



**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
ELECTRÓNICA CON MENCIÓN EN
TELECOMUNICACIONES**

TESIS

**Para optar el título profesional de Ingeniero Electrónico con
Mención en Telecomunicaciones**

Implementación de un sistema inalámbrico utilizando el Internet
de las cosas para el monitoreo del cultivo de papas en el Fundo
Huaylacucho en el Departamento de Ayacucho

PRESENTADO POR

Huanca Cabrera, Victor

ASESOR

Lara Herrera, Juan Francisco

Lima, Perú, 2024

INFORME DE ORIGINALIDAD ANTIPLAGIO TURNITIN

Mediante la presente, Yo:

1. Victor Huanca Cabrera; identificada con DNI 41214067

2. _____

3. _____

Somos egresados de la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica con mención en Telecomunicaciones __ del año 2018 – 01, y habiendo realizado la¹ _Tesis_ para optar el Título Profesional de ² Ingeniero Electrónico, se deja constancia que el trabajo de investigación fue sometido a la evaluación del Sistema Antiplagio Turnitin el _27_ de __Octubre__ de 2024, el cual ha generado el siguiente porcentaje de similitud de ³: 19% (Diecinueve por ciento)

En señal de conformidad con lo declarado, firmo el presente documento a los _13 días del mes de __Noviembre__ del año 2024.



Egresado 1

Egresado 2

Egresado 3

Nombre del Asesor(a)
DNI

¹ Especificar qué tipo de trabajo es: tesis (para optar el título), artículo (para optar el bachiller), etc.

² Indicar el título o grado académico: Licenciado o Bachiller en (Enfermería, Psicología ...), Abogado, Ingeniero Ambiental, Químico Farmacéutico, Ingeniero Industrial, Contador Público ...

³ Se emite la presente declaración en virtud de lo dispuesto en el artículo 8°, numeral 8.2, tercer párrafo, del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos conducentes a Grados y Títulos – RENATI, aprobado mediante Resolución de Consejo Directivo N° 033-2016-SUNEDU/CD, modificado por Resolución de Consejo Directivo N° 174-2019-SUNEDU/CD y Resolución de Consejo Directivo N° 084-2022-SUNEDU/CD.

INFORME DE ORIGINALIDAD

19%

INDICE DE SIMILITUD

18%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

8%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.uch.edu.pe Fuente de Internet	5%
2	repositorio.utn.edu.ec Fuente de Internet	1%
3	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
4	Submitted to Universidad de Ciencias y Humanidades Trabajo del estudiante	1%
5	repositorio.umsa.bo Fuente de Internet	1%
6	1library.co Fuente de Internet	1%
7	Submitted to Universidad Internacional de la Rioja Trabajo del estudiante	<1%
8	cdn.www.gob.pe Fuente de Internet	<1%

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico a mis padres Victor y Claudia por su apoyo en todo este trayecto, a mi prima Fernanda por sus ánimos brindados, a dos mujeres parte importante de mi vida que me alentaron Joselyn como Krisna y en especial dedicatoria para mi hija Saori.

En memoria de mi abuelo Roberto 29-10-2024

Resumen

Para el presente estudio se plantea la implementación de un sistema integrado inalámbrico de monitoreo utilizando tres plataformas como ThingSpeak, Google Sheets, Bot Telegram y el Internet de las Cosas (IoT) para el riego inteligente de cultivos de papas en la hacienda “El Fundo Huaylacucho”. La agricultura en esta región enfrenta obstáculos relacionados con la disponibilidad de agua y la eficiencia en el riego. El sistema propuesto consiste en sensores que recopilan datos sobre la humedad del suelo, la temperatura ambiental, humedad ambiental y display 1602. Estos datos serán recolectados por los sensores que son controlados por un microcontrolador ESP32 y luego se transmiten vía Wi-Fi a una plataforma central en la nube ThingSpeak para su monitoreo, análisis y control donde se puede visualizar los datos mediante una computadora y dispositivo móvil.

Los beneficios esperados incluyen la optimización con el riego, además el ahorro de agua y una mayor producción en el cultivo de papas, para una mejora significativa. En consecuencia, este proyecto contribuirá al desarrollo sostenible de la agricultura y beneficiando tanto a los agricultores como al medio ambiente.

Palabras claves. Internet de las cosas, microcontrolador, Wi-Fi, ThingSpeak.

Abstract

In this study, we propose the design and implementation of a wireless monitoring system using the Internet of Things (IoT) for the smart irrigation of potato crops at the “El Fundo Huaylacucho” estate. Agriculture in this region faces challenges related to water availability and irrigation efficiency. The proposed system includes sensors that collect data on soil moisture, ambient temperature, environmental humidity, and a 1602 display. These data are gathered by sensors controlled by an ESP32 microcontroller and then transmitted via Wi-Fi to a central cloud platform, ThingSpeak, for monitoring, analysis, and control, where the data can be viewed using a computer and mobile device.

The expected benefits include optimized irrigation, as well as water savings and increased production in potato cultivation, leading to significant improvement. Consequently, this project will contribute to the sustainable development of agriculture, benefiting both farmers and the environment.

Keywords. Internet, microcontroller, Wi-Fi, ThingSpeak.

Contenido

Introducción.....	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO Y FORMULACION DEL PROBLEMA	3
1.1. DEFINICION DEL PROBLEMA DE INVESTIGACION	4
1.1.1. Planteamiento y descripción del problema	4
1.1.2. Formulación del problema general.....	5
1.1.3. Formulación de los problemas específicos	5
1.2. DEFINICION DE LOS OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION	6
1.2.1. Objetivo general	6
1.2.2. Objetivos específicos	6
1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	6
1.3.1. Justificación técnica	6
1.3.2. Justificación económica.	7
1.3.3. Justificación social.....	7
1.4. ALCANCES Y LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	8
1.4.1. Alcance.....	8
1.4.2. Limitaciones	8
CAPÍTULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO	9
2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION	10
2.1.1 Internacionales	10
2.1.2 Nacionales.....	11
2.2 MARCO TEORICO	13
2.2.1 Tecnología de Internet de las Cosas (IoT).....	13

2.2.2	Agricultura inteligente (Smart-Farming)	14
2.2.3	Sensores IoT	15
2.2.4	Tecnología Wireless Fidelity (WIFI)	18
2.2.5	Protocolo HTTP	20
2.2.6	Microcontrolador ESP32	21
2.2.7	Entorno de Desarrollo Integrado (IDE) de Arduino	22
2.2.8	ThingSpeak	23
2.2.9	Telegram	24
2.2.10	Bot Telegram.....	25
2.2.11	Plataformas IoT de Código Abierto	26
2.2.12	Google Sheets.....	28
2.3	MARCO METODOLOGICO	29
2.3.1	Tipo de investigación	29
2.3.2	Metodología de investigación.....	29
2.4	MARCO LEGAL	30
2.4.1	Ley 31207: Ley que garantiza la velocidad mínima de conexión a internet	30
2.4.2	Decreto Supremo N° 103-2023-PCM	31
2.5	DIAGRAMA DE BLOQUES.....	32
CAPÍTULO III: DESARROLLO DE LA APLICACION		33
3.1	DESCRIBIR LA SITUACION ACTUAL DEL SEMBRIO DE PAPAS EN LA HACIENDA EL FUNDO HUAYLACUCHO DEL DEPARTAMENTO DE AYACUCHO.....	34
3.1.1	Datos de la Hacienda.....	34
3.1.2	Principales Limitantes de la Agricultura Tradicional en la Hacienda Fundo Huaylacucho .	35

3.2	DETERMINAR LOS DISPOSITIVOS Y REQUERIMIENTOS DE DISEÑO PARA LA IMPLEMENTACION DEL SISTEMA.....	37
3.2.1.	Sensor de temperatura y humedad (DHT22).....	37
3.2.2.	Sensor de temperatura y humedad (DHT22).....	38
3.2.3.	Sensor de Humedad de Suelo Capacitivo V1.2.....	38
3.2.4.	Selección de los sensores de humedad: Sensor de Humedad de Suelo FC-28 y Sensor de Humedad de Suelo Capacitivo v1.2.....	40
3.2.5.	Módulo de Relé 2CH-12VDC.....	41
3.2.6.	Válvula Solenoide.....	43
3.2.7.	Placa de expansión ESP32 DevKitC (Shield).....	44
3.2.8.	Selección de Microcontroladores para el sistema.....	46
3.2.9.	Selección de las Plataformas de IoT.....	47
3.2.10.	Display LCD 1602.....	48
3.3	DISEÑAR LA ARQUITECTURA DEL SISTEMA DE MONITOREO UTILIZANDO EL INTERNET DE LAS COSAS PARA LA VISUALIZACION DE DATOS.....	50
3.3.1	Capa de sensores.....	51
3.3.2	Capa de conectividad.....	51
3.3.3	Capa intermedia.....	51
3.3.4	Capa de aplicación.....	52
3.4	DESARROLLAR EL ALGORITMO PARA ALMACENAR Y PROCESAR LOS DATOS OBTENIDOS DEL SISTEMA.....	53
3.5	IMPLEMENTAR EL SISTEMA DE MONITOREO INALAMBRICO DEL CULTIVO DE PAPAS EN LA HACIENDA EL FUNDO HUAYLACUCHO.....	61
3.5.1	Implementación del módulo del hardware del sistema de monitoreo inalámbrico.....	61

3.5.2	Configuración del sistema de monitoreo inalámbrico en las plataformas.....	64
3.5.3	Validación de las pruebas en el campo de cultivo	70
CAPÍTULO IV: ANALISIS DE COSTOS Y BENEFICIOS		82
4.1	ANALISIS DE COSTOS	83
4.1.1	Recursos Humanos.....	83
4.1.2	Recursos Materiales	83
4.2	ANÁLISIS DE BENEFICIOS	85
4.2.1	Beneficios tangibles	85
4.2.2	Análisis de Costo/Beneficio.....	85
4.3	ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD	86
4.3.1	Desarrollo del flujo de caja	86
4.3.2	Análisis del VAN.....	86
4.3.3	Análisis del TIR	87
Conclusiones.....		88
Recomendaciones		90
Referencias		91
Glosario		96

Lista de figuras

Figura 1 Interconexión de cosas: sensores, actuadores y dispositivos inteligentes	14
Figura 2 Imagen de datos hacia la Agricultura	15
Figura 3 Imagen de los diferentes tipos de sensores.....	18
Figura 4 Canales WIFI de 2.4 GHz (IEEE 802.11b/g WLAN)	20
Figura 5 Funcionamiento general del HTTP	21
Figura 6 Placa ESP32 Devkit Doit.....	22
Figura 7 Programar en el IDE de Arduino hacia el microcontrolador ESP32.....	23
Figura 8 Logotipo de la plataforma de ThingSpeak para proyectos de IoT	24
Figura 9 Solicitud de lecturas de temperatura y humedad del sensor DHT22.....	26
Figura 10 Interconexión del microcontrolador con Google Sheets	28
Figura 11 Diagrama de bloques resumido	29
Figura 12 Diagrama de bloques en general.....	32
Figura 13 Imagen de la ubicación de la Hacienda el Fundo Huaylacucho	35
Figura 14 Imagen del Sensor DHT22	37
Figura 15 Imagen del Sensor de Humedad de Suelo Capacitivo v1.2.....	40
Figura 16 Imagen del Módulo Relé 2CH 12VDC	43
Figura 17 Imagen de la válvula solenoide	44
Figura 18 Imagen de Placa de expansión de ESP32 de 38 pines.....	46
Figura 19 Imagen del display LCD 1602.....	49
Figura 20 Imagen del Diseño de la arquitectura del internet de las cosas para el monitoreo de cultivo de papa	50
Figura 21 Imagen de la importación de librerías	53

Figura 22 Imagen de Configuración de pines y variables.....	54
Figura 23 Imagen de Credenciales de red WiFi y configuraciones	55
Figura 24 Imagen de Instancias de los objetos	55
Figura 25 Imagen del Void Setup.....	56
Figura 26 Imagen del Void Loop.....	57
Figura 27 Imagen del Almacenamiento de Datos.....	58
Figura 28 Imagen de Procesamiento de Datos.....	59
Figura 29 Imagen de envío de notificaciones al Telegram.....	59
Figura 30 Imagen de Conexiones del Esp32, sensores y relé en la Caja Estanca.....	62
Figura 31 Imagen de modulo del hardware completo instalado	63
Figura 32 Imagen del módulo del hardware completo y conectando a Wifi	64
Figura 33 Imagen de creación e ingreso a la plataforma	65
Figura 34 Imagen de configuración de 3 canales.....	66
Figura 35 Imagen de nodos de las gráficas de las tres variables	67
Figura 36 Imagen de configuración del Esp32 a Google Sheets	68
Figura 37 Imagen de las variables enviados a Google Sheets	68
Figura 38 Imagen del BotFather en mensajería Telegram.....	69
Figura 39 Imagen de mensaje de bienvenida de Prueba_bot de Telegram.....	70
Figura 40 Imagen del tanque de la Hacienda el Fundo.....	71
Figura 41 Imagen del tanque tomada desde otro lado	72
Figura 42 Imagen de las conexiones del módulo del sistema al Relé con la manguera	73
Figura 43 Imagen de fotografía del módulo tomada de frente.....	74
Figura 44 Imagen de monitoreo de los cultivos de papas en tiempo real – Parte 1	75

Figura 45 Imagen de monitoreo de los cultivos de papas en tiempo real – Parte 2.....	76
Figura 46 Imagen de recolección de los datos en la hoja de calculo	77
Figura 47 Imagen de envío de notificación de alarma de humedad del suelo	78
Figura 48 Imagen del módulo del hardware	79

Lista de tablas

Tabla 1 Cuadro de diferentes tipos de sensores IoT	17
Tabla 2 Características de las plataformas IoT	27
Tabla 3 Comparaciones de los sensores ambientales	38
Tabla 4 Comparaciones de los sensores de humedad de suelos	41
Tabla 5 Comparaciones de las placas de los Microcontroladores	47
Tabla 6 Comparaciones de las plataformas de IoT	48
Tabla 7 Presupuesto de Recursos Humanos en general	83
Tabla 8 Presupuesto de materiales	84
Tabla 9 Costo de inversión inicial	84
Tabla 10 Cálculo de utilidades e inclusión de IGV	85
Tabla 11 Flujo de caja.....	86

Introducción

En la actualidad, la agricultura representa un pilar fundamental en la seguridad alimentaria a nivel global, siendo un sector que enfrenta constantes desafíos debido a la creciente demanda de alimentos, los efectos del cambio climático y la necesidad de adoptar prácticas sostenibles.

A nivel nacional, en el contexto de países como Perú, la agricultura juega un rol vital en la economía y en la subsistencia de numerosas comunidades. La diversidad climática y geográfica de Perú presenta oportunidades únicas para la producción agrícola, pero también impone desafíos en términos de gestión de recursos, adaptación a condiciones cambiantes y optimización de prácticas agrícolas.

En la región de Ayacucho, la agricultura desempeña un papel central en la vida económica y social de las comunidades. El cultivo de papas, en particular, es una actividad tradicional que enfrenta desafíos como la gestión eficiente del agua, la prevención de enfermedades y la optimización de insumos agrícolas.

Ante estos desafíos, se desarrolla la implementación de un sistema integrado de monitoreo específico para el cultivo de papas en la hacienda El Fundo Huaylacucho ubicado en el departamento de Ayacucho, donde se presenta como una oportunidad para mejorar la calidad de los cultivos, aumentar la productividad de manera significativa frente a condiciones adversas.

Se desarrolla la implementación de un sistema de monitoreo inalámbrico de cultivos de papas que está integrada por el sensor DHT22 que mide la temperatura y humedad relativa, también por el Sensor Capacitivo, que mide la humedad de la tierra, un display 1602 para ver los valores medidos y relé controlando la válvula que están conectados al microcontrolador ESP32 donde se envía los datos a la plataforma ThingSpeak para su almacenamiento, visualización y análisis. Posteriormente el agricultor visualizará los datos en un móvil o una computadora,

con acceso a internet, mediante el Telegram que recibe las notificaciones lo que permitirá tomar decisiones para la optimización con el riego, además el ahorro de agua y una mayor producción en el cultivo de papas, resultando en una mejora significativa.

Para el capítulo I, incluye el presente proyecto la problemática abordando preguntas sobre el tema de investigación, así como los objetivos planteados y, al final, los alcances y limitaciones.

Para el capítulo II, contiene el fundamento teórico, en el cual se desarrollan los antecedentes como también el marco teórico del estudio referente al diseño e implementación de un sistema inalámbrico de monitoreo utilizando el internet de las cosas para el cultivo de papas.

Para el capítulo III, Se desarrolla los objetivos específicos de la investigación donde se contempla el diseño del sistema, incluyendo tanto el hardware como la lógica de programación, para el despliegue del sistema de monitoreo basado en Internet de las Cosas.

Para el capítulo IV, se abordará el costo-beneficio y su análisis del trabajo de investigación.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO Y FORMULACION DEL PROBLEMA

1.1. DEFINICION DEL PROBLEMA DE INVESTIGACION

1.1.1. Planteamiento y descripción del problema

En el Perú, en agosto del año 2022, se cosecharon 208,881 toneladas de papas en todo el país. Esto representa un aumento del 16.8% en comparación con el mismo mes del año anterior, principalmente debido a mejores rendimientos gracias al clima favorable para el crecimiento de este cultivo. Estos datos fueron dados a conocer por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) en su informe sobre la economía de cada departamento del Perú.

Algunos departamentos destacados por su alta producción fueron Arequipa (aumento del 159.4%), La Libertad (83.1%) e Ica (19.2%), que juntos representaron el 66.8% de toda la producción nacional de papas. También se registraron aumentos en Áncash (168.6%), Lima (12.3%), Junín (7.2%) y Amazonas (2.8%).

Sin embargo, hubo una disminución en la producción en algunos departamentos como Apurímac (-97.4%), Huancavelica (-94.1%), Piura (-56.9%), Cajamarca (-15.9%), Tacna (-15.3%), Ayacucho (-14.8%), Pasco (-13.9%) y Huánuco (-5.4%).

La problemática principal en la provincia de Huamanga del departamento de Ayacucho, específicamente en la hacienda el Fundo Huaylacucho, radica en la persistencia de métodos agrícolas tradicionales que se vuelven obsoletos ante los desafíos del cambio climático, la escasez de recursos tecnológicos y la necesidad de mejorar la eficiencia. Entre estos desafíos destaca la gestión ineficiente del riego, afectada por las variaciones climáticas y del suelo que impactan negativamente en el rendimiento y la calidad de los cultivos de papas. Esta situación con lleva a un uso ineficiente del agua, con cultivos

demasiado pequeños por déficit hídrico y exceso que propicia la pudrición, generando menor productividad y rentabilidad para el agricultor.

Por tal motivo, se busca una solución al diseñar e implementar un sistema integrado inalámbrico de monitoreo con tres plataformas mediante el uso del internet de las cosas, con dispositivos para la agricultura inteligente, donde los sensores que recopilan datos sobre la humedad del suelo, la temperatura ambiental y humedad ambiental, serán enviados los datos a un servicio en la nube en tiempo real para su visualización. Ofreciendo al agricultor una visión integral y en tiempo real las condiciones ambientales a través de una plataforma fácil de usar y tomar la mejor decisión para mejorar la eficiencia, la productividad y riego en la hacienda Fundo Huaylacucho en el cultivo de papas de la comunidad agrícola local.

1.1.2. Formulación del problema general

¿Cómo implementar un sistema de monitoreo usando el internet de las cosas para mejorar la eficiencia en el sembrío de papas en El Fundo Huaylacucho?

1.1.3. Formulación de los problemas específicos

P.E.1: ¿Cuál es la situación actual del sembrío de papas en la hacienda El Fundo Huaylacucho del departamento de Ayacucho?

P.E.2: ¿Cuáles son los dispositivos y requerimientos de diseño para la implementación del sistema?

P.E.3: ¿Cómo se define la arquitectura del proyecto para establecer las etapas del sistema de monitoreo utilizando el internet de las cosas para visualizar los datos?

P.E.4: ¿Cómo realizar el algoritmo para almacenar y procesar los datos obtenidos del sistema?

P.E.5: ¿De qué manera sería el sistema de monitoreo inalámbrico del cultivo de papas en la Hacienda El Fundo Huaylacucho?

1.2. DEFINICION DE LOS OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION

1.2.1. Objetivo general

Implementar un sistema de monitoreo usando el internet de las cosas para incrementar la eficiencia en el sembrío de papas en El Fundo Huaylacucho.

1.2.2. Objetivos específicos

O.E.1: Describir la situación actual del sembrío de papas en la hacienda El Fundo Huaylacucho del departamento de Ayacucho.

O.E.2: Determinar los dispositivos y requerimientos de diseño para la implementación del sistema.

O.E.3: Diseñar la arquitectura del sistema de monitoreo utilizando el internet de las cosas para la visualización de los datos.

O.E.4: Desarrollar el algoritmo para almacenar y procesar los datos obtenidos del sistema.

O.E.5: Implementar el sistema de monitoreo inalámbrico del cultivo de papas en la Hacienda El Fundo Huaylacucho.

1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Justificación técnica

Este proyecto se plantea como una alternativa a la agricultura tradicional que se practica de forma artesanal en el campo. Propone el monitoreo de cultivos de papas mediante un microcontrolador ESP-WROOM-32 y el Internet de las cosas (IoT), tecnologías accesibles y

versátiles para implementar diversos proyectos. Además, el sistema utilizará la plataforma ThingSpeak, Google Sheets y un Bot de Telegram; para que los sensores recopilen y envíen información a las bases de datos de servicios en la nube en tiempo real. Esto permitirá visualizar, almacenar y analizar los datos, facilitando una comunicación rápida, sencilla y segura entre dispositivos de hardware y servicios en línea.

1.3.2. Justificación económica.

En el actual proyecto se utiliza el ESP32 que es un microcontrolador de bajo costo y alto rendimiento que incorpora Wi-Fi y Bluetooth en un solo chip y ThingSpeak, que se basa en tecnologías de comunicación inalámbrica. Para el despliegue de la implementación del sistema de monitoreo integrado con las tres plataformas a bajo costo en comparación a otros sistemas de paga para monitoreo con similares características. Esta es la razón que se implementa el sistema de monitoreo accesible para los agricultores de zonas rurales, lo que también incluye un proceso de capacitación para el uso del sistema y un esquema de revisión y mantenimiento periódico.

1.3.3. Justificación social.

En desarrollo de la tesis para la implementación del sistema de monitoreo será de gran beneficio y utilidad para el agricultor local, porque con los datos obtenidos por los sensores tomarán la mejor decisión para mejorar la eficiencia, la productividad y riego para la hacienda El Fundo Huaylacucho en el cultivo de papas. En consecuencia, se estará orientando al agricultor hacia la Agricultura Inteligente.

1.4. ALCANCES Y LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. Alcance

El sistema de monitoreo, basado en la placa ESP32, almacenará datos sobre la humedad ambiental, la temperatura ambiental y la humedad del suelo. Una vez configurados los umbrales de los sensores, se activará la válvula de agua para regar el campo de cultivo. Posteriormente, el microcontrolador ESP32, en conjunto con los sensores, transmitirá los datos de manera inalámbrica a la base de datos en la nube de ThingSpeak. Estos datos podrán ser visualizados a través de un dispositivo móvil o una computadora. Además, el alcance que tiene el sistema desarrollado en la Hacienda El Fundo Huaylacucho va generar un impacto que permitirá poder replicar la experiencia en otros productos agrícolas. Este sistema va permitir el aumento de la cantidad de parámetros monitorizados, en base a la cantidad de usuarios que utilicen el servicio y su retroalimentación.

1.4.2. Limitaciones

Se llevaron a cabo pruebas con las diversas herramientas y dispositivos hasta identificar las más adecuadas para integrarlas a un sistema de monitoreo preciso que proporciona valores auténticos a un costo razonable. Además, el límite geográfico ubicado en la hacienda el Fundo de Huaylacucho donde el acceso a internet es un poco lejano de la capital.

Cierta resistencia del agricultor al incluir procesos tecnológicos en sus actividades diarias.

CAPÍTULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION

2.1.1 Internacionales

Páez (2023), en su tesis que presenta lleva por nombre Diseño de una plataforma de monitoreo de niveles de CO₂ basada en IoT, en la Universidad Politécnica Salesiana, expone su estudio e investigó la arquitectura de una red de sensores inalámbricos utilizando tecnologías LPWAN para la medición y monitoreo remoto de CO₂ en el aire. Se emplearon nodos LoRa y un servidor LoraWAN basado en ChirpStack para la transmisión de datos, pertenecientes al grupo de Investigación en Telecomunicaciones y Telemática (GITEL). También se desarrolló una aplicación móvil intuitiva con el framework Flutter para monitorear los nodos sensores, mostrar su ubicación de georreferencia y ofrecer un historial del estado de CO₂. Además, se evaluaron y compararon los sensores MH-Z19B y MG811, integrándolos en tres nodos capaces de medir CO₂ con precisión a distancias de hasta 4.5 km y protegidos por una caja de aplicación IoT para uso en exteriores.

Quinde y Rivera (2023), en su tesis que presenta lleva por nombre Diseño de un sistema basado en IoT para monitorear la nutrición del suelo en cultivos de cacao, en la Universidad Politécnica Salesiana, donde menciona la importancia para el crecimiento en la producción de cacao que ha llevado a una mayor demanda de este producto. Sin embargo, el rendimiento del cultivo depende de múltiples factores, incluyendo, las variedades de cacao, el riesgo solar, las condiciones climatológicas y la variedad del suelo. La falta de sistemas automatizados y de seguimiento en tiempo real para analizar y medir las capas de los nutrientes del suelo es un desafío principal. Para resolver esto, se desarrolló un sistema que utiliza un sensor NPK, un

microcontrolador y una conexión Wifi para recopilar y transmitir datos. Además, se visualizan en una pantalla OLED como se almacenan en una tarjeta de memoria SD. Las pruebas con el prototipo demostraron que el sistema puede medir con precisión los nutrientes del suelo y transmitir estos datos de manera eficiente. Esto proporciona a los agricultores una herramienta valiosa para la gestión de nutrientes y la optimización de la calidad del cacao.

Mosquera y Cevallos (2022); en su tesis que presenta lleva por nombre Diseño e implementación de un prototipo IoT para el monitoreo de parámetros ambientales aplicados al cultivo de arroz utilizando ESP32 y ThingSpeak, tiene como objetivo principal en implementar un prototipo IoT para monitorear parámetros ambientales en el cultivo de arroz utilizando ESP32 y ThingSpeak. Donde el prototipo, se utilizará para las prácticas en el laboratorio de electrónica de la Universidad Politécnica Salesiana en Guayaquil, donde impulsaría futuras investigaciones en agricultura, específicamente en el cultivo de arroz. El prototipo IoT incluye varios sensores para monitorear factores ambientales clave para el cultivo de arroz. Los datos recopilados se procesan mediante el dispositivo ESP32 y se suben a la plataforma ThingSpeak a través de una red inalámbrica. Se implementan alertas a través de ThingSpeak y Twitter basadas en los umbrales de cada sensor, y se realiza un control vía web para el riego automático del cultivo de arroz.

2.1.2 Nacionales

Champi (2023); en su tesis que presenta lleva por nombre Implementación de un sistema de monitoreo inalámbrico mediante Internet de las cosas para monitorear la conservación en la cadena de frío de vacunas del servicio de inmunizaciones en el distrito de Puente Piedra, La conservación adecuada de las vacunas es crucial en el

sector de la salud, especialmente para garantizar la efectividad de la inmunización. El personal de inmunizaciones en los centros de salud juega un papel fundamental en monitorear y asegurar el correcto funcionamiento de la cadena de frío según las normativas de la OMS. Este proyecto se enfoca en implementar un sistema de monitoreo de temperatura y humedad en las refrigeradoras especializadas mediante sensores conectados a un microcontrolador. Los datos recopilados se transmiten de forma inalámbrica a un Raspberry Pi 4 para su almacenamiento y visualización en la web. Además, se establecen notificaciones para alertar sobre variaciones de temperatura y así prevenir posibles daños en las vacunas, contribuyendo a la reducción del impacto sanitario y cumpliendo con las normas de bioseguridad en los establecimientos de salud.

Orihuela (2022); en su tesis que presenta lleva por nombre Diseño y monitoreo de un sistema automatizado para la mejora de la calidad de las piscigranjas en el distrito de Ingenio, se detalla sobre sobre la acuicultura que enfrenta desafíos significativos debido a altas tasas de mortalidad de truchas en piscigranjas, atribuidas a contaminación, variaciones climáticas y enfermedades. Estos problemas afectan negativamente la economía y la inversión de tiempo y recursos de los microempresarios dedicados a la crianza de peces. Por ello, se propone un sistema de monitoreo para mejorar la calidad de las piscigranjas, enfocado en el control de parámetros críticos del agua como temperatura, oxígeno disuelto y pH. Este sistema, basado en un microcontrolador y tecnología de transmisión por radiofrecuencia, busca automatizar la supervisión de los parámetros del agua y enviar datos al encargado de la piscigranja para un control más efectivo. El objetivo final es reducir las muertes de alevines y optimizar la inversión económica de los microempresarios en el sector acuícola.

Mujaico (2020); en su tesis que presenta lleva por nombre Diseño e implementación de un sistema de medición y pronóstico de radiación ultravioleta utilizando Internet de las cosas y Machine Learning, expone la importancia de la radiación ultravioleta (UV) es esencial para la fotosíntesis en plantas y la síntesis de vitamina D en humanos, pero su exposición excesiva puede ser perjudicial. Por eso, se propone un sistema electrónico basado en IoT y ML para medir y predecir la evolución de los niveles de radiación UV. Este sistema utiliza un sensor especializado para medir la intensidad de la radiación y enviar datos a un microcontrolador, que los transmite a un servidor web de IoT en la nube. Allí, los datos se almacenan y se analizan mediante algoritmos de modelado predictivo para pronosticar el índice de radiación UV a corto plazo. Esto permite alertar y tomar medidas preventivas para evitar problemas de salud relacionados con la exposición a la radiación UV.

2.2 MARCO TEORICO

2.2.1 Tecnología de Internet de las Cosas (IoT)

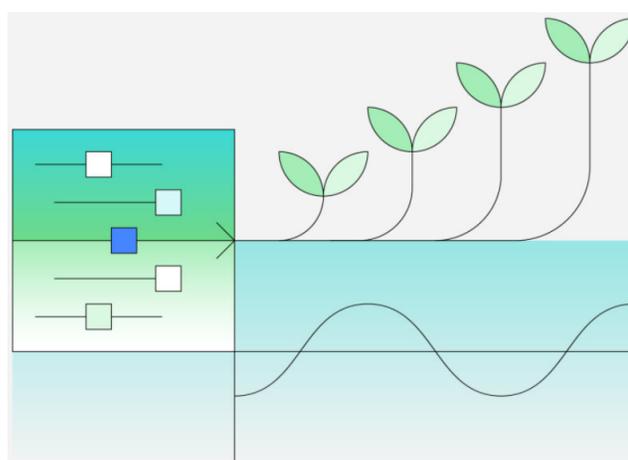
La tecnología de Internet de las Cosas es un sistema ciberfísico que integra la comunicación de millones de dispositivos heterogéneos a nivel mundial, habilitando la recopilación, el análisis y la comunicación de datos en tiempo real. Desde el nacimiento de las telecomunicaciones pasando por los sistemas móviles e información hasta la era Post-PC, se ha marcado una generación innovadora y creativa en el diseño y desarrollo de nuevas tecnologías para sostener las necesidades sociales a través de las aplicaciones inteligentes que ha traído consigo la evolución tecnológica. Por lo tanto, la tecnología IoT es el futuro de la integración y de dominio global que proporciona nuevas soluciones con la ayuda de protocolos, estándares, comunicaciones, conectividad, AI, y tecnologías de soporte como WSN, Cloud Computing, etc.

cambio climático, que afecta la productividad de los cultivos y pone en riesgo la disponibilidad de recursos naturales, como el agua para riego.

La agricultura inteligente nos permite hacer frente a los desafíos del cambio climático, reduciendo nuestro impacto ambiental y asegurando la producción de alimentos de manera sostenible. (IBM, 2023)

Figura 2

Imagen de datos hacia la Agricultura



Fuente: Adaptado por IBM ¿Qué es la agricultura inteligente? 2023
(<https://www.ibm.com/es-es/topics/smart-farming>)

2.2.3 Sensores IoT

Los sensores son dispositivos fundamentales que detectan cambios en el entorno físico y generan una respuesta en forma de señales, ya sean analógicas o digitales. Estas señales pueden ser visualizadas por humanos a través de pantallas o transmitidas electrónicamente para su procesamiento y análisis en otros sistemas. Los sensores convierten fenómenos físicos, como luz, calor, movimiento, humedad o presión, en datos que son útiles para la supervisión y control de diversos entornos.

Los sensores juegan un rol crucial en el ecosistema del Internet de las Cosas (IoT), facilitando la recolección y procesamiento de datos de un entorno determinado, lo que permite su supervisión, gestión y control de manera más eficiente. Estos dispositivos IoT son ampliamente utilizados en diversas aplicaciones, como el hogar, la agricultura, el sector automotriz, la aviación, entornos industriales y otros. Los sensores actúan como un vínculo entre el mundo físico y el digital, funcionando como los sentidos de una infraestructura tecnológica que procesa los datos recopilados para tomar decisiones y ejecutar acciones.

Tabla 1

Cuadro de diferentes tipos de sensores IoT

Tipo de Sensor	Funcionalidad	Aplicaciones Comunes
Sensor de Temperatura	Mide la temperatura ambiente.	Control del clima en hogares inteligentes, procesos industriales, agricultura.
Sensor de Humedad	Mide la humedad relativa del aire.	Monitoreo de invernaderos, sistemas de riego, almacenamiento de alimentos.
Sensor de Presión	Mide la presión de gases o líquidos.	Sistemas de climatización, monitoreo de presión arterial, procesos industriales.
Sensor de Luz	Detecta la intensidad de la luz.	Iluminación automática, sistemas de seguridad, dispositivos portátiles.
Sensor de Movimiento	Detecta movimiento en un área específica.	Sistemas de seguridad, iluminación automática, dispositivos de fitness.
Sensor de Proximidad	Detecta la presencia de objetos cercanos sin contacto físico.	Sistemas de seguridad, automatización industrial, dispositivos móviles.
Sensor de Gas	Detecta la presencia de gases específicos en el ambiente.	Monitoreo de calidad del aire, detección de fugas de gas, seguridad industrial.
Sensor de Humedad del Suelo	Mide la humedad del suelo.	Agricultura inteligente, sistemas de riego automatizados.
Acelerómetro	Mide la aceleración en una o más direcciones.	Dispositivos portátiles, monitoreo de actividad física, sistemas de navegación.
Giroscopio	Mide la orientación y la velocidad angular.	Realidad virtual, dispositivos móviles, sistemas de navegación.

Nota: Esta tabla muestra los principales tipos de sensores juntos con sus descripciones básicas y su relación con la tecnología.

y Frecuencias Super Alta (SHF) de 5 GHz de las bandas de frecuencia industriales, científicas y médicas (ISM). Estas bandas están divididas en múltiples canales, los cuales pueden ser compartidos entre varias redes, aunque solo un transmisor puede operar localmente en un canal en cualquier momento. Las bandas de frecuencias tienen una absorción relativamente alta y funcionan mejor en Línea de Vista (LOS). El acceso a un AP es de aproximadamente de 20 metros en interiores, mientras que en exteriores alcanzan 150 metros, pero depende de los obstáculos presentes en el enlace de comunicación o Sin Línea de Vista (NLOS). Dependiendo de la versión, en cortas distancias WiFi puede alcanzar desde algunos Mbps hasta 1 Gbps.

Un dispositivo WiFi puede conectarse a una red a través de protocolos de seguridad, es decir, con un ID de Conjunto de Servicios (SSID) y contraseña que utiliza cifrado de paquetes para impedir el acceso a los espías. El Acceso Protegido a WiFi (WPA) está diseñado para proteger la información transmitida en redes WiFi y cuenta con versiones tanto para redes personales como corporativas. El desarrollo de características de seguridad de WPA ha incorporado protecciones más robustas y nuevas prácticas de seguridad. (Ganazhapa, 2021)

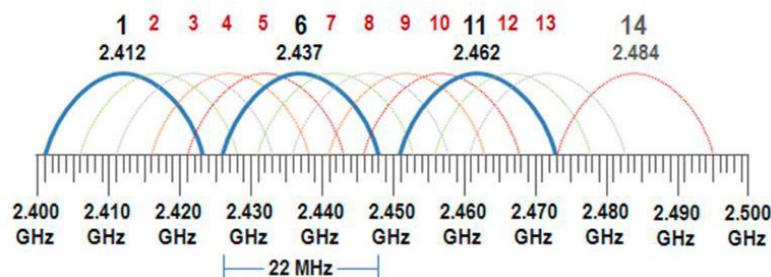
Los canales de las redes dependen de la banda de frecuencia y del país en donde vienen implementadas. Hay un total de 14 canales disponibles en la banda de 2.4 GHz, pero no todos los canales están autorizados en todos los países (11 canales en EE.UU., 13 canales en Europa y 14 canales en Japón). Como los canales se superponen con muchos canales cercanos, para evitar este problema, cada canal se puede utilizar 3 canales para evitar que se interrumpan entre sí:

1. "El canal 1" se superpone con cada canal hasta el canal 5.

2. "El canal 6" se sobrepone a cada canal desde el canal 2 hasta el canal 10.
3. "El canal 11" se sobrepone a todos los canales del 7 al 13.

Figura 4

Canales WIFI de 2.4 GHz (IEEE 802.11b/g WLAN).



Fuente: Adaptado por Los Espectros de 2.4 GHz y 5 GHz, (https://www.reydes.com/d/?q=Los_Espectros_de_2_4_GHz_y_5_GHz)

2.2.5 Protocolo HTTP

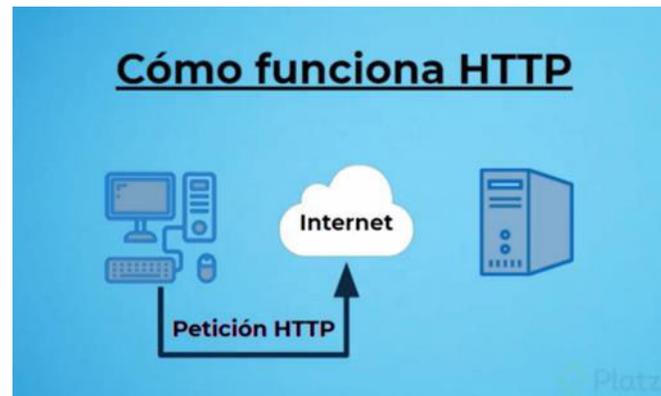
El protocolo de transferencia de hipertexto (HTTP) es un protocolo de aplicación para sistemas de información distribuidos, colaborativos e hipermedia con arquitectura cliente-servidor. Es un protocolo muy accesible por ser de código abierto, además de poseer numerosas bibliotecas. Es efectivo para enviar grandes cantidades de información, por ejemplo, lecturas de sensores en intervalos de tiempo (no es adecuado para enviar información en el orden de milisegundos). Incorpora el protocolo criptográfico SSL/TLS, generando el protocolo de aplicación HTTPS, que se refiere al protocolo con seguridad. Sin embargo, el método más seguro es implementar únicamente un cliente HTTP en el dispositivo IoT, en lugar de un servidor HTTP, de modo que el dispositivo IoT pueda iniciar conexiones con un servidor web, pero no recibir solicitudes de conexión entrantes.

Además, funciona como un protocolo de solicitud/respuesta en el modelo Cliente/Servidor. Por ejemplo, un cliente puede ser un

navegador web que se ejecuta en un dispositivo u ordenador, y el servidor puede ser un ordenador que aloja un sitio web y ejecuta una aplicación. (Ganazhapa, 2023)

Figura 5

Funcionamiento general del HTTP



Fuente: Adaptado de protocolo HTTP, por la página Platzi.

(<https://platzi.com/clases/1638-api-rest/21614-que-es-y-como-funciona-el-protocolo->

[http#:~:text=Es%20un%20protocolo%20orientado%20a,con%20cierto%20formato%20al%20servidor\)](http#:~:text=Es%20un%20protocolo%20orientado%20a,con%20cierto%20formato%20al%20servidor)

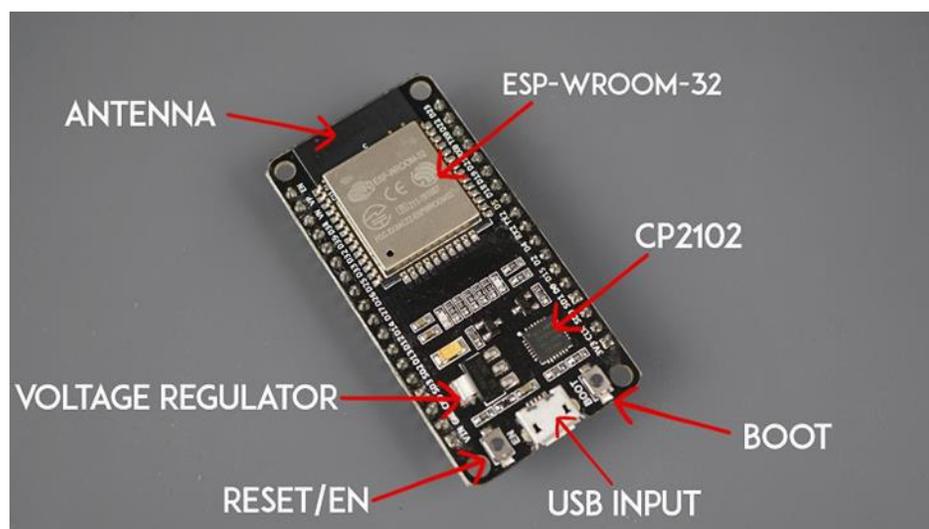
2.2.6 Microcontrolador ESP32

El ESP32 es un SoC (System on Chip) que ha sido diseñado por Espressif, una empresa china, y fabricado por TSMC. Este chip integra un procesador de doble núcleo Tensilica Xtensa de 32 bits que opera a 160MHz, con la capacidad de alcanzar hasta 240MHz, además de ofrecer conectividad WiFi y Bluetooth. Para la programación del dispositivo, se pueden utilizar diversos IDE, incluyendo Arduino, entre otros. La tarjeta cuenta con puertos GPIO capaces de suministrar hasta 12 mA, que funcionan como entradas y salidas digitales. Además, la placa cuenta con 10 sensores táctiles capacitivos que detectan el contacto y envían la información a la placa. El ADC integrado permite la conversión de valores analógicos a digitales, con

16 pines disponibles para esta función. La placa también dispone de puertos de 5V y 3.3V, pines de comunicación serie como GND, Tx y Rx, entre otros. Así, un solo pin puede cumplir múltiples funciones en algunos casos. Por último, el ESP32 incluye un sensor de temperatura integrado que facilita la monitorización de la temperatura operativa de la placa. (Luis Llamas, 2024)

Figura 6

Placa ESP32 Devkit Doit



Fuente: Adaptado por Primeros pasos con la placa de desarrollo ESP32, randomnerdtutorials,2024, (<https://randomnerdtutorials.com/getting-started-with-esp32/>)

2.2.7 Entorno de Programación de Arduino (IDE)

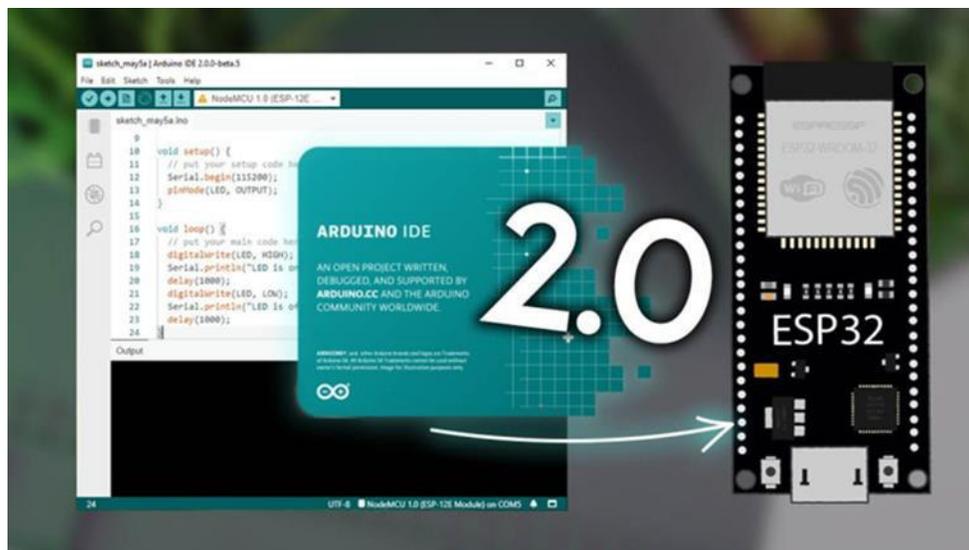
El Entorno de Programación de Arduino, es una herramienta de software que se utiliza para escribir, compilar y cargar código en placas de desarrollo Arduino. Proporciona un entorno de programación amigable que incluye un editor de texto para escribir el código, un compilador para convertir el código en lenguaje de máquina entendible por la placa Arduino, y un cargador que permite transferir el código compilado a la placa para su ejecución.

El IDE de Arduino 2.0 es una mejora significativa del IDE clásico, ofreciendo un rendimiento superior, una interfaz de usuario optimizada y muchas características nuevas: El autocompletado, un depurador integrado y la sincronización de bocetos con Arduino Cloud. (Arduino 2024)

En el presente proyecto utilizaremos el IDE de Arduino para programar los códigos en el microcontrolador ESP32.

Figura 7

Programar en el IDE de Arduino hacia el microcontrolador ESP32



Fuente: Adaptado de Instalación de la placa ESP32 en Arduino IDE 2 (<https://randomnerdtutorials.com/installing-esp32-arduino-ide-2-0/>)

2.2.8 ThingSpeak

La plataforma ThingSpeak es una aplicación y API IoT de código abierto diseñada para almacenar y recuperar datos mediante los protocolos HTTP y MQTT tanto con el Internet o a través de una red local. Esta plataforma IoT que facilita la creación de los sensores en aplicaciones de registro, seguimiento de ubicación y una red social de objetos con actualizaciones de estado, es decir, en una plataforma de

servicios para análisis de IoT que le permite agregar, visualizar y analizar flujos de datos en tiempo real en la nube. Puede enviar datos a la plataforma desde cualquier dispositivo IoT, crear una visualización instantánea de datos en tiempo real y enviar alertas.

Esta plataforma está compuesta por canales, en los cuales se almacenan los datos provenientes de los dispositivos, y se compone de 3 elementos:

1. Ocho campos para almacenar datos de cualquier tipo.
2. Tres campos para almacenar la ubicación, latitud, longitud y elevación. Para ello se necesita de un componente que de esta información.
3. Un campo para almacenar el estado. (Ganazhapa, 2021)

Figura 8

Logotipo de la plataforma de ThingSpeak para proyectos de IoT



Fuente: Adaptado de la página oficial de ThingSpeak (<https://thingspeak.com/>)

2.2.9 Telegram

Telegram es una aplicación de mensajería instantánea basada en la nube que utiliza el protocolo VoIP para la comunicación de voz. Es compatible con dispositivos móviles, tanto Android como iPhone, y también se puede instalar en computadoras con sistemas operativos como PC, Mac y Linux. El servicio es completamente gratuito y libre de publicidad. Además, ofrece la posibilidad de desarrollar Bots con los que los usuarios pueden interactuar.

2.2.10 Bot Telegram

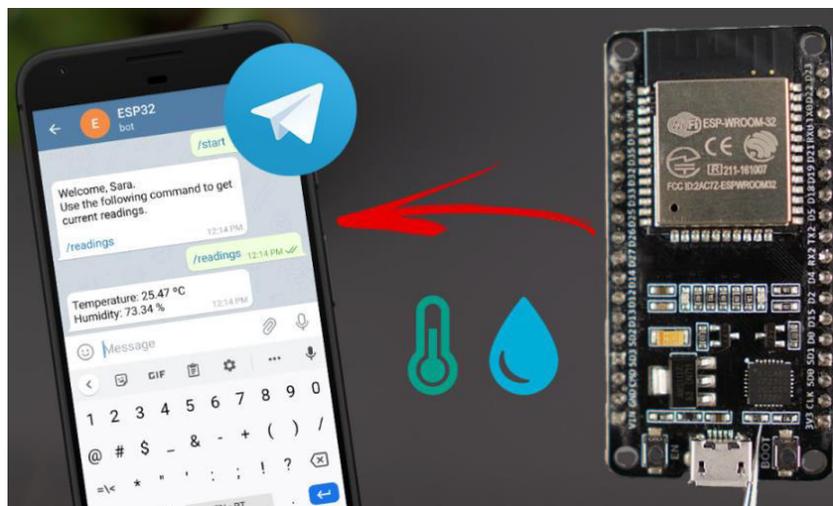
Los Bots son aplicaciones externas que funcionan dentro de la plataforma de Telegram. Los usuarios pueden interactuar con ellos enviando mensajes, comandos o haciendo solicitudes en línea. El control de estos Bots se realiza a través de solicitudes HTTPS a la API de Bots de Telegram.

Una de sus principales ventajas es que no requiere instalación y funciona de manera eficiente en cualquier dispositivo, ya sea móvil o de escritorio, donde esté instalado Telegram Messenger.

El ESP32 se comunicará con el Bot de Telegram para recibir, gestionar mensajes y emitir respuestas. En este proyecto se explicará cómo utilizar Telegram para enviar mensajes al Bot y solicitar datos de los sensores de manera remota, necesitando únicamente la aplicación de Telegram y una conexión a Internet.

Figura 9

Solicitud de lecturas de temperatura y humedad del sensor DHT22



Fuente: Adaptado de la página de Solicitud de lecturas de sensores ESP32 (<https://randomnerdtutorials.com/telegram-request-esp32-esp8266-nodemcu-sensor-readings/#more-97860>)

2.2.11 Plataformas IoT de Código Abierto

Existen cientos de plataformas IoT disponibles en el mercado, orientadas a diversos campos de aplicación y con una amplia variedad de funcionalidades. Estas plataformas pueden ser gratuitas o de pago, dependiendo de la complejidad y el nivel de seguridad que ofrezcan. Según los requerimientos específicos de un sistema IoT, es posible seleccionar la plataforma más adecuada que se ajuste a las necesidades de la red. Las plataformas IoT desempeñan un papel crucial en nuestras redes de aplicaciones, ya que permiten la interconexión de dispositivos y aplicaciones IoT para el intercambio de los datos a través de protocolos de red. Su propósito principal es cerrar la brecha entre los dispositivos y las redes de datos, haciendo accesibles los datos de los sensores y proporcionando información útil mediante aplicaciones servidor, lo que facilita el análisis de la gran cantidad de datos generados por millones de dispositivos.

En nuestro enfoque, las plataformas gratuitas ofrecen una solución rápida y sencilla para conectar exclusivamente dispositivos o "cosas" en nuestras redes de Internet.

Tabla 2*Características de las plataformas IoT*

Plataforma	Herramientas de desarrollo	Formato de Datos Compatibles y protocolos	Lenguajes de Programación Soportados
Plataformas abiertas			
Arduino IoT	API abierto	API REST, HTTP, MQTT, Excel, JSON, WebSocket	C, C++, JavaScript, Node.js
ThingSpeak	API abierto	HTTP, MQTT	Matlab, C/C++, .NET, Java
Temboo	API abierto	JSON, Excel, CSV, XML	C, C++, Java, Python, iOS, Android, JavaScript
Node-RED	API abierto	JSON, MQTT, HTTP, API REST, AMQP, WebSocket	C, C++, JavaScript, Node.js
Thingier.io	API abierto	API REST, MQTT, CoAP, HTTP	C, C++, .NET, PHP, Node.js, bash
Adafruit IO	API abierto	API REST, JSON, MQTT, HTTP	C, C++, Python, Node.js, Ruby, Go, CircuitPython, MicroPython
Plataforma de pago			
IBM Watson IoT	SDK abierto	JSON, CSV, MQTTS, HTTP, RabbitMQ	C#, C, Python, Java, Node.js
AWS IoT	SDK abierto	JSON, HTTP, MQTT, AMQP, STOMP	Java, C, Node.js, JavaScript, Python, SDK para Arduino, iOS, Android
Microsoft Azure IoT	API abierto	JSON, API REST, AMQP, MQTT, HTTPS	.NET, UWP, Java, C, Node.js, Ruby, Android, iOS
Google Cloud IoT	API abierto	JSON, API REST, RabbitMQ, MQTT, HTTP	Go, Java, .NET, Node.js, PHP, Python, Ruby

Nota: Esta tabla 2 se muestra las principales plataformas de pequeñas y grandes corporaciones libres y de pago.

2.2.12 Google Sheets

Es una aplicación web basada en la nube que implementa un modelo de hoja de cálculo relacional, permitiendo a los usuarios crear y manipular datos estructurados en filas y columnas. Su arquitectura colaborativa y la integración con otras herramientas de Google Workspace la convierten en una plataforma versátil para el análisis de datos, la creación de modelos y la visualización de información, siendo ampliamente utilizada en entornos académicos y empresariales. Para el proyecto se utilizará el Esp32 con el Google Sheets mediante la cuenta de Google y la API de Google Sheets.

Figura 10

Interconexión del microcontrolador con Google Sheets



Fuente: Adaptado de la página de Registro de datos ESP32 en hojas de cálculo de Google (mediante una cuenta de servicio de Google)

(<https://randomnerdtutorials.com/esp32-datalogging-google-sheets/>)

2.3 MARCO METODOLOGICO

2.3.1 Tipo de investigación

Esta investigación es de tipo tecnológica y aplicada, donde se llevará la teoría a la práctica para resolver el problema actual y específico utilizando IoT. La propuesta es establecer una Implementación de sistema de monitoreo inalámbrico que va a adquirir información sobre la temperatura y humedad del suelo en tiempo real para la hacienda Fundo de Huaylacucho, ubicado en el Departamento de Ayacucho.

2.3.2 Metodología de investigación

En el presente proyecto de estudio, la metodología de investigación se resume en tres bloques correspondientes:

Figura 11

Diagrama de bloques resumido



Nota: Se visualiza las breves fases del proyecto

a. Proyección del prototipo

Se realiza con la primera etapa por identificar las necesidades o aspectos a medir para seleccionar los sensores y componentes electrónicos adecuados. Estos se utilizan para enviar los datos para la plataforma web, donde podemos registrar y validar la información recolectada.

b. Implementación del sistema

En la segunda etapa se realizará las pruebas con el software y dispositivos electrónicos correspondientes. Se conectará los sensores con el microcontrolador para tener los primeros valores de la información y luego se enviará a una plataforma web vía inalámbrica para su almacenamiento correspondiente.

c. Procesamiento, acceso y visualización de los datos

La última tercera etapa, ya implementado el sistema de monitoreo inalámbrico, el agricultor accederá a los datos procesados y visualizando la lectura de los sensores mediante un teléfono móvil o una computadora. En base a las lecturas tomara la mejor decisión para el riego de los cultivos.

2.4 MARCO LEGAL

Este trabajo de investigación se lleva a cabo en el marco legal y normativo vigente, que regula la implementación de sistemas inalámbricos y el cultivo de papas en Ayacucho, Perú. Este marco incluye, pero no se limita a, las siguientes leyes y regulaciones.

2.4.1 Ley 31207: Ley que garantiza la velocidad mínima de conexión a internet

Esta ley, vigente desde el 2 de junio de 2021, tiene como objetivo principal garantizar un buen servicio de internet, asegurando calidad, velocidad y supervisión por parte de los proveedores de este servicio. Algunos de los objetivos de esta ley son promover la competencia justa en telecomunicaciones, fomentar el empleo digital, y facilitar el despliegue de redes para una conectividad equitativa (OSIPTEL, 2021).

2.4.2 Decreto Supremo N° 103-2023-PCM

En el Plan Estratégico de Desarrollo Nacional al 2050, una de las megatendencias clave es la innovación tecnológica, donde destaca el Internet de las cosas (IoT), el cual producirá cambios radicales en diversas áreas. Esta investigación se centra en el impacto que estas tecnologías disruptivas tendrán en la economía y la sociedad. La innovación, entendida como un proceso, método o producto nuevo o significativamente mejorado, ofrece una ventaja comparativa entre los países debido a sus implicaciones directas en el desarrollo económico. A su vez, el desarrollo tecnológico es fruto del conocimiento y la investigación, permitiendo la creación de materiales, dispositivos, sistemas, prototipos, productos y servicios a través de procesos innovadores que impulsan el progreso económico y organizacional.

Para el año 2030, el mundo estará más cerca de la transición de la cuarta revolución industrial hacia la quinta. La cuarta revolución industrial se ha caracterizado por la integración de tecnologías digitales, analógicas, biológicas y computacionales, transformando principalmente los ámbitos social y económico. En contraste, la quinta revolución marcará una nueva era de avances significativos en inteligencia artificial, computación cuántica y virtualización.

El desarrollo de tecnologías disruptivas, como la biología sintética y genómica, el análisis de grandes y pequeños datos, la nanotecnología, el Internet de las cosas, las interfaces hombre-máquina, la impresión 3D, la realidad virtual y aumentada, el aprendizaje automático, los vehículos autónomos, la robótica, las energías renovables y la cadena de bloques, generará cambios radicales en los sistemas sociales, económicos, ambientales y gubernamentales. Los expertos predicen que, para 2060, con una probabilidad del 50 %, las máquinas podrán realizar trabajos de alta calidad sin supervisión humana, a un costo inferior al de los salarios humanos, y para 2140, muchas ocupaciones

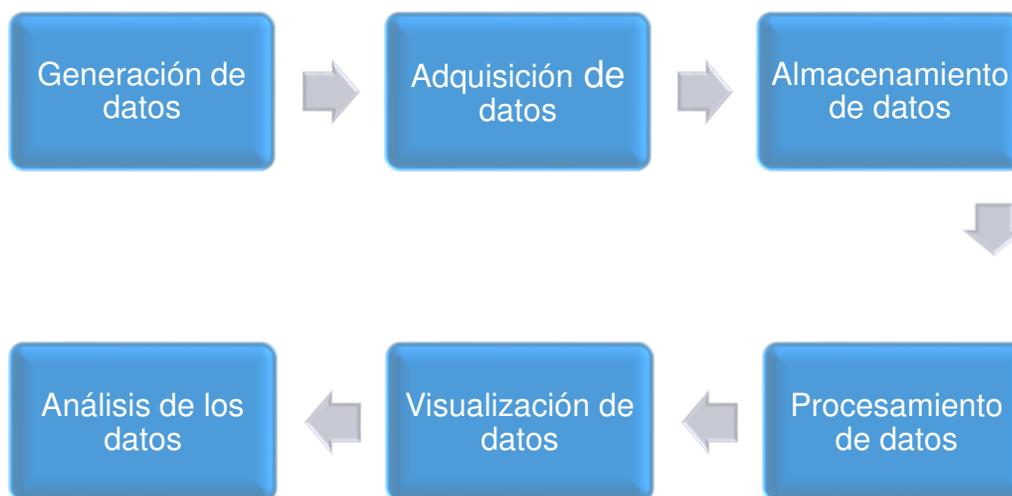
podrían estar completamente automatizadas. (Decreto Supremo N° 103-2023-PCM, 2023, p. 62)

2.5 DIAGRAMA DE BLOQUES

En el presente proyecto, los datos de temperatura y humedad son generados por sensores ubicados en el campo de cultivo. Estos datos son adquiridos en tiempo real y almacenados en una base de datos en la nube. Luego, los datos son procesados para eliminar valores erróneos. Los resultados se visualizan en gráficos. Finalmente, se analizan los datos para optimizar los procesos de producción.

Figura 12

Diagrama de bloques en general



Nota: En la siguiente imagen del diagrama de bloques simplifica el presente proyecto de investigación

CAPÍTULO III: DESARROLLO DE LA APLICACION

3.1 DESCRIBIR LA SITUACION ACTUAL DEL SEMBRIO DE PAPAS EN LA HACIENDA EL FUNDO HUAYLACUCHO DEL DEPARTAMENTO DE AYACUCHO

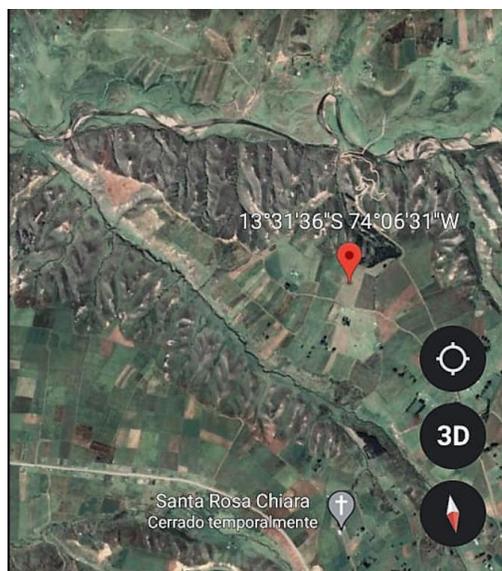
3.1.1 Datos de la Hacienda

El Fundo Huaylacucho, ubicado en el departamento de Ayacucho, provincia de Huamanga, distrito de Chiara, pertenece a la comunidad campesina de Santa Rosa de Chiara, a una altitud aproximada de 3300 metros sobre el nivel del mar.

Esta hacienda fue adquirida en 1904 por los hermanos Prado Ayala, y actualmente está habitada por la tercera y cuarta generación de la familia. Inicialmente, la actividad principal era la ganadería, con la cría de ganado vacuno, ovino, caballos y porcinos. Sin embargo, debido al conflicto social y el terrorismo en las décadas de 1980 y 1990, se abandonó la ganadería y se optó por la agricultura, con el cultivo de papa en mayor cantidad y quinua, avena, cebada y trigo en menor escala.

Figura 13

Imagen de la ubicación de la Hacienda el Fundo Huaylacucho



Fuente: Adaptado la imagen de Google Maps

3.1.2 Principales Limitantes de la Agricultura Tradicional en la Hacienda Fundo Huaylacucho

A pesar de este cambio, la actividad agrícola en el Fundo sigue siendo tradicional y estacionaria, con la siembra de papas llevándose a cabo en los meses de octubre y noviembre, sin la incorporación de tecnologías avanzadas.

Esto ha generado diversas deficiencias que impactan negativamente en la producción y la productividad agropecuaria, entre las cuales destacan:

- a) **Escasa tecnificación:** La ausencia de tecnologías agrícolas avanzadas impide alcanzar altos niveles de productividad y calidad en los cultivos.

- b) **Acceso limitado a capacitación y recursos:** Los pequeños y medianos productores carecen de acceso a capacitación, asistencia técnica y crédito, lo que restringe su desarrollo.
- c) **Gestión ineficiente del agua:** Los sistemas de riego tradicionales generan un desperdicio considerable de agua y una baja eficiencia en su uso, afectando directamente el rendimiento y la calidad de los cultivos, especialmente de papa.
- d) **Vulnerabilidad al cambio climático:** Las variaciones climáticas y las características del suelo impactan negativamente en la gestión del riego, lo que se traduce en cultivos de menor tamaño y mayor susceptibilidad a enfermedades, reduciendo la productividad y la rentabilidad.
- e) **Dificultades en la comercialización:** La falta de acceso a mercados más justos y la presencia de intermediarios limitan las ganancias de los productores.

En conclusión, la persistencia de métodos agrícolas tradicionales en el Fundo Huaylacucho ha generado una serie de desafíos que obstaculizan el desarrollo sostenible de la actividad agrícola en el cultivo de papas. La gestión ineficiente del agua, agravada por el cambio climático, representa una de las principales limitaciones, afectando directamente la productividad y rentabilidad de los cultivos, especialmente de papas.

3.2 DETERMINAR LOS DISPOSITIVOS Y REQUERIMIENTOS DE DISEÑO PARA LA IMPLEMENTACION DEL SISTEMA

En esta sección se detallarán los componentes electrónicos y el software que permitirán implementar un sistema de monitoreo para el cultivo de papas. Esto implica la selección de sensores, microcontrolador y software idóneos para el sistema.

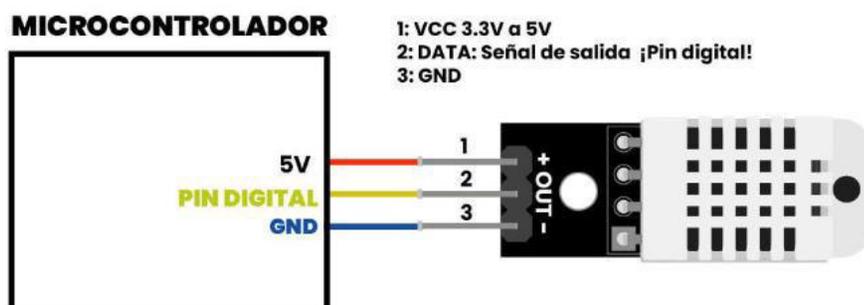
3.2.1. Sensor de temperatura y humedad (DHT22)

El DHT22 es un sensor digital que combina un sensor capacitivo de humedad y un termistor para ofrecer mediciones precisas de temperatura y humedad relativa. Su diseño sencillo lo hace muy versátil en proyectos electrónicos como control para la temperatura y monitoreo ambiental en la agricultura

Es fácil de usar con plataformas como Arduino, Raspberry Pi y ESP32, con soporte de librerías para el protocolo "Single bus". La conexión es sencilla: VCC a 3-5V, GND a tierra y el pin de datos a un pin digital. Su única limitación es que actualiza los datos cada 2 segundos. Está calibrado de fábrica, garantizando estabilidad.

Figura 14

Imagen del Sensor DHT22



Fuente: Adaptado la imagen de la página, Sensor de Temperatura y Humedad DHT22 con cables (<https://uelectronics.com/producto/sensor-de-temperatura-y-humedad-dht22-con-cables/>)

3.2.2. Sensor de temperatura y humedad relativa (DHT22)

El sensor DHT22 ha sido seleccionado debido a su combinación de precisión de temperatura, rango de medición, facilidad de uso, voltaje de alimentación y costos, como se muestra en la Tabla 3. Estas características lo convierten en la opción más adecuada para la medición de temperatura y humedad en nuestro sistema de monitoreo para el cultivo de papas.

Tabla 3

Los tres sensores ambientales más representativos.

Características	BME180	DHT11	DHT22
Medidas	Temperatura y Presión	Temperatura y Humedad	Temperatura y Humedad
Voltaje de Alimentación	1.8 a 3.6V (chip), 3.3 a 5V (placa)	3 a 5.5V DC	3 a 6V DC
Rango de Temperatura	-40 a 85°C	0 a 50°C	-40 a 80°C
Precisión de Temperatura	±0.5°C	±2°C	±0.5°C
Rango de Humedad	NO	20-80%	0-100%
Precisión de Humedad	NO	±5%	±2-5%
Soporte (Arduino IDE)	Adafruit BME280 library	Adafruit DHT Library	Adafruit DHT Library
Costo	S/7	S/11	S/25

Nota: En la Tabla 3 se mencionan las principales características técnicas, resaltando el rango de temperatura y humedad.

3.2.3. Sensor de Humedad de Suelo Capacitivo V1.2

El Sensor de humedad de suelo capacitivo puede medir la humedad de tierra usando capacitancia en lugar de una resistencia, prolongando su uso de vida útil. A diferencia con resistivos sensores, su electrodo tiene una capa anticorrosiva que previene la oxidación. Es compatible con Arduino, ESP8266 y ESP32. El sensor es excelente en monitorear

la humedad de las plantas, y para implementar un sistema automatizado de riego con una válvula o bomba de agua.

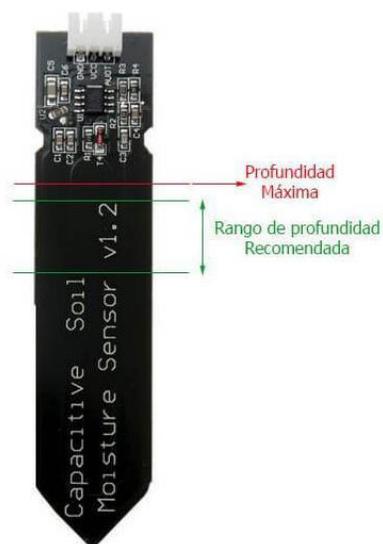
El sensor funciona midiendo la capacitancia entre dos electrodos insertados en el suelo, donde la capacitancia varía según la humedad: cuanto más húmedo esté el suelo, menor será la capacitancia, y cuanto más seco, mayor será. La conexión de los electrodos está conectada hacia la placa que genera la señal analógica. La salida analógica varía de 0V, indicando tierra muy húmeda y 5V para tierra demasiado seca.

Especificaciones técnicas del sensor:

- Suministro de voltaje: 3.3V - 5V DC
- Operación de corriente: 5mA
- Salida de voltaje para la señal de: 0 a 5V en Analógico
- Es un modelo: capacitive v1.2
- Una útil vida: 3 años mín.
- Además, tiene: Cable jumper hembra y electrodo
- Tamaño de la placa del circuito: 98x23 mm
- Peso: 15 gramos

Figura 15

Imagen del Sensor de Humedad de Suelo Capacitivo v1.2



Fuente: Adaptado la imagen de la página, Sensor de Humedad Suelo Capacitivo Anticorrosivo (<https://uelectronics.com/producto/sensor-de-humedad-suelo-capacitivo-anticorrosivo/>)

3.2.4. Selección de los sensores de humedad: Sensor de Humedad de Suelo FC-28 y Sensor de Humedad de Suelo Capacitivo v1.2

El Sensor de Humedad de Suelo Capacitivo v1.2 ha sido seleccionado debido a su superior precisión, estabilidad, resistencia a la corrosión y menos sensible a la temperatura en contraste al sensor FC-28. Estas características hacen que el sensor capacitivo sea la opción más adecuada para tener precisas mediciones para la humedad de tierra en nuestro sistema de monitoreo, lo que permitirá mejorar el rendimiento de los cultivos y optimizar el riego.

A continuación, se muestra en la tabla 4, el cuadro comparativo ampliado entre los dos sensores.

Tabla 4

Comparaciones de los sensores de humedad de suelos

Característica	Sensor de Humedad de Suelo Capacitivo v1.2	Sensor de Humedad de Suelo FC-28
Tipo de Sensor	Capacitivo	Resistivo
Principio de Funcionamiento	Mide cambios en la capacitancia del suelo	Mide la resistencia eléctrica del suelo
Interferencia con el Medio	No afectado por la conductividad del suelo (sales, minerales)	Afectado por la conductividad (puede corroerse con el tiempo)
Salida de Datos	Analógica	Analógica y digital
Durabilidad	Alta, no se corroe con el tiempo	Menor, los electrodos pueden corroerse
Precisión	Alta precisión, menos influenciado por cambios en la salinidad	Moderada, influenciado por la conductividad del suelo
Operación de Temperatura	-40°C a 85°C	-40°C a 80°C
Costo	S/9	S/5

Nota: La Tabla 4 muestra un desglose de las especificaciones técnicas clave de los sensores de humedad.

3.2.5. Módulo de Relé 2CH-12VDC

El siguiente módulo cuenta con dos relés potentes de la marca Songle, ideales para controlar dispositivos de hasta 250V y 10A. Cada relé se activa con un voltaje bajo (0V) y se desactiva con un voltaje alto (5V). Es compatible con diversas placas como Arduino, Raspberry Pi y Esp32, facilitando su uso en proyectos de automatización.

Características técnicas del Relé:

- Alimentación de voltaje: 12V DC (Bobina Relé)
- Control de señal: 3.3V o 5V
- Salida para activar NO: 0 Voltios
- Numero de Relé: 2 CH

- Código Relé: SRD-12VDC-SL-C
- Máxima capacidad: 10A/250VAC, 10A/30VDC
- Corriente máxima: 10A (NO), 5A (NC)
- Acción de tiempo: 10 ms / 5 ms
- Opto acopladas de entradas
- Activación de indicadores LED
- Costo de S/10

Para el presente proyecto se conectará el módulo Relé hacia la placa de expansión del ESP32, donde se activará la válvula para riego cuando el sistema envíe las mediciones de las variables como la temperatura y humedad del suelo.

Figura 16

Imagen del Módulo Relé 2CH 12VDC



Fuente: Adaptado la imagen de la página, Módulo Relay 2CH 12VDC (<https://naylampmechatronics.com/drivers/193-modulo-relay-2-canales-12vdc.html>)

3.2.6. Válvula Solenoide

Se seleccionó, porque es un tipo de electroválvula que funciona en modo todo/nada, es decir, están completamente abiertas o cerradas. Estas válvulas conformado por dos partes principales: El Cuerpo de plástico y el solenoide.

Como el solenoide es un tipo de electroimán, que funciona como una puerta controlada eléctricamente. Cuando se le suministra corriente, genera un campo magnético que mueve un diafragma, permitiendo el paso del fluido. Esta válvula, es configurada para estar normalmente cerrada, permanece abierta mientras el solenoide está activo. Sin embargo, al cortar la corriente, un resorte retorna el diafragma a su posición original, así cerrando el flujo.

Manipular la válvula es muy sencillo con un microcontrolador y un driver de potencia. El driver es fundamental porque la corriente y el voltaje de la válvula son mayores que los que maneja el microcontrolador. Si conectamos directamente el microcontrolador a la

válvula, podríamos dañar el circuito. Los microcontroladores que se pueden usar incluyen Arduino, Raspberry Pi o un módulo ESP32.

Características técnicas:

- Operación de voltaje: 12V DC
- Operación de corriente: 0.6A
- Consumo de potencia: 8W
- Rango de operación de temperatura: 5°C hasta 100°C
- Reposo: Cerrado Normalmente (NC)
- Costo S/22

Figura 17

Imagen de la válvula solenoide



Fuente: Adaptado la imagen de la página, Válvula solenoide 3/4" 12VDC Baja Presión (<https://naylampmechatronics.com/valvulas/948-valvula-solenoide-34-12vdc-baja-presion-nc.html>)

3.2.7. Placa de expansión ESP32 DevKitC (Shield)

Optando por una solución completa y eficiente, se seleccionó la placa de expansión ESP32 DevKitC. Esta placa no solo amplía las capacidades del ESP32, sino que también simplifica el cableado para

conexiones con módulos de sensores, actuador y pantalla LCD. Su diseño compacto y optimizado agiliza el proceso de desarrollo.

La placa ofrece múltiples opciones de alimentación gracias a sus conectores USB y Jack hembra, que aceptan voltajes desde 6.5V hasta 16V. Además, incorpora un regulador de voltaje para garantizar un suministro estable y seguro para proyectos IoT.

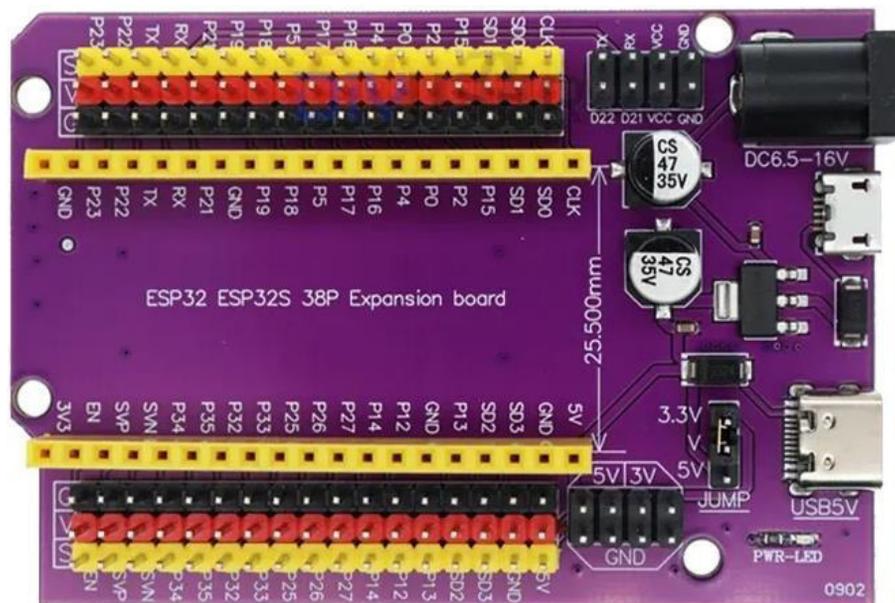
Tiene dimensiones compactas de 77.7mm x 53.5mm y su diseño modular la hacen compatible con una amplia variedad de plataformas de desarrollo. Su construcción robusta asegura una conexión eléctrica segura.

Características técnicas:

- Interfaz de conexión de 38 pines
- Voltaje de alimentación: 6.5-16VDC
- Corriente máxima: 1A
- Con conectores micro USB y USB tipo C
- LED de alimentación
- Con interfaz jumper para selección de voltaje de 3.3V o 5V
- Interfaz extendida I2C
- Dimensiones: 70x53mm

Figura 18

Imagen de Placa de expansión de ESP32 de 38 pines



Fuente: Adaptado la imagen de la página, Placa de expansión ESP32 DevKitC (<https://mtlab.pe/producto/placa-de-expansion-esp32-devkitc-mejorada-terminal-adapter/>)

3.2.8. Selección de Microcontroladores para el sistema

Se realizó un estudio técnico para la elección del Microcontrolador idóneo donde se usará para el sistema de monitoreo inalámbrico, como está en la Tabla 5. Eligiendo el ESP32 por que tiene Wi-Fi como Bluetooth, con capacidad para manejar múltiples sensores y actuadores. Su potencia y versatilidad lo hacen ideal para aplicaciones más complejas. Teniendo en cuenta su temperatura de operación.

Tabla 5*Comparaciones de las placas de los Microcontroladores*

Característica	Arduino UNO R3	ESP8266	ESP32
Procesador	ATmega328P (8 bits, 16 MHz)	Tensilica L106 (32 bits, 80 MHz)	Dual-core Tensilica LX6 (32 bits, 240 MHz)
Memoria Flash	32 KB	4 MB (varía según el módulo)	4 MB (varía según el módulo)
RAM	2 KB SRAM	64 KB	520 KB SRAM
Conectividad Inalámbrica	NO	Wi-Fi (802.11 b/g/n)	Wi-Fi (802.11 b/g/n), Bluetooth 4.2
Número de Pines GPIO	14 pines digitales, 6 pines analógicos	17 GPIO	38 pines GPIO (varía según el modelo)
Voltaje de Operación	5V	3.3V	3.3V
Wi-Fi	NO	SI	SI
Bluetooth	NO	NO	SI, Bluetooth 4.2
Consumo de Energía	Moderado	Bajo	Bajo (en modo de bajo consumo)
Alimentación	5V vía USB o Jack de 7-12V	3.3V, puede ser alimentado por USB o batería	3.3V vía USB o batería
Tamaño Referencial	68.6 mm x 53.4 mm	24 mm x 16 mm (módulo ESP-12E)	48.4 mm x 25.5 mm
Temperatura de Operación	-25°C a +70°C	-40°C a 125°C	-40°C a 125°C
Costo	30	28	35

Nota: La Tabla 5 se mencionan las principales características técnicas de los tres Microcontroladores como Arduino R3, ESP8266 y ESP32.

3.2.9. Selección de las Plataformas de IoT

Para la selección de la plataforma IoT, se eligió a ThingSpeak debido a sus ventajas en la recolección y almacenamiento eficiente de grandes volúmenes de datos, su compatibilidad con múltiples sensores. La convierte en una opción ideal para proyectos de monitoreo agrícola en tiempo real.

Tabla 6*Comparaciones de las plataformas de IoT*

Característica	Arduino Cloud	Blynk IoT	ThingSpeak
Interfaz de Usuario	Fácil de usar y gráfica, basada en web	Intuitiva, aplicación móvil y web	Interfaz web sencilla, pero enfocada en gráficos de datos
Soporte de Hardware	Compatible con placas Arduino y ESP32	Amplio soporte (Arduino, ESP32, ESP8266, Raspberry Pi, etc.)	Compatible con ESP32, ESP8266, Raspberry Pi, Arduino
Tipo de Conectividad	Wi-Fi, GSM, LoRa	Wi-Fi, Ethernet, GSM, BLE	Wi-Fi, Ethernet, MQTT
Almacenamiento de los Datos	Nube de Arduino, acceso a datos en tiempo real	Almacena datos en la nube con historial de eventos	Almacena hasta 3 millones de mensajes al año (con cuenta gratuita)
Historial de los Datos	Almacenamiento básico (limitado en versión gratuita)	Sí, almacenamiento ilimitado en la nube	Historial de datos detallado y exportable a CSV
Gráficos y Visualización	Widgets gráficos personalizables, dashboards	Dashboard visual y widgets altamente configurables	Gráficos detallados, visualización de series temporales
Acceso Remoto	Sí, a través de la web y móvil.	Sí, desde aplicación móvil y web	Sí, desde la web, integración con servicios de terceros
Costo	Versión gratuita limitada y planes pagos	Gratis con opciones de premium	Gratis con limitaciones, planes de pagos para más almacenamiento

Nota: Para la Tabla 6, ofrece una visión comparativa de las distintas plataformas destacando ThingSpeak por su almacenamiento de datos.

3.2.10. Display LCD 1602

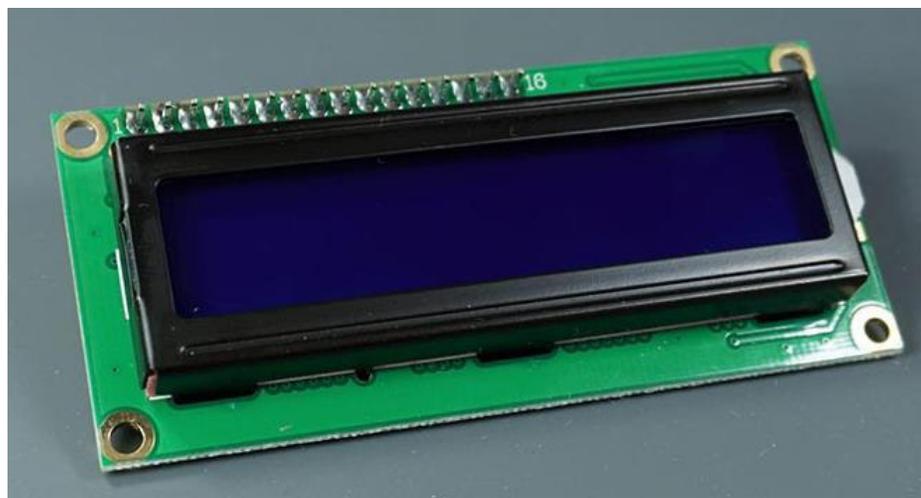
El display LCD1602 es un dispositivo de visualización alfanumérica de 2x16 caracteres, basado en el controlador HD44780. Permite mostrar texto, números y caracteres especiales, siendo una herramienta invaluable para la depuración y visualización de datos en proyectos que involucran sensores y procesamiento de señales. Para el proyecto se el Display LCD 1602 estará integrada en la parte delantera de la caja del módulo.

Características técnicas:

- Operación de voltaje 5V
- Texto de color: Blanco
- Numero de filas: 2
- Numero de columnas 16

Figura 19

Imagen del display LCD 1602



Fuente: Adaptado la imagen de la página, Display Alfanumérico LCD 1602 - 5V azul (<https://naylampmechatronics.com/lcd-alfanumerico/110-display-alfanumerico-lcd-1602-5v-azul.html>)

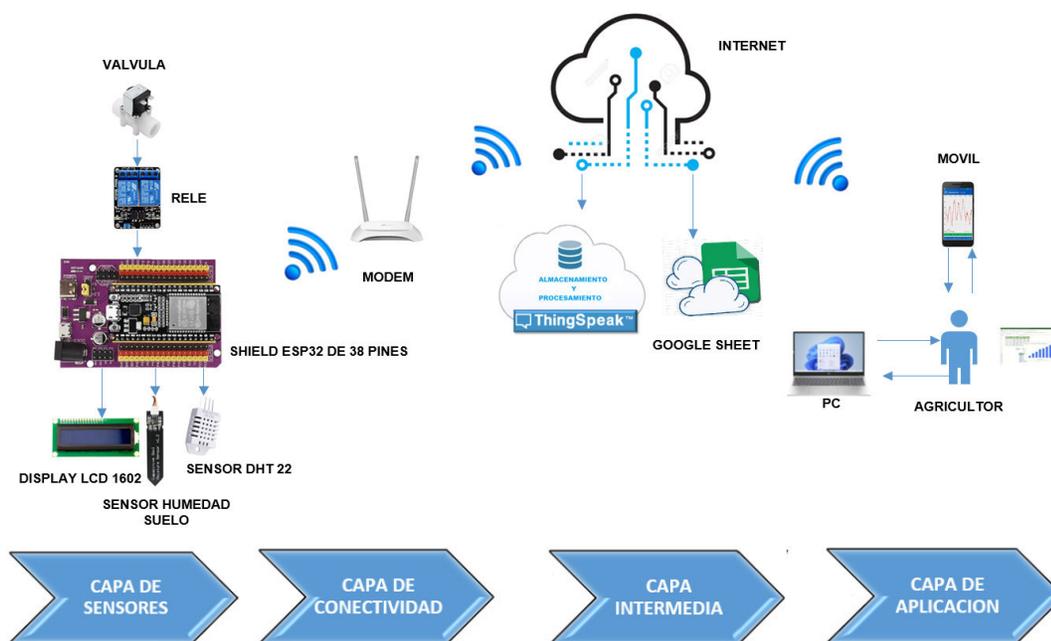
3.3 DISEÑAR LA ARQUITECTURA DEL SISTEMA DE MONITOREO UTILIZANDO EL INTERNET DE LAS COSAS PARA LA VISUALIZACION DE DATOS

Para esta sesión se diseñará la arquitectura del sistema IoT como base antes de realizar la implementación integrado del sistema de monitoreo inalámbrico, luego de haber realizado una selección de los sensores, microcontrolador, display LCD 16X2 y sistemas, mediante el costo y utilidad.

La arquitectura IoT diseñada el sistema de monitoreo inalámbrico para el cultivo de papas, está adaptado al modelo de 4 capas de Sensor, Conectividad, Intermedia y Aplicación, funcionaría de la siguiente manera como se muestra a continuación.

Figura 20

Imagen del Diseño para la arquitectura del internet de las cosas para el monitoreo de cultivo de papa



Fuente: De auditoria propia

3.3.1 Capa de sensores

La primera capa, denominada Capa de sensores, es la encargada de interactuar directamente con el entorno físico del cultivo. Aquí se encuentran los sensores conectados al ESP32, los cuales recogen información en tiempo real y se visualizan en el display 1602. Entre estos sensores, el DHT22 mide los parámetros ambientales de temperatura y humedad del campo, proporcionando datos cruciales para evaluar las condiciones climáticas del entorno. Además, el módulo sensor de humedad de tierra mide la cantidad de agua para el suelo, lo que es vital para determinar si el cultivo de papas necesita riego. Finalmente, el relé actúa controlando la válvula que abre o cierra el flujo de agua basándose en las condiciones que se detectan. Estos sensores transforman las variables físicas en señales eléctricas que nuestro sistema puede interpretar.

3.3.2 Capa de conectividad

La segunda capa, capturados los datos por los sensores son dirigidos a través del ESP32, utilizando una conexión Wi-Fi para transmitir la información a plataformas en la nube. El ESP32 se encarga de enviar los datos hacia ThingSpeak para su procesamiento inicial y también hacia Google Sheets para el almacenamiento a largo plazo. En esta capa, también se facilita el control remoto a través de un Bot de Telegram, que permite al usuario interactuar con el sistema enviando comandos para activar o desactivar la válvula de riego y recibir reportes del estado de los sensores. Esta conectividad asegura que el sistema esté permanentemente comunicado y bajo control, sin importar la ubicación del agricultor.

3.3.3 Capa intermedia

Una vez que los datos llegan a la nube, se almacenan y procesan. En esta capa, utilizamos plataformas como ThingSpeak y Google Sheets.

ThingSpeak nos permite almacenar los datos tanto en tiempo real y visualizarlos de forma gráfica, mientras que los datos procesados se envían a Google Sheets, donde pueden ser almacenados para realizar análisis detallados y generar informes personalizados como registro histórico de las condiciones del cultivo. La capa intermedia es donde se centraliza y gestiona la información.

3.3.4 Capa de aplicación

Es donde se produce la interfaz directa entre el agricultor y el sistema por medio de una computadora o teléfono móvil. Usando la aplicación de ThingSpeak se puede visualizar los gráficos en tiempo real en con los datos que fueron enviados con los sensores, luego mediante el Bot de Telegram, el usuario puede no solo recibir notificaciones sobre el estado de los sensores (por ejemplo, niveles de humedad del suelo), sino también enviar comandos simples para controlar el sistema de riego. Esto permite un alto grado de automatización y control remoto. Además, mediante Google Sheets, se puede acceder a los datos históricos y realizar un seguimiento detallado de las condiciones del cultivo, lo que facilita la planificación y el ajuste de las prácticas de riego para optimizar el rendimiento. Esta capa es donde el agricultor interactúa directamente con el sistema y obtiene valor de los datos recopilados.

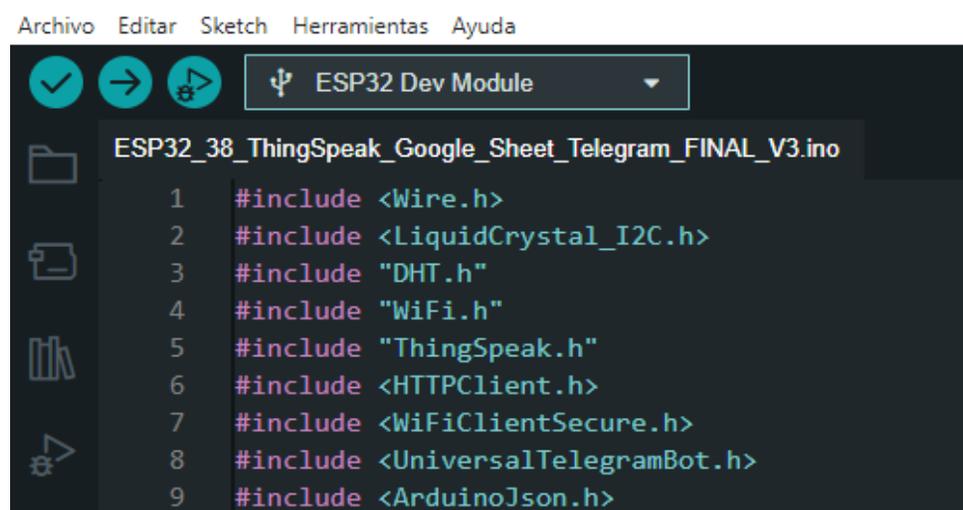
En conclusión, la arquitectura IoT del presente proyecto está conformada por una Capa de sensores donde recopilan datos, una Capa de conectividad que los transmite y recibe comandos, una Capa de intermedia que procesa, analiza y gestiona la información, y una Capa de aplicación que facilita la navegación entre el agricultor con el sistema mediante ThingSpeak, Telegram y Google Sheets.

3.4 DESARROLLAR EL ALGORITMO PARA ALMACENAR Y PROCESAR LOS DATOS OBTENIDOS DEL SISTEMA

En esta sesión se desarrolla para la tesis el algoritmo de almacenar y procesamiento para el sistema IoT de monitoreo automatizado utilizando el IDE Arduino, ESP32, sensores ambientales y de humedad de suelo, junto con la integración de plataformas como ThingSpeak, Google Sheets y Bot Telegram. A continuación, se desglosan sus partes principales, funciones en las siguientes imágenes.

Figura 21

Imagen de la importación de librerías



The image shows a screenshot of the Arduino IDE interface. At the top, the menu bar includes 'Archivo', 'Editar', 'Sketch', 'Herramientas', and 'Ayuda'. Below the menu bar, there are three circular icons (checkmark, right arrow, and play button) and a dropdown menu showing 'ESP32 Dev Module'. The main workspace displays a sketch file named 'ESP32_38_ThingSpeak_Google_Sheet_Telegram_FINAL_V3.ino'. The code in the sketch file consists of nine lines of include statements:

```
1 #include <Wire.h>
2 #include <LiquidCrystal_I2C.h>
3 #include "DHT.h"
4 #include "WiFi.h"
5 #include "ThingSpeak.h"
6 #include <HTTPClient.h>
7 #include <WiFiClientSecure.h>
8 #include <UniversalTelegramBot.h>
9 #include <ArduinoJson.h>
```

Nota: Estas librerías proporcionan las funcionalidades necesarias para la comunicación con sensores, la pantalla LCD, la red WiFi, ThingSpeak, Google Sheets y el Bot de Telegram.

La librería `Wire.h` permite la comunicación con dispositivos que utilizan el protocolo I2C, como la pantalla LCD, el `DHT.h` es usada para leer la humedad relativa y la temperatura (DHT22), `WiFi.h` para la conexión del ESP32 y conexión WiFi, `ThingSpeak.h` para el envío de la información a la plataforma IoT de ThingSpeak para su monitoreo, `HTTPClient.h` realiza peticiones HTTP y usadas para enviar datos a Google Sheets, `WiFiClientSecure.h` proporciona

una conexión segura para Telegram mediante SSL, UniversalTelegramBot.h para interactuar con Telegram como recibir comandos y envío de notificaciones y ArduinoJson.h donde procesa los datos en formato JSON, como los que se envían a Google Sheets. Como se muestra en la figura 21.

Figura 22

Imagen de Configuración de pines y variables

```
11 // Pines y configuración de los sensores y LCD
12 #define DHTPin 25
13 #define DHTTYPE DHT22
14 #define relayPin 15
15 const int lcdColumns = 16;
16 const int lcdRows = 2;
17 const uint8_t soilMoisturePin = 35;
18 const unsigned long updateInterval = 20000; // 20 segundos
19
20 // Configuración de los valores para el sensor de humedad del suelo
21 const uint16_t dry = 621;
22 const uint16_t wet = 253;
```

Nota: Para el DHT22 se conecta al pino 25 digital-analógico, el sensor de Humedad de Suelo Capacitivo el pino 35 analógico y el Relé al pino 15.

Se definen los pines del microcontrolador ESP32 de 38 pines con el sensor DHT22 (Humedad y temperatura del aire), el relé que controla la válvula, también se agrega la función (`const unsigned long updateInterval=20000`) que establece un intervalo de 20000 milisegundos (20 segundos) entre cada lectura de los sensores, actualización de la pantalla, envío de datos para los sistemas de ThingSpeak y Google Sheets para no congestionar el envío de los datos.

El pino analógico para el sensor de humedad del suelo, y los valores "seco" y "mojado" para la calibración del Sensor de Humedad del Suelo Capacitivo. Como se visualiza en la figura 22.

Figura 23

Imagen de Credenciales de red WiFi y configuraciones

```

24 // Credenciales de red WiFi
25 const char* ssid = "HACIENDA FUNDO";
26 const char* password = "123456789";
27
28 // Configuración de ThingSpeak
29 unsigned long channelNumber = 7291537;
30 const char* writeAPIKey = "BKJ9YZLM0NVC4CY7";
31
32 // URL del Google Apps Script
33 const char* scriptURL = "https://script.google.com/macros/s/AKfycbpx8Dx_AE0ho121g6bY8mv3yFZFW0WdRHXurvk";
34
35 // Configuración de Telegram
36 const char* BOTtoken = "99455223451:BBGSxWrZnQE0BI9z8yjc9TCfu6ArGVjXaQk"; // Token de tu bot Telegram
37 const char* CHAT_ID = "1104541333"; // ID de chat
38 WiFiClientSecure client;
39 UniversalTelegramBot bot(BOTtoken, client);
40
41 // Estado del relé
42 #define RELAY_ON LOW
43 #define RELAY_OFF HIGH

```

Nota: Aquí se realiza las configuraciones de las credenciales de parámetros de Red y plataformas como ThingSpeak, Google Sheets y el Bot de Telegram.

De la figura 23, aquí se configuran las credenciales de la red WiFi, a la plataforma ThingSpeak, el enlace del Google Script para enviar datos a Google Sheets y el token del Bot de Telegram, y el ID de chat para enviar notificaciones.

Figura 24

Imagen de Instancias de los objetos

```

45 // Instancias de los objetos
46 WiFiClient wifiClient;
47 DHT sensorTH(DHTPin, DHTTYPE);
48 LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, lcdColumns, lcdRows);
49

```

Nota: Se ha creado varios objetos que se utilizaran para interactuar con diferentes componentes para la comunicación.

En la figura 24, se inicializan los objetos para manejar el sensor DHT22 y Sensor Capacitivo y la pantalla LCD.

Figura 25

Imagen del Void Setup

```

64 void setup() {
65     Serial.begin(115200);
66     Serial.println("***** Sistema de Monitoreo *****");
67     sensorTH.begin();
68
69     lcd.init();
70     lcd.backlight();
71     lcd.setCursor(0, 0);
72     lcd.print("Iniciando...");
73
74     pinMode(relayPin, OUTPUT);
75     digitalWrite(relayPin, RELAY_OFF); // Relé apagado inicialmente
76
77     // Conectar a WiFi
78     WiFi.begin(ssid, password);
79     while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
80         delay(500);
81         Serial.println("Conectando a WiFi...");
82         lcd.setCursor(0, 1);
83         lcd.print("Conectando WiFi");
84     }
85     Serial.println("Conectado a WiFi");
86     lcd.clear();
87     lcd.setCursor(0, 0);
88     lcd.print("WiFi Conectado");
89     ThingSpeak.begin(wifiClient);
90     client.setCACert(TELEGRAM_CERTIFICATE_ROOT); // Configuración del certificado SSL
91
92     // Inicializar lectura analógica
93     analogReadResolution(10);
94
95     // Mensaje de bienvenida al iniciar el bot
96     bot.sendMessage(CHAT_ID, "¡Bienvenido! Presiona un botón para recibir los datos de los sensores DHT22
97     - Sensor Humedad Suelo y Relé del Sistema de Monitoreo de Cultivo de Papa:", "");
98 }

```

Nota: El código se encarga de completar la conexión a la red Wi-Fi, configurar la comunicación con ThingSpeak (una plataforma para almacenar datos en la nube), inicializar la lectura analógica y enviar un mensaje de bienvenida a un Bot de Telegram.

En la figura 25, en la sección de código inicializa todos los componentes principales para el funcionamiento del sistema integrado de monitoreo, incluyendo la comunicación serial, el sensor DHT22, la pantalla LCD, el relé, la conexión Wi-Fi y la comunicación con ThingSpeak y Telegram.

Figura 26

Imagen del Void Loop

```

100 void loop() {
101     // Actualizar datos y enviar a ThingSpeak y Google Sheets
102     static unsigned long lastUpdate = 0;
103     unsigned long currentMillis = millis();
104
105     if (currentMillis - lastUpdate >= updateInterval) {
106         lastUpdate = currentMillis;
107         float h = sensorTH.readHumidity();
108         float t = sensorTH.readTemperature();
109         if (isnan(h) || isnan(t)) {
110             Serial.println("Error leyendo DHT22");
111             lcd.clear();
112             lcd.setCursor(0, 0);
113             lcd.print("Lectura fallida");
114             return;
115         }
116
117         uint16_t sensorReading = analogRead(soilMoisturePin);
118         uint16_t moisturePercentage = map(sensorReading, wet, dry, 100, 0);
119         moisturePercentage = constrain(moisturePercentage, 0, 100);
120
121         // Mostrar datos en el IDE Arduino
122         Serial.print("Humidity: ");
123         Serial.print(h);
124         Serial.print(" %\t");
125         Serial.print("Temperature: ");
126         Serial.print(t);
127         Serial.println(" *C");
128         Serial.print("Humedad del suelo: ");
129         Serial.print(moisturePercentage);
130         Serial.println("%");
131
132         // Mostrar datos en LCD
133         lcd.clear();
134         lcd.setCursor(0, 0);
135         lcd.print("Temp: ");
136         lcd.print(t, 1);
137         lcd.print(" C");
138         lcd.setCursor(0, 1);
139         lcd.print("Hum: ");
140         lcd.print(h, 1);
141         lcd.print(" %");
142         lcd.setCursor(8, 1);
143         lcd.print("Soil: ");
144         lcd.print(moisturePercentage, 1);

```

Nota: Aquí se realiza las configuraciones de los datos de los sensores DHT22 y Sensor de Humedad de Tierra.

Para la figura 26, se configura el código que se encarga de recopilar datos de los sensores, donde se envía la temperatura y humedad relativa del sensor DHT22, Sensor de Humedad del Suelo lee el valor y se convierte en porcentaje. Además, procesarlos y mostrarlos en una pantalla LCD como en el serial monitor de Arduino.

Figura 27

Imagen del Almacenamiento de Datos

```
147 // Enviar datos a ThingSpeak
148 ThingSpeak.setField(1, moisturePercentage);
149 ThingSpeak.setField(2, t);
150 ThingSpeak.setField(3, h);
151 int x = ThingSpeak.writeFields(channelNumber, writeAPIKey);
152 if (x == 200) {
153     Serial.println("Datos enviados a ThingSpeak.");
154 } else {
155     Serial.println("Error enviando a ThingSpeak: " + String(x));
156 }
157
158 // Enviar datos a Google Sheets
159 sendToGoogleSheets(t, h, moisturePercentage);
```

Nota: Códigos de almacenamiento de los datos en las dos plataformas distintas como ThingSpeak y Google Sheets.

En la figura 27, se configuran el código que envían datos recopilados de sensores a dos plataformas diferentes: ThingSpeak y Google Sheets. Primero, se establecen los valores de los campos en ThingSpeak como humedad de suelo, temperatura y humedad ambiental para el envío del canal especificado. Luego, se llama a una función personalizada `sendToGoogleSheets` para enviar los datos a Google Sheets.

Figura 28

Imagen de la variable para el Procesamiento de Datos

```
161 // Comprobar umbrales y enviar notificaciones a Telegram
162 checkThresholds(t, h, moisturePercentage);
```

Nota: Los parámetros t, h y moisturePercentage representan para valores de temperatura, humedad relativa y humedad de tierra, respectivamente.

En la figura 28, los datos adquiridos se procesan para verificar si están dentro de los umbrales establecidos. Si no lo están, se envían alertas a través del Telegram.

Figura 29

Imagen de envío de notificaciones al Telegram

```
236 // Función para verificar umbrales y enviar notificaciones
237 void checkThresholds(float temperature, float humidity, uint16_t moisture) {
238 // Umbral de temperatura (15°C a 25°C)
239 if (temperature > 25.0 && tempNotifications < maxNotifications) {
240 if (!tempOutOfRange) {
241 bot.sendMessage(CHAT_ID, "Alerta: la temperatura ha superado los 25°C. ¡Regar el cultivo!", "");
242 tempOutOfRange = true;
243 tempNotifications++;
244 }
245 } else if (temperature <= 25.0 && tempOutOfRange) {
246 tempOutOfRange = false;
247 tempNotifications = 0; // Resetear el contador si vuelve al rango
248 }
249
250 // Umbral de humedad ambiental (60% a 80%)
251 if ((humidity < 60.0 || humidity > 80.0) && humidityNotifications < maxNotifications) {
252 if (!humidityOutOfRange) {
253 bot.sendMessage(CHAT_ID, "Alerta: la humedad ambiental está fuera del rango (60%-80%)!", "");
254 humidityOutOfRange = true;
255 humidityNotifications++;
256 }
257 } else if (humidity >= 60.0 && humidity <= 80.0 && humidityOutOfRange) {
258 humidityOutOfRange = false;
259 humidityNotifications = 0; // Resetear el contador si vuelve al rango
260 }
261
262 // Umbral de humedad del suelo (por debajo del 60%)
263 if (moisture < 60 && soilMoistureNotifications < maxNotifications) {
264 if (!soilMoistureOutOfRange) {
265 bot.sendMessage(CHAT_ID, "Alerta: la humedad del suelo ha caído por debajo del 60%. ¡Regar el cultivo!", "");
266 soilMoistureOutOfRange = true;
267 soilMoistureNotifications++;
268 }
269 } else if (moisture >= 60 && moisture <= 80 && soilMoistureOutOfRange) {
270 soilMoistureOutOfRange = false;
271 soilMoistureNotifications = 0; // Resetear el contador si vuelve al rango
272 }
273 }
```

Nota: La función `checkThresholds` se encarga de monitorear los valores de temperatura, humedad ambiental y humedad de la tierra, y enviar notificaciones a través de un Bot de Telegram cuando estos valores se salen de los rangos establecidos (umbrales)

En la figura 29, la función del código proporciona un mecanismo para monitorear las condiciones ambientales, la humedad del suelo y enviar alertas cuando se detectan desviaciones significativas de los valores esperados. Esto es útil para el sistema de monitoreo de cultivos de papas con tecnología Wifi, que requiera un monitoreo constante para la temperatura, humedad ambiental y humedad de la tierra.

3.5 IMPLEMENTAR EL SISTEMA DE MONITOREO INALAMBRICO DEL CULTIVO DE PAPAS EN LA HACIENDA EL FUNDO HUAYLACUCHO

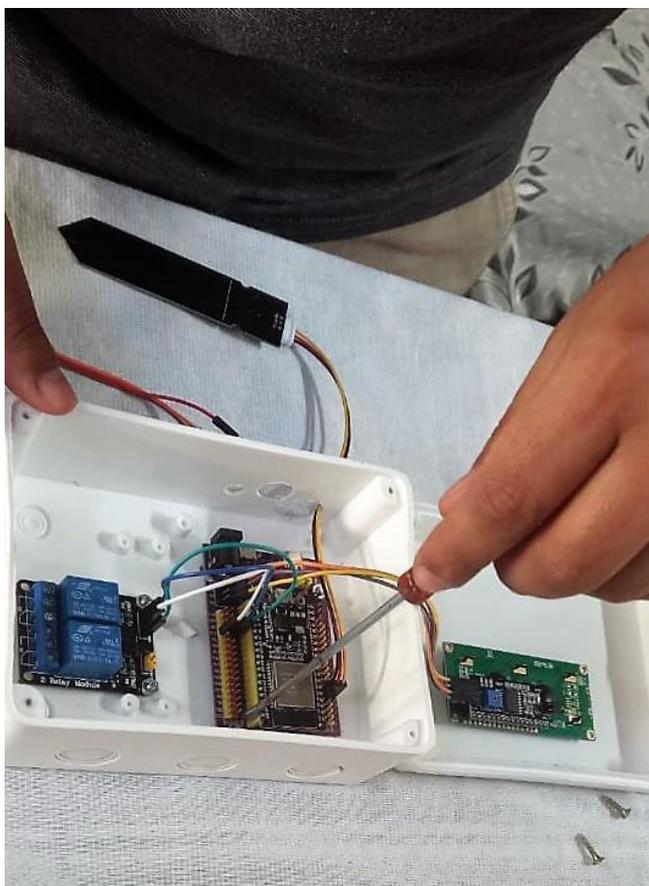
En esta sección, se procederá a la implementación y poner a prueba el prototipo del sistema de monitoreo en un cultivo real. Este sistema, compuesto por una placa ESP32-WROOM, Shield ESP32 de 38 pines, sensores (DHT22 y Sensor de Humedad de Suelo Capacitivo), un actuador (relé) y una interfaz de usuario (Display I2C), que permitirá recolectar datos ambientales y controlar la válvula de riego y la obtención de los estados de los sensores mediante un Bot Telegram.

3.5.1 Implementación del módulo del hardware del sistema de monitoreo inalámbrico

En la figura 30, se realiza en ensamblar los componentes electrónicos para el proyecto IoT. El sistema está basado en la placa ESP32-WROOM conectada a un Shield ESP32 de 38 pines, lo que proporciona las interfaces necesarias para los sensores y el actuador. Se integran dos sensores claves: El sensor DHT22 para tomar la temperatura y humedad (conectado al pino digital 25 del Shield ESP32) y el sensor Capacitivo que monitorea la humedad de la tierra del cultivo (conectado al pino analógico 35 del Shield ESP32). Para el control de riego, se utiliza un actuador relé (conectado al pino 15 del Shield ESP32), el cual permite activar o desactivar una válvula de riego en función de los valores leídos por los sensores.

Figura 30

Imagen de Conexiones del Esp32, sensores y relé en la Caja Estanca

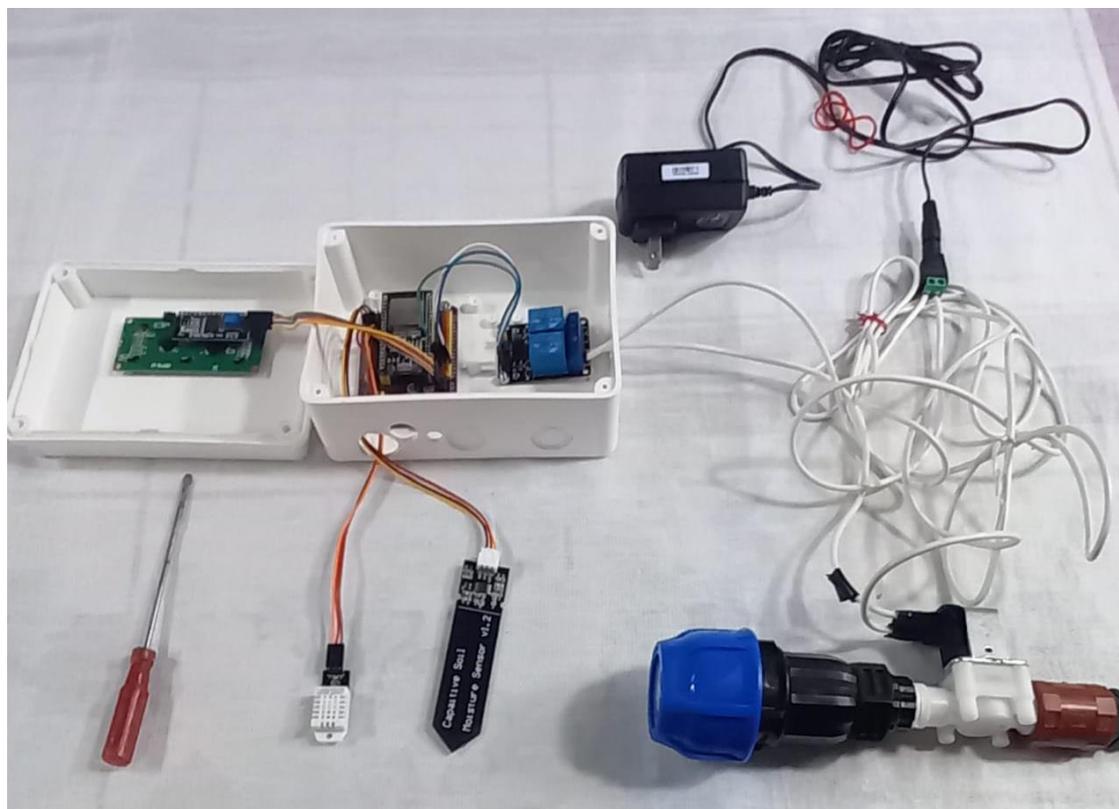


Fuente: Auditoria propia

En la figura 31, el sistema incluye también una interfaz de usuario mediante una pantalla LCD 1602, que mostrará en tiempo real los datos de los sensores (como temperatura, humedad, humedad de suelo y estado del relé). La alimentación del sistema se logra utilizando un transformador de 220V a 12V, conectado a la placa mediante un conector de alimentación de 12V macho con bornera para proporcionar una fuente de energía estable y continua.

Figura 31

Imagen de modulo del hardware completo instalado



Fuente: Auditoria propia

En la figura 32, una vez ensamblado el hardware, se procede a conectar los sensores al ESP32 en sus respectivos pines y se realizan pruebas individuales para asegurar que cada componente funcione correctamente. El sensor DHT22 se conecta a uno de los pines de la placa, mientras que el sensor de humedad de suelo capacitivo y el relé se conectan a sus respectivos pines. La pantalla LCD 1602 se conecta a los pines Gnd, Vcc, pine 22 y pine 21 mediante la interfaz I2C al ESP32 para mostrar la información de manera clara.

Figura 32

Imagen del módulo del hardware completo y conectando a Wifi



Fuente: Auditoria propia

Finalmente, se verifica que el sistema esté correctamente alimentado, con el transformador de 12V proporcionando energía suficiente para todos los componentes e iniciando la conexión a Wifi, asegurando así la operación estable del hardware. Como se observa en la figura 32.

3.5.2 Configuración del sistema de monitoreo inalámbrico en las plataformas

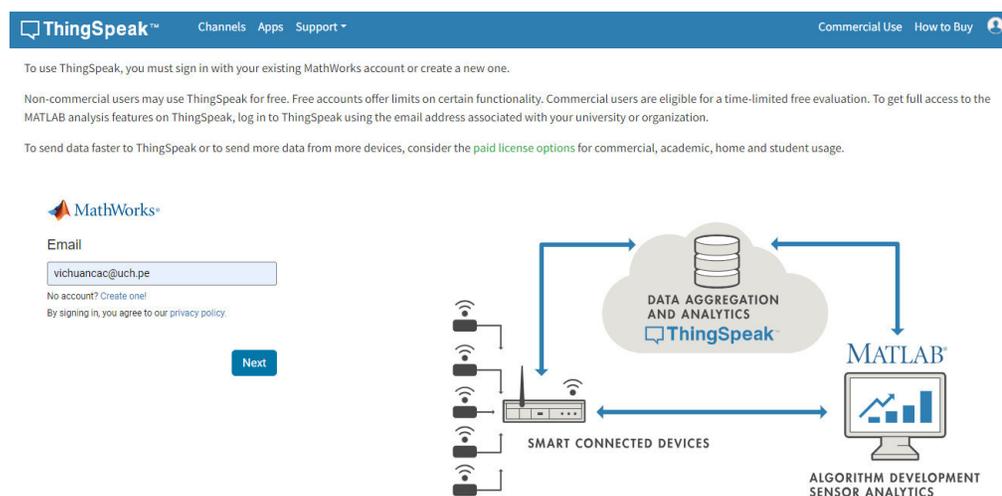
En esta sección se realizará la configuración de cada una de las tres plataformas con los sensores DHT22 y Sensor capacitivo teniendo como propósito tanto de integrar como establecer un único sistema de monitoreo inalámbrico con las tres plataformas, para el proyecto.

A) Configuración en la página web oficial de ThingSpeak

Se realizará la creación de una cuenta a la plataforma de ThingSpeak en versión gratuita, para el prototipo de sistema de monitoreo integrando con los sensores correspondientes, para el envío de datos a la plataforma. Tal como se observa para la figura 33.

Figura 33

Imagen de creación e ingreso a la plataforma



Fuente: ThingSpeak, 2024

En la figura 34, se realizó la configuración de cada sensor para las variables como: Humedad de suelo, temperatura y humedad correspondientes (Field 1, Field 2 y Field 3) en la plataforma de ThingSpeak, para la visualización de las gráficas.

Adicionalmente se configurará Widgets para visualizar las variables con sus respectivas unidades, como Temperatura en unidades de centígrados.

Figura 34

Imagen de configuración de 3 canales

The screenshot shows the ThingSpeak interface for a channel named 'ESTACION DE MONITOREO DE CULTIVOS'. The channel ID is 2631596, the author is mwa0000034390755, and the access is private. The 'Channel Settings' tab is active, showing the channel name, description, and three fields: 'Temperatura', 'Humedad', and 'Humedad del Suelo', all of which are checked. A 'Help' section on the right provides instructions for channel settings.

ThingSpeak™ Channels Apps Devices Support Commercial Use How to Buy

ESTACION DE MONITOREO DE CULTIVOS

Channel ID: 2631596
Author: mwa0000034390755
Access: Private

Private View Public View **Channel Settings** Sharing API Keys Data Import / Export

Channel Settings

Percentage Complete 30%

Channel ID 2631596

Name ESTACION DE MONITOREO DE CULTIVOS

Description

Field 1

Field 2

Field 3

Help

Channels store all the data that a ThingSpeak application collects. Each channel includes eight fields that can hold any type of data, plus three fields for location data and one for status data. Once you collect data in a channel, you can use ThingSpeak apps to analyze and visualize it.

Channel Settings

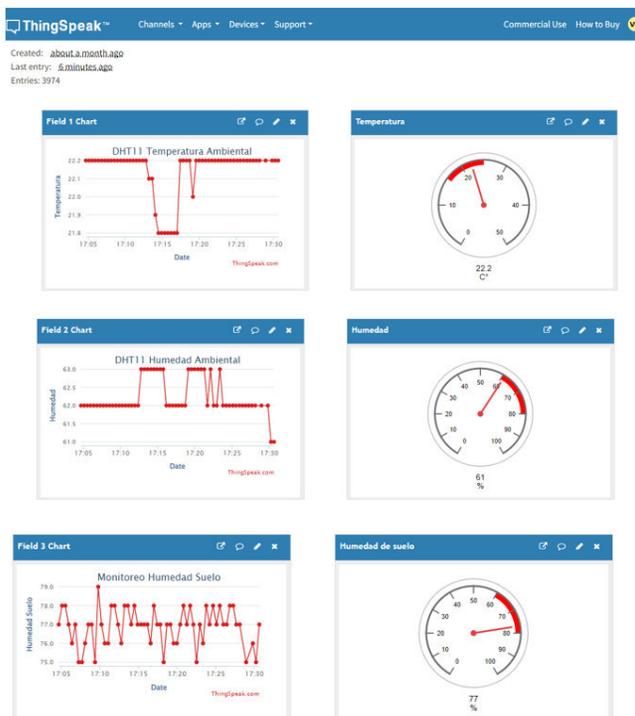
- Percentage complete:** Calculated based on data entered into the various fields of a channel. Enter the name, description, location, URL, video, and tags to complete your channel.
- Channel Name:** Enter a unique name for the ThingSpeak channel.
- Description:** Enter a description of the ThingSpeak channel.
- Field#:** Check the box to enable the field, and enter a field name. Each ThingSpeak channel can have up to 8 fields.
- Metadata:** Enter information about channel data, including JSON, XML, or CSV data.
- Tags:** Enter keywords that identify the channel. Separate tags with commas.

Nota. Configuración de los sensores DHT22 y Sensor capacitivo (Humedad de Suelo)

Para la figura 35, se realizó la configuración de cada sensor para las variables correspondientes, para la visualización en las gráficas.

Figura 35

Imagen de nodos de las gráficas de las tres variables



Nota. En la figura se visualiza las medidas de las variables obtenidos del sistema

B) Configuración en Google Sheets

En la figura 36, para registrar los datos de los sensores en forma segura en Google Sheets, previamente ya se tiene una cuenta configurada en Google Workspace. Mediante el Apps Script configurado con las variables de temperatura, humedad y humedad del suelo, es posible enviar los datos a la hoja de cálculo en tiempo real.

Figura 36

Imagen de configuración del Esp32 a Google Sheets



```

1 function doPost(e) {
2
3   var sheet = SpreadsheetApp.getActiveSpreadsheet().getActiveSheet();
4   var data = JSON.parse(e.postData.contents);
5
6   var date = new Date();
7   var temperature = data.temperature;
8   var humidity = data.humidity;
9   var soilMoisture = data.soilMoisture;
10
11  sheet.appendRow([date, temperature, humidity, soilMoisture]);
12
13  return ContentService.createTextOutput('Success');
14 }

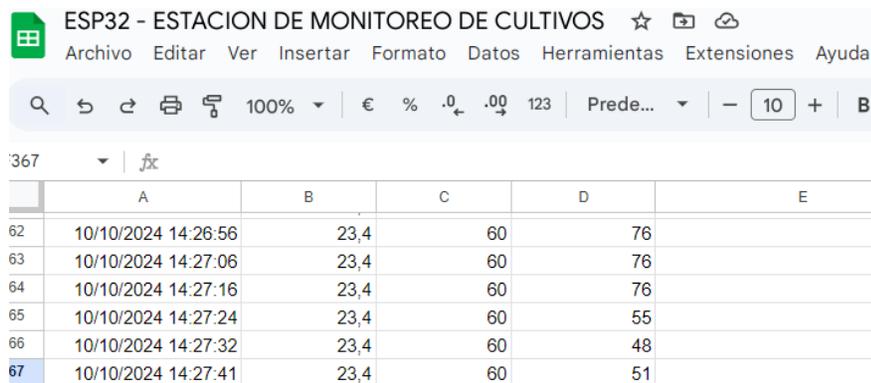
```

Nota. Configuración de parámetros para Google Sheets

En la figura 37, luego de configurar Apps Script con el ESP32, se visualiza el envío de datos de temperatura, humedad y humedad del suelo en la hoja de cálculo.

Figura 37

Imagen de las variables enviados a Google Sheets



	A	B	C	D	E
62	10/10/2024 14:26:56	23,4	60	76	
63	10/10/2024 14:27:06	23,4	60	76	
64	10/10/2024 14:27:16	23,4	60	76	
65	10/10/2024 14:27:24	23,4	60	55	
66	10/10/2024 14:27:32	23,4	60	48	
67	10/10/2024 14:27:41	23,4	60	51	

Fuente: Auditoria propia

C) Configuración en Bot Telegram

En la figura 38, se procederá a configurar el Bot Telegram para controlar los pines del microcontrolador ESP32, saber los estados de los sensores y controlar la válvula. El ESP32 implementa un mecanismo de autenticación basado en el ID de usuario de Telegram

para garantizar la integridad del sistema y prevenir accesos no autorizados. Pasos para la creación de mensajería con Telegram:

- Se busca el BotFather.
- Se crea un Bot con nombre y nombre de usuario.
- Finalmente se obtiene el Token y el ID de usuario

Figura 38

Imagen del BotFather en mensajería Telegram



Nota. De la figura se visualiza la configuración del nombre del Bot: Prueba_bot

Luego de haber obtenido el Token y el Id se configura en lógica de programación para la integración con el ESP32 para recibir notificaciones de alertas de los sensores cuando superen los umbrales establecidos, como se visualiza en la figura 38, además el chat de mensajería se configura con cuatro botones y para el fácil manejo para el agricultor. Como se observa en la figura 39.

Figura 39

Imagen de mensaje de bienvenida de Prueba_bot de Telegram



Nota. La figura muestra las notificaciones de alertas del sensor capacitivo (Humedad de Suelo), también presionando el botón de “**Obtener Datos**” se visualiza el estado de los sensores, el botón de “**Valvula_on**” abre la válvula, el botón “**Valvula_off**” cierra la válvula y el botón “**Estado**” informa el estado de la válvula.

3.5.3 Validación de las pruebas en el campo de cultivo

En esta sección se realizará la validación de las tres plataformas unidas: ThingSpeak, Google Sheets y Bot Telegram integradas con los sensores DHT22 y Sensor de Humedad de Suelo, también un actuador como el Relé conectadas al microcontrolador Esp32.

Previamente el tanque donde se almacena agua para el riego de los cultivos está a una distancia de 150 metros al campo donde se realizará las pruebas respectivas, se conectará un motor de bombeo de agua a la manguera para que llegue hacia el campo de cultivo, como se ve en la figura 40.

Figura 40

Imagen del tanque de la Hacienda el Fundo



Nota. En la figura se observa motor Bomba de Agua Periférico 0.5 HP

En la figura 41, se tomó una fotografía de lado horizontal hacia el campo de cultivo de papas donde se realizará las pruebas con el sistema de monitoreo

Figura 41

Imagen del tanque tomada desde otro lado



Nota. En la figura hace una referencia en la dirección de 150 metros

En la figura 42, se procede a encender tanto el módulo del sistema de monitoreo para que los sensores DHT22 y el sensor capacitivo (humedad de suelo) que empiezan a recolectar la información, como la conexión del transformador de 12 voltios para la válvula de riego.

Figura 42

Imagen de las conexiones del módulo del sistema al Relé con la manguera



Nota. En la figura se observa la manguera que sale de la tierra, que está conectada al tanque.

En la figura 43, se realiza la activación de abrir la válvula conectada a la manguera con el comando del Bot Telegram en el celular.

Figura 43

Imagen de fotografía del módulo tomada de frente



Nota. En la figura se visualiza el campo de cultivo regado luego de abrir la válvula

Se empieza a realizar las pruebas de monitoreo de cultivos con la plataforma ThingSpeak para el envío de datos que muestran como cambian la Humedad de suelo, Temperatura y Humedad Relativa que varían en el tiempo. Como se visualiza en la figura 44 y 45. Posteriormente se almacenarán y procesarán en la nube de la plataforma y se visualizarán las gráficas respectivas.

Figura 44

Imagen de monitoreo de los cultivos de papas en tiempo real – Parte 1

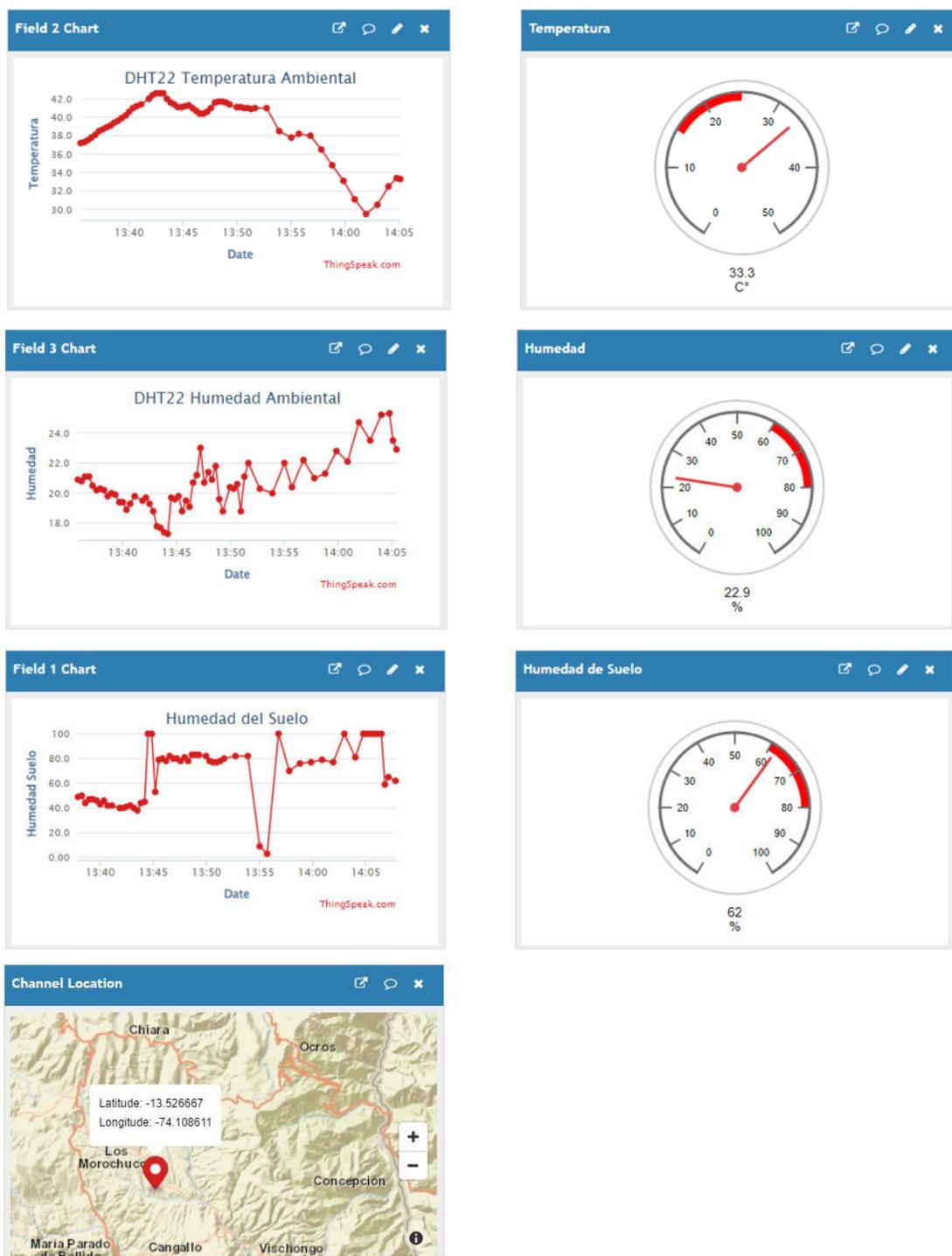
The screenshot shows the ThingSpeak interface for a channel named "ESTACION DE MONITOREO DE CULTIVOS". The channel ID is 2631596, the author is mwa000034390755, and the access is set to Private. The navigation menu includes Private View, Public View, Channel Settings, Sharing, API Keys, and Data Import / Export. Below the menu are buttons for Add Visualizations, Add Widgets, and Export recent data. On the right, there are buttons for MATLAB Analysis and MATLAB Visualization. The Channel Stats section shows the channel was created 2 months ago, has a last entry 4 days ago, and contains 7486 entries. The page is identified as Channel 2 of 3.

Nota: La figura 44 se visualiza las principales partes de configuración de la plataforma como: **Private View** para configurar en canal privado, **Channel Settings** para configurar los parámetros y **API Keys** permiten escribir datos en un canal privado.

Para la figura 45 se observa en la plataforma ThingSpeak las gráficas de las lecturas de los datos enviados por sensores con el microcontrolador ESP32 que fueron medidos en el campo de cultivo de papas en tiempo real.

Figura 45

Imagen de monitoreo de los cultivos de papas en tiempo real – Parte 2



Nota. La figura muestra la ubicación exacta de la Hacienda, indicada por sus coordenadas geográficas (latitud y longitud).

Los sensores empiezan también enviar los datos a nube de Google Sheets, mediante el microcontrolador Esp32, tal como se muestra en la figura 46, donde los datos se procesarán para su análisis, así cumpliéndose parte de la arquitectura de la capa intermedia. Además, se realiza un histórico con los datos desde 13:59pm hasta 14:02pm.

Figura 46

Imagen de recolección de los datos en la hoja de calculo

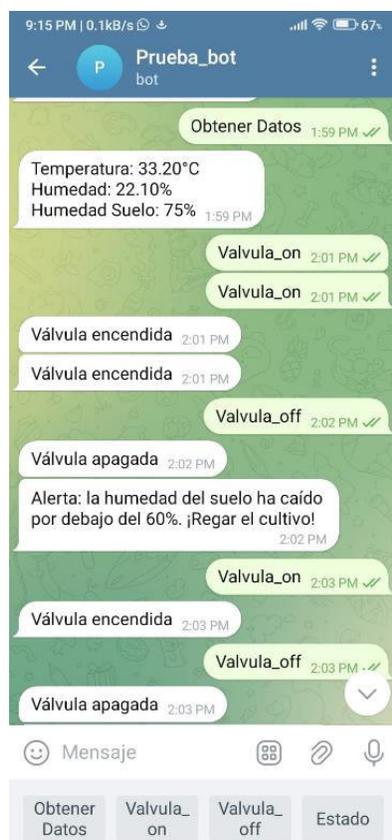
	A	B	C	D	E
D17	19/10/2024 13:59:58	33,1	22,8	77	
D18	19/10/2024 14:00:18	33	23,5	73	
D19	19/10/2024 14:00:39	32,2	21,7	77	
D20	19/10/2024 14:01:00	31,1	22,1	79	
D21	19/10/2024 14:01:20	30,5	24,5	79	
D22	19/10/2024 14:01:42	29,9	21,8	75	
D23	19/10/2024 14:02:03	29,5	24,7	77	
D24	19/10/2024 14:02:24	29,7	26,3	75	Humedad de suelo entre 60% y 80%
D25	19/10/2024 14:02:45	30,6	25,2	28	Humedad de suelo menos de 60%

Nota. Los datos de la figura indican que la humedad del suelo experimentó una disminución del 28% como consecuencia de mover el sensor.

En la figura 47, después que los datos sean procesados y almacenados, se enviarán una notificación del ESP32 al Bot Telegram, ya que está por debajo del umbral de 60% a 80% establecido. Se procede activar la válvula con el botón “**Valvula_on**” para regar el cultivo, esta orden se envía hacia el microcontrolador en el pine 15 que está conectado el relé configurado en sus 2 terminales como: Terminal común y Terminal abierto. La automatización de abrir y cerrar la válvula se puede activar mediante un móvil o una computadora de escritorio cuando se tenga acceso a internet.

Figura 47

Imagen de envío de notificación de alarma de humedad del suelo



Nota. En la figura se visualiza el estado de las variables y los botones de la aplicación de Telegram

Finalmente, se verifica que el sistema conformado por la ESP32, Shield ESP 32 esté correctamente alimentado hacia la placa expansora y con el transformador de 12V proporcionando energía suficiente para la válvula de riego, asegurando así la operación estable del hardware, como se visualiza en la figura 48.

Figura 48

Imagen del módulo del hardware



Nota. Se visualiza en el Display los valores de las mediciones como temperatura, humedad y humedad del suelo (Soil)

CAPÍTULO IV: ANALISIS DE COSTOS Y BENEFICIOS

4.1 ANALISIS DE COSTOS

El análisis de costos detalla los gastos necesarios para desarrollar e implementar la solución IoT, incluyendo hardware (sensores y actuador) y recursos humanos especializados.

4.1.1 Recursos Humanos

La siguiente tabla presenta un desglose de los costos asociados a la contratación de un profesional como un Ingeniero Agrónomo, para servicio de asesoría en cultivos y los gastos realizados para las visitas técnicas a la hacienda el Fundo.

Tabla 7

Presupuesto de Recursos Humanos en general

Recurso Humano	Concepto	Monto (S/.)
Ingeniero Agrónomo	1 asesoría por consulta de servicio	100
Tesista	Transporte en Bus	300
Tesista	Viáticos (Hospedaje, alimentación u otros)	500
Total		900

Nota: En la Tabla 7 se mencionan el gasto para realizar visita técnica a la hacienda el Fundo

4.1.2 Recursos Materiales

Son los gastos que va a ocasionar la investigación como son los equipos, dispositivos y libro sobre IoT.

Tabla 8*Presupuesto de materiales*

Materiales u otros	Costos (S/.)
1 Arduino R3	40
1 ESP32 -WROOM	35
1 Shield ESP32	25
1 sensor DHT22	25
1 sensor Humedad Suelo Capacitivo	8
3 sensores Humedad Suelo Resistivo	15
1 relé	10
1 Display LCD 16X2	15
1 válvula	18
1 transformador de 12V	25
3 adaptadores para la válvula	11
1 cable USB a UART	5
10 leds	1
2 Protoboard	10
3 juegos de Cables Jumper	15
1 cable USB-A a USB-B	10
10 resistores	2
1 libro Arduino e Internet de las Cosas	150
Total	420

Nota: En la Tabla 8 se mencionan los costos de los componentes y material bibliográfico para implementar el módulo de monitoreo

Tabla 9*Costo de inversión inicial*

Descripción	Costos
Costo de materiales en las etapas del sistema	S/ 420.00
Costo recursos humanos	S/ 900.00
Costo total (S/.)	S/ 1320.00

Nota: En la Tabla 9 se mencionan la suma total de los costos de recursos humanos y materiales

4.2 ANÁLISIS DE BENEFICIOS

4.2.1 Beneficios tangibles

Este proyecto está enfocado en poder obtener valores confiables para la medición de parámetros de temperatura, humedad y humedad del suelo; en un fundo en Ayacucho con el objetivo de tener la información en tiempo real y con miras a optimizar las cosechas.

Con este prototipo, se busca irlo perfeccionando en base a la respuesta de los agricultores, quienes son los beneficiarios principales, y que evaluarían las opciones de financiar prototipos similares.

Tabla 10

Cálculo de utilidades e inclusión de IGV

Descripción	Costos
Costo total (S/.)	S/ 1320.00
Utilidad 20%	S/ 264.00
Costo total + Utilidad 20%	S/ 1584.00
IGV (18%)	S/ 285.12
Precio estimado proyecto + IGV	S/ 1869.12

Nota. En esta tabla se muestra el costo del sistema con una utilidad del 20%.
Elaboración Propia.

2.1.1 Análisis de Costo/Beneficio

El beneficio del sistema implementado en esta investigación radica en la confiabilidad de la toma de datos para una futura optimización en la cosecha, que mejorará la gestión de productividad en este rubro, automatizándola a través de IoT.

En este caso he determinado que el porcentaje de utilidad promedio en base a mis cálculos se da en la siguiente relación numérica:

$$\frac{\text{beneficio}}{\text{costo}} = \frac{S/549.12}{S/264.00} = 2.08$$

Se tiene un resultado de 2.08, eso quiere decir que el proyecto en base al cálculo original que se está implementado, es viable económicamente, pero se debe también hacer un análisis de sensibilidad.

4.3 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

4.3.1 Desarrollo del flujo de caja

El flujo de caja para implementar el proyecto, está planteado para un estimado de 18 meses, de modo que se pueda sostener el porcentaje de utilidad sugerido por las avícolas consultadas.

Tabla 11

Flujo de caja

		FNE	FNE ACTUAL
FNE	INVERSIÓN	0	-S/ 2.805,00
		1	S/ 1.320,00
		2	S/ 1.420,00
		3	S/ 1.520,00
		4	S/ 1.620,00
		5	S/ 1.720,00
		6	S/ 1.820,00
		7	S/ 1.920,00
		8	S/ 2.020,00
		9	S/ 2.120,00
		10	S/ 2.220,00
		11	S/ 2.320,00
		12	S/ 2.420,00
			S/ 1.100,00
			S/ 986,11
			S/ 879,63
			S/ 781,25
			S/ 691,23
			S/ 609,51
			S/ 535,84
			S/ 469,79
			S/ 410,87
			S/ 358,54
			S/ 312,24
			S/ 271,42

Nota. En esta tabla se muestra el flujo de caja del sistema en 12 periodos

4.3.2 Análisis del VAN

Se va a calcular el VAN (Valor Actual Neto) para este proyecto con el apoyo de Microsoft Excel. Para ello se utilizará los datos del flujo de efectivo neto.

Datos:

Tasa de interés (i) = 20%

t = 12 meses

Inversión inicial (I_0)= S/ 1869.12

La fórmula del VAN es:

$$VAN = I_0 \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^n}$$

$$VAN = S/ 5537.31$$

4.3.3 Análisis del TIR

Para calcular el TIR (Tasa Interna de Retorno) se utilizará los datos del VAN y el software Microsoft Excel.

Formula del VAN:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1 + TIR)^t} - I = 0$$

Como vemos lo que tenemos que buscar es la tasa de interés que hace que el VAN sea cero.

Formula del TIR:

$$TIR = \frac{-I + \sum_{i=1}^n F_i}{\sum_{i=1}^n i * F_i}$$

$$TIR = 77\%$$

Dados los valores obtenidos en el VAN y el TIR, se demuestra que el proyecto es viable desde el punto de vista de la rentabilidad y también es viable en función de periodo de tiempo en el que se recupera la inversión realizada que es de un año. En vista de que este proyecto muestra un prototipo inicial de mejora para aplicación en cosechas de papa, puede ser mejorado y trabajado en otro tipo de cultivos y en diferentes latitudes de nuestro país que tengan la necesidad de automatizar sus cosechas con objetivos de mejora de productividad.

Conclusiones

- En base a la revisión de la situación actual del sembrío de papas en la hacienda donde se ha hecho la investigación, he podido observar que dan las condiciones desde el plano tecnológico y meteorológico para un prototipo como el desarrollado, además de una predisposición por parte de los agricultores de la hacienda por optimizar sus métodos de producción incluyendo insumos tecnológicos que en tiempo real le permitirán de tener un acceso de control de los parámetros (Temperatura, humedad y humedad de suelo).
- En base a un estudio minucioso y comparativo sobre dispositivos (sensores, microcontroladores y herramientas IoT) se ha podido corroborar el uso y compatibilidad de estos con la finalidad de puedan trabajar juntos y en las condiciones climatológicas donde van a ser aplicados.
- Luego de la elección de los componentes pase a diseñar la arquitectura de cuatro capas, conformados por la capa de sensores para recolección de datos, capa de conectividad para envío de datos vía el wifi, capa intermedia donde se almacenan y procesan los datos en las plataformas de ThingSpeak como Google Sheets y capa de aplicación para visualizar los datos analizados mediante un celular o computadora que el agricultor de la hacienda pueda tomar la decisión de regar el campo con los comandos del Bot Telegram.
- El desarrollo de la lógica de programación con el lenguaje C++ en el IDE Arduino cumple con el objetivo de integrar las tres herramientas como ThingSpeak, Google Sheets y Telegram, que se a logrado realizar y ha permitido tener interacción entre ellas, fortaleciendo la noción del internet de las cosas y su aplicación en espacio productivos como la agricultura.

- Se desarrolló la implementación del prototipo, en base a componentes seleccionados y que facilitaban la integración a través del uso del IoT, desde conexiones del ESP32, sensores y relé en la Caja Estanca utilizada, hasta tener el módulo conectado a WiFi, de manera que se evidenció la integración en modelos que facilitaron la interconexión entre ThingSpeak, Google Sheets y el Bot de Telegram creado. Con ese insumo principal, se hizo la validación de las pruebas en el mismo fundo, en un espacio donde se iba a dar la cosecha de papas, llegando a la conclusión principal de un funcionamiento in situ cuyo resultado fue bastante auspicioso y que permitió la generación de expectativas positivas en los agricultores del sector.

Recomendaciones

- Este prototipo evidencia la integración de diferentes herramientas de IoT y es un buen punto de referencia para investigaciones futuras para generar redes automatizadas que permitan favorecer a rubros como el agrícola.
- Dada la complejidad en cuanto a las diferentes altitudes existentes en nuestro país, sobre todo en aspectos de cosecha, es importante realizar un barrido sobre los componentes que se podrían utilizar en experiencias similares o de integración con equipos ya creado.
- Debido a que la red Wifi en la zona rural donde se implementó el prototipo presenta algunas irregularidades en la señal, se recomendaría el uso de tecnologías como GSM o especificaciones para redes de baja frecuencia.

Referencias

- Alberti, P. (2019). *Arduino. Trucos y secretos. 120 ideas para resolver cualquier problema*. Editorial Marcombo.
- Alonso Caballero R. (2024). *Los espectros de 2.4 GHz y 5 GHz*. https://www.reydes.com/d/?q=Los_Espectros_de_2_4_GHz_y_5_GHz
- Arduino Professional. (2024). *What is the operating temperature range for Arduino boards?* <https://support.arduino.cc/hc/en-us/articles/360016076980-What-is-the-operating-temperature-range-for-Arduino-boards>
- Cameron, N. (2020). *Electronics Projects With the Esp8266 and Esp32*. Editorial Apress.
- Cameron, N. (2023). *ESP32 Formats and Communication*. Editorial Apress.
- Champi Velásquez, J. M. (2023). *Implementación de un sistema de monitoreo inalámbrico mediante Internet de las cosas para monitorear la conservación en la cadena de frío de vacunas del servicio de inmunizaciones en el distrito de Puente Piedra, 2023* [Tesis de licenciatura, Universidad de Ciencias y Humanidades]. Repositorio Institucional UCH. <https://repositorio.uch.edu.pe/handle/20.500.12872/521>
- Código Electrónica. (2024). *ESP8266 esp01 datasheet*. <http://codigoelectronica.com/blog/esp8266-esp01-datasheet#:~:text=2.5V%20~%203.6V%20Valor%20promedio%20de%20Ia%20corriente,funcionamiento%20%E2%80%9340%20%C2%B0%20C%20~%20125%20%C2%B0%20C>
- Electrónica Online. (2024). *Sensor*. <https://electronicaonline.net/electronica/sensor/>
- ESPRESSIF. (2024). ESP32. <https://www.espressif.com/en/products/socs/esp32>
- Ganazhapa, B. O. (2021). *Arduino Internet de las cosas*. Editorial RCLibros.

- Gobierno del Perú. (2023). *Perú - Plan Estratégico de Desarrollo Nacional al 2050*.
<https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/5133337/Peru%20-%20Plan%20Estrategico%20de%20Desarrollo%20Nacional%20al%202050.pdf?v=1694719008>
- IBM. (2023). *¿Qué es la agricultura inteligente?* <https://www.ibm.com/es-es/topics/smart-farming>
- Keller, J. M., y Smith, M. K. (2022). *Arduino para la ciencia*. Editorial Marcombo.
- Kurniawan, A. (2019). *Internet of Things Projects with ESP32*. Editorial Packt Publishing.
- Lozada, D. (2002). *Arduino práctico*. Editorial Anaya Multimedia.
- Ministerio de Agricultura y Riego. (2019). Requerimientos agroclimáticos del cultivo de papa – Ficha técnica N° 01.
<http://hdl.handle.net/20.500.13036/228>
- Mosquera Melendrez, L. M., y Cevallos Rojas, C. D. (2022). *Diseño e implementación de un prototipo IoT para el monitoreo de parámetros ambientales aplicados al cultivo de arroz utilizando ESP32 y ThingSpeak, 2022* [Tesis de licenciatura, Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil]. Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Salesiana. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/22884>
- Mujaico Mariano, A. A. (2020). *Diseño e implementación de un sistema de medición y pronóstico de radiación ultravioleta utilizando Internet de las cosas y Machine Learning, 2020* [Tesis de licenciatura, Universidad de Ciencias y Humanidades]. Repositorio Institucional UCH. <https://repositorio.uch.edu.pe/handle/20.500.12872/521>
- MTLAB. (2024). *Placa de expansión ESP32 DevKitC mejorada – Adaptador ESP32*. <https://mtlab.pe/producto/placa-de-expansion-esp32-devkitc-mejorada-terminal-adapter/>

- Naylamp. (2023). *Display Alfanumérico LCD 1602 - 5V azul*.
<https://naylampmechatronics.com/lcd-alfanumerico/110-display-alfanumerico-lcd-1602-5v-azul.html>
- Naylamp. (2023). *Sensor de humedad del suelo Capacitivo V1.2*.
<https://naylampmechatronics.com/sensores-temperatura-y-humedad/538-sensor-de-humedad-de-suelo-capacitivo-v1.html>
- Naylamp. (2023). *Sensor de Humedad de Suelo FC-28*.
<https://naylampmechatronics.com/sensores-temperatura-y-humedad/47-sensor-de-humedad-de-suelo-fc-28.html>
- Naylamp. (2023). *Sensor de temperatura y humedad relativa DHT22 (AM2302)*.
<https://naylampmechatronics.com/sensores-temperatura-y-humedad/58-sensor-de-temperatura-y-humedad-relativa-dht22-am2302.html>
- Naylamp. (2023). *Módulo Relay 2CH 12VDC*.
<https://naylampmechatronics.com/drivers/193-modulo-relay-2-canales-12vdc.html>
- Naylamp. (2023). *Válvula solenoide 3/4" 12VDC Baja Presión (NC)*.
<https://naylampmechatronics.com/valvulas/948-valvula-solenoide-34-12vdc-baja-presion-nc.html>
- NetaCad. (2023). *¿Qué es IoT?*
<https://contenthub.netacad.com/legacy/12IoT/2.0/es/index.html#1.2.1.1>
- Ozan, V. (2021). *Developing IoT Projects with ESP32*. Editorial Packt Publishing.
- Páez Carabajo, J. D. (2023). *Diseño de una plataforma de monitoreo de niveles de CO2 basada en IoT, 2023* [Tesis de licenciatura, Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca]. Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Salesiana. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/26394>

- Pizarro, J. (2019). *Internet de las cosas (IoT) con Arduino. Manual práctico*. Ediciones Paraninfo.
- Pizarro, J. (2020). *Internet de las cosas (IoT) con ESP. Manual práctico*. Ediciones Paraninfo.
- Platzi. (2023). *Qué es el protocolo HTTP y cómo funciona*.
<https://platzi.com/clases/1638-api-rest/21614-que-es-y-como-funciona-el-protocolo-http/#:~:text=Es%20un%20protocolo%20orientado%20a,con%20cierto%20formato%20al%20servidor>
- Quinde Loja, S. A., y Rivera Guerrero, M. R. (2023). *Diseño de un sistema basado en IoT para monitorear la nutrición del suelo en cultivos de cacao, 2023* [Tesis de licenciatura, Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca]. Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Salesiana. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/26255>
- Random Nerd Tutorials. (2024). DHT11 vs DHT22 vs LM35 vs DS18B20 vs BME280 vs BMP180. <https://randomnerdtutorials.com/dht11-vs-dht22-vs-lm35-vs-ds18b20-vs-bme280-vs-bmp180/>
- Random Nerd Tutorials. (2024). ESP32 Datalogging to Google Sheets. <https://randomnerdtutorials.com/esp32-datalogging-google-sheets/>
- Random Nerd Tutorials. (2024). ESP32 Relay Module – Control AC Appliances (Web Server). <https://randomnerdtutorials.com/esp32-relay-module-ac-web-server/>
- Random Nerd Tutorials. (2024). *ESP32 with DHT11/DHT22 Temperature and Humidity Sensor using Arduino IDE*. <https://randomnerdtutorials.com/esp32-dht11-dht22-temperature-humidity-sensor-arduino-ide/>

Random Nerd Tutorials. (2024). *Getting Started with the ESP32 Development Board*. <https://randomnerdtutorials.com/getting-started-with-esp32/>

Random Nerd Tutorials. (2024). *How to Use I2C LCD with ESP32 on Arduino IDE (ESP8266 compatible)*. <https://randomnerdtutorials.com/esp32-esp8266-i2c-lcd-arduino-ide/>

Random Nerd Tutorials. (2024). *Installing ESP32 Board in Arduino IDE 2.0 (Windows, Mac OS X, and Linux)*. <https://randomnerdtutorials.com/installing-the-esp32-board-in-arduino-ide-windows-instructions/>

Random Nerd Tutorials. (2024). *Telegram: ESP32/ESP8266*. <https://randomnerdtutorials.com/telegram-esp32-esp8266/>

Smith, R., & Williams, J. (2021). *IoT for Smart Farming: Implementing Practical Systems*. Editorial Wiley.

Glosario

App Script: Basado en la nube para la plataforma de Java Script que permitirá unir tareas para productos de Google.

ThingSpeak: Plataforma para monitoreo de parámetros y análisis de datos.

