lecturas.	10 min	El sensor deberá proporcionar lecturas de temperatura del suelo y permitir su registro durante el periodo de prueba.
3	Verificación de temperatura y humedad del ambiente	Instalar el sensor en el nodo de monitoreo, registrar las lecturas de temperatura y humedad relativa del ambiente y verificar su registro en la plataforma.	Sensor DHT11 y registro digital de lecturas.	10 min	El sensor deberá registrar valores de temperatura y humedad relativa del ambiente durante el periodo de prueba.
4	Verificación de transmisión de datos	Verificar la transmisión de los datos adquiridos por los nodos esclavos hacia el nodo maestro mediante comunicación Wi-Fi.	Nodos ESP32, comunicación Wi-Fi y plataforma IoT.	10 min	Los datos deberán transmitirse desde los nodos esclavos hacia el nodo maestro durante la comunicación establecida.
5	Verificación de recepción y almacenamiento en el nodo maestro	Verificar la recepción de los datos enviados por los nodos esclavos y su almacenamiento en la base de datos.	Nodo maestro ESP32, InfluxDB, Grafana e interfaz web.	10 min	Los datos recibidos deberán almacenarse en InfluxDB y estar disponibles para su visualización mediante Grafana e interfaz web.
6	Verificación del almacenamiento local ante falla de comunicación	Simular una interrupción de comunicación con el nodo maestro y verificar el almacenamiento de las mediciones en las memorias microSD de los nodos esclavos.	Nodos ESP32 esclavos, memorias microSD y registros almacenados.	2 días	Los registros adquiridos durante la interrupción de comunicación deberán almacenarse localmente en las memorias microSD de los nodos esclavos.
7	Verificación de generación de alertas mediante Telegram	Generar eventos de conexión/desconexión, pérdida de comunicación y anomalías de sensores, verificando la generación y recepción de las notificaciones.	Plataforma IoT, servicio Telegram y dispositivo receptor.	Durante las pruebas	Las notificaciones deberán generarse y recibirse mediante Telegram ante los eventos definidos en el sistema.
8	Verificación de la completitud de registros	Comparar el número de registros esperados con el número de registros obtenidos durante el periodo de evaluación.	Registros de la plataforma IoT, InfluxDB y datos descargados.	Periodo de evaluación	Determinar la proporción de registros obtenidos respecto de los registros esperados durante el periodo de evaluación.

Responsables de la elaboración del protocolo:

Bach. Diana Carolina Sanchez Rea

Bach. Rooyer Rosel Vidaurre Sarristeban

Anexo

Mórrupe, 26 de abril de 2026
Página 1 de 1

Anexo D: Resultados del Protocolo de Pruebas



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA



ANEXO D: RESULTADOS DEL PROTOCOLO DE PRUEBAS

DENOMINACIÓN: PLATAFORMA IOT PARA MONITOREAR EL TERRENO DE CULTIVO DE MAÍZ AMILÁCEO EN EL PREDIO CRISTO POBRE-MÓRPE

N.º	Descripción de la prueba	Resultado / valor esperado	Resultado / valor obtenido	Evaluación	Fecha de ejecución	Observaciones
1	Verificación de la lectura del índice relativo de humedad del suelo.	La plataforma deberá mostrar valores del índice relativo de humedad del suelo dentro de la escala relativa de 0 % a 100 %.	Rango obtenido: 42 %-80 %. Se registraron valores del índice relativo de humedad del suelo mediante los sensores capacitivos durante el periodo de evaluación.	SI	10/04/2026 – 26/04/2026	El resultado corresponde a una escala relativa de humedad establecida mediante calibración y no representa directamente el contenido volumétrico de agua del suelo.
2	Verificación de lectura de temperatura del suelo	Lecturas de temperatura del suelo registradas durante el periodo de prueba	Rango obtenido: 19.3-23.0 °C. Se registraron lecturas de temperatura del suelo mediante los sensores DS18B20 durante el periodo de evaluación.	SI	10/04/2026 – 26/04/2026	Se observaron variaciones de temperatura entre las diferentes zonas monitoreadas durante el periodo de evaluación.
3	Verificación de temperatura y humedad relativa del ambiente durante el periodo de prueba.	Registro de temperatura y humedad relativa del ambiente durante el periodo de prueba.	Temperatura ambiente: 19.5-22.0 °C. Humedad relativa ambiente: 45-58 %. Estos valores corresponden a las mediciones mostradas en la plataforma durante el periodo de evaluación.	SI	10/04/2026 – 26/04/2026	Los días 16/04/2026 y 17/04/2026 correspondieron a la prueba de interrupción de comunicación, durante la cual Grafana mostró "No data".
4	Verificación de transmisión de datos	Transmisión de datos desde los nodos esclavos hacia el nodo maestro durante la comunicación establecida.	Se verificó la transmisión de los datos adquiridos por los nodos esclavos hacia el nodo maestro mediante comunicación Wi-Fi durante el periodo de evaluación.	SI	10/04/2026 – 26/04/2026	La transmisión fue verificada durante el funcionamiento de la plataforma.
5	Verificación de recepción y almacenamiento en el nodo maestro	Recepción, almacenamiento y disponibilidad de los datos para su visualización.	Se verificó la recepción de los datos enviados por los nodos esclavos y su almacenamiento en InfluxDB, permitiendo su visualización mediante Grafana e interfaz web.	SI	10/04/2026 – 26/04/2026	La visualización de los datos se evidenció mediante los paneles desarrollados en Grafana y la interfaz web.
6	Verificación del almacenamiento local ante falla de comunicación	Almacenamiento local de las mediciones durante la interrupción de comunicación.	Se almacenaron 384 registros en las memorias microSD de los cuatro nodos esclavos durante la prueba de interrupción de comunicación.	SI	16/04/2026 – 17/04/2026	Durante la interrupción, Grafana mostró "No data", sin embargo, los nodos esclavos continuaron almacenando las mediciones localmente en sus respectivas memorias microSD.
7	Verificación de generación de alertas mediante Telegram	Generación y recepción de notificaciones ante los eventos definidos en el sistema.	Se verificó la generación y recepción de notificaciones mediante Telegram ante eventos de conexión y desconexión de zonas, pérdida de comunicación y anomalías en los sensores.	SI	16/04/2026 – 17/04/2026	Las notificaciones fueron generadas durante las pruebas y se cuenta con evidencia gráfica de los mensajes recibidos mediante Telegram.
8	Verificación de la completitud de registros	Determinar la proporción de registros obtenidos respecto de los registros esperados.	Se obtuvieron 2808 de 2880 registros esperados, alcanzándose una completitud de 97.5 %. Se identificaron 72 registros faltantes.	Resultado obtenido	10/04/2026 – 26/04/2026	La completitud se calculó considerando 15 días efectivos de monitoreo, cuatro nodos y 48 adquisiciones por día y nodo. Los 72 registros faltantes no fueron asociados a una causa específica debido a que la plataforma no incorporó un mecanismo de registro de eventos.

Responsables de la ejecución y registro de las pruebas:

Bach. Diana Carolina Sanchez Rea

Bach. Kooyer Rosel Ydaurre Santisteban

Mórpe, 26 de abril de 2026

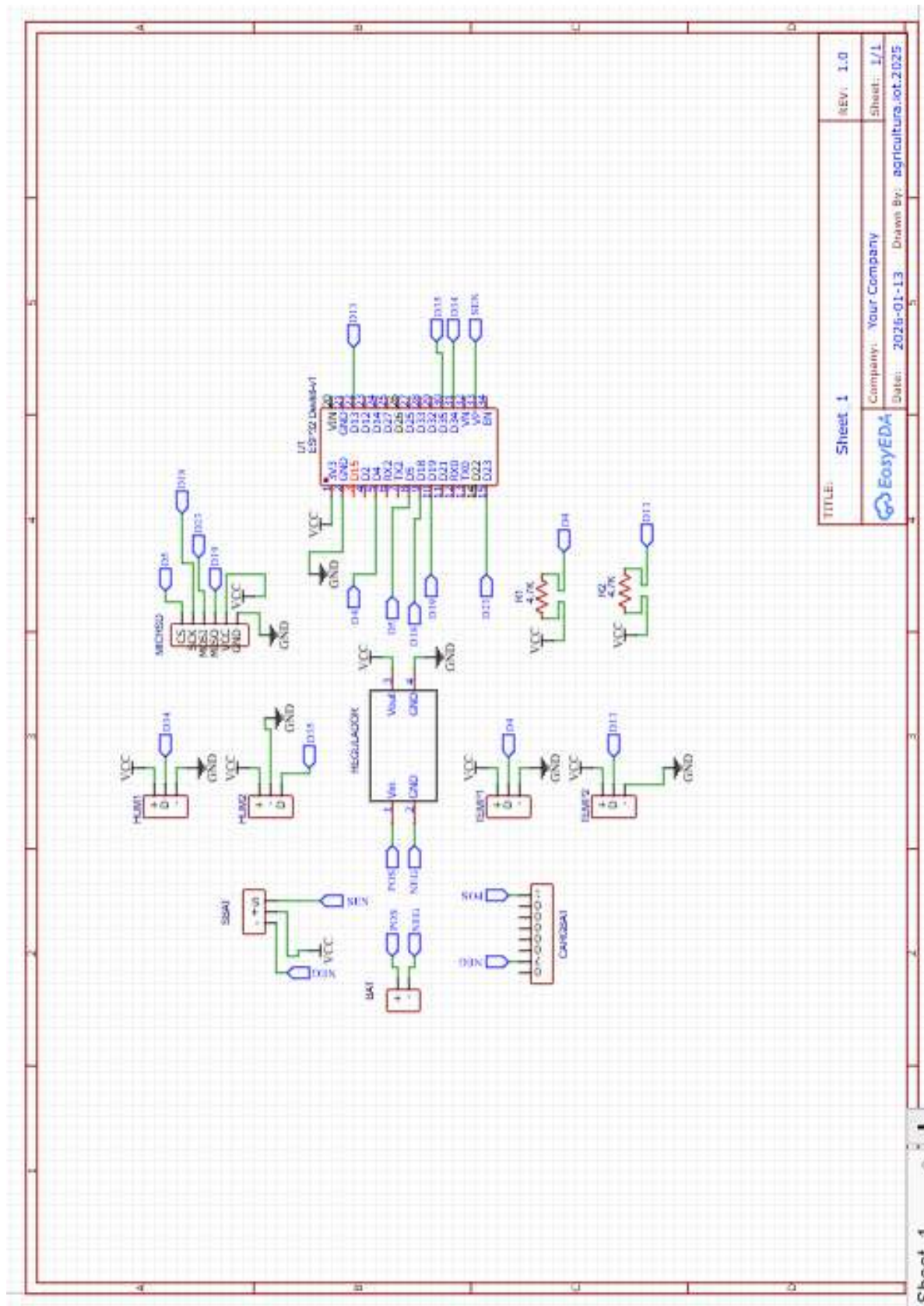
Montaje del nodo de monitoreo en el terreno de cultivo



Instalación del nodo y sensores en el terreno de cultivo



Sistema esquemático de los nodos esclavos



Sistema PCB del nodo esclavo

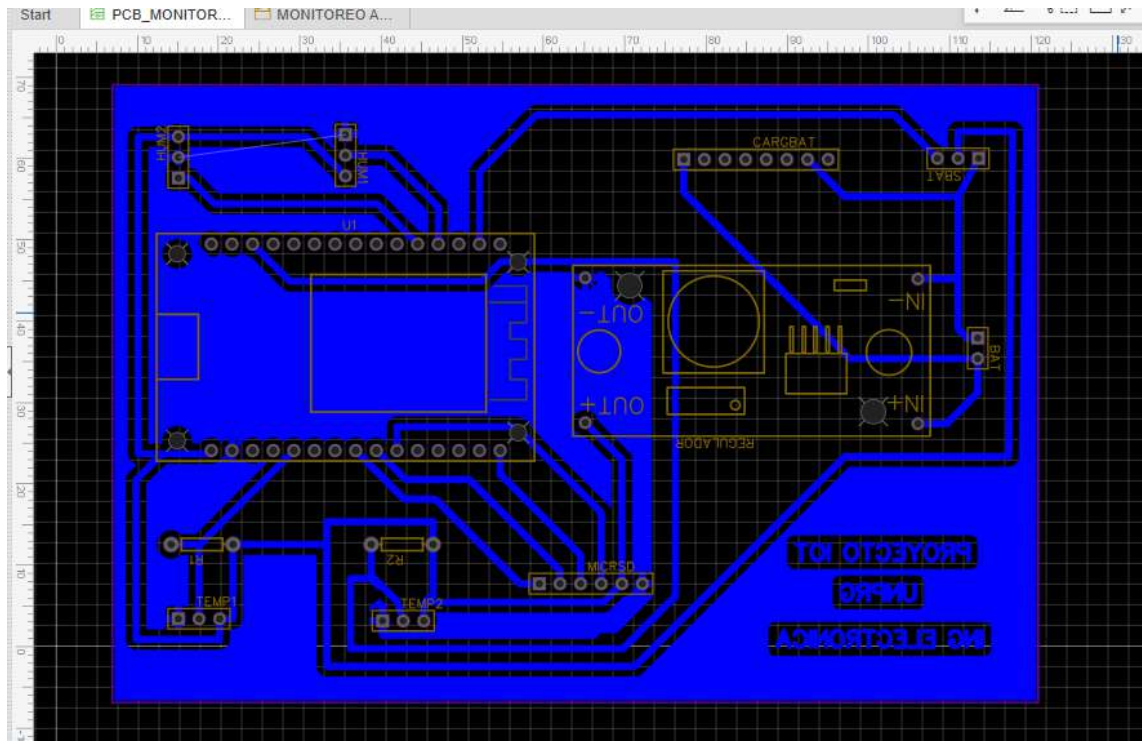
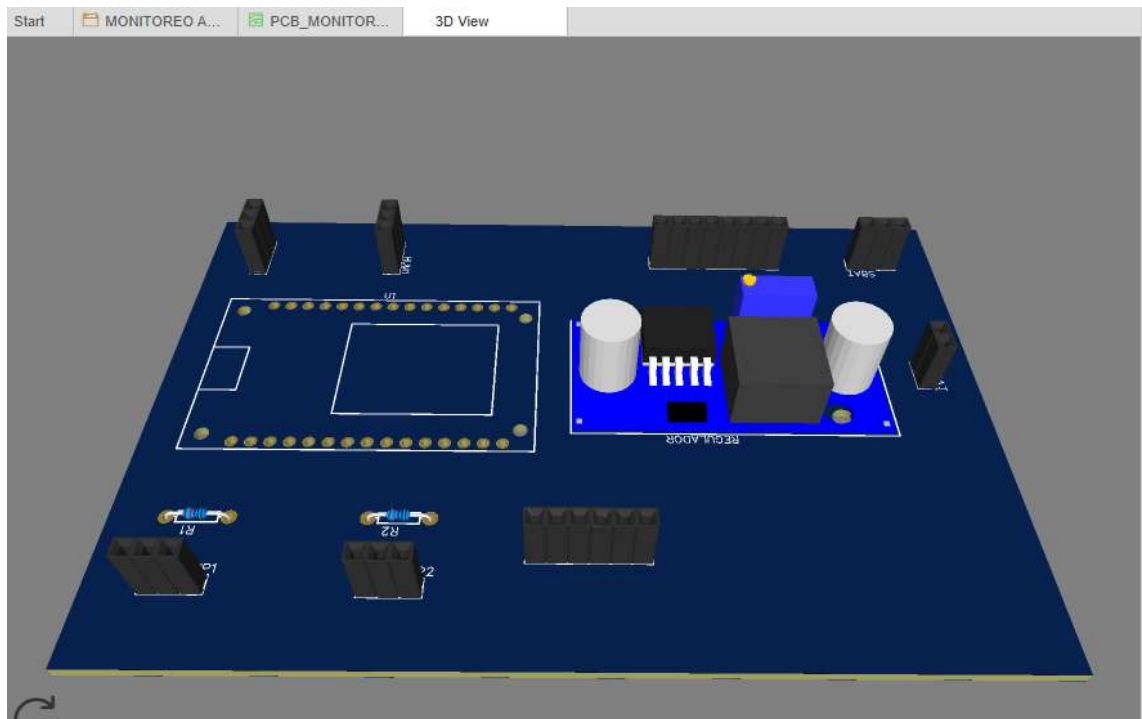
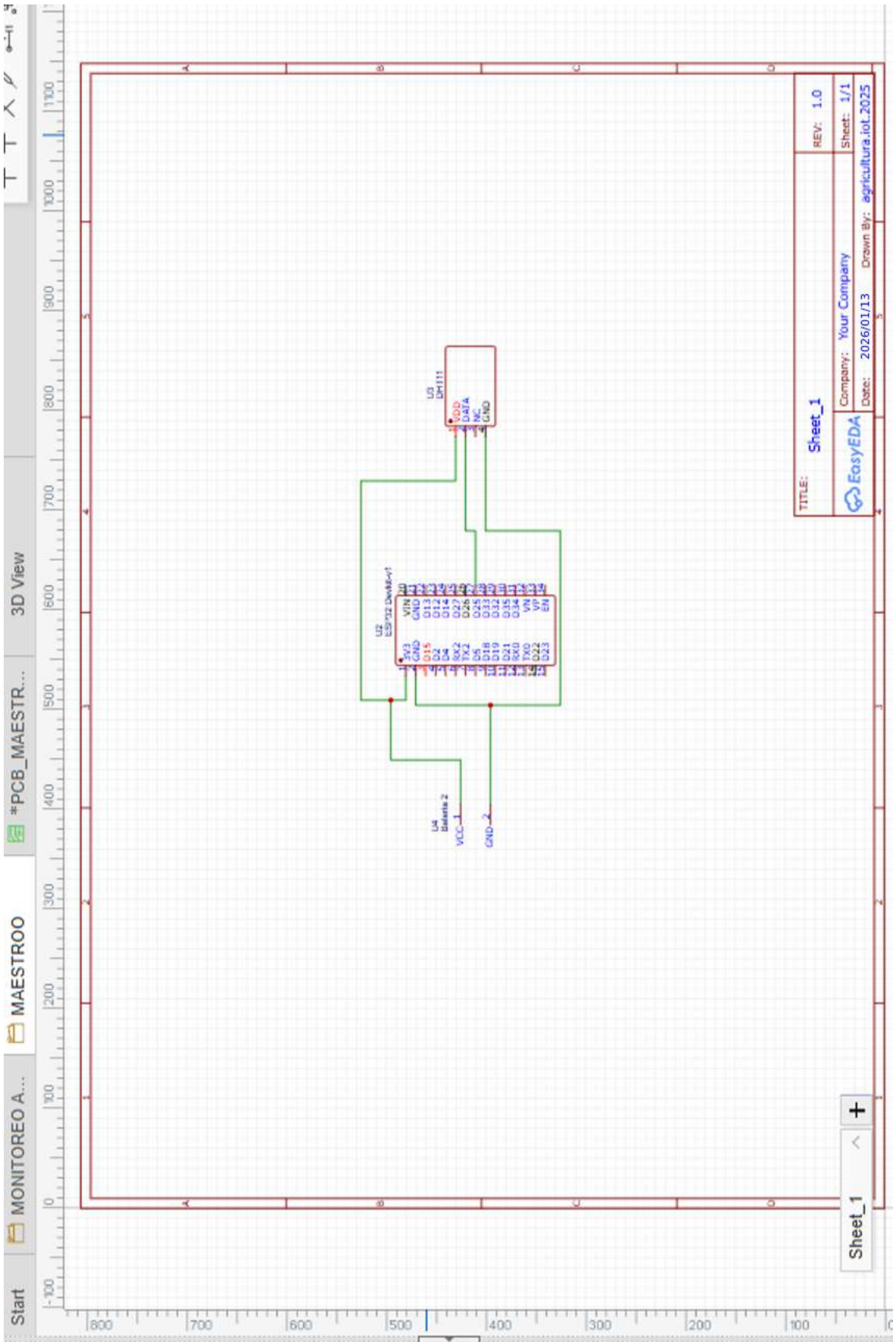


Imagen en 3D del nodo esclavo



Sistema esquemático del nodo maestro



Sistema PCB del nodo maestro

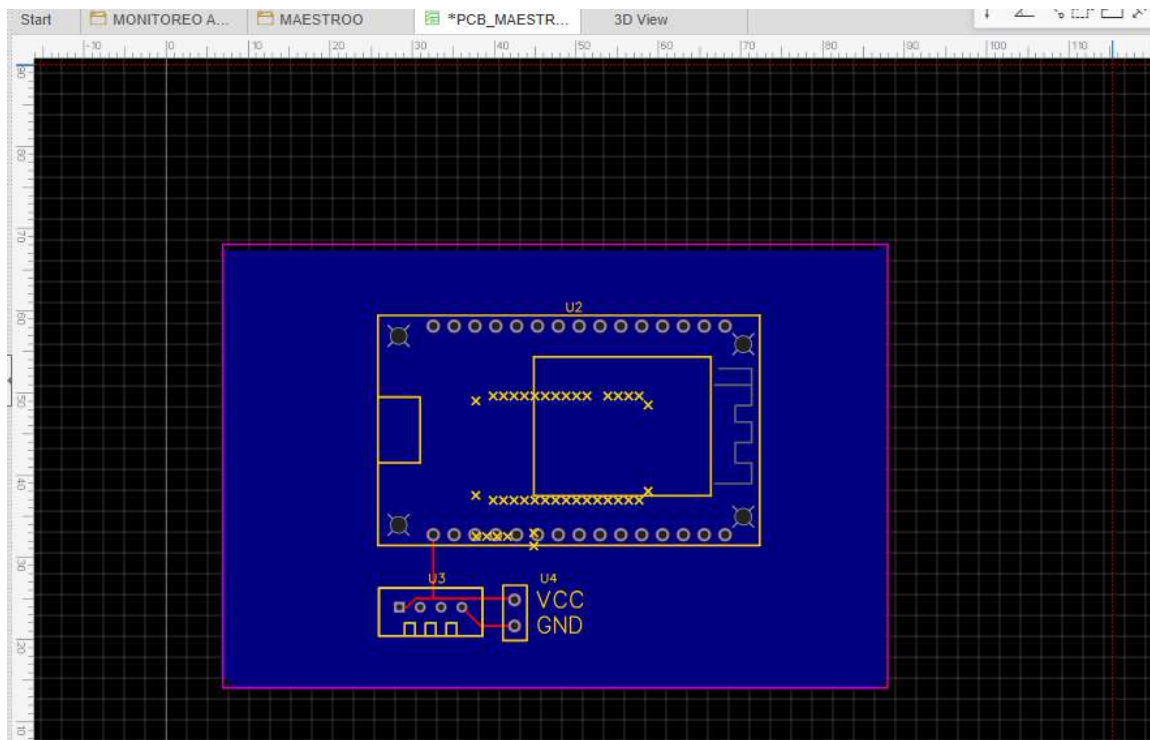
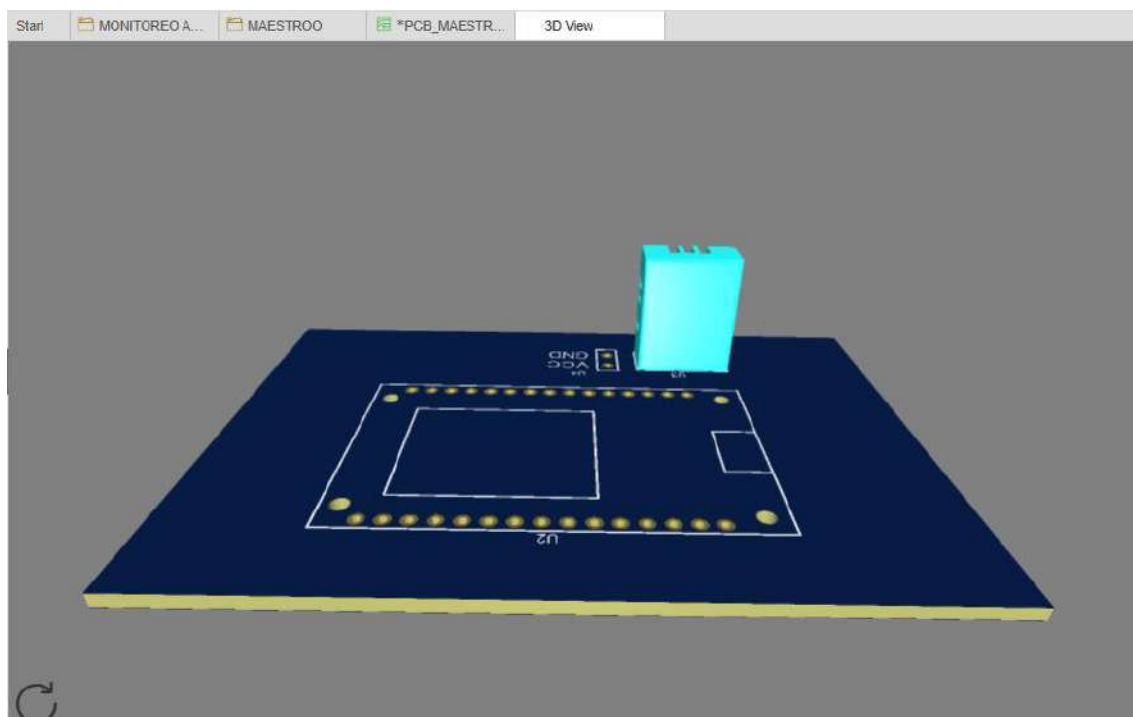
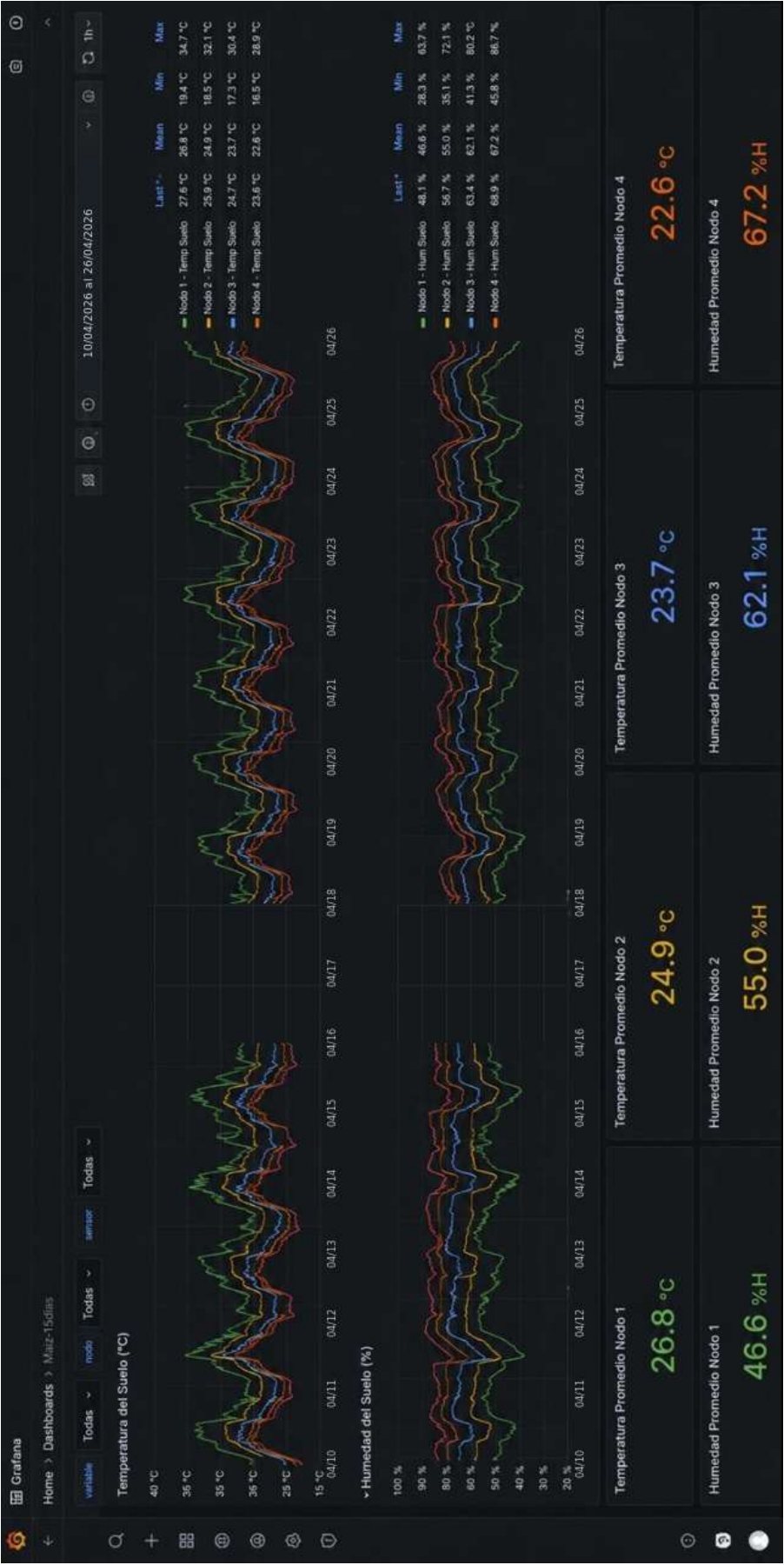


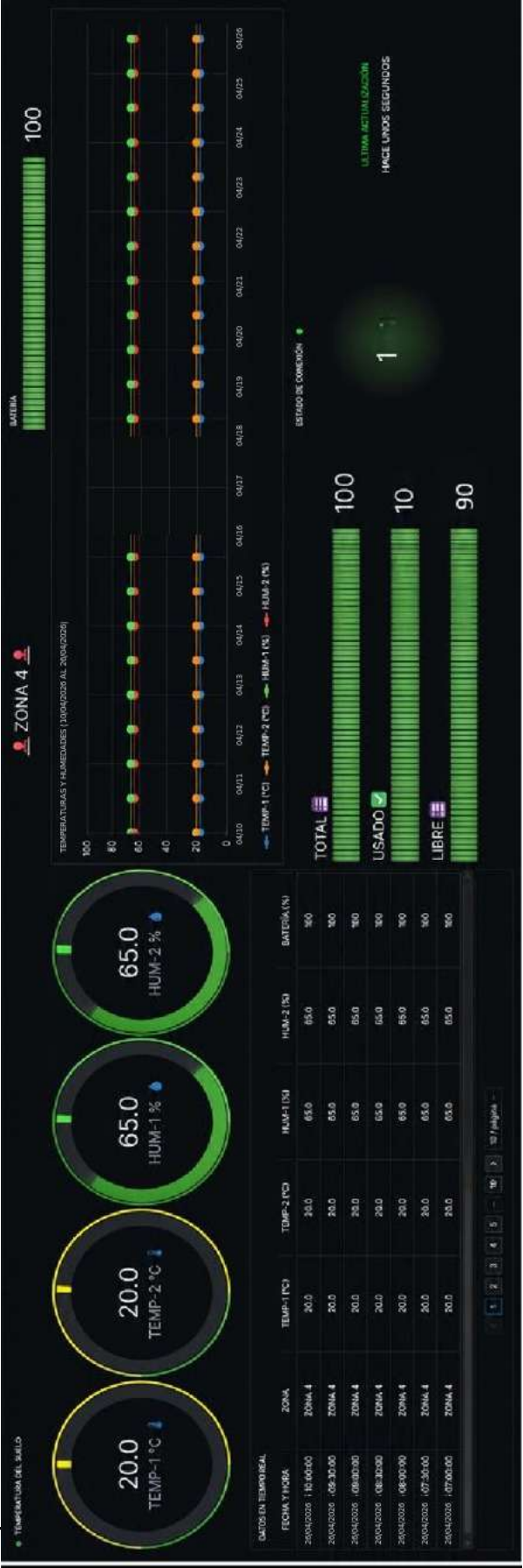
Imagen en 3D del nodo maestro



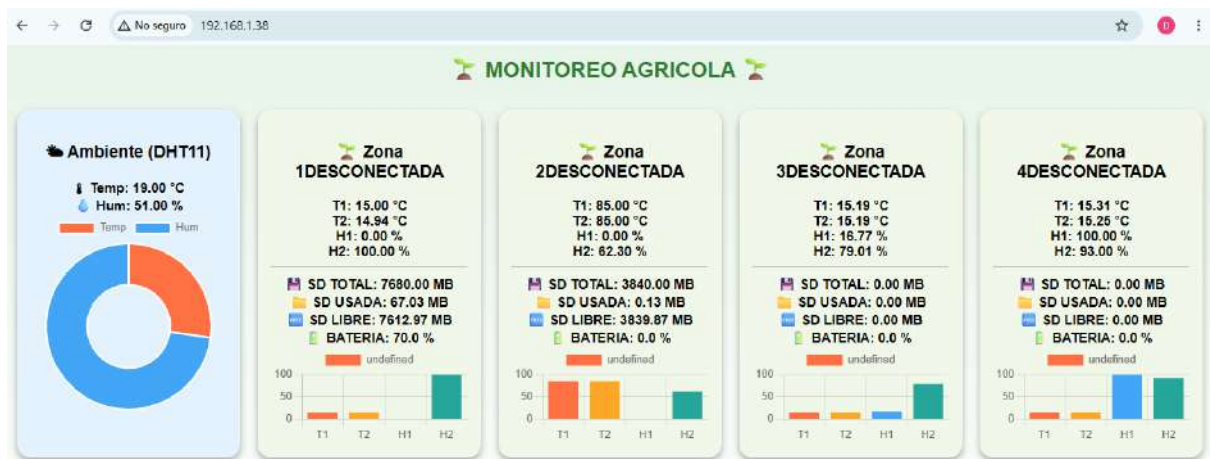
Panel de control Grafana



Panel de control página Web



Página Web



Notificaciones en Telegram

