



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E
INDUSTRIAL
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y COMUNICACIONES

Tema:

**SISTEMA DE MONITOREO DE VARIABLES QUÍMICAS CON
TECNOLOGÍA IOT DE LOS SUELOS AGRÍCOLAS PARA LA COSECHA
DE PRODUCTOS EN AGRO PUJILÍ.**

Trabajo de Titulación Modalidad: Proyecto de Investigación, presentado previo a la obtención del título de Ingeniero en Electrónica y Comunicaciones.

ÁREA: Comunicaciones

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Programación y Redes

AUTOR: Jessica Katherine Guilcaso Tipan

TUTOR: Ing. Juan Pablo Pallo Noroña, Mg

AMBATO – ECUADOR

marzo – 2023

APROBACIÓN DEL TUTOR

En calidad de tutor del Trabajo de Titulación con el tema: **SISTEMA DE MONITOREO DE VARIABLES QUÍMICAS CON TECNOLOGÍA IOT DE LOS SUELOS AGRÍCOLAS PARA LA COSECHA DE PRODUCTOS EN AGRO PUJILÍ**, por la señorita Jessica Katherine Guilcaso Tipan, estudiante de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, de la Universidad Técnica de Ambato, me permito indicar que la estudiante ha sido tutorada durante todo el desarrollo del trabajo hasta su conclusión, de acuerdo a lo dispuesto en el Artículo 15 del Reglamento para obtener el Título de Tercer Nivel, de Grado de la Universidad Técnica de Ambato, y el numeral 7.4 del respectivo instructivo.

Ambato, marzo 2023

Ing. Juan Pablo Pallo Noroña, Mg

TUTOR

AUTORÍA

El presente Proyecto de Investigación titulado: SISTEMA DE MONITOREO DE VARIABLES QUÍMICAS CON TECNOLOGÍA IOT DE LOS SUELOS AGRÍCOLAS PARA LA COSECHA DE PRODUCTOS EN AGRO PUJILÍ, es absolutamente original, auténtico y personal. En tal virtud, el contenido, efectos legales y académicos que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Ambato, marzo 2023



Jessica Katherine Guilcaso Tipan

C.C. 0502888274

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga uso de este Trabajo de Titulación como un documento disponible para la lectura, consulta y procesos de investigación.

Cedo los derechos de mi Trabajo de Titulación en favor de la Universidad Técnica de Ambato, con fines de difusión pública. Además, autorizo su reproducción total o parcial dentro de las regulaciones de la institución.

Ambato, marzo 2023



Jessica Katherine Guilcaso Tipan

C.C. 0502888274

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

En calidad de par calificador del Informe Final del Trabajo de Titulación presentado por la señorita Jessica Katherine Guilcaso Tipan, estudiante de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, bajo la Modalidad Proyecto de Investigación titulado **SISTEMA DE MONITOREO DE VARIABLES QUÍMICAS CON TECNOLOGÍA IOT DE LOS SUELOS AGRÍCOLAS PARA LA COSECHA DE PRODUCTOS EN AGRO PUJILÍ**, nos permitimos informar que el trabajo ha sido revisado y calificado de acuerdo al Artículo 17 del Reglamento para obtener el Título de Tercer Nivel, de Grado de la Universidad Técnica de Ambato, y al numeral 7.6 del respectivo instructivo. Para cuya constancia suscribimos, conjuntamente con la señora Presidenta del Tribunal.

Ambato, marzo 2023

Ing. Elsa Pilar Urrutia, Mg.
PRESIDENTA DEL TRIBUNAL

PhD. Martha Sevilla
PROFESOR CALIFICADOR

Ing. Ana Pamela Castro
PROFESOR CALIFICADOR

DEDICATORIA

El presente trabajo dedico primeramente a Dios por darme la inteligencia y sabiduría para ir cumpliendo mis metas propuestas y por permitirme llegar a alcanzar mi más anhelado sueño.

A mis padres que han estado en cada momento brindándome palabras de aliento, motivándome a no rendirme, han sido mi motor fundamental en el trayecto de mi vida estudiantil, a mis hermanos Sandra, Brayan y Solange que me impulsan a seguir adelante y no rendirme.

A mis amigos y amigas que siempre estuvieron conmigo brindándome su apoyo incondicional, sus palabras de aliento durante nuestra carrera universitaria.

Guilcaso Tipan Jessica Katherine

AGRADECIMIENTO

Agradezco infinitamente a Dios por siempre cuidar de mí, protegerme a cada momento y por darme un día más de vida junto a mi hermosa familia.

A mis padres por todo el esfuerzo que realizaron por darme una excelente educación, a mi madre por cuidarme, protegerme y aconsejarme cuando ha sido necesario, a mi hermana Sandra por siempre estar conmigo con sus consejos y experiencia de vida, a mi cuñado Luis por darme palabras de aliento, a mi hermano/a Brayan y Solange por siempre estar conmigo, agradezco a Dios por la vida y salud de mis sobrinas Keyla y Arlet, que ahora son y serán mi motor para seguir cumpliendo con mis sueños.

A mis amigos y amigas por enseñarme el valor de una amistad, por los buenos y malos momentos que compartimos juntos, a mi tutor Juan Pablo Pallo por su apoyo en mi proceso de titulación, a mis docentes por compartirme sus conocimientos.

Guilcaso Tipan Jessica Katherine

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL TUTOR.....	ii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
RESUMEN EJECUTIVO	xv
ABSTRACT	xvi
CAPÍTULO I.....	1
1. MARCO TEÓRICO	1
1.1. Antecedentes Investigativos	1
1.1.1. Contextualización del problema	4
1.2. Fundamentación teórica	6
1.2.1. Tecnología IoT	6
1.2.2. Sistemas de monitoreo IoT	7
Parámetros de los sistemas	7
Ventajas y Desventajas de los sistemas	7
1.2.3. Sistema de monitoreo de suelo con IoT	8
1.2.4. Sistemas de monitoreo IoT en la agricultura	8
1.2.5. Sensores para la agricultura	9
1.2.6. Comunicación Inalámbrica	10
1.3. Objetivos	16
1.3.1. Objetivo General	16
1.3.2. Objetivos Específicos	16

2. METODOLOGÍA.....	17
2.1. Materiales	17
2.2. Métodos	18
2.2.1. Modalidad de la Investigación	18
Modalidad de Investigación Aplicada	18
2.2.2. Recolección de Información	19
2.2.3. Procesamiento y Análisis de Datos	19
2.2.4. Desarrollo del Proyecto	20
CAPÍTULO III.....	21
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	21
3.1. Análisis y discusión de los resultados	21
3.2. Desarrollo de la propuesta	22
3.2.1. Factores que influyen en el análisis del suelo	22
3.2.3. Requerimientos del sistema	27
3.2.4. Propuesta de solución	27
3.2.5. Selección de los equipos	28
3.2.6. Esquema del sistema	38
3.2.7. Implementación	51
3.2.8. Pruebas de funcionamiento	53
3.2.9. Presupuesto	80
CAPÍTULO IV.....	81
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	81
4.1. Conclusiones	81
4.2. Recomendaciones	82
BIBLIOGRAFÍA.....	84
ANEXOS.....	90
Anexo 1: Entrevista realizada al Ingeniero encargado Agro Pujilí	90

Anexo 2: Análisis de laboratorio de los nutrientes del suelo en el año 2020	93
Anexo 3: Análisis de laboratorio de los nutrientes del suelo en el año 2023	94
Anexo 4: Características técnicas de la Lora TTGO Esp32.....	95
Anexo 5: Características técnicas del sensor NPK	98
Anexo 6: Características técnicas del módulo interfaz RS485	99
Anexo 7: Características técnicas del Lora Gateway Esp32.....	102
Anexo 8: Características técnicas de la Raspberry Pi 4	106
Anexo 9: Características técnicas de la pantalla HDMI	109
Anexo 10: Código del nodo de sensorización.....	111
Anexo 11: Código de Lora Gateway.....	115
Anexo 12: Manual técnico	118

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Cantidad de nutrientes de absorción diaria por planta en kg/ha [19].....	12
Tabla 2: Nutrientes de los diferentes cultivos. [20]	13
Tabla 3: Tabla de número de muestras según el área del terreno [21].....	15
Tabla 4: Profundidad de muestreo según el cultivo [21]	16
Tabla 5: Elementos electrónicos	17
Tabla 6: Factores externos que influye al tomar muestra del terreno	22
Tabla 7: Tabla comparativa de lenguajes de programación de alto nivel	28
Tabla 8: Tabla comparativa de las características técnica de los diferentes sensores NPK.....	30
Tabla 9: Tabla comparativa de las tecnologías inalámbricas.....	32
Tabla 10: Tabla comparativa de las características técnica de diferentes microcontroladores.....	33
Tabla 11: Tabla comparativa de las características técnicas de los módulos conversores.....	34
Tabla 12: Tabla comparativa de las características técnica de los diferentes módulos Lora Gateway	35
Tabla 13: Tabla comparativa de las características técnicas de diferentes microcomputadores.	36
Tabla 14: Características técnicas de la pantalla HDMI	37
Tabla 15: El número de muestras según el área del terreno.....	54
Tabla 16: Resultados obtenidos del invernadero de tomate de riñón	55
Tabla 17: Resultados obtenidos del invernadero de flores	57
Tabla 18: Tabla comparativa de los resultados medidos del proyecto y los resultados de los análisis del laboratorio del invernadero de flores.....	60
Tabla 19: Tabla comparativa de los resultados medidos del proyecto y los resultados de los análisis del laboratorio del invernadero de tomate	60
Tabla 20: Regresión lineal del valor medido del nitrógeno del invernadero de tomata de riñón.....	62
Tabla 21: Regresión lineal del valor medido del fósforo del invernadero de tomate de riñón	65

Tabla 22: Regresión lineal del valor medido del potasio del invernadero de tomata de riñón	67
Tabla 23: Regresión lineal del valor medido del nitrógeno del invernadero de flores.	70
Tabla 24: Regresión lineal del valor medido del fósforo del invernadero de flores. 73	
Tabla 25: Regresión lineal del valor medido del potasio del invernadero de flores. 75	
Tabla 26: Tabla comparativa del sistema implementado y un dispositivo comercial	78
Tabla 27: Presupuesto del proyecto	80

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1: Muestreo en cuadrícula	14
Figura 2: Muestreo en zigzag.....	14
Figura 3: Muestreo en forma de X.....	14
Figura 4: Muestreo aleatorio simple	15
Figura 5: Muestreo aleatorio estratificado	15
Figura 6: Identificación del terreno	24
Figura 7: Método de muestreo zig-zag	24
Figura 8: Toma de las submuestras del terreno en corte de V y a una profundidad de 20cm.....	25
Figura 9: Procedimiento de la muestra compuesta por el método de cuarteos [26] .	25
Figura 10: Proceso de cuarte de las submuestras.....	26
Figura 11: Proceso de análisis hacia el laboratorio.....	26
Figura 12: Diagrama de bloques de la propuesta de solución.	28
Figura 13: Baterías Lipo	38
Figura 14: Esquema de sistema de monitoreo de variables químicas del suelo	39
Figura 15: Diagrama de conexión del nodo de sensorización	40
Figura 16: Diagrama de flujo del Nodo de sensorización	41
Figura 17: Conexión del Lora Gateway.....	42
Figura 18: Diagrama de flujo del LoRa Gateway.....	43
Figura 19: La base de datos del administrador	44
Figura 20: La base de datos del cliente.....	45
Figura 21: Los datos medidos del sistema en la base de datos	45
Figura 22: La conexión de la base de datos y la tarjeta electrónica ESP32.....	46
Figura 23: Diagrama de conexión del sistema.....	46
Figura 24: Diagrama de flujo de la interfaz de usuario	47
Figura 25: Visualización de la interfaz de usuario	48
Figura 26: Visualización de los datos obtenidos del sistema.....	48
Figura 27: Esquemático del sistema	49
Figura 28: Diseño de la placa del sistema.....	49
Figura 29: Nodo Lora Prototipo de sensorización para pruebas de nutrientes	52
Figura 30: Funcionamiento del nodo de sensorización	52

Figura 31: Implementación del LoRa Gateway y la interfaz de usuario	53
Figura 32: Implementación y ubicación del sistema	54
Figura 33: Técnica y número de muestras del área del terreno que se analizó.....	55
Figura 34: Gráfica de los datos de sensorización en la prueba 1	57
Figura 35: Gráfica de los datos de sensorización en la prueba 2.....	59
Figura 36: Diagrama de dispersión del nutriente medido el nitrógeno.....	64
Figura 37: Diagrama de dispersión del nutriente medido el fósforo	67
Figura 38: Diagrama de dispersión del nutriente medido el potasio	69
Figura 39: Diagrama de dispersión del nutriente medido el nitrógeno.....	72
Figura 40: Diagrama de dispersión del nutriente medido el fósforo	75
Figura 41: Diagrama de dispersión del nutriente medido el potasio	78

RESUMEN EJECUTIVO

En el presente proyecto de investigación se indagó acerca de los parámetros macronutrientes esenciales para el desarrollo de las plantas en el suelo y necesarios para los cultivos de diferentes tipos de sembríos tales como: verduras, hortalizas, frutos, rosas, entre otros. Entre los parámetros que se midieron fueron: nitrógeno, fósforo y potasio, el sistema consta de un nodo de sensorización para la medición de las variables químicas del suelo mediante el sensor NPK e interpretados mediante un microcontrolador ESP32 y enviados por medio de la tecnología LoRa. Para la comunicación del sensor y el microcontrolador se utilizó el módulo RS485 mediante una interfaz Modbus, este módulo realiza una conversión de señales de RS485 a TTL para que el microcontrolador pueda entender y leer las variables adquiridas por el sensor y enviarla al servidor mediante un módulo ESP32 Gateway para poder observar mediante una interfaz de usuario.

En la visualización de los datos se usó una pantalla OLED para la lectura de variables químicas una vez verificadas las variables se procede a enviar al Gateway Lora mediante la comunicación LoRa para transmitir al servidor y visualizar las variables a través de una interfaz de usuario

Palabras clave: tecnología Lora, microcontrolador, tecnología IoT

ABSTRACT

In the present research project, the macro nutrient parameters essential for the development of plants in the soil and necessary for the cultivation of different types of crops such as: vegetables, fruits, roses, among others, were inquired about. Among the parameters that were measured were: nitrogen, phosphorus and potassium, the system consists of a sensor node for the measurement of the chemical variables of the soil by means of the NPK sensor and interpreted by means of an ESP32 microcontroller and sent by means of LoRa technology. For the communication of the sensor and the microcontroller, the RS485 module was used through a Modbus interface, this module performs a signal conversion from RS485 to TTL so that the microcontroller can understand and read the variables acquired by the sensor. In addition, a soil moisture sensor was used to complement the NPK sensor, since it is necessary to know the moisture level in order to correctly measure the nutrients.

In the visualization of the data, an OLED screen was used to read the chemical variables, once the variables were verified, they were sent to the Lora Gateway through LoRa communication to transmit to the server and visualize the variables through a user interface.

Keywords: *Lora technology, microcontroller, IoT technology*

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes Investigativos

Para sustentar el proyecto de investigación se recopiló información de diferentes repositorios de las universidades, artículos científicos de revistas, papers que se encuentran relacionados con el tema, los cuales se encontró:

En el año 2021, Julieth Estefanía Gutiérrez Lopera, Johan Andrés Toloza, Oriana Alexandra López, Daniel Guevara-Ibarra, en su artículo denominado “Sistema integrado de monitoreo inalámbrico de variables agroambientales en un cultivo de tomate para la generación de mapas de intensidad” de la Universidad Francisco de Paula Santander, desarrollaron un diseño y construcción de un sistema integrado de monitoreo inalámbrico para la generación de mapas de intensidad enfocado en la agricultura de precisión empleando una metodología de cuatro etapas: análisis general, construcción, desarrollo del software y validación de cambios. El sistema cuenta con la instrumentación para medir dióxido de carbono, temperatura, radiación ultravioleta, humedad del aire y humedad suelo; además, implementa un sistema de posicionamiento global que permite la creación de los mapas. Los datos se envían a través del protocolo Lora WAN a una interfaz gráfica para visualizar el comportamiento de cada variable y generar los mapas. Obteniendo como resultado un sistema de medición de variables agroambientales para el control del cultivo en zonas abiertas o cultivos en invernaderos mediante un mapa de intensidad para representar los valores medidos en una imagen bidimensional utilizando colores e indicar el rango de medición de las variables medidas y así, conocer las condiciones agroambientales del terreno. [1]

En el año 2021, Johann Alexander Meneses Vidal, Simón Alexander Urrutia Quirá, en su investigación titulado “Desarrollo de una red de sensores para monitoreo de macronutrientes primarios para cultivo de café aplicado a un caso de estudio en Tecnicafé” de la Corporación Universitaria Autónoma del Cauca – Colombia, se centra

en la medición de las variables NPK, Nitrógeno, Fósforo y Potasio, mediante un dispositivo que facilite la obtención de estos valores en tiempo real, los cuales se subirán a un servidor o nube donde estarán disponibles para ser usados en un proceso de análisis, a través de la tecnología inalámbrica Sigfox, cuyo objetivo se caracteriza en la toma de decisión con respecto a la aplicación de fertilizantes, a su vez realizan la verificación del dispositivo a emplearse con respecto a un análisis tradicional de suelos, en relación a los resultados obtenidos de ambos procesos de evaluación. Para la factibilidad del sistema realizaron pruebas antes y después del proceso de fertilización concluyendo que las variables físicas NPK medidas son alteradas de acuerdo a las condiciones que se encuentre el suelo es decir por la temperatura y la humedad. [2]

En el año 2021, Pisana Placidi, Renato Morbidelli, Diego Fortunati, Nicola Papini, Francesco Gobbi, y Andrea Scorzoni, en su artículo científico titulado, “Monitoring Soil and Ambient Parameters in the IoT Precision Agriculture Scenario: An Original Modeling Approach Dedicated to Low-Cost Soil Water Content Sensors”, publicado en la Revista Científica MDPI, diseñaron una red de sensores inalámbricos de baja potencia basada en el protocolo LoraWAN con un enfoque en las aplicaciones de agricultura de precisión de bajo costo de IoT, como la detección y activación de invernaderos diseñados utilizando componentes comerciales y bibliotecas de software libres o de código abierto. Los resultados experimentales se recopilaron y almacenaron en una base de datos administrada por una máquina virtual que se ejecuta en un servicio en la nube. Los datos recopilados son visualizados en tiempo real por el usuario con una interfaz gráfica. La confiabilidad de todo el sistema se probó durante un experimento continuo con dos suelos naturales, franco arenoso y franco limoso. [3]

En el año 2020, Karen Lisseth León Merchán, Omar Andrés Sánchez Calderón, propuso un “Sistema de monitoreo de variables ambientales en cultivos de papa mediante IoT y Energía Solar Fotovoltaica” de la Universidad Católica de Colombia describe el diseño y simulación de una red de sensores inalámbricos que opta por la tecnología de comunicación Zigbee, cuyos datos obtenidos se envían a una base de

datos que se encuentra alojada en la nube. Concluyeron que la tecnología Zigbee suministra un servicio de bajo consumo y altos rangos de alcance para implementar en fincas con mayor área de siembra y es apto para zonas rurales. [4]

Angélica María Zambrano, (2020) en Ecuador, realizó un, “Análisis físico y químico de los suelos agrícolas del sur de Manabí y su relación con los cultivos”, implementando un estudio de campo en seis parroquias del sur de Manabí, donde recolectaron varias muestras de terreno en parcelas aplicando el método de zig-zag para el respectivo análisis tanto físico como químico en la estación experimental de Pichilingue de INIAP obteniendo como resultado que las características físicas y químicas de los terrenos son aptas para cultivos, encontrando mayor cantidad el hierro y azufre, y una escasez de potasio y boro. Además, que el 66.6% del terreno son arcillosos y el 34.4% son limosos. [5]

Elizabeth Carolina Altamirano Guerra, (2019) en Ecuador, analizaron los “Parámetros físicos y químicos para la determinación de la calidad de los suelos en la Microcuenca JUN-JUN”, evaluaron los parámetros físicos y químicos del suelo que posee cubierta vegetal y sin cubierta vegetal en diferentes zonas y altitudes, los cuales realizaron la recolección de 3 muestras mediante el bloque al azar (DBCA) registrados en fichas para el análisis respectivo en el laboratorio FCAGR de los nutrientes (P, K, Zn, Mn, Mg y Ca), obteniendo como resultado que los terrenos que poseen cubierta vegetal tiene una gran cantidad de nutrientes y material orgánico a diferencia de los terrenos sin cubierta vegetal que carece de estos parámetros físicos y químicos que son importante para la producción agrícola. [6]

En el año 2018, José Luis Calapiña, en Ecuador, implementó un “Sistema electrónico portable para la medición del índice de contaminación de suelos”, donde desarrollo un prototipo portable que consta de tres nodos: el nodo emisor que tiene la función de medir los valores de las variables físicas a través de sensores como: la humedad, la temperatura, la conductividad (MEC10) y el pH (pH SEN0161). También consta de un nodo receptor que utiliza un Arduino MEGA para recibir los datos de los sensores

mediante los dispositivos NRF. Y por último el nodo del servidor LAMP, realizado en una Raspberry PI 3 para adquirir los valores de los sensores, almacenarlos en la base de datos y visualizados en una página web que genera reportes y gráficas de los datos medidos por los sensores. Para garantizar la confiabilidad del sistema realizaron pruebas experimentales del nivel de contaminación existente en la florícola Rosely Flowers, los cuales fueron comprados con datos medidos con equipos manuales de la institución, obteniendo como resultado un grado de confiabilidad 94.33%. [7]

1.1.1. Contextualización del problema

En el Ecuador, la producción agrícola representa 0.1% del Producto Interno Bruto (PIB) con \$2139.11 millones de dólares, siendo el cuarto sector económico más importante [8]. Sin embargo, existe baja oferta debido a los costos de venta que se rige a un monopolio de alta demanda de calidad, que es manipulado por los comerciantes de mercados al menudeo, perjudicando al pequeño agricultor, razón por la cual muchos de ellos han abandonado esta actividad para dedicarse a otros ámbitos y así ha provocado un alto índice de desabastecimiento de alimenticios para la población. [8]

El ministerio de Agricultura y Ganadería junto a Ingenieros Agrónomos, realizan capacitaciones a los productores sobre medidas adecuadas para evitar envenenamiento de suelo, y así mejorar los cultivos de las plantaciones. A pesar de esto la falta de control sobre datos técnicos y químicos, el productor desconoce la cantidad de fertilizante que debe requerir una planta en desarrollo, causando daños y pérdidas económicas hacia el cultivador. [9]

En el cantón Pujilí el 4,48% del total de su territorio corresponde a tierras productivas destinadas a diferentes productos como: el tomate de riñón, maíz, hortalizas, frutas que no han sido tratadas adecuadamente con fertilizantes apropiados para el desarrollo de las plantaciones de acuerdo a las características de la tierra y al ambiente que lo rodea al cultivo debido al desconocimiento técnico de los cultivadores. [10]

Agro Pujilí lleva una trayectoria de 5 años de ayudar y asesorar a los agricultores en sus sembríos de las diferentes parroquias rurales del cantón Pujilí como: Zumbahua, el Tingo, la Victoria y Angamarca de la provincia de Cotopaxi. Colaborando a los cultivadores con su experiencia guía desde la preparación, germinación, plantación, fertilización y cosecha de los sembríos. Sin embargo, la microempresa requiere de dispositivos electrónicos que mejoren la tecnificación en los cultivos para un control óptimo y fiable, de manera que la importancia del desarrollo tecnológico de este nivel a la agronomía mejoraría la utilidad en el campo reduciendo los errores humanos en la producción.

La agronomía es un campo olvidado en tecnología con respecto a otras ramas, pese a esto los avances tecnológicos cada vez ayuda de mejor manera al cultivador, gracias a dispositivos controlados como placas de desarrollo IoT, PLC, motores monofásicos de bajo consumo, obteniendo grandes resultados en los cultivos, a su vez ahorra recursos económicos y personales, debido al control eficiente y disminución de pruebas de laboratorios que consumen gastos al cultivador, para lograr un sistema de monitoreo y análisis de nutrientes esenciales en los suelos logrará gracias a que una de las ventajas del dispositivo es efectuar un control óptimo que mantendrá monitoreado el nivel moderado de nutrientes correspondiente al tipo de sembrío, el cual facilitará mayor producción ante la oferta y demanda del producto.

Con el uso de tecnologías implementadas en la agronomía se logrará contribuir con beneficios con la microempresa y el pequeño cultivador, satisfaciendo de forma directa la alta demanda de los frutos, hortalizas y vegetales del consumo diario, con ayuda de innovaciones tecnológicas, logrando mejorar la productividad de la plantación, de tal manera beneficiará indirectamente a la economía de la provincia donde rige la demanda de alimentos cotidianos.

En mención a lo anterior, el presente proyecto de investigación planteado es viable y presentará una solución tecnológica para mejorar la producción del cultivo evitando pérdidas económicas al productor, contando con los conocimientos teóricos y prácticos

necesarios, la tecnología adecuada y las diferentes fuentes bibliográficas para el desarrollo y cumplimiento del mismo. Se logrará el desarrollo de un sistema portátil de monitoreo y análisis de nutrientes químicos en los suelos, ya que existen sensores que ayudan a obtener mediciones químicas (Nitrógeno, Potasio, Fósforo) con tecnología IoT y así se realiza la plantación correcta a cosecharse, dando a conocer qué tipo de cultivo es la mejor elección para la plantación según el área, el clima, la temperatura y los parámetros químicos del lugar.

1.2. Fundamentación teórica

1.2.1. Tecnología IoT

La tecnología IoT o internet de las cosas se basa en la conexión de dispositivos electrónicos que se comunican e interactúan entre sí, mediante el internet formando una red inalámbrica de sensores, actuadores y software que les permiten transmitir y recibir datos con el propósito de informar a los usuarios o automatizar una acción o proceso. [11]

Características del IoT.

Las características de la tecnología IoT [12] . Se detallan a continuación:

- La combinación de software y hardware en el IoT proporciona la facilidad de convertir un dispositivo habitual en inteligente, mostrando las siguientes características.
- Conectividad. - La conectividad permite compatibilidad y acceso a la red, sea cual sea el medio que le rodea.
- Sensibilidad. - La sensibilidad permite detección y reconocimiento que reflejen un verdadero conocimiento del mundo físico y sus habitantes.
- Interacción. - La interacción permite comunicación entre el mundo físico, las personas y las máquinas, productos que interactúan de forma inteligente con el mundo real

Aplicaciones

La tecnología IoT han facilitado la medición de variables tipo dato, gracias a la red de sensores que lo conforman para el control y monitoreo en diferentes campos, como:

la agricultura, la seguridad electrónica, las industrias, maquinaria, el campo de salud, casas inteligentes entre otros. [13]

1.2.2. Sistemas de monitoreo IoT

Los sistemas de monitoreo IoT se basa en una plataforma desarrollada para monitorear variables físicas y controlar sistemas conectados inalámbricamente a la red a través de un servidor, el cual permite el monitoreo en tiempo real 24/7 desde cualquier lugar de forma remota, además, de gestionar datos, reportes y notificaciones del correcto funcionamiento del proceso. [14]

Parámetros de los sistemas

Un sistema de monitoreo con la configuración IoT debe estar óptimo para resistir climas adversos, el cual debe cumplir estándares y regirse a parámetros de acuerdo al medio de uso, estos parámetros se detallan a continuación. [14]

- Configuración Inalámbrica o fisca IoT
- Accesos a una plataforma de comunicación IoT
- Sensores adecuados al sistema de comunicación de ancho de banda entre 1kb a 225 kb para una óptima trasferencia de datos
- Bajo consumo de energía para prevalecer el funcionamiento remoto.

Ventajas y Desventajas de los sistemas

Todos los sistemas tienen sus puntos fuertes y débiles para cumplir un propósito en la automatización o la ejecución de una orden, que se puede detallar como ventajas y desventajas. [14]

Ventajas

- Control a grandes distancias
- Monitoreo en tiempo real
- Aceptación de dispositivos de diferente índole
- Multiplataforma
- Libre acceso a software y hardware

Desventajas

- Ancho de banda limitado
- Acceso limitado
- Conexión Inalámbrica necesaria
- Actualización contante de plataformas
- Obsolescencia de placas de desarrollo

1.2.3. Sistema de monitoreo de suelo con IoT

Un sistema de monitoreo de suelo está constituido por diversos dispositivos capaces de captar las variables que realizar algún efecto negativo o positivo en una plantación, estos dispositivos pueden ser configurados mediante sensores que transmitan de forma local o por una placa de desarrollo del Internet de las cosas (IoT) que es una evolución en la manera en que interactúan las personas y él sin número de dispositivos electrónicos que existen en la actualidad y que están por venir, con el propósito de que exista una comunicación entre dispositivos y el usuario. Conectar todos estos dispositivos a una red, permitirá la mejora en diferentes áreas como: automatización, precisión, domótica entre otros. [15]

1.2.4. Sistemas de monitoreo IoT en la agricultura

Los sistemas de monitoreo IoT en la agricultura enmarca el desarrollo y soluciones que permiten el mejoramiento de los cultivos, aplicando técnicas para beneficiar su rendimiento, la optimización del uso de recursos, minimización del impacto ambiental, y la toma de decisiones adecuadas a través del uso de las tecnologías de la información

y comunicación, con el motivo de articular procesos agrícolas más eficientes, confiables, modernos y seguros. [15]

Ventajas

Las ventajas de la agricultura con tecnología IoT [15]. Se detallan a continuación:

- Monitoreo de las variables físicas del medio
- Agricultura de precisión
- Producción de cultivos
- Acondicionamiento del lugar
- Bajo consumo de energía

Desventajas

Las desventajas de la tecnología IoT en la agricultura son los siguientes [15]:

- Incompatibilidad en los equipos por falta de estandarización
- Facilidad de hackeo ya que los softwares carecen de seguridad

1.2.5. Sensores para la agricultura

Los sensores electrónicos para la agricultura permiten detectar variables fundamentales para evaluar el estado del cultivo, el ambiente donde se está desarrollando, analizar el suelo, detección de enfermedades y nutrientes del suelo [16]

El uso de dispositivo electrónico como los sensores ayudan a monitorizar el estado de las condiciones de un medio, además, a la toma de decisiones con el fin de reducir el uso de trabajo humano en los campos, asegurando una mayor calidad en las operaciones y limitar el uso de recursos. [16]

Existe diferentes tipos de sensores que permite captar variables físicas que se encuentra en el entorno como: la temperatura, la humedad de ambiente, humedad del suelo, la

radiación solar, la pluviometría, los gases, los nutrientes del suelo, el PH del suelo entre otros. [16]

Ventajas

Las ventajas de los sensores son [16]:

- Mejorar la productividad
- Reducir pérdidas de producción
- Ahorro de energía
- Mayor control de producción
- Ahorro de recursos económicos

1.2.6. Comunicación Inalámbrica

La comunicación inalámbrica permite la transmisión y recepción de información entre emisor y receptor este proceso se da mediante la modulación de ondas electromagnéticas, a través del espacio. Es decir, para este tipo de comunicación no se necesita de un medio de propagación físico. En este caso, los dispositivos físicos solo están presentes en los emisores y receptores de la señal, entre estos se tiene: antenas, computadoras portátiles, teléfonos móviles, entre otros. [17]

Ventajas

Las ventajas que poseen las redes inalámbricas son las siguientes [17]:

- Es un robusto estándar de redes, que permite a los usuarios gozar de compatibilidad con el mayor número de productos inalámbricos.
- Robustez y confiabilidad: Considera soluciones inalámbricas robustas, que tienen alcance de por lo menos 100 metros.
- Flexibilidad: Dentro de la zona de cobertura de la red inalámbrica los nodos se podrán comunicar libremente sin estar atados a cables.
- Seguridad: El usuario tiene opciones de seguridad como son la encriptación y la autenticación de usuarios.

- Costo: La inversión inicial de una red inalámbrica recompensa los gastos que se dan en el mantenimiento de una red cableada.

1.2.7. Nutrientes del suelo

Los nutrientes del suelo ayudan al desarrollo y crecimiento de las plantas por lo que es importante mantener un nivel alto de fertilidad, estos nutrientes son provenientes de material orgánico, material químico y abono animal que mejora las propiedades biológicas y condiciones físicas del suelo [18]. Se clasifica por categorías los cuales tenemos:

Los macronutrientes primarios son los nutrientes más importantes y los que mayor cantidad requiere el suelo para los cultivos [18].

- Nitrógeno (N): ayuda al crecimiento de las plantas como las hojas, el tallo
- Fósforo (P): es necesario para el proceso de la fotosíntesis de las plantas y la maduración de la semilla y fruto
- Potasio (K): ayuda a que las plantas sean tolerantes a los cambios climáticos y no sean susceptibles a las enfermedades.

Los macronutrientes secundarios son los nutrientes que las plantas absorben en cantidades considerables como [18]:

- Calcio (Ca): permite el crecimiento de las raíces de las plantas es decir al tejido celular de las membranas.
- Azufre (S): permite el crecimiento de las plantas
- Magnesio (Mg): ayuda en la pigmentación de las hojas de las plantas

También existe los microelementos que son absorbidas en cantidades pequeñas por las plantas como [18]:

- hierro
- manganeso
- cobre
- zinc

- boro
- molibdeno
- cloro

Todos los nutrientes cumplen una función específica en el crecimiento y desarrollo de las plantas, ya sea necesario en pequeñas o grandes cantidades. Sin embargo, existe nutrientes del suelo que se pierden en el suelo debido a la absorción abundante por las plantas como es el nitrógeno, mientras otros nutrientes son estables como el fósforo.

Las plantas requieren de 16 nutrientes para su desarrollo biológico y fisiológico, pero existen tres nutrientes que son necesario en los cultivos como: nitrógeno, fósforo y potasio. La cantidad de nutriente que requiere una planta depende del cultivo que se vaya a planta, en la tabla 1 se detalla el porcentaje diario de nutrientes [19]

Tabla 1: Cantidad de nutrientes de absorción diaria por planta en kg/ha [19]

Macronutrientes primarios	Absorción diaria por planta Kg/Ha
Nitrógeno	1.5 – 4
Fósforo	0.3 – 0.7
Potasio	1.5 - 5

En tabla 2 se observa la cantidad de nutrientes que requiere los diferentes tipos de cultivos. Para ello se debe realizar un cálculo que es la multiplicación de los valores consignados en la tabla por la tonelada que se va a cosechar [20].

Tabla 2: Nutrientes de los diferentes cultivos. [20]

Cultivos	Unidad de producción	Elementos nutritivos (kg/unidad de producción)		
		Nitrógeno	Fosforo	Potasio
CEREALES				
Trigo	Tm	28 – 30	12 – 15	20 – 35
Cebada	Tm	24 – 28	10 – 12	20 – 35
Avena	Tm	28 – 30	10 – 14	23 – 35
Maíz	Tm	26 - 32	10 – 13	22 – 30
Arroz	Tm	14 – 22	6 – 10	14 – 23
LEGUMINOSAS				
Habas	Tm	52 – 60	16 – 18	32 – 45
RAICES Y TUBERCULOS				
Papas	10Tm	35 – 55	16 – 20	60 – 80
Remolacha	10Tm	40 – 45	13 – 18	55 – 65
HORTICOLAS				
Tomate	10Tm	30 – 40	8 – 12	40 – 65
Espinaca	10Tm	50 – 60	14 – 16	50 – 100
Zanahoria	10Tm	30 – 50	10 – 12	55 – 65
Lechuga	10Tm	30 – 40	10 – 20	60 – 80
Cebolla	10Tm	25 – 40	10 – 15	30 – 35
Coliflor	10Tm	40 – 45	14 – 16	60 – 65
INDUSTRIALES				
Algodón	Tm	160 -190	70 – 80	140 – 160
Caña de azúcar	Tm	15 – 17	6 – 8	27 – 30
Girasol	Tm	40 - 50	18 – 20	90 - 100

Muestreo del suelo

Para realizar el muestreo de un terreno es recomendable tomar en cuenta ciertos factores como: el lugar del terreno, el clima y la dimensión del terreno a cultivar. Sin embargo, existen diferente técnica de muestreo que se puede realizar para conocer la fertilización del suelo entre ellos tenemos: el aleatorio, el muestreo simple, el aleatorio

estratificado, el muestreo en forma cuadrada, el muestreo en forma de zigzag y en forma de X. [21]

- El muestreo en cuadrícula consiste en dividir al área en sub zonas pequeñas de la misma dimensión, como se observa en la figura 1.

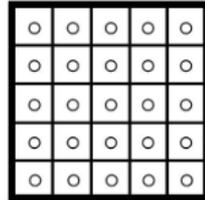


Figura 1: Muestreo en cuadrícula [21]

- El muestreo en forma de zigzag consiste en definir un punto de inicio e ir recorriendo por el lote recolectando submuestra del terreno en forma de líneas cruzada cada 25 a 30 pasos, se ilustra en la figura 2.

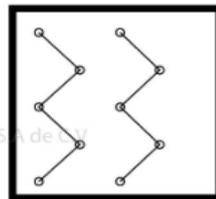


Figura 2: Muestreo en zigzag [21]

- El muestreo en forma de X es un método de recolección sencillo en forma de X donde se recolecta muestras en forma diagonal del área del terreno, se visualiza en la figura 3.

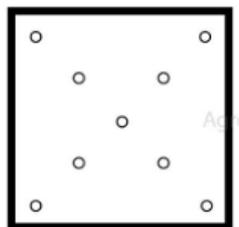


Figura 3: Muestreo en forma de X [21]

- El muestreo aleatorio simple consiste en coger muestra al azar por toda el área del terreno. Como se ilustra en la figura 4.

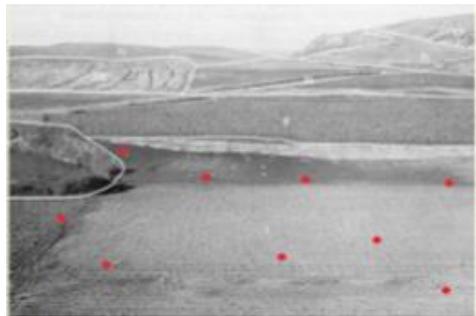


Figura 4: Muestreo aleatorio simple [21]

- El muestreo aleatorio estratificado divide el lote en diferentes áreas de diferentes dimensiones y recoge la muestra en cada estrato este proceso se realiza en terrenos colinados o laderas, como se observa en la figura 5.

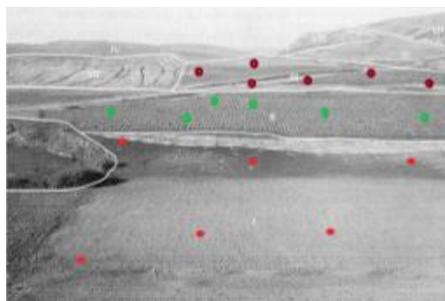


Figura 5: Muestreo aleatorio estratificado [21]

La cantidad de muestras que se debe recolectar debe del área del terreno como se observa en la tabla 3

Tabla 3: Tabla de número de muestras según el área del terreno [21]

Número de muestras	Área de interés por metros
15 a 25	2000
30 a 45	5000
55 a 70	10000
75 a 90	20000
100 a 115	40000

En la tabla 3 se observa el número de muestras en áreas menores a 50 hectáreas. En caso de áreas mayores a 50 hectáreas se utiliza la ecuación 1

$$N = 0.1X + 1 \quad (1)$$

Ecuación 1: Cantidad de muestras en áreas mayores a 50 hectáreas. [21]

N = es el número de muestras según la dimensión del terreno

X = es el área del terreno en hectáreas

La profundidad de muestreo depende mucho del tipo de cultivo que se vaya a cultivar como se puede observar en la tabla 4.

Tabla 4: Profundidad de muestreo según el cultivo [21]

Profundidad	Tipo de cultivo
0 a 10 cm	Pasto
0 a 25 cm	hortalizas
0 a 25 cm y 25cm a 50cm	Frutas

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Implementar un sistema de monitoreo portátil de variables químicas con tecnología IoT de los suelos agrícolas para la cosecha de los productores de Agro Pujilí

1.3.2. Objetivos Específicos

- Investigar los sistemas de medición del suelo fertilizado y los procesos de fertilización del suelo en los productores de Agro Pujilí.
- Analizar los sistemas de monitoreo del suelo basado en IoT para el análisis de nutrientes químicos.
- Diseñar un sistema IoT de monitoreo de las variables químicas y alertas automáticas de las condiciones del suelo agrícola

CAPÍTULO II

2. METODOLOGÍA

2.1. Materiales

La presente investigación se seleccionó diferentes elementos electrónicos y programas, de acuerdo a investigaciones previas realizadas en libros, artículos investigaciones para el desarrollo del prototipo. Los cuales se detallan a continuación en la tabla 5.

Tabla 5: Elementos electrónicos

Dispositivos	Funcionamiento
<p>Pantalla HDMI</p> 	<p>La pantalla permitirá visualizar los datos obtenidos desde el Nodo Lora</p>
<p>Raspberry PI</p> 	<p>Se encarga de gestionar los datos obtenidos de la medición de los nutrientes del suelo hacia el servidor mediante una configuración LAPM para su gestión</p>
<p>Modulo LORA</p> 	<p>Lora nodo es el encargado interpretar las señales eléctricas de los sensores para enviar mediante una comunicación por el RF.</p> <p>Lora Gateway es el que recibe los datos de la lora nodo como un medio de transporte para enviar al servidor</p>
<p>Pantalla OLED I2C</p> 	<p>La pantalla OLED permite visualizar datos del Lora Nodo</p>

<p>Fuente de alimentación</p> 	<p>Permite gestionar energía a los dispositivos del prototipo</p>
<p>Sensor NPK</p> 	<p>Interpreta la conductividad eléctrica de los químicos (Nitrógeno, Fosforo, Potasio) para que se adquiera por el microcontrolador.</p>

Elaborado por: La investigadora

2.2. Métodos

2.2.1. Modalidad de la Investigación

Modalidad de Investigación Aplicada

El presente proyecto se enmarcó dentro de investigación aplicada por el análisis de las tecnologías utilizadas actualmente para los sistemas de monitoreo y análisis de nutrientes esenciales en los suelos y a su vez la forma de incentivar al productor con esta tecnología, la cual va directamente ejecutado en el lugar de desarrollo de la investigación, ejecutando nuevas técnicas de implementación para un óptimo funcionamiento del sistema.

Modalidad de Investigación Bibliográfica

Se efectuó dentro de investigación bibliográfica por el nivel de información requerido para el análisis de nuevas tecnologías, métodos de producción respecto a cantidad de nutrientes que requiere una plantación, el monitoreo y análisis de estos nutrientes esenciales en los suelos y los datos entre el sistema/usuario que se requieran de una

información de fuentes como libros, páginas web, publicaciones, revistas y artículos científicos.

Modalidad de Investigación de Campo

El presente trabajo de investigación se realizó dentro de la investigación de campo para la recolección de información con ayuda del método de observación permitiendo realizar un estudio de suelo donde los productores tengan poca oferta ante la demanda de verduras, hortalizas o frutos, además lugares donde la tecnología ofrezca una solución y motive para quienes realicen esta actividad con una recompensa a su beneficio, evitando pérdidas directas.

2.2.2. Recolección de Información

La información se obtuvo principalmente de libros, revistas científicas, paper's y proyectos de titulación desarrollado en los últimos años, cada una de estas relacionadas y vinculadas a sistemas electrónicos, servidores con bases de datos y sistemas de control.

Procedimiento de cultivos, Estudios técnicos de suelo y Sistemas de Comunicación por lo que se requiere de Investigación bibliográfica, también se realizará a través de la investigación de campo, en lugares donde la productividad sea un problema, y analizando sus respectivas necesidades del productor a través de una encuesta, con la que se realizará un diseño eficiente y confiable para el sistema de monitoreo y análisis de nutrientes esenciales en los suelos con tecnología IoT.

2.2.3. Procesamiento y Análisis de Datos

Para el procesamiento y análisis de datos se realizó los siguientes pasos:

- Revisión de la información recopilada.
- Estudio de la propuesta de solución planteada para mejorar la productividad de la plantación en los suelos previstos.
- Planteamiento e interpretación de información relevante que contribuya al desarrollo de la propuesta de solución.

2.2.4. Desarrollo del Proyecto

Para el desarrollo del proyecto se realizó las siguientes actividades que se enlista a continuación.

1. Análisis de los procesos de fertilización del suelo en la Agro Pujilí
2. Análisis de parámetros técnicos que influye en la fertilización del suelo.
3. Determinar los nutrientes del suelo más adecuados para una producción óptima en una plantación.
4. Identificación de los sistemas IoT de monitoreo que existen para la agricultura.
5. Selección de hardware y software en sistemas para monitorear los nutrientes del suelo con dispositivos IoT.
6. Análisis del comportamiento de sensores con dispositivos IoT.
7. Representación del esquema de una red basado en la tecnología inalámbrica.
8. Determinación de los niveles de tolerancia en sensores NPK (Nitrógeno, Potasio, Fósforo).
9. Diseño de la interfaz usuario con los diferentes parámetros de variables químicas a monitorizar.
10. Implementación del sistema de monitoreo de los nutrientes del suelo.
11. Pruebas del funcionamiento del sistema finalizado.
12. Evaluación de los datos de las mediciones obtenidos.
13. Elaboración del informe final.

CAPÍTULO III

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Análisis y discusión de los resultados

Actualmente la tecnología de la tecnología IoT también conocido como el internet de las cosas ha contribuido a la evolución tecnológica, aportando eficientemente en diferentes procesos como la agricultura, donde existen sistemas que permite medir las condiciones físicas de su entorno, las condiciones climáticas, sistemas de riego, fertilización y fumigación, control de plagas entre otros, que han sido implementados en viveros, en plantaciones bajo invernadero, cultivos expuestos al aire, generando un ahorro en relación al costo de producción, cultivando productos de alta calidad y beneficiando al cultivador [22, 23]. Estos sistemas inteligentes son capaces de recolectar datos y analizarlos para generar reportes del estado y condiciones de las plantaciones, además, permite monitorear en tiempo real. Los cuales se detalla a continuación:

- Los invernaderos inteligentes tienen la función de monitorear y medir las variables físicas del clima además de mantener condiciones óptimas para el cultivo.
- Los drones agrícolas son aeronaves que vuelan alrededor de los cultivos para monitorear y conocer las características físicas y biológicas de la planta como: la altura, el estado de la cosecha, el tipo de enfermedad.
- La monitorización y precisión agrícola evalúa el entorno de los cultivos como el suelo para dar un tratamiento más adecuado.
- El control de plagas inteligentes realiza un seguimiento constante a las plantas por medio de cámaras o sensores para controlar que la plantación se enferme y evitar que la cosecha se afecte.

El presente proyecto se implementó un sistema de monitoreo portátil, de variables químicas con tecnología IoT de los suelos agrícolas para la cosecha de productos en Agro Pujilí. Mediante comunicación inalámbrica de largo alcance que permitirá optimizar recursos y procesos para mejorar la producción y calidad de los sembríos, además de gestionar datos de los clientes y parámetros técnicos/químicos de registro de las plantaciones en los usuarios, dando a conocer qué tipo de cultivo es la mejor

elección para la plantación según el área, el clima, la temperatura y los parámetros químicos del lugar.

3.2. Desarrollo de la propuesta

Para el desarrollo del proyecto de investigación se realizó las siguientes actividades que facilitaron la implementación del prototipo.

3.2.1. Factores que influyen en el análisis del suelo

Para realizar el proceso de análisis del suelo hay que tomar en cuenta ciertos factores que influye al tomar muestras del terreno como se detalla en tabla 6.

Tabla 6: Factores externos que influye al tomar muestra del terreno

Criterios	
1. Selección del área	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Topología ▪ Límites naturales
2. Reconocimiento del área	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Vegetación o cultivo ▪ Color ▪ Textura ▪ Tamaño del área
3. Número y tamaño de muestras	Se toma de 10 a 20 submuestras, se mezclan entre sí y analizar de 0.5kg, 1kg y 2kg
4. Profundidad de muestreo	<p>La profundidad de muestreo depende directamente del tipo de cultivo que se vaya a cosechar</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ La mayoría de cultivos es 0 – 20cm ▪ Pasto 7 – 10cm ▪ Cultivos perenner y forestales es de 0- 20 cm y 20cm -40cm

5. Tipo de muestreo	Para suelos homogéneos <ul style="list-style-type: none"> ▪ Método cuadricular ▪ Método de zig-zag ▪ Método en X Para suelos en laderas, colinados, planos y mixtos <ul style="list-style-type: none"> ▪ Método aleatorio simple ▪ Método aleatorio estratificado
6. Épocas de muestreo	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Antes de la siembra 1 – 2 meses ▪ Antes de inicio de lluvias ▪ Después del pastoreo
7. Frecuencia de muestreo	Se puede realizar 1 – 3 años depende mucho de la fertilidad del suelo
8. Tipo de análisis	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Rutina: nitrógeno, fósforo, potasio ▪ Rutina más detallada: pH, acidez, calcio, magnesio, zinc, manganeso, hierro ▪ Muestreo por primera vez: rutina, textura, material orgánico ▪ Riego por goteo: rutina, conductividad eléctrica, retención de humedad

Elaborado por: La investigadora [24] [25]

3.2.2. Procedimiento del análisis del suelo

Para el procedimiento que se llevó a cabo en el análisis de los nutrientes del suelo del lugar de la muestra es el siguiente:

1. Reconocimiento e identificación del terreno, se observa en la figura 6.
 - Terreno de textura arenosa con influencia aluvial
 - Forma cuadrada uniforme
 - La tierra es de color blanco
 - Tiene un área de 1000 m²

- Actualmente se utiliza para el sembrío de tomate de riñón



Figura 6: Identificación del terreno

Elaborado por: La investigadora

2. Seleccionar el tipo de muestreo en este caso cuando el lote es homogéneo como se observa en la figura 7, es recomendable utilizar el método de zigzag o el método en X para recolectar las muestras, en nuestro caso se utilizó el método en zigzag donde se define un punto de inicio por el terreno recolectando submuestras al azar en forma de líneas cruzadas cada cierta distancia. [24]



Figura 7: Método de muestreo zig-zag

Elaborado por: La investigadora

3. La frecuencia de muestreo para áreas pequeñas del suelo menores a 1 hectáreas es recomendable realizar la muestra compuesta la cual consiste de tomar submuestras por todo el terreno al azar entre 10 a 20 submuestras, la profundidad de la submuestra es dependiendo del cultivo que se vaya a plantar en este caso se tomó 16 submuestras con una profundidad de 20 cm debido a que el terreno es para sembrío de hortalizas, y en corte de V [24], como se ilustra en la figura 8.



Figura 8: Toma de las submuestras del terreno en corte de V y a una profundidad de 20cm

Elaborado por: La investigadora

4. Después de tomar las submuestras se mezcla en un balde o recipiente limpio y se realiza el procedimiento de homogenización del suelo, se coloca y extiende el suelo sobre un plástico y se divide en cuatro partes iguales como se observa en la figura 11, se toma dos cuartas partes de la mezcla y las otras dos cuartas partes se desechan, las dos partes que se escoge se vuelve a mezclar y se vuelve a realizar el proceso de cuarteo. Este proceso se repita las veces que sea necesario hasta tener 1 kg de muestra del suelo. [24] En la figura 9 se ilustra el procedimiento del cuarteo de muestra del suelo.

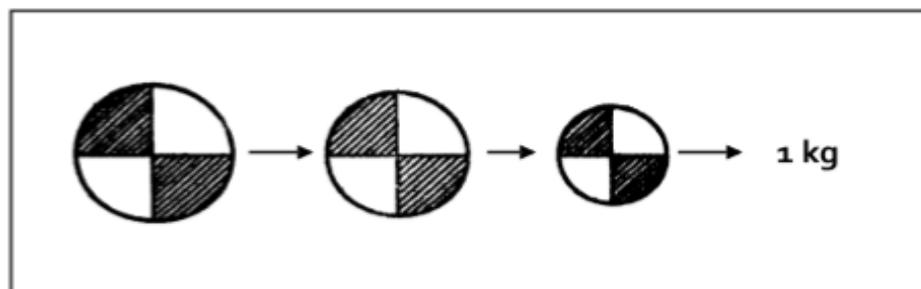


Figura 9: Procedimiento de la muestra compuesta por el método de cuarteos [26]

En la figura 10 se observa el proceso que se llevó a cabo de las submuestras del suelo que se analizó.

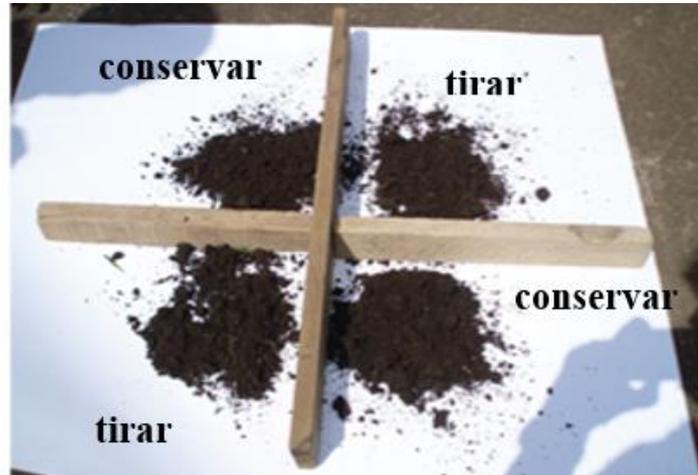


Figura 10: Proceso de cuarteo de las submuestras

Elaborado por: La investigadora

5. Al finalizar el proceso de cuarteo se toma la muestra compuesta de 1kg, se deja secar al aire libre y se coloca en una bolsa plástica para ser analizada en el laboratorio como en la figura 11.



Figura 11: Proceso de análisis hacia el laboratorio.

Elaborado por: La investigadora

3.2.3. Requerimientos del sistema

Para el desarrollo del sistema se requirió de ciertas características que permitieron cumplir con los objetivos y actividades planteadas.

- Sensores que permita medir las condiciones químicas del suelo (Conductividad del Nitrógeno, Fósforo y Potasio).
- Una comunicación que tenga un alcance de 1 km a 5 km para los dispositivos electrónicos.
- Un sistema de gestión y almacenamiento para los datos medidos del sensor NPK (Nitrógeno, Fósforo, Potasio) y datos de los clientes, como la ubicación y nombres.
- Una interfaz de usuario para la visualización de los datos adquiridos.

3.2.4. Propuesta de solución

La propuesta de solución se planteó el siguiente diagrama de bloques ilustrado en la figura 12, el cual está conformado por 4 etapas las cuales son: la sensorización y adquisición de datos, transmisión de datos, recepción de datos, gestión y visualización.

La primera etapa es la encargada de medir y adquirir las variables químicas de las condiciones del suelo como: el nitrógeno, fósforo y potasio, la ubicación GPS. La segunda etapa acondiciona los datos medidos de las variables químicas del suelo para ser transmitidos mediante una señal RF. La tercera etapa es la encargada de transmitir los datos adquiridos acondicionados de la etapa de sensorización hacia la etapa de gestión y visualización mediante una comunicación LoRa que tiene un alcance mayor a 1 Km, ya que los suelos de medición en ocasiones pueden llegar más de 1 km, conectividad segura y bajo consumo de energía. La cuarta etapa almacena los datos recibidos desde la etapa de sensorización en el servidor local y los visualizó en una interfaz de usuario para la interpretación y validación de los resultados obtenidos, como el resultado de la medición en mg/kg que es la medida que nos da los sensores, e interpretar si el suelo está con deficiente en minerales o está óptimo para el sembrío.

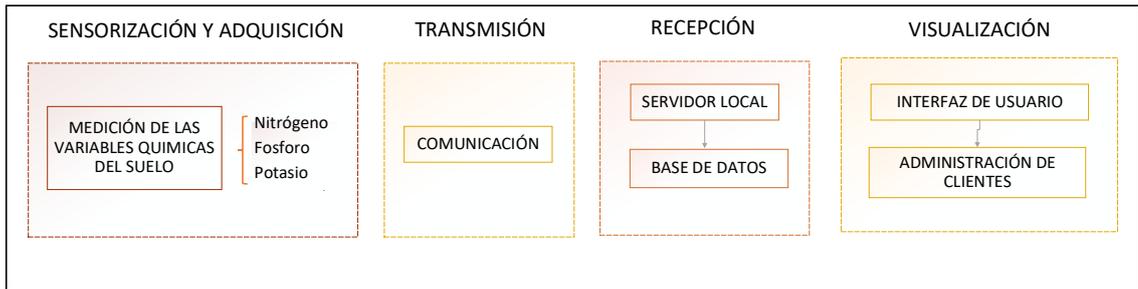


Figura 12: Diagrama de bloques de la propuesta de solución.

Elaborado por: La investigadora

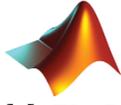
3.2.5. Selección de los equipos

Para la selección de los equipos se realizó un estudio comparativo de las características técnicas de herramientas de desarrollo y dispositivos electrónicos que se acoplen a los requerimientos del sistema tomando en cuenta parámetros puntuales como: capacidad, facilidad de adquisición, consumo de energía y costo.

a. Herramientas de desarrollo

Existen diferentes herramientas de desarrollo que permiten realizar procesos y ejecutarlos para la creación de aplicaciones móviles, páginas web, desarrollo de procesos como industriales, inteligencia artificial, redes neuronales, videojuegos en otros, detallado a continuación:

Tabla 7: Tabla comparativa de lenguajes de programación de alto nivel

Características Técnica			
Licenciamiento	Código abierto	Código abierto	Software privado
Sistemas operativos	Windows MacOS Linux Unix	Windows MacOS Linux	Windows MacOS Linux

Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Variedad de librerías ▪ Multiplataforma ▪ Es un lenguaje de propósito general ▪ Sintaxis directa ▪ Fácil aprendizaje ▪ Lenguaje interpretado ▪ Lenguaje orientado a objetos 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Compatible con librerías estándares y editadas ▪ Multiplataforma ▪ Lenguaje orientado a objetos ▪ Cuenta con liberación de memoria ▪ Admite subprocesos múltiples ▪ Compilación de código seguro 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Procesamiento rápido de datos ▪ Es confiable ▪ Integración de dispositivos ▪ Lenguaje interpretado
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Procesamiento lento ▪ Consumo de memoria 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Requiere de experiencia en programas ▪ Sintaxis compleja ▪ Depende de una máquina virtual java para que se ejecute en los diferentes sistemas operativos ▪ No es compatible con diferentes dispositivos electrónicos 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Problemas de velocidad ▪ Requiere de componente RUNTIME para ejecutar el programa

		<ul style="list-style-type: none"> ▪ No cuenta con una función de copia de seguridad ▪ Alto consumo de memoria 	
--	--	--	--

Elaborado por: La investigadora [27] [28] [29].

Al finalizar el análisis de tres herramientas de programación de alto nivel como se visualiza en la tabla 7, se optó por el lenguaje de programación Python orientado a objetos y multiplataforma que posee varias librerías como mysql-python, PLI, entre otros que ayuda y facilita al programador a desarrollar proyectos. Además, de entender el lenguaje con facilidad, una de las características principales que es compatible con los diferentes sistemas operativos.

b. Sensorización y adquisición de datos

Sensor NPK

Actualmente existe sensores que permite medir las condiciones químicas del suelo, como el sensor de variable química NPK, el cual detecta la cantidad de nutrientes que tiene el suelo siendo estos los tres principales: Nitrógeno, Fósforo y Potasio. Los cuales se detallan a continuación

Tabla 8: Tabla comparativa de las características técnica de los diferentes sensores NPK

Características Técnicas	<p>Sensor NPK01</p> 	<p>Sensor RS485 5PIN suelo PH NPK</p> 	<p>NPK Tester</p> 
---------------------------------	---	--	---

Voltaje de alimentación	5V - 30V	12V – 24V	9V
Consumo de energía	≤ 0.15W	≤ 0.15W	≤ 0.15W
Temperatura de funcionamiento	0°C – 55°C	-40°C – 80°C	5°C – 45°C
Variables de medición del suelo	Nitrógeno Fósforo Potasio	Nitrógeno Fósforo Potasio PH Temperatura y humedad	Nitrógeno Fósforo Potasio
Alcance	1-1999mg/kg (mg/L)	0-1999mg/kg (mg/L)	0-1999mg/kg (mg/L)
Resolución	1mg/kg	1mg/kg	1mg/kg
Precisión	±2% FS	±2% FS	±2% FS
Tiempo de respuesta	< 1 seg	< 1 seg	< 1 seg
Clase de protección	IP68	IP68	IP66
Material de la sonda	Acero inoxidable	Acero inoxidable	Acero inoxidable
Longitud de cable	20m	10m	-----
Señal de salida	RS485	RS485	RS485
Protocolo	Modbus	Modbus	Modbus
Costo	\$150,00	\$417,00	\$290,00

Elaborado por: La investigadora [30] [31] [32]

Al concluir el análisis de la tabla 8 se optó por el sensor NPK01 de suelo debido a que el sensor tiene una precisión de 1mg/Kg como una respuesta de 1 segundo, con una protección IP68 y la facilidad de adquisición gracias a su costo, precisión, además es resistente a la electrólisis, la corrosión y el agua.

c. Transmisión de datos

Tecnología inalámbrica

Para el desarrollo del proyecto se requiere de una tecnología inalámbrica de gran alcance que permita transmitir datos con bajo consumo de ancho de banda, en la tabla 9, se indica una comparación entre algunas de las tecnologías más usadas para IoT.

Tabla 9: Tabla comparativa de las tecnologías inalámbricas

Características Técnicas	Tecnología LoRa	Tecnología Bluetooth	Tecnología ZigBee
Frecuencia de trabajo	433MHz 868MHz 915MHz	2.4GHz	2.4GHz 900 MHz 868MHz
Alcance	20Km	20 metros	10m a 20m
Consumo de energía	bajo	medio	Medio
Velocidad de transmisión	0.3Kbps - 50Kbps	2Mbps	250Kbits/s
Tipo de transmisión	Datos	Audio Video Datos	Audio Video Datos

Elaborado por: La investigadora [33] [34]

Se optó por la tecnología LoRa, ya que maneja una frecuencia de 915 MHz que nos permite llegar hasta 20 Km para su transmisión de datos, también gracias a su bajo consumo energético siendo uno de los mayores problemas en los dispositivos portátiles.

Lora Nodo

Para el LoRa nodo se requiere de un controlador de alto rendimiento que permite adquirir las variables del sensor y procesar para enviar dichos datos al Gateway con una frecuencia de 915 MHz, un microcontrolador que procese a más de 40 MHz, además tenga bajo consumo energético. Para ello, se realizó una tabla comparativa de las características técnicas de los diferentes microcontroladores comerciales de las cuales se tomó en cuenta la capacidad de procesar datos, la cantidad de puerto GPIO, costo y facilidad de adquirir el dispositivo, como se detalla a continuación:

Tabla 10: Tabla comparativa de las características técnica de diferentes microcontroladores

Características Técnicas	Lora TTGO esp32 	ESP32 	Arduino Uno 
Procesador	Tensilica Xtensa LX3 de 32bits dual core	Xtensa Dual Core 32Bits LX6 con 600 DMIPS	ATmega 328P
Voltaje de funcionamiento	1.8V – 5V	5V	5V
Corriente	80mA	80ma	20mA
Puertos GPIO de entrada y salida	18	34	14
Potencia de transmisión	20dBm	20dBm	20dBm
Temperatura de funcionamiento	-40°C – 85°C	-40°C – 125°C	-40°C – 85°C
Frecuencia de funcionamiento	868MHz 915MHz	160MHz	16MHz
Tecnología	Wi-Fi Bluetooth Receptor GPS I2C RS232	Wi-Fi Bluetooth SPI I2C, I2S UART	SPI I2C UART
Chip Lora	Si	No	No
Costo	\$150,00	\$20,00	\$35,00

Elaborado por: La investigadora [35] [36] [37].

En la tabla 10 se puede visualizar las características de tres tipos de microcontroladores comerciales. Por lo cual, se optó por el módulo ESP32 LoRa por la capacidad de procesar datos debido a que tiene dos núcleos que le permite procesar varios datos a la vez, además que cuenta con tecnología LoRa para la trasmisión y recepción de los

datos adquiridos por los sensores hasta distancias de 20 Km. En el anexo 4 se encuentra detallado las características técnicas.

Módulo Conversor

Para la comunicación entre el sensor NPK y el microcontrolador ESP32 se necesitó de un módulo conversor, debido a que el sensor NPK está basado en el estándar de comunicación RS485, teniendo como salida una señal a un nivel de voltaje diferente al microcontrolador ESP32, que trabaja con la comunicación serial TTL o RS232. A continuación, se detalla los parámetros técnicos de los módulos de conversión de señales.

Tabla 11: Tabla comparativa de las características técnicas de los módulos conversores.

Características Técnicas	Módulo RS485 	Módulo SCM 	Módulo MAX232 
Chip conversor	MAX485	MAX485	MAX3232
Voltaje de operación	5V	3.3V – 5V	3.3V – 5V
Corriente de operación	120µA – 500µA	100 mA	500 µA
Potencia de operación	830mW	500mW
Tipo de comunicación	Half – Duplex	Half – Duplex	Full - Duplex
Velocidad máxima	10Mbits	120Kbps	120Kbps
Conversión	RS485 - TTL	USB – RS485	RS232
Costo	\$3,00	\$5,00	\$2,50

Elaborado por: La investigadora [38]

Se utilizó el módulo RS485 para realizar la conversión de señales seriales, es decir, de RS485 a TTL obteniendo la comunicación Modbus debido a que el sensor NPK y la tarjeta electrónica maneja diferentes niveles de voltaje, ya que el sensor NPK maneja

niveles de voltajes de 12 V que es la comunicación modbus y el microcontrolador procesa niveles de 3,3 V a 5 V que es la comunicación RS232 y TTL y diferentes señales de salida. Además, la ventaja de este módulo es que permite la transmisión de datos a altas velocidad máxima de 2.5 Mbps de largas distancias. En la tabla 11 y anexo 6 se detallan las características del módulo.

LoRa Gateway

Tabla 12: Tabla comparativa de las características técnica de los diferentes módulos Lora Gateway

Características Técnicas	Lora TTGO esp32 	SparkFun Lora Gateway 	Modulo RAK831 Gateway 
Voltaje de funcionamiento	5V	5V	5V
Corriente	80mA – 100mA	70mA -170mA	80mA
Puertos GPIO de entrada y salida	14	14	34
Frecuencia de operación	868MHz 915MHz	868MHz 915MHz	433MHz 868MHz 915MHz
Tecnología	Wi-fi Bluetooth Lora I2C, SPI RS232	Wi-fi Bluetooth Lora I2C, SPI RS232	Wi-fi Bluetooth Lora I2C, SPI RS232
Costo	\$60,00	\$75,00	\$140,00

Elaborado por: La investigadora [39] [40] [41]

Al realizar la tabla comparativa de los módulos Lora Gateway en la tabla 12, se seleccionó el módulo Esp32 Lora debido a que es una tarjeta compacta capaz de

procesar a 40 MHz y tiene comunicación RS32 y una tarjeta de comunicación LoRa. En el anexo 7 se encuentra los parámetros técnicos del dispositivo

d. Servidor local

Tabla 13: Tabla comparativa de las características técnicas de diferentes microcomputadores.

Características Técnicas	Raspberry PI 4B 	Banana Pi BPI-M3 	Odroid Pi XU4 
CPU	Broadcom BCM2711, Cortex-A72 de cuatro núcleos a 1,5 GHz	Allwinner A83T ARM Cortex-A7 Octa-Core 1.8 GHz.	Samsung Exynos5422 Cortex A15 2Ghz
Sistema operativo	Raspbian Kali Windows Pidora	Android	Android Linux
RAM	2GB, 4GB, 8GB	2GB DDR3	2GB DDR3
Voltaje de funcionamiento	5V	5V	5v
Corriente	2A	2A	4A
Puertos de conexión	USB 2.0 USB 3.0 HDMI Gigabit Ethernet	HDMI USB	USB 2.0 USB 3.0
Tecnología	Ethernet Wifi Bluetooth	Ethernet Wifi Bluetooth	Ethernet Wifi Bluetooth
Costo	\$95,00	\$120,00	\$105,00

Elaborado por: La investigadora [42]

En la tabla 13 se puede observar el análisis de tres diferentes microordenadores comerciales, por lo que se decidió utilizara la Raspberry Pi4, gracias a la interfaz de

comunicación que dispone como el HDMI, USB, RS232, GPIO, además puede interpretar sistema operativo basado en Linux, donde se administra los servicios de: mysql, web, php y ftp. Esta placa de desarrollo tiene una velocidad de procesamiento a 1,5Gz de 4 núcleos acompañado de 4 GB de memoria RAM permitiéndole ser potente y eficiente. En el anexo 7 se encuentra los parámetros técnicos del dispositivo

e. Interfaz de usuario

Tabla 14: Características técnicas de la pantalla HDMI

Características técnicas	Pantalla táctil	Pantalla HDMI	Pantalla Nextion
			
Marca	OSOYOO	Sony	Nextion
Sistema operativo	Linux	Linux	Linux
Resolución	1024 X 600	1024 x 600	1024 x 800
Alimentación	5V	5v	5V
Interfaz de entrada	HDMI	HDMI	HDMI
Interfaz táctil	USB	USB	RS232
Tamaño de la pantalla	LCD TFT de 7 pulgadas con control táctil capacitivo	LCD de 7 pulgada	LCD DE 10 pulgadas
Costo	\$150,00	\$175,00	\$195,00

Elaborado por: La investigadora [43]

Para la visualización y representación gráfica de los datos se utilizó una pantalla HDMI de 7 pulgadas de la marca OSOYO con una imagen de alta definición, tiene una interfaz HDMI, con un consumo de 5 V y es táctil, tiene un costo considerable para la interacción del sistema y el usuario final a continuación se ilustra las características en la tabla 14 y anexo 9.

f. Fuente de alimentación

Para la fuente de alimentación se utilizó pilas Lipo de 3.7V a 750mA el cual suministrar energía tanto para el nodo de sonorización como la Lora Gateway



Figura 13: Baterías Lipo

3.2.6. Esquema del sistema

El sistema de monitoreo de variables químicas para los suelos agrícolas tiene la finalidad de mejorar la calidad y producción agrícola a través de un sistema que permita captar los macronutrientes del suelo como el Nitrógeno, Fósforo y Potasio para la producción de hortalizas, frutas flores, entre otros. Este sistema está basado la arquitectura básica del protocolo de comunicación LoRaWAN donde los datos de transmisión son superiores a 1 Km con bajo consumo energético, un ancho de banda de 50 kbps y dispositivos IoT que interpreten señales eléctricas con comunicación RS232, entradas GPIO, comunicación I2C entre otras características que necesita el sistema. En la figura 14 se visualiza la arquitectura básica del sistema.

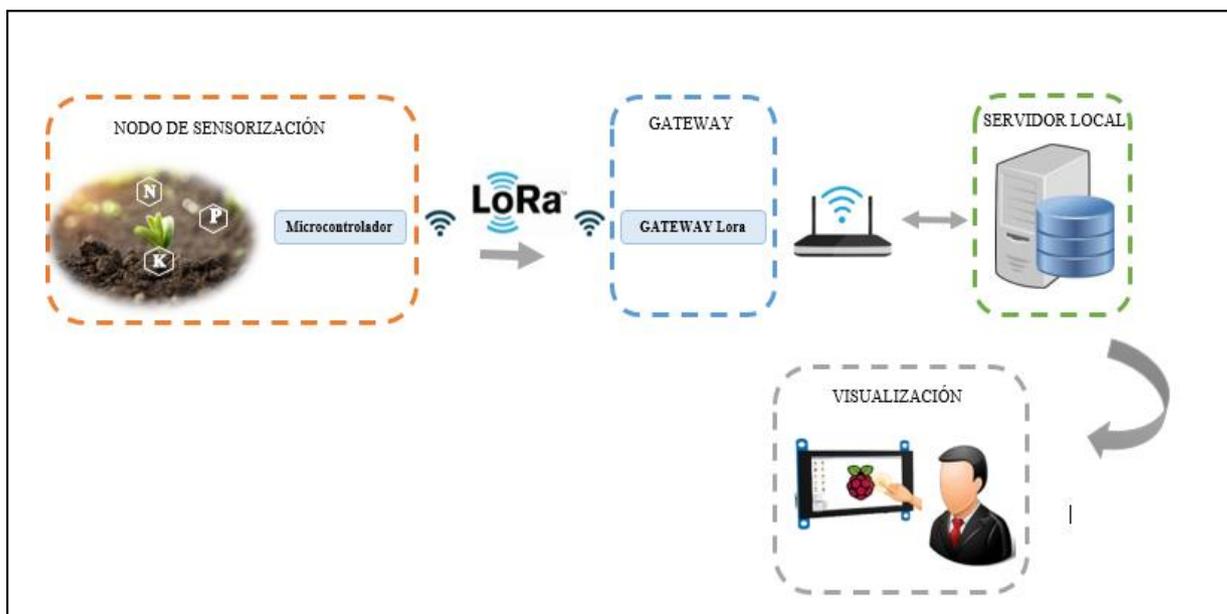


Figura 14: Esquema de sistema de monitoreo de variables químicas del suelo

Elaborado por: La investigadora

De acuerdo al esquema del sistema, al ser extraída los datos de sensor el microprocesador ESP32 en conjunto con el módulo LoRA tiene la capacidad de llegar con la información de un punto a otro, para lo cual se configura un punto de partida conocido como nodo.

Nodo de sensorización

El nodo de sensorización está basado en una tarjeta electrónica ESP32 junto a un módulo LoRa y GPS configurado con la programación en el IDE de Arduino para adquirir las variables de medición del sensor NPK como se describe su algoritmo en la figura 15 y su código en el Anexo 10 y obtener los nutrientes del suelo como el nitrógeno, fósforo y potasio, así como también enviar las coordenadas geográficas del lugar donde se está realizando la medición. Además, contiene una pantalla OLED que permite visualizar los datos medidos para reenviar al Gateway. En la figura 15 se observa su diagrama de conexión

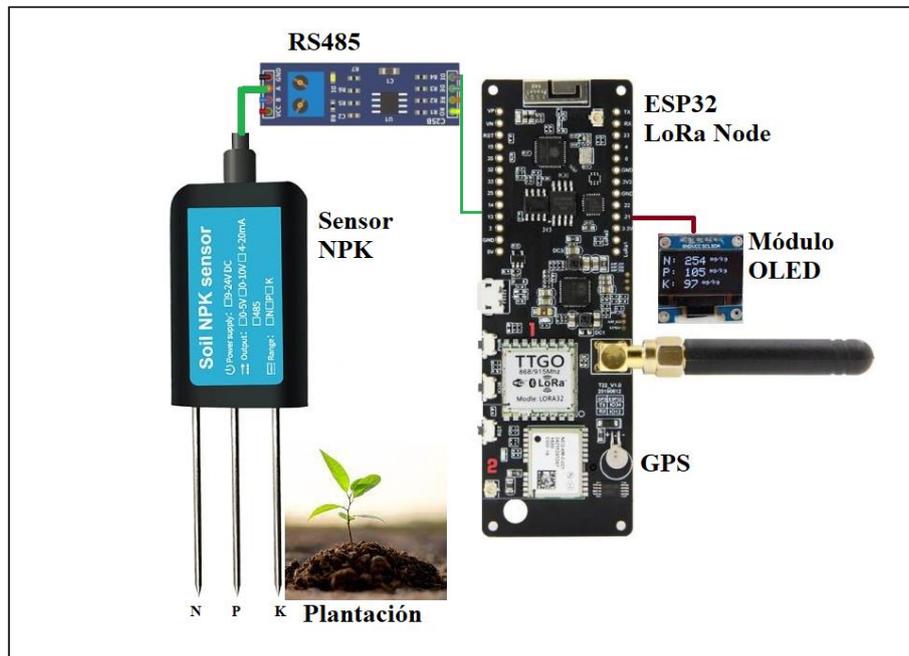


Figura 15: Diagrama de conexión del nodo de sensorización

Elaborado por: La investigadora

El sensor NPK se demora 10 seg a 20 seg receptando las composiciones químicas del suelo mediante electrodos, estas señales adquiridas son convertidas a través del módulo RS485 para que pueda ser interpretado por el microcontrolador ESP32 a través de la comunicación Modbus, es decir, convierte de una señal RS485 a TTL. Cada variable captada, emite una longitud de datos de 8 bits con valores hasta 250 mg/kg

También contiene tres pulsadores el primero para adquirir los datos del sensor, el segundo captar las coordenadas geográficas del sitio de medición y el tercero para enviar los datos emitidos al servidor a una frecuencia de 915MHz

El módulo OLED o pantalla OLED visualiza los datos adquiridos por el sensor y el GPS, una vez verificadas las variables se procede a enviar dichos datos al Gateway presionando el pulsador de envío de datos por medio de la comunicación LoRa, el proceso de envío se puede realizar las n veces que sea necesario para el muestreo del suelo.

La configuración de esta etapa se encuentra codificado en la plataforma de Arduino, su diagrama de flujo se detalla en la figura 16 y su código en el anexo 10.

Descripción del diagrama de flujo:

El firmware del dispositivo ESP32 en configuración Nodo es codificado en el IDE de Arduino donde se codificó, la entrada de datos del sensor NPK mediante una señal TTL gracias al módulo MAX485 que da un bus de datos de acuerdo a la petición de la del químico a consultar. El firmware analiza si existe datos para enviar mediante LoRa y si no espera la petición del usuario, este dato para enviar es: GPS mediante un módulo GPS neo 8 que trasmite los datos de los satélites al microcontrolador ESP32 mediante una comunicación RS232 y los datos químicos mediante una comunicación Modbus por el sensor NPK, después de su adquisición y envío de datos, mantiene en espera hasta que el usuario requiera datos del sensor NPK o la ubicación.

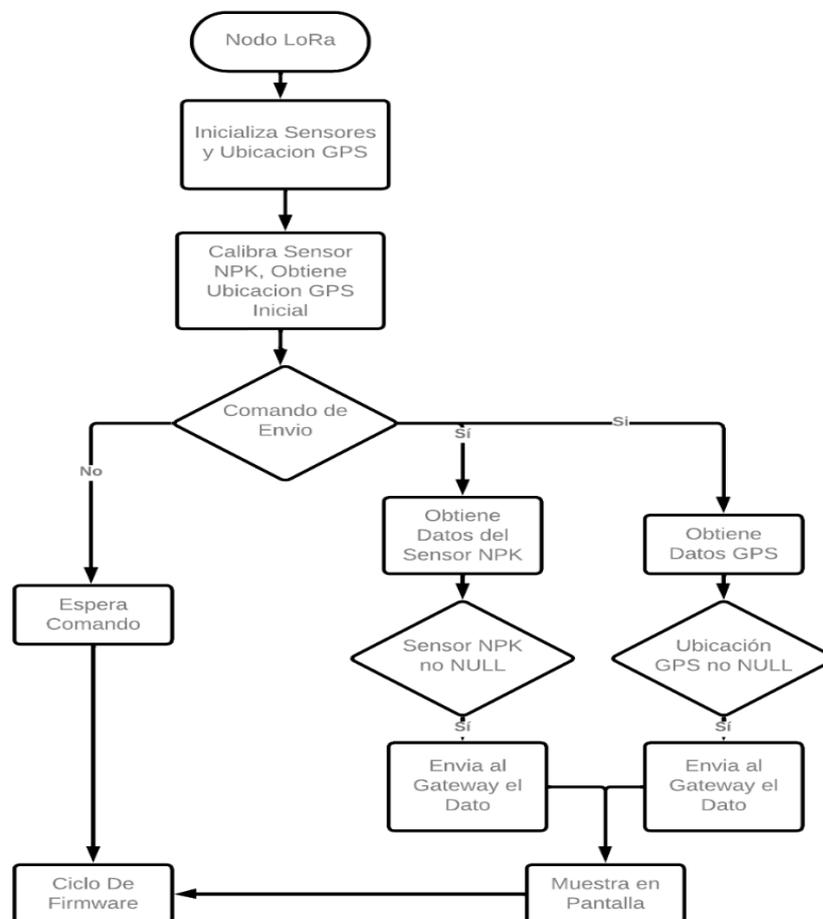


Figura 16: Diagrama de flujo del Nodo de sensorización

Elaborado por: La investigadora

Lora Gateway

LoRa Gateway recibe los datos del nodo de sensorización a una frecuencia de 915MHz mediante la comunicación LoRa y a su vez los datos son transmitidos hacia el servidor local mediante una petición HTTP POST Request por el puerto 80. Lora Gateway trabaja como un medio de transporte para comunicar el nodo de sensorización y el servidor a través del protocolo de comunicación LoRaWAN.

En la figura 17 se puede visualizar el diagrama de conexión de LoRa Gateway y el servidor local

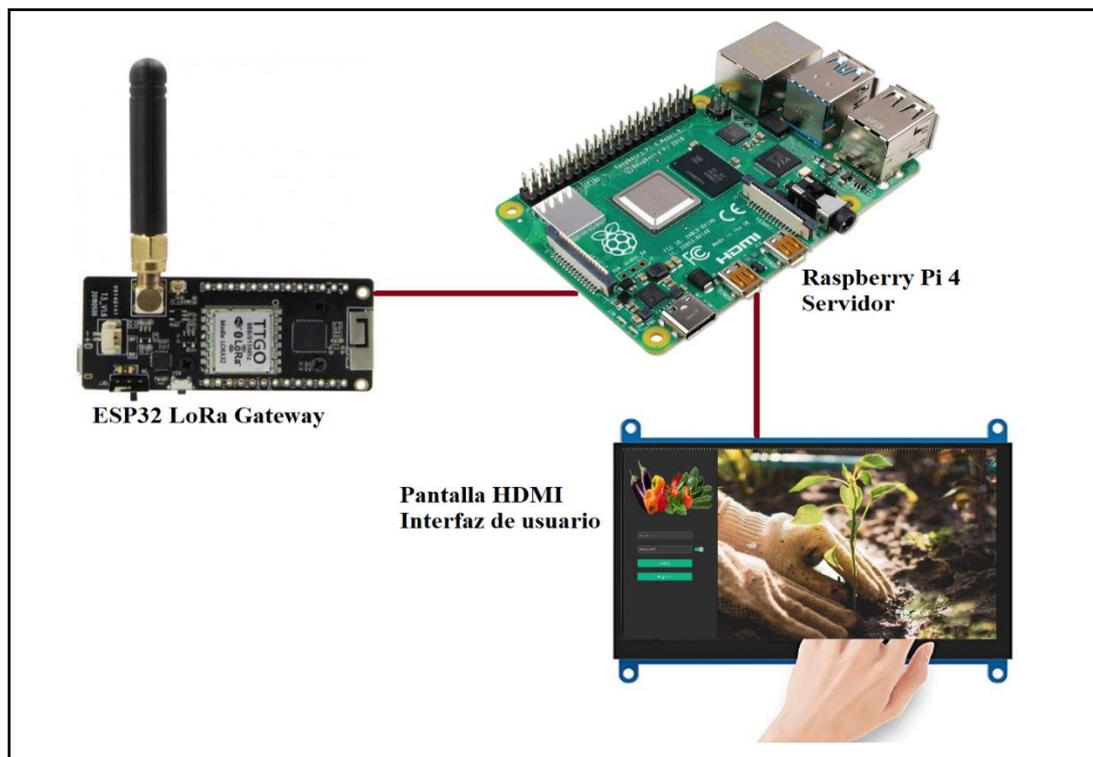


Figura 17: Conexión del Lora Gateway

Elaborado por: La investigadora

Para la codificación se utilizó la plataforma Arduino basada en el diagrama de flujo de la figura 18 y su codificación se encuentra en el anexo 11.

Descripción del diagrama de flujo:

El firmware del módulo ESP32 que está configurado como LoRa Gateway, tiene una codificación en el IDE de Arduino, este firmware analiza los datos que le llegan en su comunicación y envía al servidor de acuerdo a estos datos, el Gateway actúa como un puente de datos validando si el dato que llega es del sensor NPK o del GPS y almacena en la base de datos instalada en el servidor con una petición POST mediante el puerto 8080.

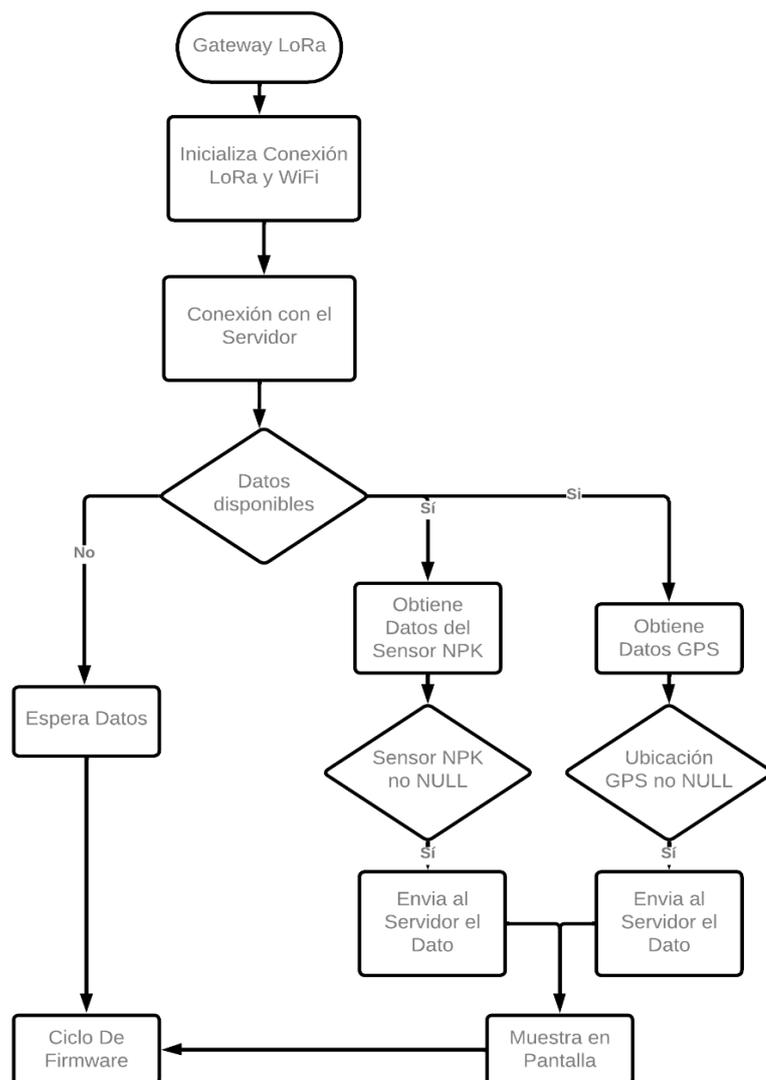


Figura 18: Diagrama de flujo del LoRa Gateway

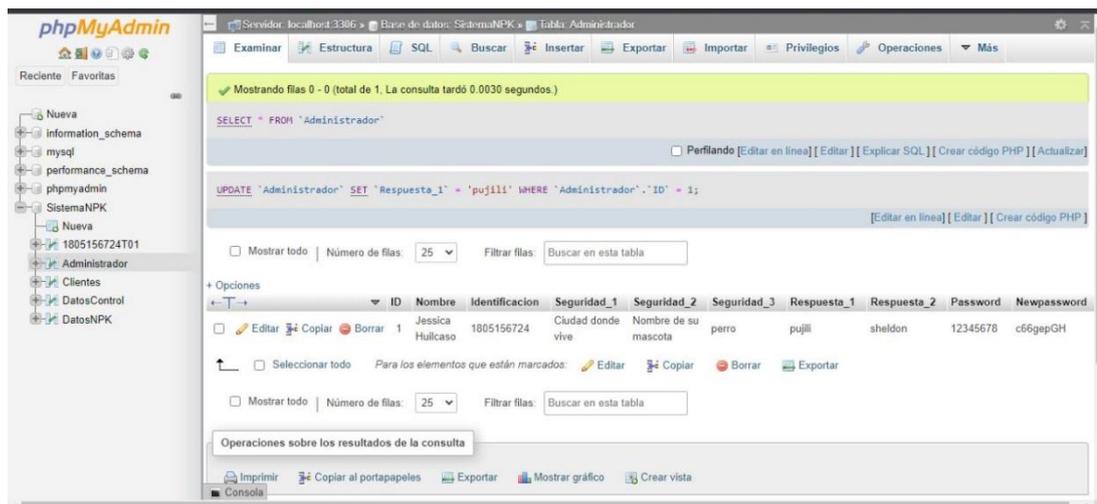
Elaborado por: La investigadora

Base de datos

La base de datos se configuró en una Raspberry Pi 4 montado un servidor LAMP basado en el sistema operativo Raspbian, el servicio web apache que responde a las solicitudes y requerimientos del protocolo HTTP y el gestor de datos MariaDB, para que el administrador pueda acceder a la información del cliente de manera local o remota.

Mediante la herramienta PHPMyAdmin se creó tablas para el registro de información de los clientes como: los datos personales, los datos medidos sensor antes y durante la evaluación de las condiciones químicas del suelo. Cabe recalcar que el servidor se realizó para la institución.

En la figura 19 y la figura 20 se observa los parámetros de registro de información del administrador y los clientes.



The screenshot shows the phpMyAdmin interface for a database named 'SistemaNPK'. The 'Administrador' table is selected, and its structure and data are displayed. The table has the following columns: ID, Nombre, Identificación, Seguridad_1, Seguridad_2, Seguridad_3, Respuesta_1, Respuesta_2, Password, and Newpassword. The data row shows a record for 'Jessica Huilcaso' with ID 1 and various security and response fields.

ID	Nombre	Identificación	Seguridad_1	Seguridad_2	Seguridad_3	Respuesta_1	Respuesta_2	Password	Newpassword
1	Jessica Huilcaso	1805156724	Ciudad donde vive	Nombre de su mascota	perro	pujili	sheldon	12345678	c66gepGH

Figura 19:La base de datos del administrador

Elaborado por: La investigadora

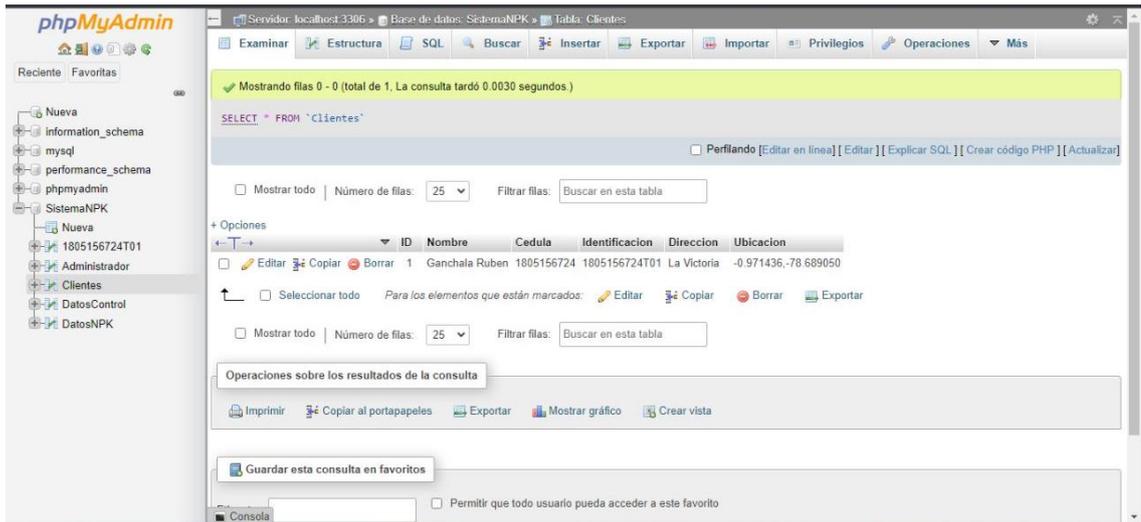


Figura 20: La base de datos del cliente

Elaborado por: La investigadora

En la figura 21 se ilustra la tabla de datos de las mediciones del sistema

ID	Usuario	Nitrogeno	Fosforo	Potasio	GPS
1	1805156724	259	78	155	-0.971436,-78.689050
2	1805156724	257	77	151	-0.971436,-78.689050
3	1805156724	255	74	156	-0.971436,-78.689050
4	1805156724	254	71	157	-0.971436,-78.689050
5	1805156724	256	70	159	-0.971436,-78.689050
6	1805156724	254	79	159	-0.971436,-78.689050
7	1805156724	255	78	158	-0.971436,-78.689050
8	1805156724	260	78	155	-0.971436,-78.689050
9	1805156724	261	76	154	-0.971436,-78.689050
10	1805156724	258	80	158	-0.971436,-78.689050
11	1805156724	257	77	158	-0.971436,-78.689050
12	1805156724	254	78	160	-0.971436,-78.689050
13	1805156724	251	73	161	-0.971436,-78.689050
14	1805156724	269	74	158	-0.971436,-78.689050
15	1805156724	270	75	156	-0.971436,-78.689050
16	1805156724	275	77	159	-0.971436,-78.689050

Figura 21: Los datos medidos del sistema en la base de datos

Elaborado por: La investigadora

La conexión de la base de datos y la ESP32 se realizó en el lenguaje de interpretación Python mediante WIFI, para adquirir los datos del nodo de sensorización y almacenar en la base de datos, en la figura 22 se detalla la configuración de la conexión.

```

<?php
include("conexion.php");
// Realiza la inserción de los datos.
$usuario=$_POST['usuario'];
$nitrogeno=$_POST['nitrogeno'];
$fosforo=$_POST['fosforo'];
$potasio=$_POST['potasio'];
$gps=$_POST['gps'];

$fecha=date("Y-m-d");
echo $fecha;

$sql=$conexion->query("INSERT INTO `DatosNPK` (`ID`,`Usuario`,`Nitrogeno`,`Fosforo`,`Potasio`,`GPS`)VALUES(NULL,','$usuario','$nitrogeno','$fosforo','$potasio','$gps')");
if (!$sql) {
die('No se pudo conectar error_login');
}
else{
echo "datos actualizados";
}

/* cerrar la conexión */
$conexion->close();
?>

```

Figura 22: La conexión de la base de datos y la tarjeta electrónica ESP32.

Elaborado por: La investigadora.

Visualización

Para la visualización del sistema se diseñó una interfaz de usuario realizada y codificada en Python que es un lenguaje de programación orientado a objeto e interpretado. En la figura 23 se ilustra en el diagrama de conexión del sistema y el flujograma en la figura 24.

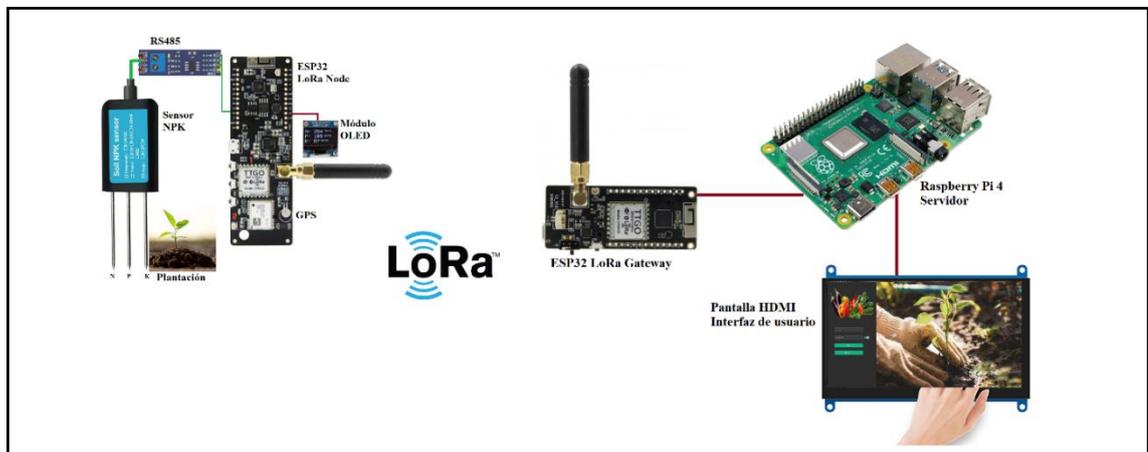


Figura 23: Diagrama de conexión del sistema

Elaborado por: La investigadora.

Descripción del diagrama de flujo:

El firmware del usuario está codificado en el lenguaje de programación Python, el lenguaje interpreta de acuerdo a lo que requiera el usuario, al ingresar el sistema valida, datos como clave y quien es el administrador para poder adquirir las variables del nodo y a su vez para observar si el cliente está en la base de registro, también el firmware interpreta cuantas muestras han llegado desde el nodo y da un resultado del área medida.

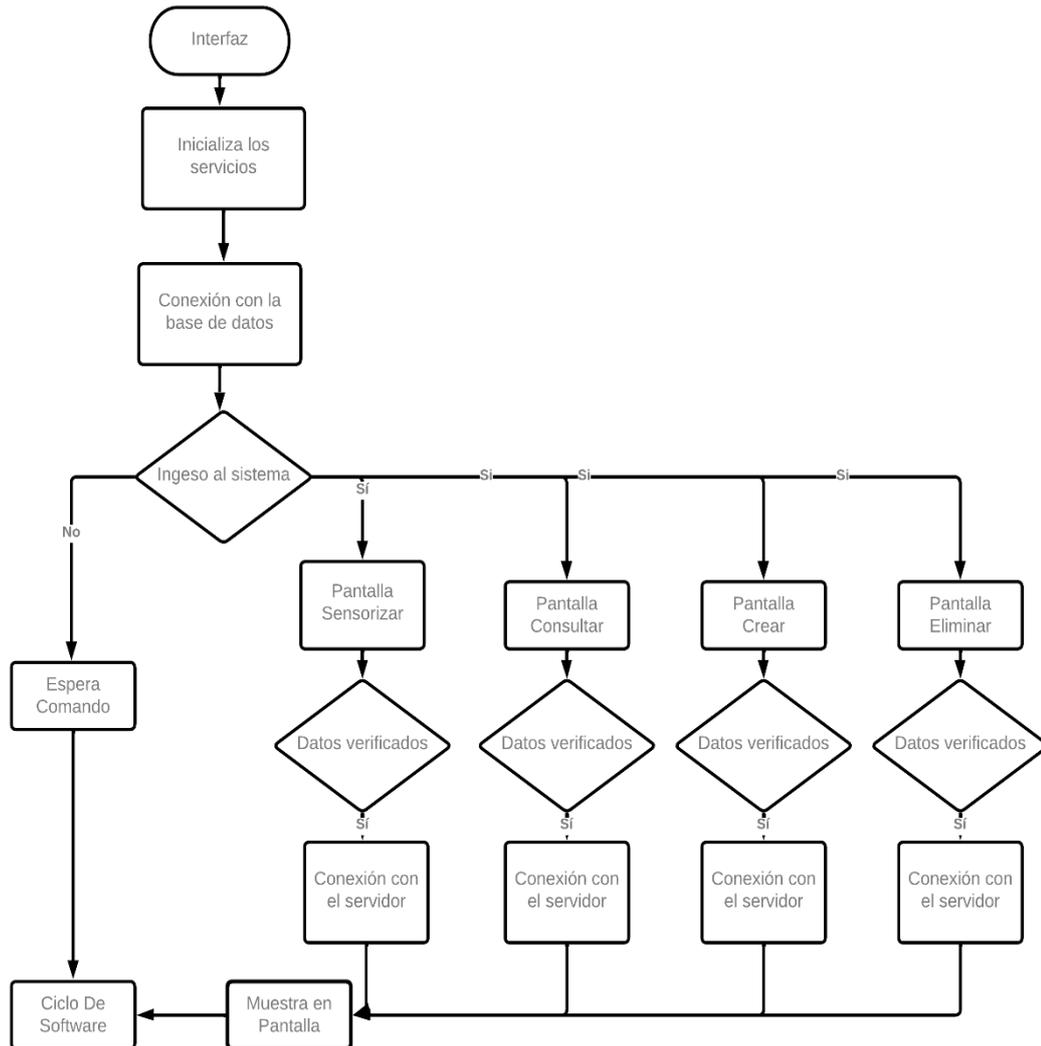


Figura 24: Diagrama de flujo de la interfaz de usuario

Elaborado por: La investigadora

En la figura 25 y figura 26 se muestra la interfaz de usuario del sistema, donde se ejecuta los comandos para establecer parámetros de control e ingreso del cliente a

realizar la sensorización, que tomará muestras de acuerdo al tipo de muestreo, que puede ser en zigzag, modo lineal o aleatorio simple.



Figura 25: Visualización de la interfaz de usuario

Elaborado por: La investigadora



Figura 26: Visualización de los datos obtenidos del sistema

Elaborado por: La investigadora

En la figura 27, se visualiza esquemático del sistema, donde se puede observar, los componentes que conforma la placa prototipada, que funciona como nodo sensor, encargado de interpretar las señales eléctricas y datos del sensor NPK, además de adaptar las señales de acuerdo a las condiciones electrolíticas del suelo, que genera un tren de datos a través de la comunicación Modbus que lleva en si los datos del sensor del suelo.

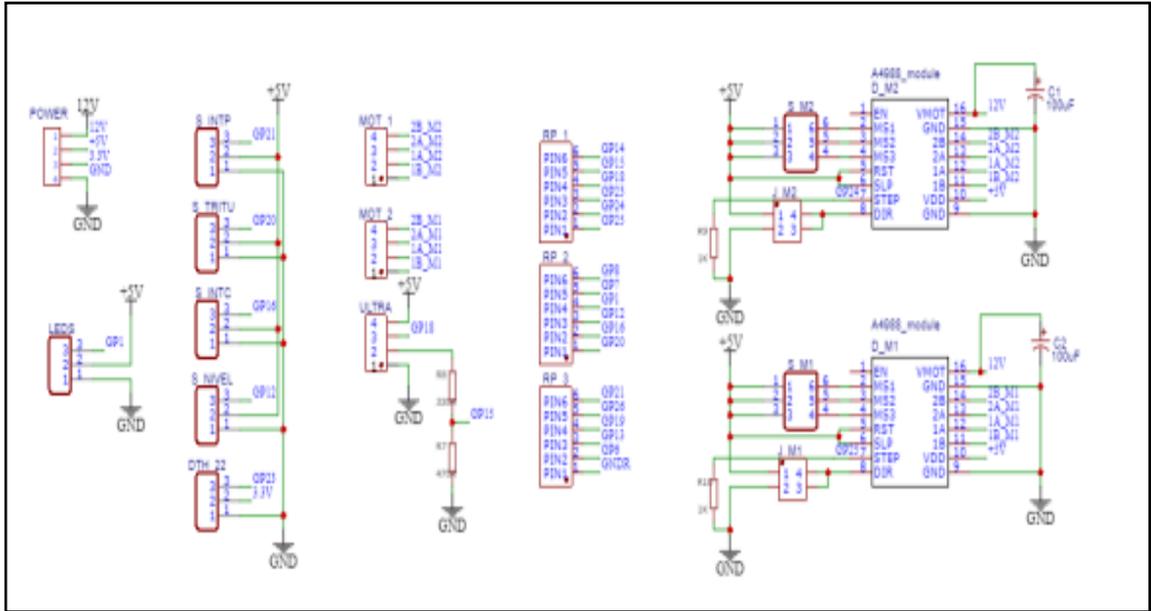


Figura 27: Esquemático del sistema

Elaborado por: La investigadora

El diseño de las placas del sistema de monitorización de variables químicas se realizó en el software EasyEDA, como se observa en la figura 28.

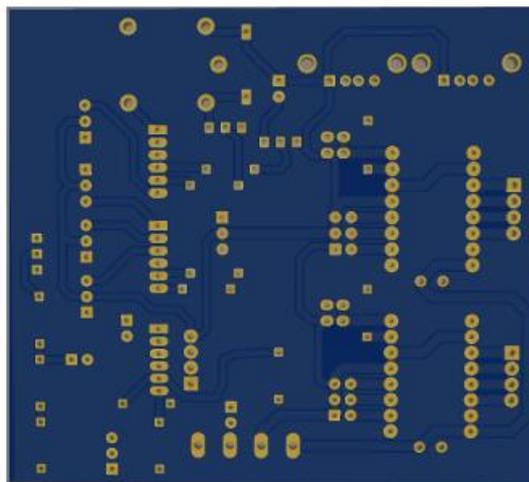


Figura 28: Diseño de la placa del sistema

Elaborado por: La investigadora

Notificación y alerta

La notificación y alerta se realizó mediante mensajería por WhatsApp utilizando una Api Ultramsq para la integración de mensajes o notificaciones a los agricultores a través de instancia única para poder acceder el ChatBot, permitiendo enviar mensajes hacia cualquier número o grupo con la API de autenticación y un token como se observa en la figura 29.



Figura 29: Número de instancia de la plataforma Ultramsq.

Elaborado por: La investigadora

La API tiene una configuración apli con diferentes lenguajes de programación. Al momento de generar una petición de envío de mensaje el ChatBot te responde con un mensaje de confirmación si recibido el mensaje, el número de mensaje como se ilustra en la figura 30.



Figura 30: Código de confirmación de mensaje en lenguaje de programación Python

Elaborado por: La investigadora.

El sistema una vez finalizado la sensorización y la toma de muestras envía un mensaje mediante WhatsApp con una alerta con los resultados de las variables químicas como se observa en la figura 31.

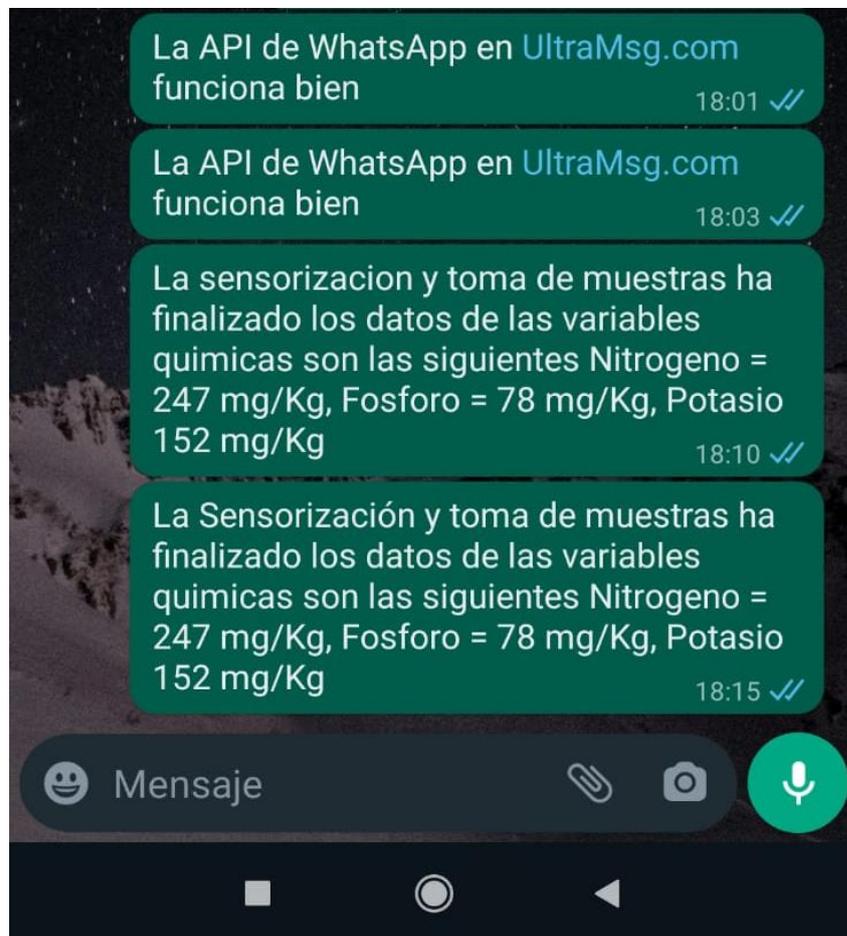


Figura 31: Pruebas de alerta IoT mediante la plataforma Ultrams

Elaborado por: La investigadora.

3.2.7. Implementación

En las figuras 32 y 33 se puede observar la implementación y funcionamiento del nodo de sensorización, donde se realizó pruebas y toma de datos.



Figura 32: Nodo Lora Prototipo de sensorización para pruebas de nutrientes

Elaborado por: La investigadora

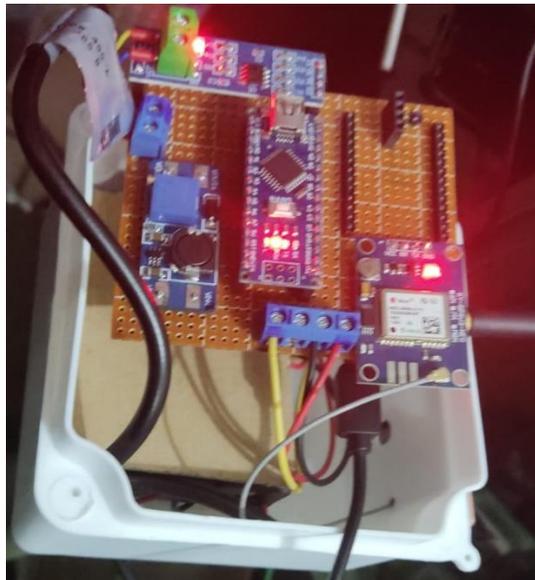


Figura 33: Funcionamiento del nodo de sensorización

Elaborado por: La investigadora

En la figura 34 se ilustra la implementación del Gateway LoRa además, se instaló la base de datos en la Raspberry pi 4 bajo el sistema operativo Raspbian y la interfaz de usuario



Figura 34: Implementación del LoRa Gateway y la interfaz de usuario

Elaborado por: La investigadora

3.2.8. Pruebas de funcionamiento

La medición del contenido de N (nitrógeno), P (fósforo) y K (potasio) del suelo es necesaria para determinar qué porcentaje adicional de nutrientes se debe agregar al suelo para aumentar la fertilidad de los cultivos y evitar que la plantación se pierda. La fertilidad del suelo se detecta mediante compuestos químicos que llegan hasta los 16 elementos a nivel de compuesto avanzados, pero los macro químicos o compuestos básicos y necesarios se determina mediante sensores NPK. Un componente importante del fertilizante del suelo es el nitrógeno, el fósforo y el potasio. El conocimiento de la concentración de nutrientes del suelo puede ayudarnos a conocer la deficiencia o abundancia nutricional en los suelos utilizados para respaldar la producción vegetal.

Para la confiabilidad del proyecto se realizó varias pruebas del funcionamiento de los datos medidos por el sensor de variables químicas NPK en dos áreas uniformes bajo cubierta de una dimensión de 1000m², como se puede observar en la figura 35



Figura 35: Implementación y ubicación del sistema

Elaborado por: La investigadora

El tipo de muestreo tomado es en Zigzag para las dos áreas, planas y lineales, donde la cantidad de submuestras está entre los 10 a 20 muestras proporcionalmente para terrenos menores a una hectárea, en este caso se tomó en consideración la misma cantidad de submuestras realizadas por las pruebas de laboratorio, bajo la consideración de la tabla 15 y se procede a medir en los puntos reflejados en la figura 36.

Tabla 15: El número de muestras según el área del terreno

Área en m ²	Número de muestras
100 - 200	10
200 - 400	13
400 - 800	15
800 - 2000	16
2000 - 5000	18
Mayor a 5000	20

Elaborado por: La investigadora



Figura 36: Técnica y número de muestras del área del terreno que se analizó

Elaborado por: La investigadora

Las pruebas de muestreo del suelo se realizaron en dos lugares, el primero en un invernadero de tomates, el cual se tomaron 12 muestras en un área de 1000 m² y en un invernadero de flores con un área de 1300 m² se tomaron 36 muestras; en dos días en diferente periodo como se visualiza en la tabla 16 y tabla 17.

Tabla 16: Resultados obtenidos del invernadero de tomate de riñón

Id	Fecha	Hora	GPS	Nitrógeno mg/kg	Fósforo mg/kg	Potasio mg/kg
1	18/01/2023	7:00:05	-1,28228-78,62717	233	80	147
2	18/01/2023	7:00:10	-1,282284 78,62717	249	79	139
3	18/01/2023	7:03:20	-1,282291 78,62717	222	79	144
4	18/01/2023	7:06:30	-1,282294 78,62718	231	78	135
5	18/01/2023	7:09:40	-1,282315 78,62718	247	76	142
6	18/01/2023	7:12:50	-1,282341 78,62718	257	78	142
7	18/01/2023	7:16:00	-1,282354 78,62723	257	73	161

8	18/01/2023	7:19:10	-1,282355 78,62723	258	76	142
9	18/01/2023	7:22:20	-1,282357 78,62723	235	72	158
10	18/01/2023	7:25:30	-1,282357-78,62723	247	76	165
11	18/01/2023	7:28:40	-1,282357 78,62723	228	75	147
12	18/01/2023	7:31:50	-1,282372 78,62724	238	81	134
13	20/01/2023	7:35:00	-1,282373 78,62724	256	72	143
14	20/01/2023	7:38:10	-1,282373 -78,62724	251	74	149
15	20/01/2023	7:41:20	-1,282373 78,62724	249	92	159
16	20/01/2023	7:44:30	-1,282390 78,62723	241	87	170
17	20/01/2023	7:47:40	-1,282390 78,62723	259	74	133
18	20/01/2023	7:50:50	-1,282389 78,62723	267	89	175
19	20/01/2023	7:54:00	-1,282386-78,62723	248	71	155
20	20/01/2023	7:57:10	-1,282389 78,62723	256	90	169
21	20/01/2023	8:00:20	-1,282391 78,62723	239	77	173
22	20/01/2023	8:03:30	-1,282484 78,62724	256	79	148
23	20/01/2023	8:06:40	-1,28248878,62724	247	82	159
24	20/01/2023	8:09:50	-1,282490 78,62724	267	81	167
Promedio				247,42	78,79	152,33

Elaborado por: La investigadora

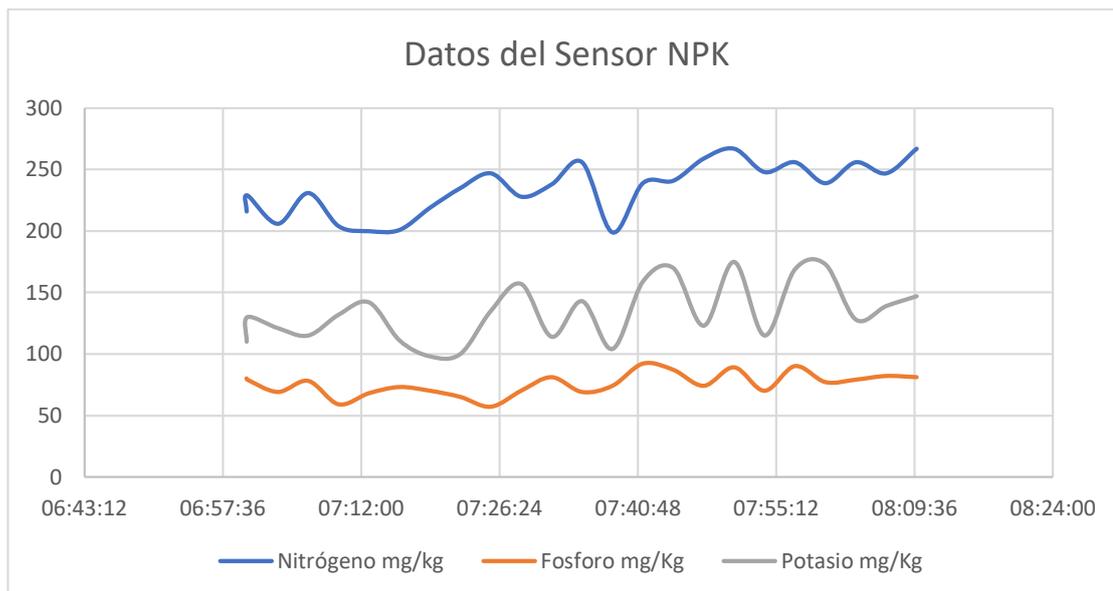


Figura 37: Gráfica de los datos de sensorización en la prueba 1

Elaborado por: La investigadora

Tabla 17: Resultados obtenidos del invernadero de flores

Id	Fecha	Hora	GPS	Nitrógeno mg/kg	Fósforo mg/kg	Potasio mg/kg
1	11/01/2023	7:00:10	-1,28224 -78,62717	219	72	133
2	11/01/2023	7:03:20	-1,28228 -78,62717	222	70	140
3	11/01/2023	7:06:30	-1,282284-78,62717	221	68	131
4	11/01/2023	7:09:40	-1,282291-78,62717	223	62	125
5	11/01/2023	7:12:50	-1,282294-78,62718	228	69	132
6	11/01/2023	7:16:00	-1,282315-78,62718	211	68	142
7	11/01/2023	7:19:10	-1,282341-78,62718	220	73	147
8	11/01/2023	7:22:20	-1,282354-78,62723	222	70	146
9	11/01/2023	7:25:30	-1,282355-78,62723	215	75	136
10	11/01/2023	7:28:40	-1,28237-78,62723	226	67	135
11	11/01/2023	7:31:50	-1,28237-78,62723	222	70	147

12	11/01/2023	7:35:00	-1,28237-78,62723	238	71	156
13	11/01/2023	7:38:10	-1,282372-78,62724	218	76	143
14	11/01/2023	7:41:20	-1,282373-78,62724	239	74	145
15	11/01/2023	7:44:30	-1,282373-78,62724	219	65	139
16	11/01/2023	7:47:40	-1,282373-78,62724	213	67	150
17	13/01/2023	7:50:50	-1,282390-78,62723	216	79	143
18	13/01/2023	7:54:00	-1,282390-78,62723	209	69	145
19	13/01/2023	7:57:10	-1,282389-78,62723	217	70	155
20	13/01/2023	8:00:20	-1,282386-78,62723	215	70	139
21	13/01/2023	8:03:30	-1,282389-78,62723	200	68	143
22	13/01/2023	8:06:40	-1,282391-78,62723	226	69	138
23	13/01/2023	8:09:50	-1,282484-78,62724	227	72	139
24	13/01/2023	8:13:00	-1,282488-78,62724	214	71	147
25	13/01/2023	8:16:10	-1,282488-78,62724	229	73	141
26	13/01/2023	8:19:20	-1,282284-78,62717	221	67	139
27	13/01/2023	8:22:30	-1,282284-78,62717	210	73	142
28	13/01/2023	8:25:40	-1,282291-78,62717	226	76	147
29	13/01/2023	8:28:50	-1,282294-78,62718	219	79	153
30	13/01/2023	8:32:10	-1,282315-78,62718	209	73	147
31	13/01/2023	8:35:25	-1,282341-78,62718	219	69	139
32	13/01/2023	8:37:30	-1,282354-78,62723	229	73	146
Promedio				220,06	70,88	142,19

Elaborado por: La investigadora

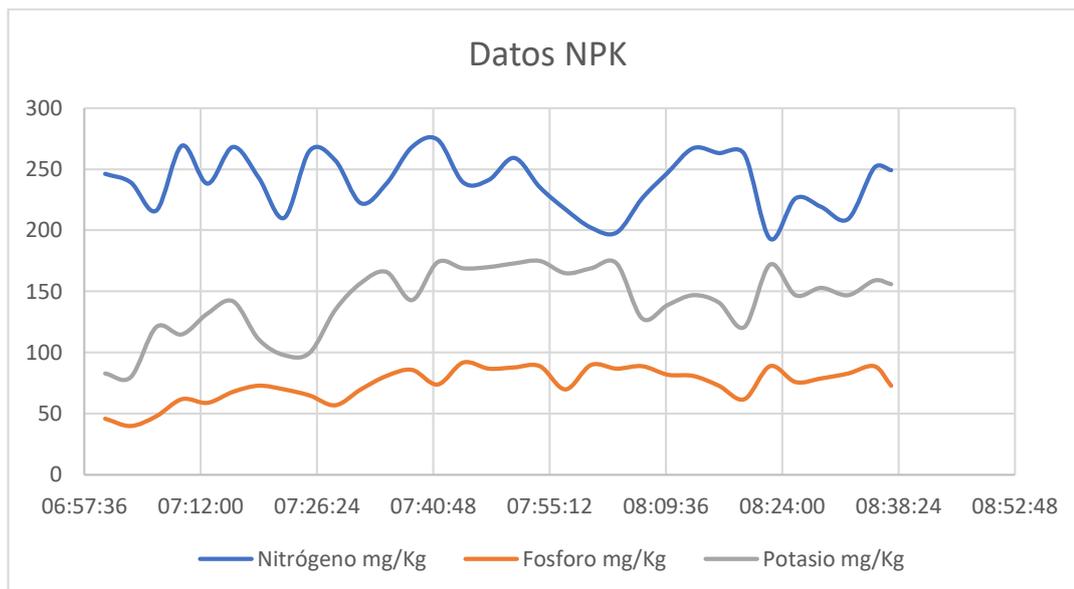


Figura 38: Gráfica de los datos de sensorización en la prueba 2

Elaborado por: La investigadora

El sensor NPK del suelo es adecuado para detectar el contenido de nitrógeno, fósforo y potasio en el suelo. A su vez, se determinará la fertilidad del suelo, lo que facilita la evaluación óptima de las condiciones del suelo. El sensor se puede enterrar en el suelo durante mucho tiempo para la medición continua o momentáneamente para mediciones periódicas. Tiene una sonda de alta calidad, resistencia a la oxidación, resistencia electrolítica, resistencia a la corrosión salina y alcalina, para garantizar el funcionamiento en muchos años. Por lo tanto, es adecuado para todo tipo de suelo. Es adecuado para la detección de suelo alcalino, suelo ácido, suelo de sustrato, suelo de arena, suelo de arcilla, entre otros tipos de suelos que pueden presentarse.

El sensor no requiere ningún reactivo químico. Dado que tiene una alta precisión de medición, una velocidad de respuesta rápida y una buena comunicación, se puede usar con cualquier microcontrolador en este caso se utilizó una ESP32. Para ello es necesario la comunicación Modbus. Por lo tanto, necesita cualquier módulo Modbus como RS485/MAX485 y conecte el sensor al ESP32, de tal manera que se puede realizar una medición para establecer una tabla comparativa con respecto al resultado de laboratorio obtenido en el análisis de muestra, dando como resultado la tabla 18 y tabla 19.

Tabla 18: Tabla comparativa de los resultados medidos del proyecto y los resultados de los análisis del laboratorio del invernadero de flores

Datos	Datos medidos del sistema	Datos referenciales de laboratorio 2023	%Error De medición	Nivel
Nitrógeno (N)	247,42 mg/kg	267mg/kg	7,33%	Moderado
Fosforo (P)	78, 79mg/Kg	85 mg/kg	7,30%	Moderado
Potasio (K)	152,33 mg/Kg	169 mg/kg	9,86%	Moderado

Elaborado por: La investigadora

Tabla 19: Tabla comparativa de los resultados medidos del proyecto y los resultados de los análisis del laboratorio del invernadero de tomate

Datos	Datos medidos del sistema	Datos referenciales de laboratorio 2023	%Error De medición	Nivel
Nitrógeno (N)	220,06 mg/kg	221mg/kg	0,4%	Bajo
Fosforo (P)	70,88 mg/Kg	72 mg/kg	1,55%	Moderado
Potasio (K)	142,19 mg/Kg	143 mg/kg	0,56%	Bajo

Elaborado por: La investigadora

Para el cálculo de error de medición del proyecto se realizó con la ecuación 2

$$Error\ por\ centual = \left(\frac{V_{medido\ de\ laboratorio} - V_{medido\ del\ proyecto}}{V_{medido\ de\ laboratorio}} \right) * 100 \quad (2)$$

Ecuación 2: Fórmula del error porcentual [44]

Según los resultados obtenidos en las mediciones del laboratorio que se encuentra en el anexo 3 y el sistema, se aprecia un margen mínimo de error en cada una de las variables químicas medidas del 0% a 10%, lo cual se concluyó que el sistema de

medición de las condiciones químicas del suelo es confiable y permitirá un ahorro de costo y tiempo al agricultor para realizar el análisis y evaluación del suelo.

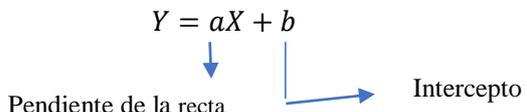
Para conocer la eficiencia del dispositivo portátil se utilizó el método de la regresión lineal para relacionar los resultados con el error estándar entre los valores medidos por el dispositivo portátil y los resultados obtenidos por el laboratorio, para ello se realizó el siguiente procedimiento:

Primero se debe identificar la relación de los datos medidos con respecto al tiempo en obtener el número n de muestras. Los datos medidos se representaron con la variable Y y el tiempo con la variable en X, para realizar el cálculo de la sumatoria en:

$$\begin{aligned} &\sum x, \\ &\sum y, \\ &\sum x * y, \end{aligned}$$

Segundo se realizó el cálculo de la media aritmética de los valores de la variable X y Y.

Tercero obtener los coeficientes para determinar la ecuación de la recta, donde se logra deducir el comportamiento del sistema en un tiempo determinado que predice sus valores a futuro

$$Y = aX + b \quad (3)$$


Ecuación 3: Fórmula de la recta [45]

Ecuaciones 4 y 5 para determinar la pendiente y el intercepto

$$a = \frac{n \sum XY - \sum X \sum Y}{n \sum X^2 - (\sum X)^2} \quad (4)$$

Ecuación 4: Fórmula de la pendiente [45]

$$b = \frac{\sum Y - a \sum X}{n} \quad (5)$$

Ecuación 5: Fórmula del intercepto [45]

Finalmente, gracias a la ecuación 3 se logra graficar la recta predictora en correlación de los datos del sensor NPK y los datos de Laboratorio para obtener el valor del error estándar del sistema con la ecuación 6.

$$S_{XY} = \sqrt{\frac{\sum Y^2 - b \sum Y - a \sum XY}{n-2}} \quad (6)$$

Ecuación 6: Fórmula del intercepto [45]

Este procedimiento se repite para todas las variables del sensor NPK y para todas las pruebas realizadas con el sistema. Como se observa en tabla 20 a la 25.

Cálculo del invernadero de tomate de riñón.

Nitrógeno

Tabla 20: Regresión lineal del valor medido del nitrógeno del invernadero de tomata de riñón

N	Tiempo	Tiempo X	Valores medidos Nitrógeno mg/kg Y	Valores de laboratorio	X2	Y2	XY
1	7:00:05	7,00	233	267	49,02	54289	1631,32
2	7:00:10	7,00	249	267	49,04	62001	1743,69
3	7:03:20	7,06	222	267	49,78	49284	1566,33
4	7:06:30	7,11	231	267	50,53	53361	1642,03
5	7:09:40	7,16	247	267	51,28	61009	1768,79
6	7:12:50	7,21	257	267	52,04	66049	1853,97
7	7:16:00	7,27	257	267	52,80	66049	1867,53
8	7:19:10	7,32	258	267	53,57	66564	1888,42
9	7:22:20	7,37	235	267	54,35	55225	1732,47
10	7:25:30	7,43	247	267	55,13	61009	1833,98

11	7:28:40	7,48	228	267	55,92	51984	1704,93
12	7:31:50	7,53	238	267	56,71	56644	1792,27
13	7:35:00	7,58	256	267	57,51	65536	1941,33
14	7:38:10	7,64	251	267	58,31	63001	1916,66
15	7:41:20	7,69	249	267	59,12	62001	1914,53
16	7:44:30	7,74	241	267	59,93	58081	1865,74
17	7:47:40	7,79	259	267	60,75	67081	2018,76
18	7:50:50	7,85	267	267	61,58	71289	2095,21
19	7:54:00	7,90	248	267	62,41	61504	1959,20
20	7:57:10	7,95	256	267	63,25	65536	2035,91
21	8:00:20	8,01	239	267	64,09	57121	1913,33
22	8:03:30	8,06	256	267	64,94	65536	2062,93
23	8:06:40	8,11	247	267	65,79	61009	2003,44
24	8:09:50	8,16	267	267	66,65	71289	2179,76
Sumatorio		181,42	5938	6408	1374,50	1472452	44933

Elaborado por: La investigadora

$$a = \frac{n \sum XY - \sum X \sum Y}{n \sum X^2 - (\sum X)^2} = \frac{(24 * 44933) - (181,42 * 5938)}{(24 * 1374,50) - (181,42)^2} = 14,86$$

$$b = \frac{\sum Y - a \sum X}{n} = \frac{5938 - 14,86(181,42)}{24} = 135,10$$

Ecuación estimada de la regresión

$$Y = aX + b = 14,86X + 135,10$$

Valores proyectados

$$X = 7,0$$

$$Y = 14,86(7,0) + 135,10 = 239,12$$

$$X = 8,16$$

$$Y = 14,86(8,16) + 135,10 = 256,35$$

Error estándar

$$S_{XY} = \sqrt{\frac{\sum Y^2 - b \sum Y - a \sum XY}{n - 2}} = \sqrt{\frac{1472452 - 135,10 (5938) - 14,86 (44933)}{24 - 2}}$$

$$S_{XY} = 10,31$$

En la figura 39, se aprecia los datos de medición del sensor NPK en color azul, que se acercan a la ecuación de los datos predatorios del comportamiento del sistema de color gris, con un error estándar calculada con la ecuación 6, concluyendo que en esta prueba realizada el sistema estimó un error de 10,31% con respecto a la cantidad n de muestras obtenidas y en correlación a los datos de laboratorio. Obteniendo una eficiencia del 89,69% en los datos del suelo en la variable Nitrógeno.

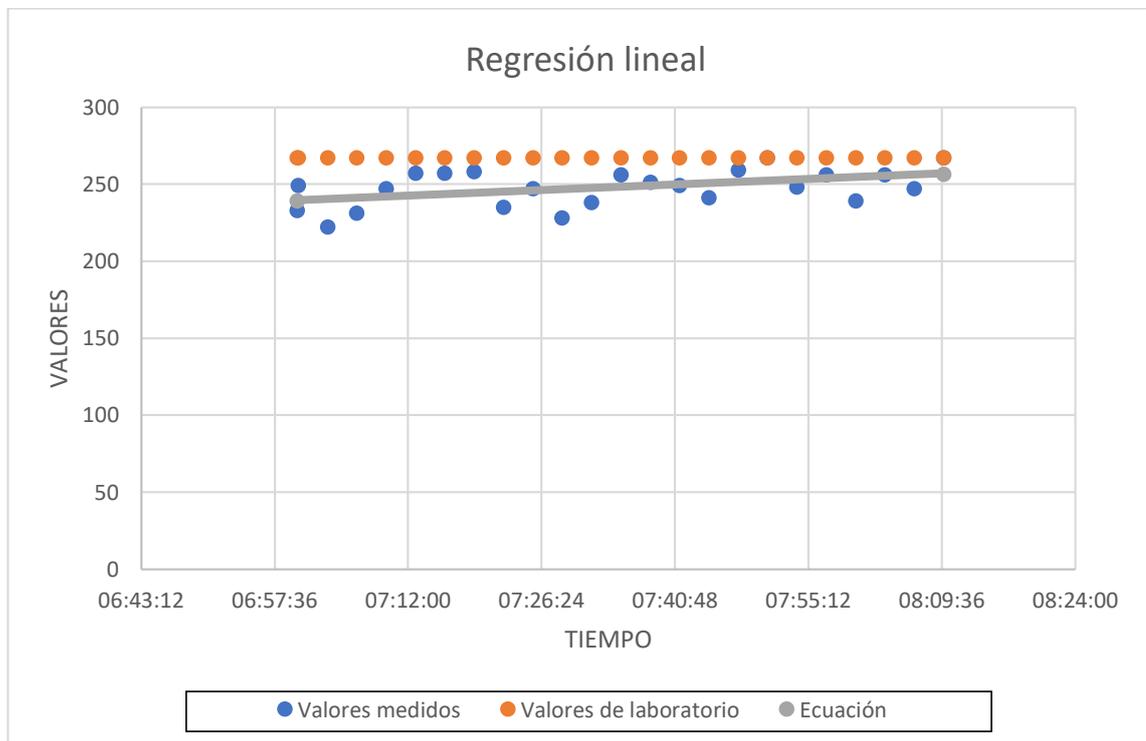


Figura 39: Diagrama de dispersión del nutriente medido el nitrógeno.

Elaborado por: La investigadora

Fósforo

Tabla 21: Regresión lineal del valor medido del fósforo del invernadero de tomate de riñón

N	Tiempo	Tiempo X	Valores medidos Fósforo mg/kg Y	Valores de laboratorio	X2	Y2	XY
1	7:00:05	7,00	80	85	49,02	6400	560,11
2	7:00:10	7,00	79	85	49,04	6241	553,22
3	7:03:20	7,06	79	85	49,78	6241	557,39
4	7:06:30	7,11	78	85	50,53	6084	554,45
5	7:09:40	7,16	76	85	51,28	5776	544,24
6	7:12:50	7,21	78	85	52,04	6084	562,68
7	7:16:00	7,27	73	85	52,80	5329	530,47
8	7:19:10	7,32	76	85	53,57	5776	556,28
9	7:22:20	7,37	72	85	54,35	5184	530,80
10	7:25:30	7,43	76	85	55,13	5776	564,30
11	7:28:40	7,48	75	85	55,92	5625	560,83
12	7:31:50	7,53	81	85	56,71	6561	609,98
13	7:35:00	7,58	72	85	57,51	5184	546,00
14	7:38:10	7,64	74	85	58,31	5476	565,07
15	7:41:20	7,69	92	85	59,12	8464	707,38
16	7:44:30	7,74	87	85	59,93	7569	673,53
17	7:47:40	7,79	74	85	60,75	5476	576,79
18	7:50:50	7,85	89	85	61,58	7921	698,40
19	7:54:00	7,90	71	85	62,41	5041	560,90
20	7:57:10	7,95	90	85	63,25	8100	715,75
21	8:00:20	8,01	77	85	64,09	5929	616,43
22	8:03:30	8,06	79	85	64,94	6241	636,61

23	8:06:40	8,11	82	85	65,79	6724	665,11
24	8:09:50	8,16	81	85	66,65	6561	661,28
Sumatorio		181,42	1891	2040	1374,50	149763	14308

Elaborado por: La investigadora

$$a = \frac{n \sum XY - \sum X \sum Y}{n \sum X^2 - (\sum X)^2} = \frac{(24 * 14308) - (181,42 * 1891)}{(24 * 1374,50) - (181,42)^2} = 4,38$$

$$b = \frac{\sum Y - a \sum X}{n} = \frac{1891 - 24(181,42)}{24} = 45,70$$

Ecuación estimada de la regresión

$$Y = aX + b = 4.38X + 45.70$$

Valores proyectados

$$X=7,0$$

$$Y = 4,38(7,0) + 45,70 = 76,35$$

$$X = 8,16$$

$$Y = 4,38(8,16) + 45,70 = 81,44$$

Error estándar

$$S_{XY} = \sqrt{\frac{\sum Y^2 - b \sum Y - a \sum XY}{n - 2}} = \sqrt{\frac{149763 - 45,70 (1891) - 4,38 (14308)}{24 - 2}}$$

$$S_{XY} = 5,24$$

En la figura 40, se ilustra los datos de medición del sensor NPK en color azul, que se acercan a la ecuación de los datos predatorios del comportamiento del sistema de color gris, con un error estándar calculada con la ecuación 6, concluyendo que en esta prueba realizada el sistema estimó un error de 5,24% con respecto a la cantidad **n** de muestras obtenidas y en correlación a los datos de laboratorio. Obteniendo una eficiencia del 94,76% en los datos del suelo en la variable fósforo.

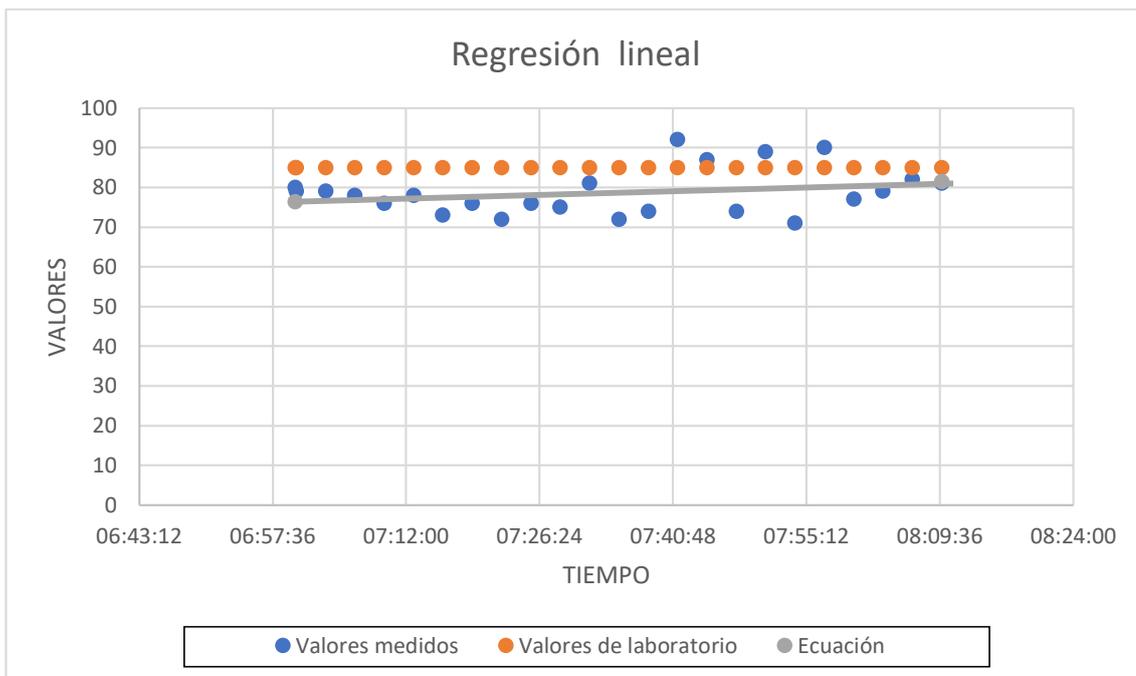


Figura 40: Diagrama de dispersión del nutriente medido el fósforo

Elaborado por: La investigadora

Potasio

Tabla 22: Regresión lineal del valor medido del potasio del invernadero de tomata de riñón

N	Tiempo	Tiempo X	Valores medidos Potasio mg/kg Y	Valores de laboratorio	X2	Y2	XY
1	7:00:05	7,00	147	169	49,02	21609	1029,20
2	7:00:10	7,00	139	169	49,04	19321	973,39
3	7:03:20	7,06	144	169	49,78	20736	1016,00
4	7:06:30	7,11	135	169	50,53	18225	959,63
5	7:09:40	7,16	142	169	51,28	20164	1016,88
6	7:12:50	7,21	142	169	52,04	20164	1024,37
7	7:16:00	7,27	161	169	52,80	25921	1169,93
8	7:19:10	7,32	142	169	53,57	20164	1039,36
9	7:22:20	7,37	158	169	54,35	24964	1164,81
10	7:25:30	7,43	165	169	55,13	27225	1225,13

11	7:28:40	7,48	147	169	55,92	21609	1099,23
12	7:31:50	7,53	134	169	56,71	17956	1009,09
13	7:35:00	7,58	143	169	57,51	20449	1084,42
14	7:38:10	7,64	149	169	58,31	22201	1137,78
15	7:41:20	7,69	159	169	59,12	25281	1222,53
16	7:44:30	7,74	170	169	59,93	28900	1316,08
17	7:47:40	7,79	133	169	60,75	17689	1036,66
18	7:50:50	7,85	175	169	61,58	30625	1373,26
19	7:54:00	7,90	155	169	62,41	24025	1224,50
20	7:57:10	7,95	169	169	63,25	28561	1344,02
21	8:00:20	8,01	173	169	64,09	29929	1384,96
22	8:03:30	8,06	148	169	64,94	21904	1192,63
23	8:06:40	8,11	159	169	65,79	25281	1289,67
24	8:09:50	8,16	167	169	66,65	27889	1363,37
Sumatorio		181,42	3656	4056,00	1374,50	560792	27697

Elaborado por: La investigadora

$$a = \frac{n \sum XY - \sum X \sum Y}{n \sum X^2 - (\sum X)^2} = \frac{(24 * 27697) - (181,42 * 3656)}{(24 * 1374,50) - (181,42)^2} = 19,37$$

$$b = \frac{\sum Y - a \sum X}{n} = \frac{1891 - 19,37(181,42)}{24} = 5,9$$

Ecuación estimada de la regresión

$$Y = aX + b = 19,37X + 5,9$$

Valores proyectados

$$X = 7,00$$

$$Y = 19,37(7,0) + 5,9 = 141,53$$

$$X = 8,16$$

$$Y = 19,37(8,16) + 5,9 = 164,05$$

Error estándar

$$S_{XY} = \sqrt{\frac{\sum Y^2 - b \sum Y - a \sum XY}{n - 2}} = \sqrt{\frac{560792 - 5,9 (3656) - 19,37 (27697)}{24 - 2}}$$

$$S_{XY} = 10,48$$

En la figura 41, se muestra los datos de medición del sensor NPK en color azul, que se acercan a la ecuación de los datos predatorios del comportamiento del sistema de color gris, con un error estándar calculada con la ecuación 6, concluyendo que en esta prueba realizada el sistema estimó un error de 10,48% con respecto a la cantidad **n** de muestras obtenidas y en correlación a los datos de laboratorio. Obteniendo una eficiencia del 89,52% en los datos del suelo en la variable potasio.

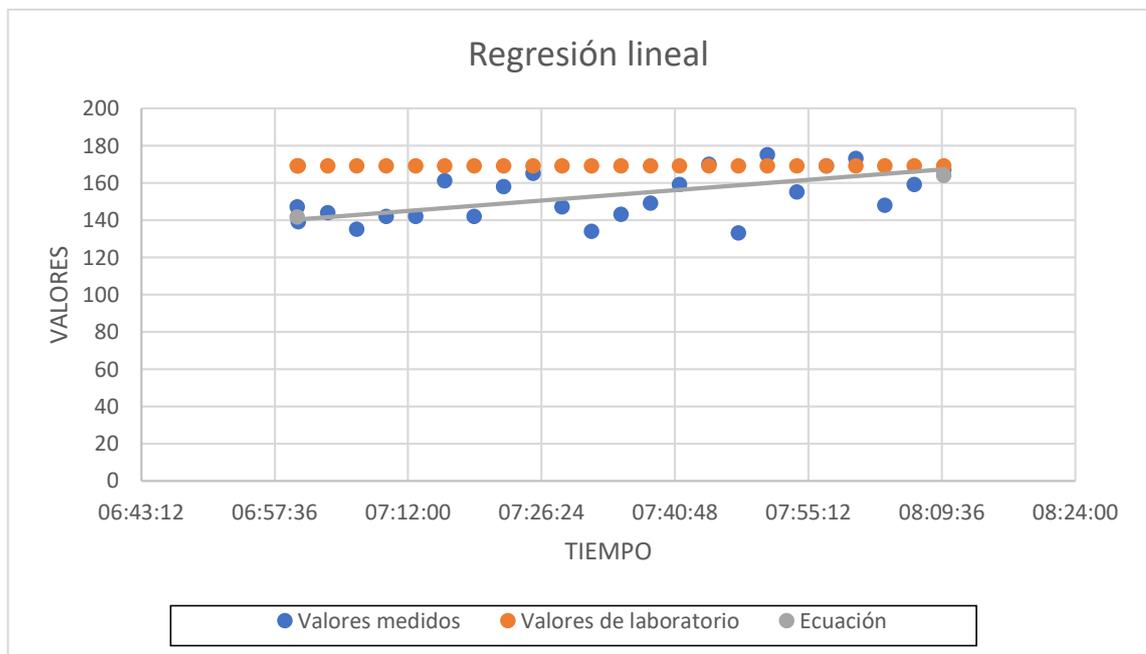


Figura 41: Diagrama de dispersión del nutriente medido el potasio

Elaborado por: La investigadora

Cálculo del invernadero de flores.

Nitrógeno

Tabla 23: Regresión lineal del valor medido del nitrógeno del invernadero de flores.

N	Tiempo	Tiempo X	Valores medidos Nitrógeno mg/kg Y	Valores de laboratorio	X2	Y2	XY
1	7:00:10	7,00	219	221	49,04	47961	1533,61
2	7:03:20	7,06	222	221	49,78	49284	1566,33
3	7:06:30	7,11	221	221	50,53	48841	1570,94
4	7:09:40	7,16	223	221	51,28	49729	1596,93
5	7:12:50	7,21	228	221	52,04	51984	1644,77
6	7:16:00	7,27	211	221	52,80	44521	1533,27
7	7:19:10	7,32	220	221	53,57	48400	1610,28
8	7:22:20	7,37	222	221	54,35	49284	1636,63
9	7:25:30	7,43	215	221	55,13	46225	1596,38
10	7:28:40	7,48	226	221	55,92	51076	1689,98
11	7:31:50	7,53	222	221	56,71	49284	1671,78
12	7:35:00	7,58	238	221	57,51	56644	1804,83
13	7:38:10	7,64	218	221	58,31	47524	1664,67
14	7:41:20	7,69	239	221	59,12	57121	1837,64
15	7:44:30	7,74	219	221	59,93	47961	1695,43
16	7:47:40	7,79	213	221	60,75	45369	1660,22
17	7:50:50	7,85	216	221	61,58	46656	1695,00
18	7:54:00	7,90	209	221	62,41	43681	1651,10

19	7:57:10	7,95	217	221	63,25	47089	1725,75
20	8:00:20	8,01	215	221	64,09	46225	1721,19
21	8:03:30	8,06	200	221	64,94	40000	1611,67
22	8:06:40	8,11	226	221	65,79	51076	1833,11
23	8:09:50	8,16	227	221	66,65	51529	1853,20
24	8:13:00	8,22	214	221	67,51	45796	1758,37
25	8:16:10	8,27	229	221	68,38	52441	1893,70
26	8:19:20	8,32	221	221	69,26	48841	1839,21
27	8:22:30	8,38	210	221	70,14	44100	1758,75
28	8:25:40	8,43	226	221	71,03	51076	1904,68
29	8:28:50	8,48	219	221	71,92	47961	1857,24
30	8:32:10	8,54	209	221	72,87	43681	1784,05
31	8:35:25	8,59	219	221	73,79	47961	1881,27
32	8:37:30	8,63	229	221	74,39	52441	1975,13
Sumatorio		250,26	7042	7072	1964,77	1551762	55057,10

Elaborado por: La investigadora

$$a = \frac{n \sum XY - \sum X \sum Y}{n \sum X^2 - (\sum X)^2} = \frac{(32 * 55057,10) - (250,26 * 7042)}{(32 * 1964,77) - (250,26)^2} = -2,07$$

$$b = \frac{\sum Y - a \sum X}{n} = \frac{7042 + 2,07(250,26)}{32} = 236,20$$

Ecuación estimada de la regresión

$$Y = aX + b = -2,07X + 336,20$$

Valores proyectados

$$X = 7,00$$

$$Y = -2,07(7,0) + 336,20 = 221,75$$

$$X = 8,16$$

$$Y = -2,077(8,16) + 336,20 = 218,40$$

Error estándar

$$S_{XY} = \sqrt{\frac{\sum Y^2 - b \sum Y - a \sum XY}{n - 2}} = \sqrt{\frac{1551762 - 260,20 (7042) + 2,07 (55057,10)}{32 - 2}}$$

$$S_{XY} = 7,88$$

En la figura 42, se visualiza los datos de medición del sensor NPK en color azul, que se acercan a la ecuación de los datos predatorios del comportamiento del sistema de color gris, con un error estándar calculada con la ecuación 6, concluyendo que en esta prueba realizada el sistema estimó un error de 7,58% con respecto a la cantidad n de muestras obtenidas y en correlación a los datos de laboratorio. Obteniendo una eficiencia del 92,42% en los datos del suelo en la variable nitrógeno.

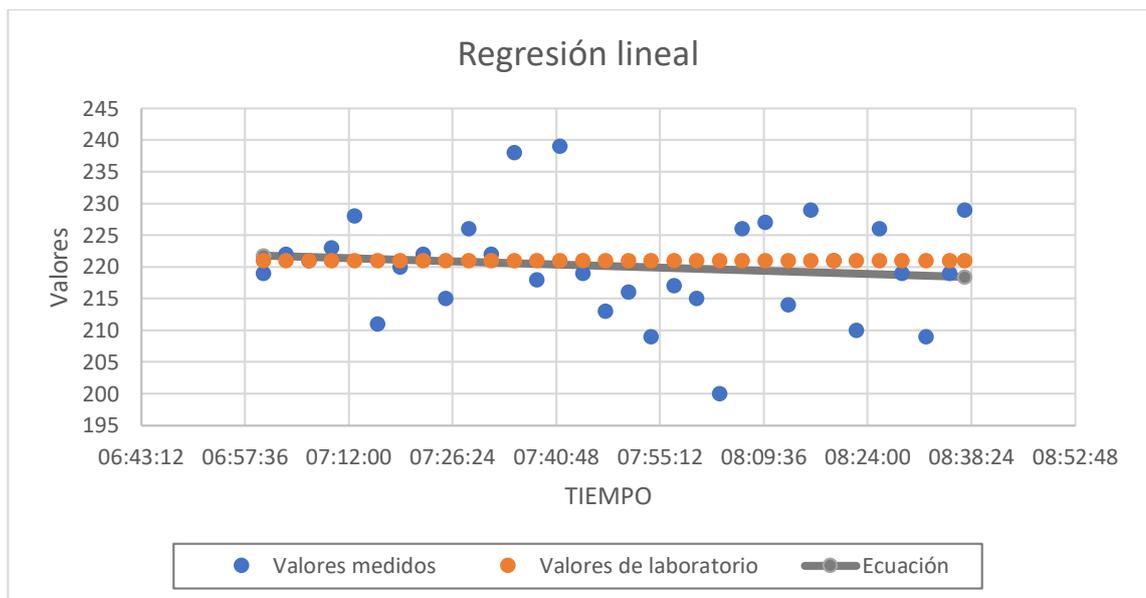


Figura 42: Diagrama de dispersión del nutriente medido el nitrógeno

Elaborado por: La investigadora

Fósforo

Tabla 24: Regresión lineal del valor medido del fósforo del invernadero de flores.

N	Tiempo	Tiempo X	Valores medidos Fósforo mg/kg Y	Valores de laboratorio	X2	Y2	XY
1	7:00:10	7,00	72	72	49,04	5184	504,20
2	7:03:20	7,06	70	72	49,78	4900	493,89
3	7:06:30	7,11	68	72	50,53	4624	483,37
4	7:09:40	7,16	62	72	51,28	3844	443,99
5	7:12:50	7,21	69	72	52,04	4761	497,76
6	7:16:00	7,27	68	72	52,80	4624	494,13
7	7:19:10	7,32	73	72	53,57	5329	534,32
8	7:22:20	7,37	70	72	54,35	4900	516,06
9	7:25:30	7,43	75	72	55,13	5625	556,88
10	7:28:40	7,48	67	72	55,92	4489	501,01
11	7:31:50	7,53	70	72	56,71	4900	527,14
12	7:35:00	7,58	71	72	57,51	5041	538,42
13	7:38:10	7,64	76	72	58,31	5776	580,34
14	7:41:20	7,69	74	72	59,12	5476	568,98
15	7:44:30	7,74	65	72	59,93	4225	503,21
16	7:47:40	7,79	67	72	60,75	4489	522,23
17	7:50:50	7,85	79	72	61,58	6241	619,93
18	7:54:00	7,90	69	72	62,41	4761	545,10
19	7:57:10	7,95	70	72	63,25	4900	556,69
20	8:00:20	8,01	70	72	64,09	4900	560,39
21	8:03:30	8,06	68	72	64,94	4624	547,97
22	8:06:40	8,11	69	72	65,79	4761	559,67

23	8:09:50	8,16	72	72	66,65	5184	587,80
24	8:13:00	8,22	71	72	67,51	5041	583,38
25	8:16:10	8,27	73	72	68,38	5329	603,67
26	8:19:20	8,32	67	72	69,26	4489	557,59
27	8:22:30	8,38	73	72	70,14	5329	611,38
28	8:25:40	8,43	76	72	71,03	5776	640,51
29	8:28:50	8,48	79	72	71,92	6241	669,96
30	8:32:10	8,54	73	72	72,87	5329	623,14
31	8:35:25	8,59	69	72	73,79	4761	592,73
32	8:37:30	8,63	73	72	74,39	5329	629,63
Sumatorio		250,26	2268	2304	1964,77	161182	17755,44

Elaborado por: La investigadora

$$a = \frac{n \sum XY - \sum X \sum Y}{n \sum X^2 - (\sum X)^2} = \frac{(32 * 17755,44) - (250,26 * 2268)}{(32 * 1964,77) - (250,26)^2} = 2,41$$

$$b = \frac{\sum Y - a \sum X}{n} = \frac{2268 - 2,41(250,26)}{32} = 52$$

Ecuación estimada de la regresión

$$Y = aX + b = 2,41X + 52$$

Valores proyectados

$$X = 7,00$$

$$Y = 2,41(7,0) + 52 = 68,90$$

$$X=8,16$$

$$Y = 2,41(8,16) + 52 = 72,81$$

Error estándar

$$S_{XY} = \sqrt{\frac{\sum Y^2 - b \sum Y - a \sum XY}{n - 2}} = \sqrt{\frac{161182 + 52 (2268) - 2,41 (17755,44)}{32 - 2}} = 3,21$$

En la figura 43, se ilustra los datos de medición del sensor NPK en color azul, que se acercan a la ecuación de los datos predatorios del comportamiento del sistema de color gris, con un error estándar calculada con la ecuación 6, concluyendo que en esta prueba realizada el sistema estimó un error de 3,21% con respecto a la cantidad **n** de muestras obtenidas y en correlación a los datos de laboratorio. Obteniendo una eficiencia del 96,79% en los datos del suelo en la variable fósforo.

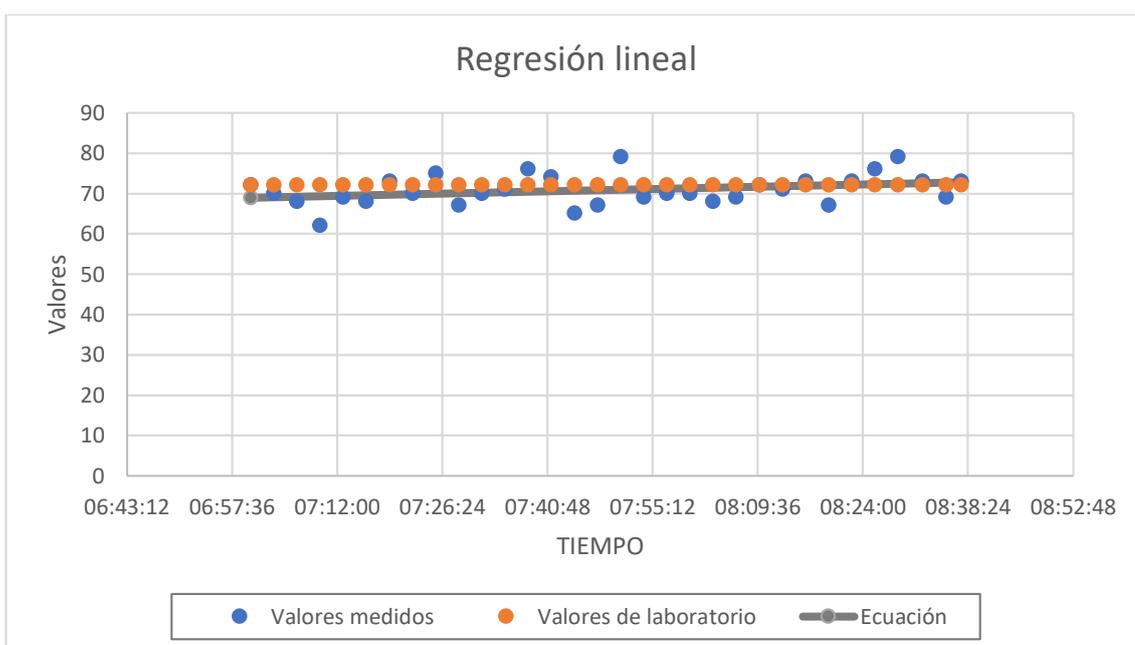


Figura 43: Diagrama de dispersión del nutriente medido el fósforo

Elaborado por: La investigadora

Potasio

Tabla 25: Regresión lineal del valor medido del potasio del invernadero de flores.

N	Tiempo	Tiempo X	Valores medidos Potasio mg/kg Y	Valores de laboratorio	X ²	Y ²	XY
1	7:00:10	7,00	133	143	49,04	17689	931,37
2	7:03:20	7,06	140	143	49,78	19600	987,78
3	7:06:30	7,11	131	143	50,53	17161	931,19

4	7:09:40	7,16	125	143	51,28	15625	895,14
5	7:12:50	7,21	132	143	52,04	17424	952,23
6	7:16:00	7,27	142	143	52,80	20164	1031,87
7	7:19:10	7,32	147	143	53,57	21609	1075,96
8	7:22:20	7,37	146	143	54,35	21316	1076,34
9	7:25:30	7,43	136	143	55,13	18496	1009,80
10	7:28:40	7,48	135	143	55,92	18225	1009,50
11	7:31:50	7,53	147	143	56,71	21609	1106,99
12	7:35:00	7,58	156	143	57,51	24336	1183,00
13	7:38:10	7,64	143	143	58,31	20449	1091,96
14	7:41:20	7,69	145	143	59,12	21025	1114,89
15	7:44:30	7,74	139	143	59,93	19321	1076,09
16	7:47:40	7,79	150	143	60,75	22500	1169,17
17	7:50:50	7,85	143	143	61,58	20449	1122,15
18	7:54:00	7,90	145	143	62,41	21025	1145,50
19	7:57:10	7,95	155	143	63,25	24025	1232,68
20	8:00:20	8,01	139	143	64,09	19321	1112,77
21	8:03:30	8,06	143	143	64,94	20449	1152,34
22	8:06:40	8,11	138	143	65,79	19044	1119,33
23	8:09:50	8,16	139	143	66,65	19321	1134,78
24	8:13:00	8,22	147	143	67,51	21609	1207,85
25	8:16:10	8,27	141	143	68,38	19881	1165,99
26	8:19:20	8,32	139	143	69,26	19321	1156,79
27	8:22:30	8,38	142	143	70,14	20164	1189,25
28	8:25:40	8,43	147	143	71,03	21609	1238,88
29	8:28:50	8,48	153	143	71,92	23409	1297,53

30	8:32:10	8,54	147	143	72,87	21609	1254,81
31	8:35:25	8,59	139	143	73,79	19321	1194,05
32	8:37:30	8,63	146	143	74,39	21316	1259,25
Sumatorio		250,26	4550	4576	1964,77	648422	35627,24

Elaborado por: La investigadora

$$a = \frac{n \sum XY - \sum X \sum Y}{n \sum X^2 - (\sum X)^2} = \frac{(32 * 35627,24) - (250,26 * 4550)}{(32 * 1964,77) - (250,26)^2} = 5,73$$

$$b = \frac{\sum Y - a \sum X}{n} = \frac{4550 - 5,73(250,26)}{32} = 97,4$$

Ecuación estimada de la regresión

$$Y = aX + b = 5,73X - 97,4$$

Valores proyectados

$$X = 7,00$$

$$Y = 5,73(7,00) - 97,4 = 137,51$$

$$X=8,16$$

$$Y = 5,73(8,16) - 97,4 = 146,79$$

Error estándar

$$S_{XY} = \sqrt{\frac{\sum Y^2 - b \sum Y - a \sum XY}{n - 2}} = \sqrt{\frac{648422 + 97,4 (4550) - 30,46 (35627,24)}{32 - 2}}$$

$$S_{XY} = 6,01$$

En la figura 44, se visualiza los datos de medición del sensor NPK en color azul, que se acercan a la ecuación de los datos predatorios del comportamiento del sistema de color gris, con un error estándar calculada con la ecuación 6, concluyendo que en esta prueba realizada el sistema estimó un error de 6,01% con respecto a la cantidad **n** de

muestras obtenidas y en correlación a los datos de laboratorio. Obteniendo una eficiencia del 93,99% en los datos del suelo en la variable potasio.

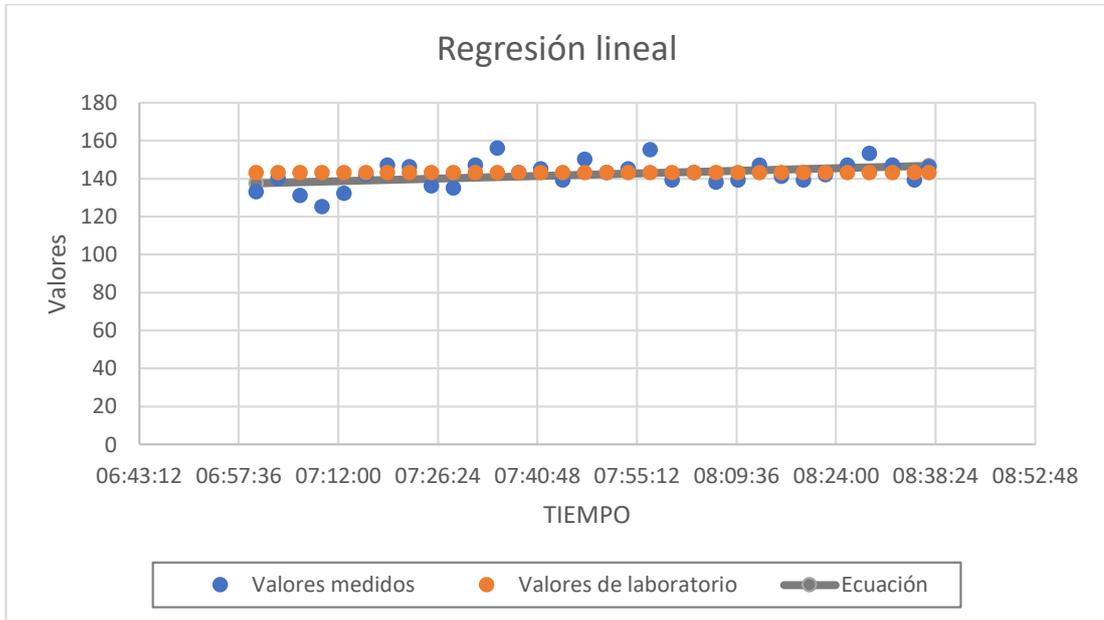


Figura 44: Diagrama de dispersión del nutriente medido el potasio

Elaborado por: La investigadora

En la tabla 26 se realizó una comparación de características del sistema implementado y un dispositivo comercial

Tabla 26: Tabla comparativa del sistema implementado y un dispositivo comercial

Sistema de monitoreo de variables químicas para el suelo	NPKTester
	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sistema portable ▪ Contiene un sensor de alta precisión electroquímico 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sistema de medición rápida ▪ Contiene un sensor electroquímico

- | | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ▪ Contiene una batería Lipo recargables que tiene una duración de 8 horas ▪ Tiene una base de datos para almacenar las variables medidas ▪ La medición es precisa ▪ Puede tomar mediciones de profundidad hasta 20cm para obtener valores más precisos ▪ Tiene un tiempo de respuesta de cada valor medido de 10 a 20seg ▪ Permite adquirir las coordenadas geográficas del sitio de medición ▪ La comunicación entre la base de datos y el sistema portable puede llegar hasta 17km en ambientes despejados y cuando existe obstáculos como edificios y casa en 9km ▪ Un sistema portable de medición del macronutriente ▪ Tiene un costo \$858 ▪ Su manual de usuario se adjunta en el Anexo 12 | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Contiene pilas para suministrar energía ▪ No contiene ningún sistema para almacenamiento de variables ▪ Medición rápida ▪ Toma muestras de profundidad de hasta 8cm ▪ Tiempo de respuesta de la medición es de 6seg ▪ Solo adquiere las variables químicas del suelo ▪ No contiene ninguna comunicación ▪ Un equipo portable que solo mide una variable química del suelo para medir las tres variables requiere de tres dispositivos portable ▪ Tiene un costo \$179 |
|--|---|

Elaborado por: La investigadora

Concluyendo que el sistema de medición es confiable y rentable para los agricultores, además, de ahorrar tiempo y dinero, ya que actualmente los agricultores utilizan el método de análisis en laboratorio, los cuales al enviar analizar tiene un tiempo en

ejecutar los resultados que toma de 20 a 30 muestras de 15 a 21 días laborables que se considera un tiempo de pérdida para la producción en los sembríos.

3.2.9. Presupuesto

En la elaboración del prototipo se utilizó diferentes dispositivos electrónicos que ayudaron en el desarrollo del Sistema de monitoreo de variables químicas con tecnología IoT de los suelos agrícolas para la cosecha de productos en Agro Pujilí. Se detalla a continuación en la tabla 27 el presupuesto del proyecto.

Tabla 27: Presupuesto del proyecto

Ítems	Elemento	Unidad	Cantidad	Valor unitario	Valor total
DISPOSITIVOS ELECTRONICOS					
1	Esp32 Lora Nodo	c/u	1	150,00	150,00
2	Esp32 Lora Gateway	c/u	1	60,00	60,00
3	Sensor NPK	c/u	1	150,00	150,00
4	Módulo RS485	c/u	1	3,00	3,00
5	Raspberry Pi4	c/u	1	95,00	95,00
6	Fuente de alimentación	c/u	1	15,00	15,00
7	Módulo de carga 3S	c/u	1	20,00	20,00
8	Kit de pantalla HDMI	c/u	1	150,00	150,00
ESQUIPOS ELECTRONICOS					
10	Multímetro	c/u	1	15,00	15,00
PROTOTIPO					
11	Caja de madera	c/u	2	20,00	40,00
12	Tubo PVC	c/u	1	3,00	3,00
13	Cable UTP	m	4	0,50	2,00
PRUEBAS DE LABORATORIO					
14	Pruebas químicas de laboratorio del suelo	c/u	1	15,00	15,00
Improvistos					100,00
Subtotal					858,00
Mano de obra del diseño					40
Total					898,00

Elaborado por: La investigadora

CAPÍTULO IV

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- Para el análisis de datos de acuerdo a la técnica de muestreo en zigzag y el área de terreno 1000 m², se toma en consideración los nutrientes más esenciales para el desarrollo de una planta, siendo el Nitrógeno, Fósforo y Potasio, estos parámetros químicos son enviados a un laboratorio, donde se procede a su análisis, dando como resultado un valor de medición de los químicos que contienen el terreno a realizar el cultivo, dichas pruebas llevan de 10 a 20 días en la elaboración de resultados, siendo tiempo perdido para el cultivador, a diferencia del sistema que se obtienen en un día los resultados de los valores que son similares a los de los laboratorios, con un error de 2% al 7% de acuerdo al número de muestras obtenidas, de esta forma se puede aprovechar el tiempo para el tratamiento del suelo a cultivar.
- La tecnología LoRa permite transmitir y recibir datos a largas distancias, y a velocidades bajas de transmisión, en el caso de distancias que exista línea de vista donde no existen obstáculos, la transmisión y recepción de datos en teoría es de 20 km, sin embargo, este parámetro no se cumple debido a que la señal que viaja a través del aire siempre es influenciada por factores externos que hacen que la señal se pierda como: la zona o lugar, la posición del nodo, el montaje del Gateway entre otros. En este caso exclusivo por las plantaciones y la estructura presentada en las pruebas, disminuye la distancia de alcance.
- La propagación de la señal gracias a la tecnología utilizada, no presenta problemas de transmisión de datos, ya que la frecuencia de 915 MHz que utiliza la tecnología LoRa permite grandes distancias a una velocidad de transmisión de datos de hasta 50 Kbps, suficiente para la información que maneja el sistema. Permitiendo realizar pruebas en terrenos que cubren grandes áreas

- Existen técnicas de análisis de suelos que llevan mucho tiempo, en este aspecto la agronomía no ha innovado debido a los costos excesivos de los sensores y equipos que llevan en el mercado, por el cual el presente proyecto brinda soluciones óptimas para el cultivo con tecnología IoT y a gran escala que lograra reducir tiempo y aumenta la potencialidad del agricultor para evitar pérdidas económicas en la cosecha prevista.
- El sensor NPK no necesita ningún reactivo a diferencia de las pruebas tradicionales, gracias a esto no genera contaminación y desperdicios tóxicos en otras áreas, dando como resultado un sistema potente y amigable para el suelo a cultivar, el sensor envía una trama de datos de 8 bits cada uno, donde establece la dirección de lectura, dirección de escritura, datos, checksum de error y checksum de muestreo, que son interpretados por el microcontrolador gracias al MAX485
- Las composiciones del suelo contienen al menos 16 variables químicas a medir, muchos de ellos varían dependiendo el tipo de suelo y la ubicación geográfica de la misma, una plantación empieza su vida gracias a los tres nutrientes esenciales siendo el Nitrógeno, Fósforo y Potasio, que son las tres macroquímicas que necesita una plantación para llevar su ciclo de vida.
- Los rangos de medición de las variables químicas del suelo se consideran lo ideal para los cultivos cuando se encuentran en rangos moderados en el caso del nitrógeno debe estar (215- 255) mg/kg, en el fosforo (63- 86) mg/kg y el potasio (135 – 175) mg/kg para el desarrollo de la planta, cuando estos valores se encuentran con un déficit nutricional hacen que las plantas no se desarrollen y cuando tiene altas mediciones las plantas se maduran con facilidad hasta que se descomponen internamente.

4.2. Recomendaciones

- El sensor NPK de nivel industrial tienen una comunicación Modbus RS485, que maneja diferente el nivel de voltaje a los microcontroladores, se recomienda

utilizar un traductor de nivel adecuado al microcontrolador a utilizar para evitar errores de datos.

- Al realizar el muestreo del suelo con el sensor de variables químicas NPK hay que verificar que el suelo donde vaya a realizar la medición se encuentre húmedo para la detección de las condiciones químicas caso contrario genera datos erróneos en la medición.
- El sistema utiliza comunicación LoRa que lleva baterías para su facilidad de uso, se recomienda cargarla antes del uso para aprovechar el tiempo de medición y evitar errores de datos por la falta de nivel de tensión en los sensores y microcontroladores.
- La interfaz se conecta directamente con el servidor local que está instalada en un miniordenador, se recomienda tener en cuenta que si no inicializa el servidor los datos de medición del nodo no se guardarán en el sistema.
- Los parámetros y técnicas de muestreo vienen predefinidos y elegibles en el sistema, se debe tomar en consideración el tipo de terreno, área y muestreo para la eficiencia del sistema y evitar errores de tecnificación y de datos al final del muestreo o toma de datos.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Julieth Estefanía Gutiérrez Lopera, Johan Andrés Toloza, Oriana Alexandra López, Daniel Guevara Ibarra, «Sistema integrado de monitoreo inalámbrico de variables agroambientales en un cultivo de tomate para la generación de mapas de intensidad,» *UIS ingenierías*, vol. 20, n° 2, pp. 163-180, 2021. [En línea]. Available:<https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistausingenierias/article/view/11365/11316>
- [2] Johann Alexander Meneses Vidal, Simón Alexander Urrutia Quirá, «Desarrollo de una red de sensores para monitoreo de macronutrientes primarios para cultivo de café aplicado a un caso de estudio en Tecnicafé.,» Popayan, Colombia, 2021. [En línea]. Available:<https://repositorio.uniautonomo.edu.co/bitstream/handle/123456789/661/T%20E-M%20082%202021.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [3] Pisana Placidi, Renato Morbidelli, Diego Fortunati, Nicola Papini, Francesco Gobbi, y Andrea Scorzoni «Monitoring Soil and Ambient Parameters in the IoT Precision Agriculture Scenario: An Original Modeling Approach Dedicated to Low-Cost Soil Water Content Sensors,» *Sensors - MDPI*, vol. 21, p. 28, 2021. [En línea]. Available: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34372355/>
- [4] Karen Lisseth León Merchán, Omar Andrés Sánchez Calderón «SISTEMA DE MONITOREO DE VARIABLES AMBIENTALES EN CULTIVOS DE PAPA MEDIANTE IOT Y ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA.,» Bogota, 2020. [En línea]. Available:<https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/604e030e-b281-4cac-aea4-3bf94648e246/content>
- [5] Angélica María Zambrano Zambrano, «Análisis físico y químico de los suelos agrícolas del sur de Manabí y su relación con los cultivos,» Jipijapa, 2020. [En línea]. Available:<http://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/2929/1/TESSIS%20ANGELICA%20ZAMBRANO%20REVISION%20FINAL%20TRIBUNAL%2026%20%20DE%20MARZO%202021.pdf>

- [6] Elizabeth Carolina Altamirano Guerra, «Parametros físicos y químicos para determinación de la calidad de los suelos en la microcuenca JUN-JUN,» Cevallos, 2019. [En línea]. Available: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/30131/1/Tesis-238%20%20Ingenier%c3%ada%20Agron%c3%b3mica%20-CD%20641.pdf>
- [7] Jose Luis Calapiña, «Sistema electrónico portátil para la medición del índice de contaminación de suelos,» 2018. [En línea]. Available: https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/28806/1/Tesis_%20t1483ec.pdf.
- [8] Corporación Ecuatoriana para el Desarrollo de la Investigación y la Academia, «CEDIA,» [En línea]. Available: <https://blogs.cedia.org.ec/obest/wp-content/uploads/sites/7/2020/06/Diagn%C3%B3stico-sector-agr%C3%ADcola-Ecuador.pdf>.
- [9] Ministerio de Agricultura y Ganadería , «Ministerio de Agricultura y Ganadería,» [En línea]. Available: Ministerio de Agricultura y Ganadería . [Último acceso: 12 11 2021].
- [10] Francisco de Izazaga, Diagnostico PDOT Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Pujilí, Pujilí: B&G, 2019.
- [11] Maria Grancia, «Deloitte,» 2022. [En línea]. Available: <https://www2.deloitte.com/es/es/pages/technology/articles/IoT-internet-of-things.html>.
- [12] Juan Torrez, «¿Qué es y cómo funciona el Internet de las cosas?,» 2014.
- [13] Gonzalo Antonio Loza Gonzales, «Factores críticos de éxito en la aplicación de la IoT al sector agropecuario,» Guayaquil, 2021.

- [14] Rodríguez Sote, José Luis; López Londoño, Alejandro ; Vega Botero, Carlos Andrés; Flórez Hurtado, Rubén Darío, «Redalyc,» 2017. [En línea]. Available: <https://www.redalyc.org/pdf/849/84955649011.pdf>.
- [15] Gomez, Jorge ; Casteño, Samir; Mercado, Teobaldis; García, Jose; Fernández1, Alexánder, «Sistema de internet de las cosas IoT para el monitoreo de cultivos protegidos,» Universidad de Cordoba, 2017. [En línea]. Available: <https://revistas.unicordoba.edu.co/index.php/rii/article/download/1101/1500/3165>
- [16] Agriculus, «Agriculus,» 2015. [En línea]. Available: <https://www.agriculus.com/es/tecnologias/sensores-para-la-agricultura/#:~:text=Los%20sensores%20para%20la%20agricultura,posibilidad%20de%20planificar%20intervenciones%20espec%C3%ADficas>
- [17] Quintanilla Padilla, Ricardo Edgardo; Cartagena Lobos , Carlos Levi, «Escuela de Especializacion en Ingenieria Electrica y Sistemas Informaticos,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.itca.edu.sv/wp-content/uploads/2021/02/09-Informe-Final-Santa-Ana-IoT-2018-ISBN-impreso.pdf>.
- [18] Asociacion Internacional de la Industria de los Fertilizantes , Los fertilizantes y su uso, Paris, 1992.
- [19] Guy Sela, «Cropaia,» 2019. [En línea]. Available: <https://cropaia.com/es/blog/nutrientes-de-plantas/>.
- [20] Lopez, Enrique; Miñano, Fernando, Metodo Rapido de analisis de suelo, Madrid, 2017. [En línea]. Available: https://www.miteco.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1988_18.pdf
- [21] Mendoza , Reynaldo; Espinoza, Ariel, Guia tecnica para muestreo de suelos, Managua, 2017.
- [22] Laverde Mena, Jeannette Alexandra; Laverde Mena, Carlos Guillermo, «Internet de las cosas aplicado en la agricultura ecuatoriana: Una propuesta para sistemas de riego,» Scielo, vol. 8, nº 2, abril 2021. [En línea]. Available:

https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S200778902021000100031&script=sci_arttext#:~:text=El%20internet%20de%20las%20cosas,un%20ahorro%20del%2030%25%20en

- [23] App&Web, «App&Web,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.appandweb.es/blog/iot-agricultura/>.
- [24] Soria, Ingeniero Rubén Mesías Ganchala, Interviewee, Tecnicas y procedimiento de analisis del suelo. [Entrevista]. 04 01 2023.
- [25] Eloy Molina, «Amino Grow,» 2017. [En línea]. Available: [//www.infoagro.go.cr/Inforegiones/RegionCentralOriental/Documents/Suelos/SUELOS-AMINOGROWanalisisinterpretacion.pdf](http://www.infoagro.go.cr/Inforegiones/RegionCentralOriental/Documents/Suelos/SUELOS-AMINOGROWanalisisinterpretacion.pdf).
- [26] Fertilab, «Manual de muestreo de suelo,» Mexico , 2011. [En línea]. Available: https://www.fertilab.com.mx/new/documentos/Manual_de_Muestreo.pdf
- [27] Felipe Cristancho, «Talently,» 2022. [En línea]. Available: <https://talently.tech/blog/python-ventajas-y-desventajas/>.
- [28] CERTUS, «CERTUS,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.certus.edu.pe/blog/beneficios-aprender-java/>.
- [29] Componentes Electronicos, «Componentes Electronicos,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.compelect.com.co/2018/01/26/7-ventajas-de-usar-matlab/>.
- [30] EIC GROUP , «EIC Control,» 2019. [En línea]. Available: <https://eiccontrols.com/es/inicio/480-sensores-de-nitrogeno-fosforo-y-potasio-del-suelo-salida-4-20ma.html>.
- [31] SIA JOOM, «JOOM,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.joom.com/es/products/5fd4d57ea636fb0106a999cf>.
- [32] Dan Logitech, «Dan Logitech,» 2022. [En línea]. Available: <https://danlogitech.com/laboratory-equipment-instruments/soil-tester/soil-instant-n-p-k-tester-digital/>.

- [33] Alfa IoT, «Alfa IoT,» 2019. [En línea]. Available: <https://alfaiot.com/blog/actualidad-14/que-es-lora-22>.
- [34] Efecto LED, «Efecto LED,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.efectoled.com/blog/es/que-es-zigbee/>.
- [35] Vistronica , «Vistronica,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.vistronica.com/comunicaciones/wifi/placa-de-desarrollo-ttgo-con-transceptor-lora-433470-mhz-modulo-gps-neo-6m-y-modulo-wifiblueetooth-esp32-para-iot-detail.html>.
- [36] Jose Guerra Carmenate, «Programar Facil,» 2021. [En línea]. Available: <https://programarfacil.com/esp8266/esp32/>.
- [37] Proyecto Arduino, «Proyecto Arduino,» 2020. [En línea]. Available: <https://proyectoarduino.com/arduino-uno-r3/>.
- [38] Naylamp Mechatronics SAC, «Naylamp Mechatronics,» 2021. [En línea]. Available: <https://naylampmechatronics.com/conversores-ttl/62-conversors485-a-serial-ttl.html>.
- [39] Espressif Systems, «Espressif Systems,» 2016. [En línea]. Available: https://www.futurashop.it/image/catalog/data/Download/esp32_datasheet_en.pdf.
- [40] SparkFun Electronics, «SparkFun Electronics,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.sparkfun.com/products/retired/15006>.
- [41] RAK, «RAK831 Datasheet,» 2016. [En línea]. Available: <https://pdf.direnc.net/upload/rak831-datasheet.pdf>.
- [42] Internte paso a paso , «Internte paso a paso,» 2017. [En línea]. Available: <https://internetpasoapaso.com/comparativa-raspberry-pi-orange-pi-banana-pi-odroid/>.
- [43] OSOYOO, «OSOYOO Store,» 2020. [En línea]. Available: <https://osoyoo.store/products/7-inch-touch-screen-tft-lcd-display-hdmi->

1024x600-driver-free-for-raspberry-pi-computer-tv-box-dvr-game-device?variant=31634923552879.

[44] Universidad Carlos III de Madrid, «Guia practica para la realizacion de laboratorio de fisica,» 1998. [En línea]. Available: https://laboratoriofisica.uc3m.es/guiones_esp/errores/Incertidumbres.pdf.

[45] Milton, «Regresion y correlacion,» 2019.

ANEXOS

Anexo 1: Entrevista realizada al Ingeniero encargado Agro Pujilí

ENTREVISTA

Encargado: Ingeniero Rubén Mesías Ganchala Soria

Entrevistador: Jessica Guilcaso

Fecha: 04 de Enero 2023

OBJETIVO:

Determinar las técnicas utilizadas para medir las cantidades de los elementos macros químicos del suelo para establecer una plantación correcta y evitar pérdidas en los productores y a su vez permita el desarrollo del proyecto de titulación del Sistema de monitoreo de variables químicas con tecnología IoT de los suelos agrícolas para la cosecha de productos en Agro Pujilí.

Preguntas:

1. ¿A qué se dedica la institución?

Agro Pujilí es una institución con más de 10 años de trayectoria dedicados al asesoramiento tecnificado de sistemas de plagas, fertilización y producción de diferentes productos como vegetales, hortalizas y flores en el Cantón Pujilí, y a su vez a la venta y comercialización de productos de fertilización químicos, orgánicos para la suelos y plantas.

2. ¿Cuáles son las técnicas que utiliza para realizar el muestreo del suelo?

Existen diferentes técnicas de muestreo del suelo que permiten evaluar las condiciones químicas que se encuentra, esto a su vez depende del suelo que se vaya a muestrear como:

En suelos homogéneos se aplica los siguientes métodos:

- Método cuadrangular
- Método de zigzag

- Método en X

En suelos en laderas, colinados, planos y mixtos se utiliza:

- Método aleatorio simple
- Método aleatorio estratificado

3. ¿Cuál es el procedimiento de realizar el muestreo de suelo?

El procedimiento que se lleva a cabo para el muestreo de suelo es:

- Identificar el tipo de suelo, es decir la textura, el color, el tipo de suelo
- Tipo de técnica que se va aplicar
- La dimensión del área del sembrío para saber el número de muestras que se va recolectar
- Tipo de cultivo que se va a plantar para identificar la profundidad de la muestra
- Al recolectar las muestras del suelo se aplica un método de cuarteo donde todas las muestras recolectadas del suelo se mezclan y es dividido en 4 partes iguales y solo dos partes de ellas se utilizan para la muestra oficial que se lleva al laboratorio

4. ¿Cada que tiempo realizan el muestreo?

La frecuencia de muestreo que se realiza depende mucho del ciclo del cultivo o también se puede realizar cada año o cada tres años en el caso del tomate de riñón se realizaría cada 8 meses el análisis del suelo mientras que en las flores como el clavel su ciclo culmina cada 6 meses.

5. ¿La técnica de fertilización que se realiza depende mucho del tipo de suelo?

Si el tipo de suelo depende mucho para aplicar los fertilizantes, la cantidad y la técnica de cómo llevar el procedimiento. Es muy diferente aplicar en terrenos blancos arenosos que es muy común este tipo de tierra en Pujilí, que un terreno negro arenoso que se puede encontrar en Píllaro o Cótalo o a diferencia de suelo arcilloso.

6. ¿Si encuentra deficiencia en el suelo que recomienda fertilizante químico o natural?

Si existe muchos terrenos que tiene una deficiencia química de nutrientes en el suelo es por tal motivo, que se realiza el análisis del suelo y poder

Si normalmente se utiliza una formula balanceada entre fertilizantes químicos con orgánicos para los suelos, pero hay que tomar en cuenta factores como la temperatura, luminosidad y tipo de agua.

7. ¿Cuántas muestras toma en un terreno de 1000 metro cuadrados y como obtienen ese valor?

Normalmente en áreas de 1000m² se realiza toma de muestras de 10 muestras, pero si desea si se puede realizar 15 a 20 muestras.

8. ¿Qué aspectos analiza la tierra, que químicos toma en consideración?

Para todo tipo de cultivo los tres químicos importantes o bases son el nitrógeno, fosforo y potasio, estos son los indispensables, pero en algunos casos también se les considera el calcio, hierro y magnesio

Anexo 3: Análisis de laboratorio de los nutrientes del suelo en el año 2023



INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS
ESTACION EXPERIMENTAL SANTA CATALINA
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS PLANTAS Y AGUAS
Panamericana Sur Km. 1 S/N Cutuglagua
Tels. (02) 3007264 / (02)2504240
Mail: laboratorio_dsa@iniap.gob.ec



INFORME DE ENSAYO No: 23-0044

NOMBRE DEL CLIENTE: Gulicaso Tipan Jessica Katherine
PETICIONARIO: Gulicaso Tipan Jessica Katherine
EMPRESA/INSTITUCIÓN: Gulicaso Tipan Jessica Katherine
DIRECCIÓN: Pujilí

FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA: 01/02/2023
HORA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA: 13:45
FECHA DE ANÁLISIS: 07/02/2023
FECHA DE EMISIÓN: 09/02/2023
ANÁLISIS SOLICITADO: 51

Análisis	pH	N	P	S*	B*	K	Ca	Mg	Zn*	Cu*	Fe*	Mn*	Ca/Mg	Mg/K	Ca+Mg/K	Σ Bases	MO*	CO.*	Textura (%)			IDENTIFICACIÓN	
																			Arena	Limo	Arcilla		Clase Textural
23-0309	7,71	L AI	240,51 A	76,61 A		0,87 A	6,80 A	2,57 A						2,04	2,95	10,76	10,24						Muestra 1

Análisis	Al+H*	Al*	Na*	C.E.*	N. Total*	N-NO3*	K H2O*	P H2O*	Cl*	pH KCl*	IDENTIFICACIÓN
	ppm	ppm	meq/100g	%	%	ppm	meq/100g	ppm	ppm		

OBSERVACIONES: * Ensayos no solicitados por el cliente

METODOLOGÍA USADA	
pH *	Serie: Agui (2,25)
SR *	Fuente de Calcio
	Ca Na Me Zn v
	u
	Ca+Mg/K

INTERPRETACIÓN	
pH	Elemento
Ac = Acido	N = Neutro
Alc = Lige. Acido	LAI = Lige. Alcalino
PN = Frij. Neutro	Al = Alcalino
NC = Neutro en Cu	T = Toxico (Dosis)

ABREVIATURAS	
C.E.	Conductividad Eléctrica
M.O.	Materia Orgánica

METODOLOGÍA USADA	
C.E.	Papa Semanal
M.O.	Dióxido de Potasio
Mo	Tiulodín 500?

INTERPRETACIÓN		
Al+H y Na	C.E.	M.O y Cl
B = Bajo	NS = No Salino	S = Salino
M = Medio	LS = Lige. Salino	MS = Muy Salino
T = Toxico		A = Alto

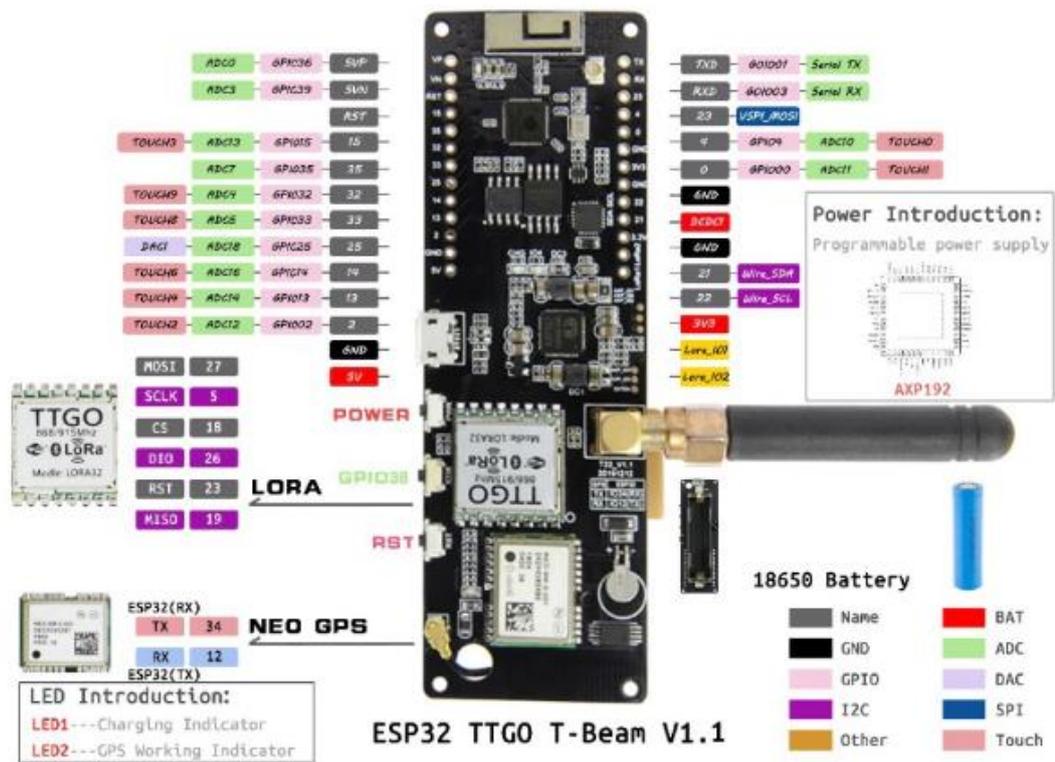
LABORATORISTA

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.
Los resultados arriba indicados solo están relacionados con el objeto de ensayo.
NOTA DE DESCARGO: La información contenida en este informe de ensayo es de carácter confidencial, está dirigida únicamente al destinatario de la misma y solo podrá ser usada por este. Si el sector de este correo electrónico o fax no es el destinatario del mismo, se le notifica que cualquier copia o distribución de este se encuentra totalmente prohibido. Si usted ha recibido este informe de ensayo por error, por favor notificar inmediatamente al remitente por este mismo medio y eliminar la información.
* Opiniones de interpretación, etc. que se indican en este informe constituye una guía para el cliente.

RESPONSABLE DE LABORATORIO

Escaneado en Caribanner

Anexo 4: Características técnicas de la Lora TTGO Esp32



Esta placa de desarrollo totalmente configurable incorpora un modulo transceptor lora que trabaja en las frecuencias de 433/470 MHz con antena para conexiones de larga distancia; modulo GPS NEO-6M con antena de ceramica y bateria de respaldo para mantener geo localizacion en tiempo real y modulo ESP32 para acceso a internet WIFI o conectividad Bluetooth; adicionalmente cuenta con un porta bateria para instalar una bateria 18650 y gracias al regulador de carga se puede trabajar de manera autónoma. Esta placa de desarrollo puede ser usada en cualquier tipo de proyecto IOT (internet de las cosas) como domotica o automatizacion de viviendas, sistemas de riego en cultivos, monitoreo y control industrial, monitoreo de variables, sistemas de seguridad o muchas otras aplicaciones.

Especificaciones módulo ESP32

- Conectividad: WIFI y/o Bluetooth
- PSRAM: 8 MB
- Memoria Flash: 4 MB
- Antena 3D

Especificaciones modulo LORA

- Voltaje de funcionamiento: 1.8 a 3.7 VDC
- Corriente de transmisión: 120mA a +20dBm, 90mA a +17dBm, 29mA a +13dBm
- Frecuencia de funcionamiento: 433/470 mhz (version 433 MHz)
- Potencia de transmisión: +20dBm
- Sensibilidad de recepción: -139dBm @ LoRa y 62.5Khz y SF = 12 y 146bps, -136dBm @ LoRa y 125Khz y SF = 12 y 293bps, -118dBm @ LoRa y 125Khz y SF = 6 y 9380bps, -123dBm@FSK&5Khz&1.2Kbps
- Error de frecuencia: ±15 KHz
- Espacio FIFO: 64 bytes
- Velocidad de datos: 1.2K~300Kbps@FSK, 0.018K~37.5Kbps@LoRa
- Modo de modulación: FSK, GFSK, MSK, GMSK, LoRa TM, OOK
- Forma de interfaz: SPI
- Corriente de sueño: 0.2uA@SLEEP, 1.5uA@IDLE
- Temperatura de funcionamiento: -40° C a 85° C
- Función RSSI digital
- Corrección automática de frecuencia
- Control de ganancia automática
- Sensor de temperatura y detección de bajo voltaje
- Encendido rápido y salto de frecuencia
- Manejador de paquetes de datos altamente configurable

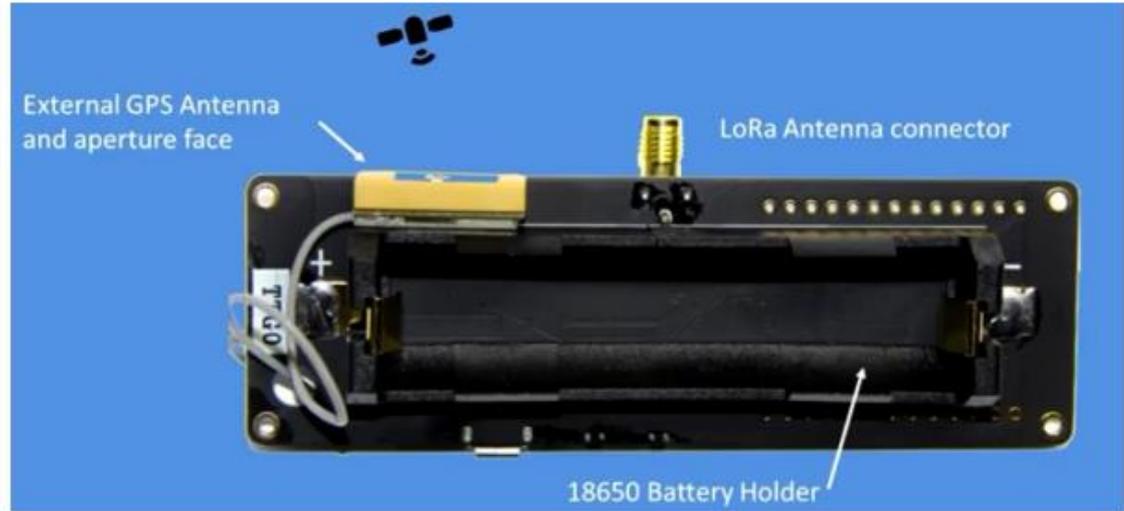
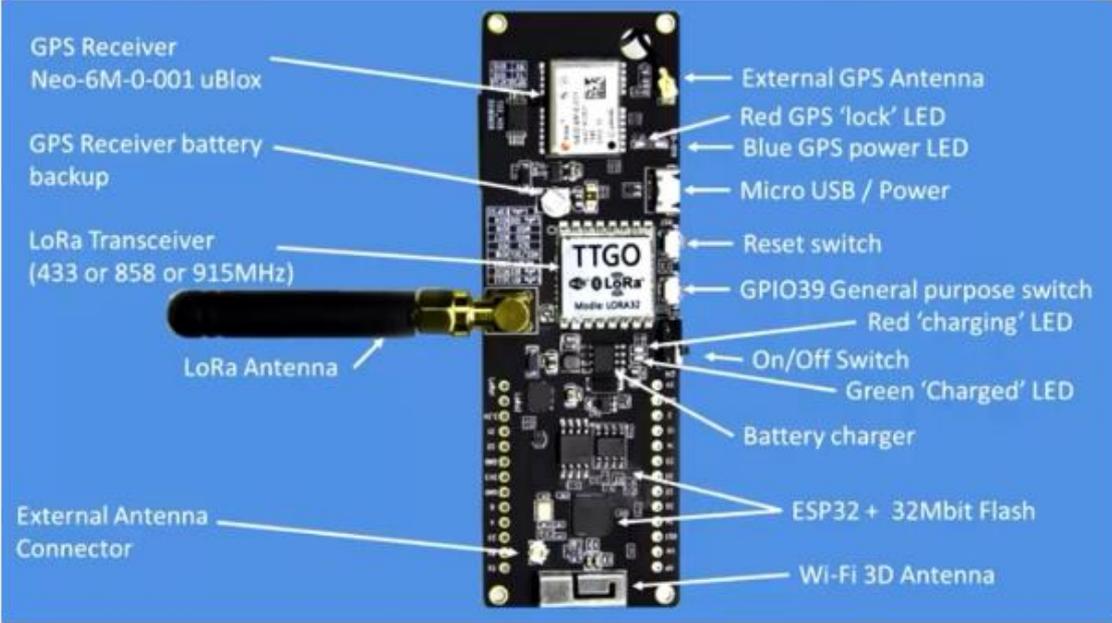


Especificaciones modulo GPS

- Modulo GPS NEO-6M
- Fuente de alimentación: 3 a 5 VDC
- Modulo con antena cerámica
- Guardar los datos de los parametros de configuracion EEPROM Down
- Con batería de respaldo de datos
- Indicador de señal LED
- Tasa de baudios predeterminada: 9600

Alimentación placa de desarrollo TTGO

- Fuente de alimentación: micro USB 5V/1A
- Corriente de carga: 500mA
- Entrada de batería: 3.7 a 4.2 VDC (batería 18650 (No incluida))
- Control de carga: IC AXP192



Anexo 5: Características técnicas del sensor NPK



Características:

1. Fácil de medir, no solo para profesionales, sino también para no profesionales, solo inserte el instrumento en el suelo para medir.
2. Alta precisión, medición de velocidad rápida, precisión de hasta 2% y mayor estabilidad, datos más precisos.
3. La resolución es de hasta 1 mg/kg (mg/l), en el sitio inspección rápida, fácil de llevar y se puede leer insertando en el suelo.
4. Medición Portátil, conocimiento preciso del estado de la esterilidad del suelo, el usuario puede medir la condición del suelo en cualquier momento, de acuerdo con la condición del suelo, la esterilidad del suelo se puede equilibrar para lograr un ambiente de crecimiento adecuado para la planta.
5. El sensor utiliza un chip de alta calidad, bajo consumo de energía, alta sensibilidad y señal estable.
6. Grado IP68 impermeable y a prueba de polvo, para garantizar el funcionamiento normal de los componentes durante mucho tiempo. Buen rendimiento de sellado para evitar que la humedad entre en el interior del instrumento.
7. Sonda de alta calidad, resistencia al óxido, resistencia electrolítica, resistencia a la corrosión de sal y álcali, para garantizar el funcionamiento a largo plazo de la pieza de la sonda. Por lo tanto, es adecuado para todo tipo de suelo.
8. Adecuado para la producción agrícola, cría de invernaderos, viveros de huerto, investigación del suelo.
9. Es adecuado para la detección de suelo alcalino, suelo ácido, Sustrato de tierra, lecho de semillero, tierra de salvado de coco.

DC powered (default)	DC 5-30V	
Maximum power consumption	≤0.15W (@12V DC, 25℃)	
Operating temperature	0℃~55℃	
NPK parameters	Range	1-1999 mg/kg(mg/L)
	Resolution	1 mg/kg(mg/L)
	Precision	± 2%FS
Response time	<1S	
Protection class	IP68	
Probe material	stainless steel	
Sealing material	Black flame retardant epoxy resin	
Default cable length	2 meters, cable length can be customized	
Dimensions	45*15*123mm	
output signal	RS485(Modbus protocol)	

Anexo 6: Características técnicas del módulo interfaz RS485



Si queremos que durante la conexión el convertor RS485 pueda cambiar su papel de emisor a receptor (conexión half duplex) simplemente tenemos que conectar los pines RE y DE a una salida digital para poder cambiar su tensión de Gnd a Vcc.



Descripción

El sensor funciona a base del C.I MAX485, un transceptor de baja potencia y con una velocidad de respuesta limitada, es normalmente usado para comunicación RS-485. Puede alcanzar una velocidad máxima de transmisión de 2.5Mbps. Este módulo conecta a un microcontrolador o Arduino y permite convertir las señales seriales TTL a RS-485. RS485 se utiliza para comunicaciones serie a distancias más largas que el RS232 directo o TTL, y admite múltiples unidades en el mismo autobús (Multi-Drop). Una de las ventajas del RS485 es la larga distancia de transmisión. El alcance depende de la velocidad, siendo posible conseguir 35 Mbps en distancias inferiores a 10 metros, y hasta 100 Kbps en distancias hasta 1200 metros

El RS485 es un estándar de comunicaciones ampliamente empleado en industria que podemos emplear en microcontroladores como Arduino para leer o escribir en otros dispositivos.

El RS485 es sencillo, robusto y a diferencia de otras tecnologías propietarias, su uso es gratuito. Por estos motivos, muchos dispositivos sensores y actuadores lo han adoptado como forma de comunicación, siendo frecuente en el ámbito industrial.

Una de las ventajas del RS485 es la larga distancia de transmisión. El alcance depende de la velocidad, siendo posible conseguir 35 Mbps en distancias inferiores a 10 metros, y hasta 100 Kbps en distancias hasta 1200 metros.

Con RS485 podemos establecer comunicación simplex, half-duplex y full-duplex. Sin embargo, para la comunicación full-duplex tendremos que establecer dos canales distintos, y disponer de un receptor y emisor en cada uno de los terminales.

- LED indicador de funcionamiento
- Funciona en modo emisor y modo receptor
- Velocidad máxima de 10 Mbit/s (a 10 metros)
- Longitud máxima de alcance de 1200 metros (a 100 kbit/s)
- Bajo consumo de energía para la comunicación RS-485
- Se puede colocar sobre el protoboard o conectar con cables jumper
- Soporta larga distancia de transmisión
- Aplicaciones: Comunicación y automatización, combinación con UART (Transmisor-Receptor Asíncrono Universal), para enviar las señales a largas distancias

Especificaciones

- Chip principal: MAX485
- Conector: Block 2 tornillos
- Conector: 2 Header de 4 pines serial TTL
- Voltaje de alimentación: 5 V
- Consumo de corriente: 500 uA
- Potencia de operación: 830 mW
- Tipo de comunicación: Half-duplex
- Velocidad máxima a 12 m: 10 Mbit/s
- Alcance máximo a 100 kbits/s: 1200 m
- Temperatura de operación mínima: -10 °C
- Temperatura de operación máxima: 85 °C
- Dimensiones: 5.7 cm X 1.4 cm X 2 cm
- Material: PCB
- Color: Azul
- Modelo: OKY3473

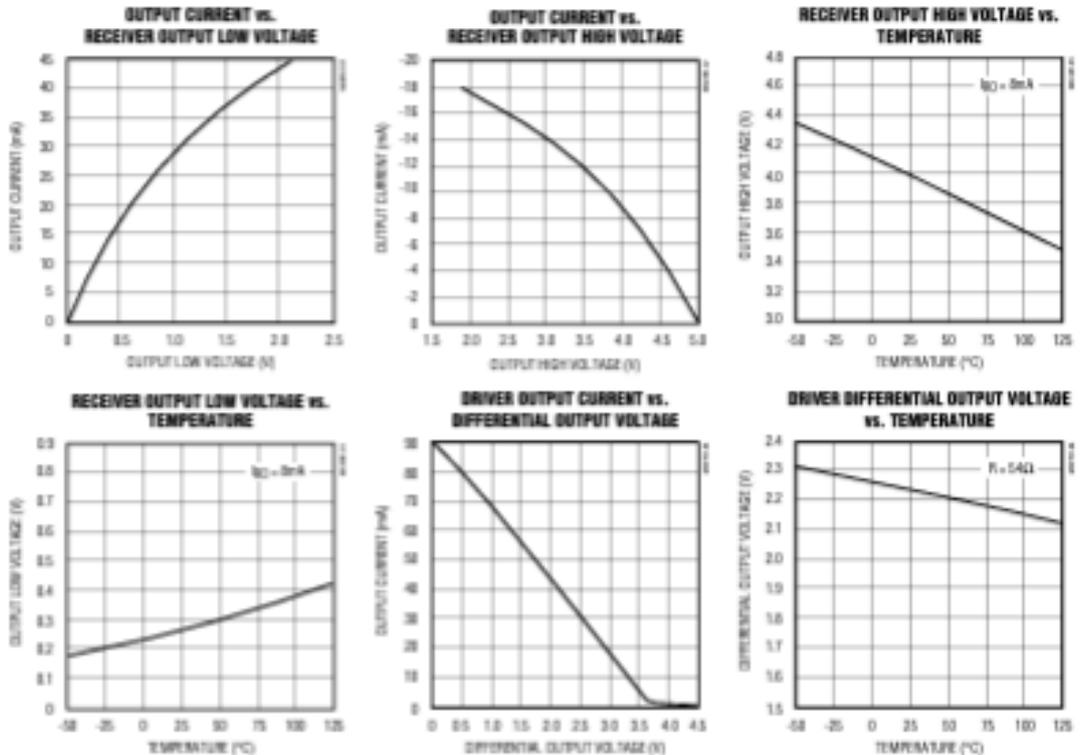
DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

(V_{CC} = 5V ±5%, T_A = T_{MIN} to T_{MAX}, unless otherwise noted.) (Notes 1, 2)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Differential Driver Output (no load)	V _{OD1}				5	V
Differential Driver Output (with load)	V _{ODe}	R = 50Ω (RS-422)	2			V
		R = 27Ω (RS-485), Figure 4	1.5	5		
Change in Magnitude of Driver Differential Output Voltage for Complementary Output States	ΔV _{OD}	R = 27Ω or 50Ω, Figure 4			0.2	V
Driver Common-Mode Output Voltage	V _{OC}	R = 27Ω or 50Ω, Figure 4			3	V
Change in Magnitude of Driver Common-Mode Output Voltage for Complementary Output States	ΔV _{OC}	R = 27Ω or 50Ω, Figure 4			0.2	V
Input High Voltage	V _{IH}	DE, DI, RE	2.0			V
Input Low Voltage	V _{IL}	DE, DI, RE			0.8	V
Input Current	I _{IN}	DE, DI, RE			±2	μA
Input Current (A, B)	I _{IN}	DE = 0V, V _{CC} = 0V or 5.25V, all devices except MAX487/MAX1487	V _{IN} = 12V		1.0	mA
			V _{IN} = -7V		-0.8	
		MAX487/MAX1487, DE = 0V, V _{CC} = 0V or 5.25V	V _{IN} = 12V		0.25	mA
			V _{IN} = -7V		-0.2	
Receiver Differential Threshold Voltage	V _{TH}	-7V ≤ V _{CM} ≤ 12V	-0.2		0.2	V
Receiver Input Hysteresis	ΔV _{IH}	V _{CM} = 0V		70		mV
Receiver Output High Voltage	V _{OH}	I _O = -4mA, V _{IO} = 200mV	3.5			V
Receiver Output Low Voltage	V _{OL}	I _O = 4mA, V _{IO} = -200mV			0.4	V
Three-State (high impedance) Output Current at Receiver	I _{OZR}	0.4V ≤ V _O ≤ 2.4V			±1	μA
Receiver Input Resistance	R _{IN}	-7V ≤ V _{CM} ≤ 12V, all devices except MAX487/MAX1487	12			kΩ
		-7V ≤ V _{CM} ≤ 12V, MAX487/MAX1487	48			kΩ

Typical Operating Characteristics

(V_{CC} = 5V, T_A = +25°C, unless otherwise noted.)



1.2 Basic Protocols

1.2.1 Wi-Fi

- 802.11 b/g/n/e/vi
- 802.11 n (2.4 GHz), up to 150 Mbps
- 802.11 e: QoS for wireless multimedia technology
- WMM-PS, UAPSD
- A-MPDU and A-MSDU aggregation
- Block ACK

1.3 MCU and Advanced Features

1.3.1 CPU and Memory

- Xtensa® Dual-Core 32-bit LX6 microprocessors, up to 600 DMIPS
- 448 KByte ROM
- 520 KByte SRAM
- 16 KByte SRAM in RTC
- QSPI Flash/SRAM, up to 4 x 16 MBytes
- Power supply: 2.2 V to 3.6 V

1.3.2 Clocks and Timers

- Internal 8 MHz oscillator with calibration
- Internal RC oscillator with calibration
- External 2 MHz to 40 MHz crystal oscillator
- External 32 kHz crystal oscillator for RTC with calibration
- Two timer groups, including 2 x 64-bit timers and 1 x main watchdog in each group
- RTC timer with sub-second accuracy
- RTC watchdog
- Standard HCI based on SDIO/SPI/UART
- High speed UART HCI, up to 4 Mbps
- BT 4.2 controller and host stack
- Service Discover Protocol (SDP)
- General Access Profile (GAP)
- Security Manage Protocol (SMP)
- Bluetooth Low Energy (BLE)
- ATT/GATT
- HID
- All GATT-based profile supported
- SPP-Like GATT-based profile
- BLE Beacon
- A2DP/AVRCP/SPP, HSP/HFP, RFCOMM
- CVSD and SBC for audio codec
- Bluetooth Piconet and Scatternet

1.3.3 Advanced Peripheral Interfaces

- 12-bit SAR ADC up to 18 channels
- 2 × 8-bit D/A converters
- 10 × touch sensors
- Temperature sensor
- 4 × SPI
- 2 × I2S
- 2 × I2C
- 3 × UART
- 1 host (SD/eMMC/SDIO)
- 1 slave (SDIO/SPI)
- Ethernet MAC interface with dedicated DMA and IEEE 1588 support
- CAN 2.0
- IR (TX/RX)
- Motor PWM
- LED PWM up to 16 channels
- Hall sensor
- Ultra low power analog pre-amplifier

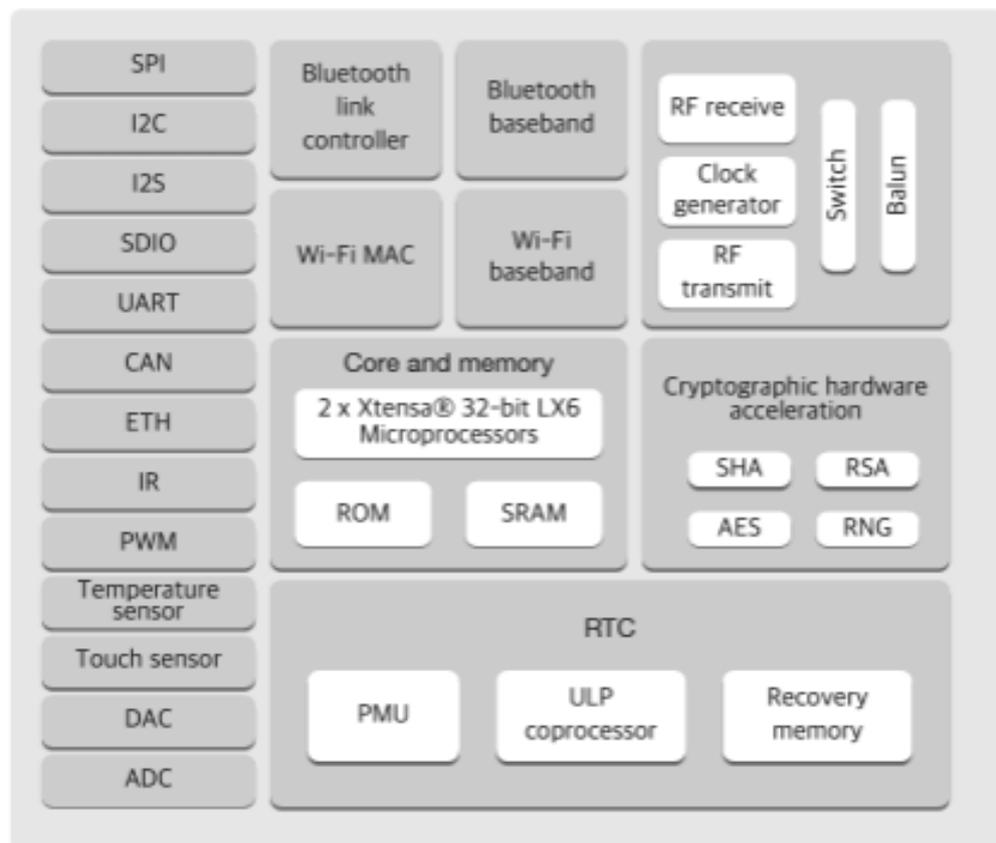
1.3.4 Security

- IEEE 802.11 standard security features all supported, including WPA, WPA/WPA2 and WAPI
- Secure boot
- Flash encryption
- 1024-bit OTP, up to 768-bit for customers
- Cryptographic hardware acceleration:
 - AES
 - HASH (SHA-2) library
 - RSA
 - ECC
 - Random Number Generator (RNG)

1.4 Application

- Generic low power IoT sensor hub
- Generic low power IoT loggers
- Video streaming from camera
- Over The Top (OTT) devices
- Music players
 - Internet music players
 - Audio streaming devices
- Wi-Fi enabled toys
 - Loggers
 - Proximity sensing toys
- Wi-Fi enabled speech recognition devices
- Audio headsets
- Smart power plugs
- Home automation
- Mesh network

1.5 Block Diagram



Anexo 8: Características técnicas de la Raspberry Pi 4

1 Introduction

The Raspberry Pi 4 Model B (Pi4B) is the first of a new generation of Raspberry Pi computers supporting more RAM and with significantly enhanced CPU, GPU and I/O performance; all within a similar form factor, power envelope and cost as the previous generation Raspberry Pi 3B+.

The Pi4B is available with either 1, 2 and 4 Gigabytes of LPDDR4 SDRAM.

2 Features

2.1 Hardware

- Quad core 64-bit ARM-Cortex A72 running at 1.5GHz
- 1, 2 and 4 Gigabyte LPDDR4 RAM options
- H.265 (HEVC) hardware decode (up to 4Kp60)
- H.264 hardware decode (up to 1080p60)
- VideoCore VI 3D Graphics
- Supports dual HDMI display output up to 4Kp60

2.2 Interfaces

- 802.11 b/g/n/ac Wireless LAN
- Bluetooth 5.0 with BLE
- 1x SD Card
- 2x micro-HDMI ports supporting dual displays up to 4Kp60 resolution
- 2x USB2 ports
- 2x USB3 ports
- 1x Gigabit Ethernet port (supports PoE with add-on PoE HAT)
- 1x Raspberry Pi camera port (2-lane MIPI CSI)
- 1x Raspberry Pi display port (2-lane MIPI DSI)
- 28x user GPIO supporting various interface options:
 - Up to 6x UART
 - Up to 6x I2C
 - Up to 5x SPI
 - 1x SDIO interface
 - 1x DPI (Parallel RGB Display)
 - 1x PCM
 - Up to 2x PWM channels
 - Up to 3x GPCLK outputs

Please note that VDD.IO is the GPIO bank voltage which is tied to the on-board 3.3V supply rail.

Symbol	Parameter	Conditions	Minimum	Typical	Maximum	Unit
V_{IL}	Input low voltage ^a	VDD_IO = 3.3V	-	-	TBD	V
V_{IH}	Input high voltage ^a	VDD_IO = 3.3V	TBD	-	-	V
I_{IL}	Input leakage current	TA = +85°C	-	-	TBD	μA
C_{IN}	Input capacitance	-	-	TBD	-	pF
V_{OL}	Output low voltage ^b	VDD_IO = 3.3V, IOL = -2mA	-	-	TBD	V
V_{OH}	Output high voltage ^b	VDD_IO = 3.3V, IOH = 2mA	TBD	-	-	V
I_{OL}	Output low current ^c	VDD_IO = 3.3V, VO = 0.4V	TBD	-	-	mA
I_{OH}	Output high current ^c	VDD_IO = 3.3V, VO = 2.3V	TBD	-	-	mA
R_{PU}	Pullup resistor	-	TBD	-	TBD	kΩ
R_{PD}	Pulldown resistor	-	TBD	-	TBD	kΩ

^a Hysteresis enabled

^b Default drive strength (8mA)

^c Maximum drive strength (16mA)

Table 3: DC Characteristics

Pin Name	Symbol	Parameter	Minimum	Typical	Maximum	Unit
Digital outputs	t_{rise}	10-90% rise time ^a	-	TBD	-	ns
Digital outputs	t_{fall}	90-10% fall time ^a	-	TBD	-	ns

^a Default drive strength, CL = 5pF, VDD_IO = 3.3V

Table 4: Digital I/O Pin AC Characteristics

5.1 GPIO Interface

The Pi4B makes 28 BCM2711 GPIOs available via a standard Raspberry Pi 40-pin header. This header is backwards compatible with all previous Raspberry Pi boards with a 40-way header.

5.1.1 GPIO Pin Assignments

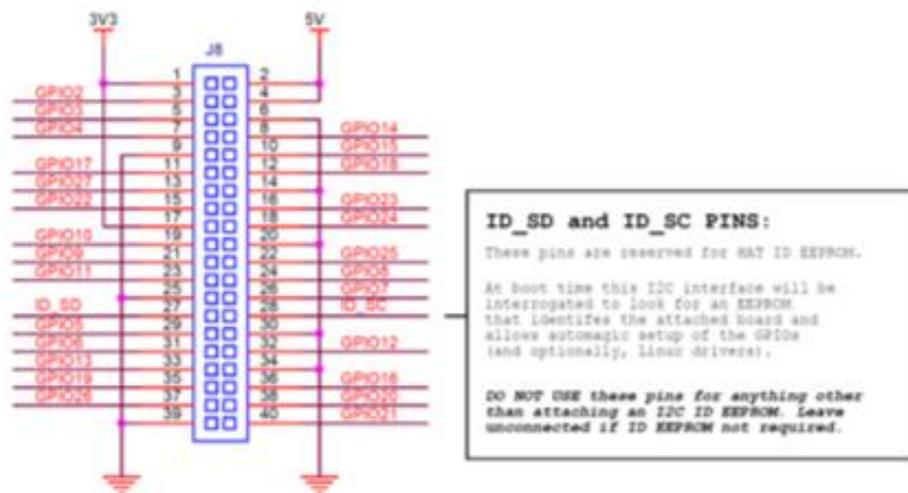


Figure 3: GPIO Connector Pinout

Anexo 9: Características técnicas de la pantalla HDMI



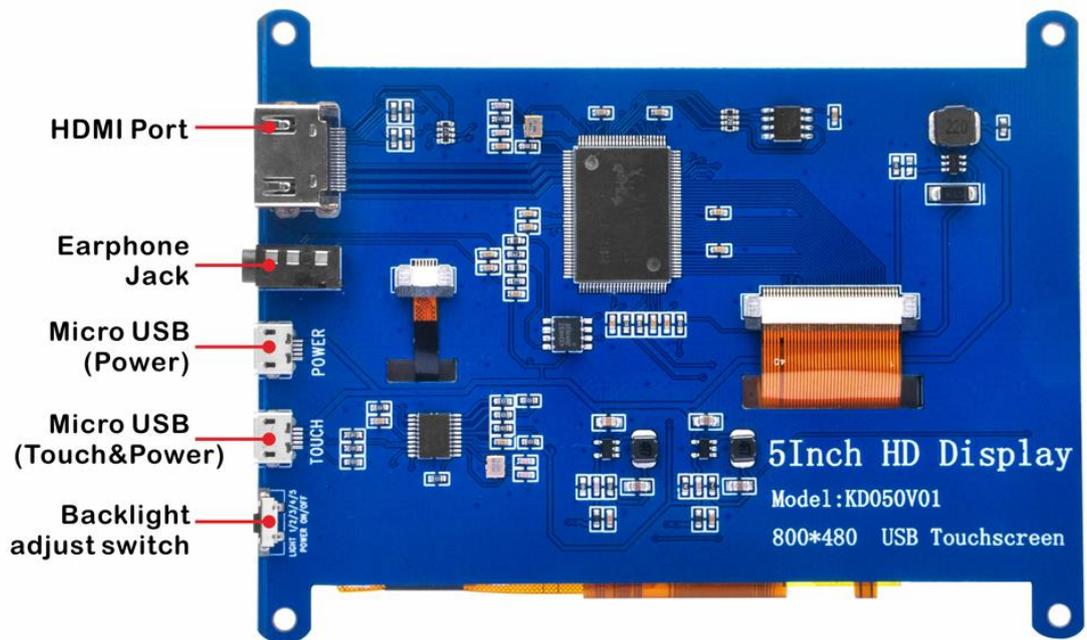
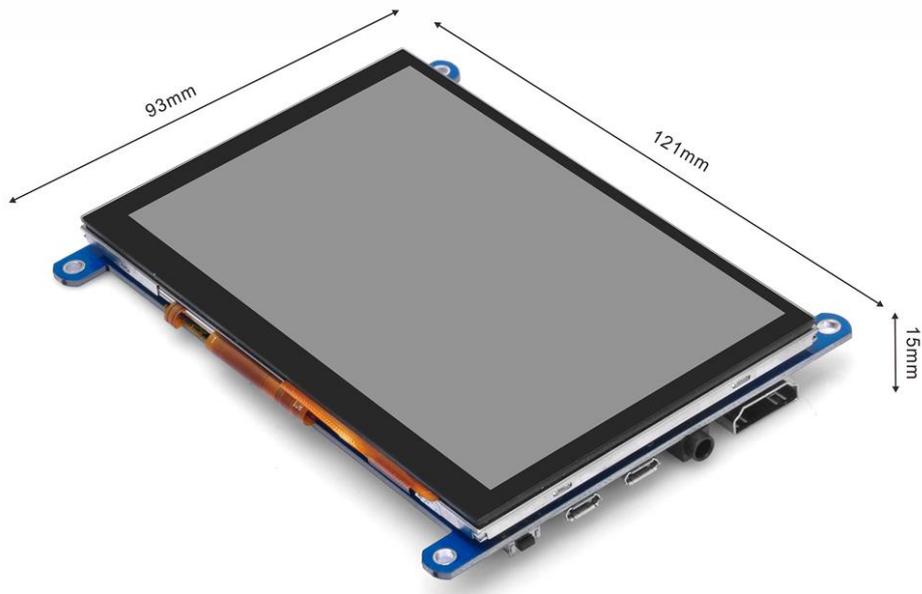
Este producto es una pantalla HDMI universal, resolución súper clara de 800 × 480, compatible con raspberry PI y una variedad de mini PC, también se puede usar como monitor de computadora.

2. Características

- Control táctil capacitivo USB.
- Soporta salida de audio HDMI.
- Unidad libre, Plug and play
- Con interruptor de ajuste de retroiluminación de 4 niveles
- Un puerto de alimentación USB adicional para resolver la fuente de alimentación baja
- Sistema de soporte: Win7, Win8, Win10, Win11, XP, sistema Linux, Mas OS, Raspbian, Ubuntu MATE, Lubuntu, Snappy Ubuntu Core, OSMC, Windows 10 IOT Core, etc.
- Dispositivo de soporte: Raspberry Pi 4, 3b 3B+, 2, Cámara, DV, PC y otros dispositivos con interfaz HDMI/micro HDMI

3. Especificaciones

- Tamaño: 5.0 (pulgadas)
- La resolución física es 800*480. Admite resolución ajustada de 800 × 480 a 1920 × 1080
- Toque: toque capacitivo de 5 puntos (pero Raspbian solo admite 1 dedo),
- Salida de audio: soporte
- Dimensiones: 121*93*15 (mm)
- Peso: 127 (g)
- Temperatura de trabajo -5° C a 38° C . No sugiera trabajar en un ambiente de alta humedad o temperatura extrema.



Anexo 10: Código del nodo de sensorización

```
#include <TinyGPS++.h>
TinyGPSPlus gps;
#include <HardwareSerial.h>
#include <LoRa.h>
#include "boards.h"

#define RXD2 13 //
#define TXD2 14//
int counter = 0;

#define RE 25
#define DE 15

//const byte code[] = {0x01, 0x03, 0x00, 0x1e, 0x00, 0x03, 0x65, 0xCD};
const byte nitro[] = {0x01,0x03, 0x00, 0x1e, 0x00, 0x01, 0xe4, 0x0c};
const byte phos[] = {0x01,0x03, 0x00, 0x1f, 0x00, 0x01, 0xb5, 0xcc};
const byte pota[] = {0x01,0x03, 0x00, 0x20, 0x00, 0x01, 0x85, 0xc0};

byte values[11];

void setup()
{
  initBoard();
  // When the power is turned on, a delay is required.
  delay(1500);
  pinMode(RE, OUTPUT);
  pinMode(DE, OUTPUT);
  Serial2.begin(9600, SERIAL_8N1, RXD2, TXD2);

  pinMode(38, INPUT_PULLUP);

  Serial.println("LoRa Sender");
  LoRa.setPins(RADIO_CS_PIN, RADIO_RST_PIN, RADIO_DI0_PIN);
  if (!LoRa.begin(LoRa_frequency)) {
    Serial.println("Starting LoRa failed!");
    while (1);
  }

  Serial.println(F("DeviceExample.ino"));
  Serial.println(F("A simple demonstration of TinyGPS++ with an
attached GPS module"));
  Serial.print(F("Testing TinyGPS++ library v. "));
  Serial.println(TinyGPSPlus::libraryVersion());
  Serial.println(F("by Mikal Hart"));
  Serial.println();
}
```

```

void loop()
{

  byte val1, val2, val3;
  val1 = nitrogen();
  delay(250);
  val2 = phosphorous();
  delay(250);
  val3 = potassium();
  delay(250);

  Serial.print("Nitrogen: ");
  Serial.print(val1);
  Serial.println(" mg/kg");
  Serial.print("Phosphorous: ");
  Serial.print(val2);
  Serial.println(" mg/kg");
  Serial.print("Potassium: ");
  Serial.print(val3);
  Serial.println(" mg/kg");
  delay(2000);

  String data_gps;
  // This sketch displays information every time a new sentence is
correctly encoded.
  while (Serial1.available() > 0)
    if (gps.encode(Serial1.read()))
      data_gps=displayInfo();

  if (millis() > 5000 && gps.charsProcessed() < 10) {
    Serial.println(F("No GPS detected: check wiring."));
    while (true);
  }
  if (!digitalRead(38)){

    // send packet
    LoRa.beginPacket();
    LoRa.print("hello ");
    //LoRa.print(counter);
    LoRa.print(data_gps);
    LoRa.endPacket();
  }

#ifdef HAS_DISPLAY
  if (u8g2) {
    char buf[256];

```

```

        u8g2->clearBuffer();
        u8g2->drawStr(0, 12, "Transmitting: OK!");
        snprintf(buf, sizeof(buf), "Sending: %d", counter);
        u8g2->drawStr(0, 30, buf);
        u8g2->sendBuffer();
    }
#endif
    counter++;
    delay(5000);
}

String displayInfo()
{
    String data_gps="";
    Serial.print(F("Location: "));
    if (gps.location.isValid()) {
        //Serial.print(gps.location.lat(), 6);
        //Serial.print(F(", "));
        //Serial.print(gps.location.lng(), 6);
        data_gps=String(gps.location.lat(),6)+String(gps.location.lng()
, 6);
    } else {
        Serial.print(F("INVALID"));
    }
    Serial.println(data_gps);
    return data_gps;
}

byte nitrogen(){
    digitalWrite(DE,HIGH);
    digitalWrite(RE,HIGH);
    delay(10);
    if(Serial2.write(nitro,sizeof(nitro))==8){
        digitalWrite(DE,LOW);
        digitalWrite(RE,LOW);
        for(byte i=0;i<7;i++){
            //Serial.print(mod.read(),HEX);
            values[i] = Serial2.read();
            Serial.print(values[i],HEX);
        }
        Serial.println();
    }
    return values[4];
}

byte phosphorous(){
    digitalWrite(DE,HIGH);

```

```

digitalWrite(RE,HIGH);
delay(10);
if(Serial2.write(phos,sizeof(phos))==8){
    digitalWrite(DE,LOW);
    digitalWrite(RE,LOW);
    for(byte i=0;i<7;i++){
        //Serial.print(mod.read(),HEX);
        values[i] = Serial2.read();
        Serial.print(values[i],HEX);
    }
    Serial.println();
}
return values[4];
}

byte potassium(){
    digitalWrite(DE,HIGH);
    digitalWrite(RE,HIGH);
    delay(10);
    if(Serial2.write(pota,sizeof(pota))==8){
        digitalWrite(DE,LOW);
        digitalWrite(RE,LOW);
        for(byte i=0;i<7;i++){
            //Serial.print(mod.read(),HEX);
            values[i] = Serial2.read();
            Serial.print(values[i],HEX);
        }
        Serial.println();
    }
    return values[4];
}
}

```

Anexo 11: Código de Lora Gateway

```
#include <SPI.h>
#include <LoRa.h>
#include <Wire.h>
#include "SSD1306.h"
#include "images.h"

#define SCK      5    // GPIO5  -- SX1278's SCK
#define MISO     19   // GPIO19 -- SX1278's MISO
#define MOSI     27   // GPIO27 -- SX1278's MOSI
#define SS       18   // GPIO18 -- SX1278's CS
#define RST      23   // GPIO14 -- SX1278's RESET
#define DI0      26   // GPIO26 -- SX1278's IRQ(Interrupt Request)
#define BAND     915E6

String estado;
int countBlanco = 0;

SSD1306 display(0x3c, 21, 22);
String rssi = "RSSI --";
String packSize = "--";
String packet ;

void loraData(){
    display.clear();
    display.setTextAlignment(TEXT_ALIGN_LEFT);
    display.setFont(ArialMT_Plain_10);
    display.drawString(0 , 15 , "Received "+ packSize + " bytes");
    display.drawStringMaxWidth(0 , 26 , 128, packet);
    display.drawString(0, 0, rssi);
    display.display();
    Serial.println(rssi);
    countBlanco = 0;
}

void cbk(int packetSize) {
    packet = "";
    estado = "";
    packSize = String(packetSize,DEC);
    Serial.println(packetSize);
    char leerLoRa[packetSize];

    //for (int i = 0; i < packetSize; i++) {packet += (char)
    LoRa.read();}
    for (int i = 0; i < packetSize; i++) {
```

```

    leerLoRa[i] = (char) LoRa.read();
    //Serial.println(leerLoRa[i]);
    int leerBlanco = (leerLoRa[i]);
    packet = String(packet + leerLoRa[i]);

    if(leerBlanco == 32){
        countBlanco = 1;
    }
    if(countBlanco == 0){
        estado = String(estado + leerLoRa[i]);
    }
    }
    packet=packet;
    Serial.println(estado);
    Serial.println(packet);
    rssi = "RSSI " + String(LoRa.packetRssi(), DEC) ;
    loraData();
}

void setup() {
    pinMode(25,OUTPUT);

    Serial.begin(115200);
    while (!Serial);
    Serial.println();
    Serial.println("LoRa Receiver Callback");
    SPI.begin(SCK,MISO,MOSI,SS);
    LoRa.setPins(SS,RST,DI0);
    if (!LoRa.begin(915E6)) {
        Serial.println("Starting LoRa failed!");
        while (1);
    }
    //LoRa.onReceive(cbk);
    LoRa.receive();
    Serial.println("init ok");
    display.init();

    display.flipScreenVertically();
    display.setFont(ArialMT_Plain_10);
    display.drawString(0,0,"Inicializado");

    delay(1500);
}

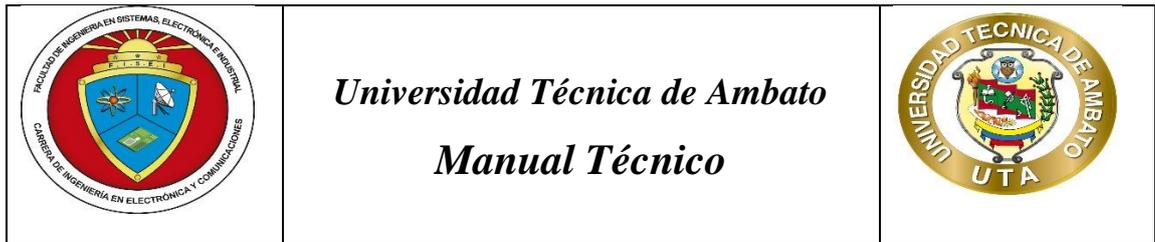
void loop() {

    int packetSize = LoRa.parsePacket();
    if (packetSize) { cbk(packetSize); }
}

```

```
if(estado == "ON"){
digitalWrite(25,1);
}
if(estado == "OFF"){
digitalWrite(25,0);
}
/*if(estado == "TOGGLE"){
digitalWrite(25,1);
delay(500);
digitalWrite(25,0);
delay(500);
}*/
//delay(10);
}
```

Anexo 12: Manual técnico



1. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

1.1 Objetivo

Dar a conocer el uso adecuado del sistema de medición y monitoreo de variables químicas de los suelos agrícolas de manera descriptiva los aspectos técnico y funcionalidad del dispositivo portátil

1.2 Alcance

El manual técnico va dirigido al personal administrativo o técnico de la institución que vaya adquirir para dar a conocer la información necesaria para realizar la debida utilización, mantenimiento e instalación del sistema

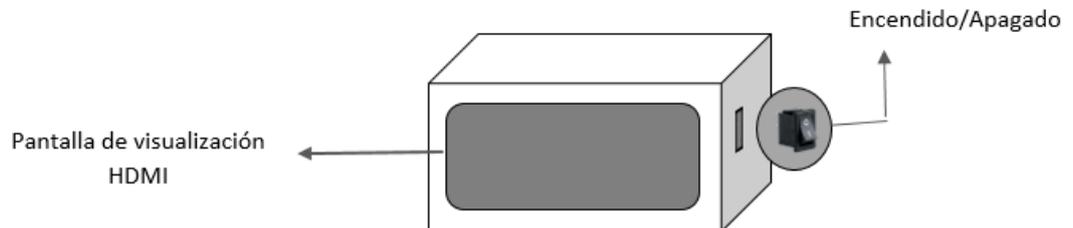
1.3 Funcionalidad

El sistema de medición y monitoreo de variables químicas de los suelos agrícolas desarrollado en código libre en una tarjeta electrónica Raspberry Pi montado un servidor en el sistema operativo Raspbian, se utilizó el lenguaje de programación Python por su simplicidad e interpretación permitiendo la facilidad de interacción entre el usuario y el dispositivo por la interfaz, gracias a sus extensas librerías que contiene. Además, que tiene comunicación de bajo consumo de energía y de gran alcance para los sectores rurales la tecnología LoRa.

El sistema adquiere los nutrientes del suelo mediante el sensor NPK permitiendo al agricultor conocer la fertilidad del suelo antes de realizar el sembrío y tomar

El sistema cuenta con un módulo de visualización y un módulo de medición.

2. MÓDULO DE VISUALIZACIÓN



El sistema trabaja en modo administrador exclusivamente para el personal técnico de la institución quien gestionará los datos del cliente y la toma de datos de la medición. Para ello se realiza el siguiente procedimiento.

Al iniciar el sistema

La pantalla principal del sistema se ilustra información como:

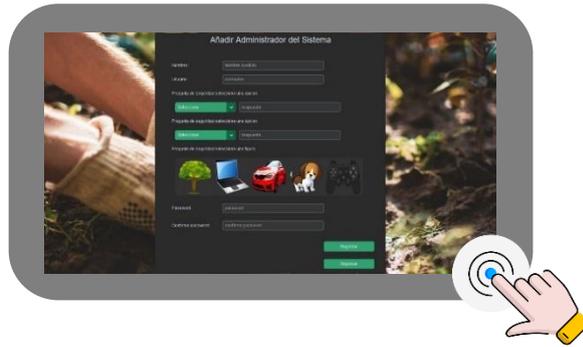
- Registrar
- Iniciar sesión
- Recuperar clave



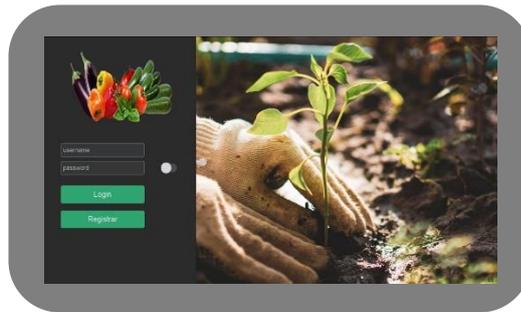
Registrarse en el sistema

El administrador o encargado técnico debe seleccionar “registrar” y proceder a llenar todos los campos de información sugeridos para el registro como:

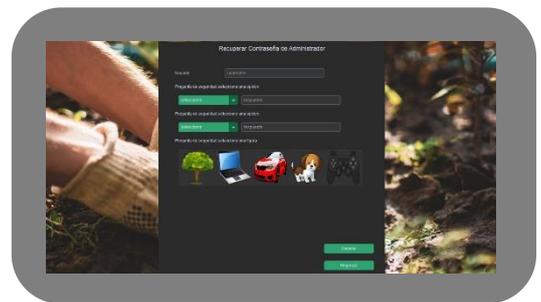
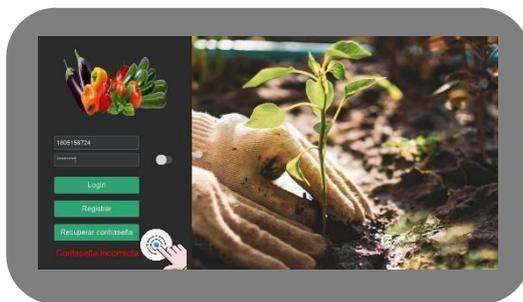
- Nombre
- Usuario
- Preguntas de seguridad
- Contraseña



Iniciar sesión



En caso de olvidar “usuario o contraseña” existe la opción de recuperar para realizar el cambio o actualización de la información



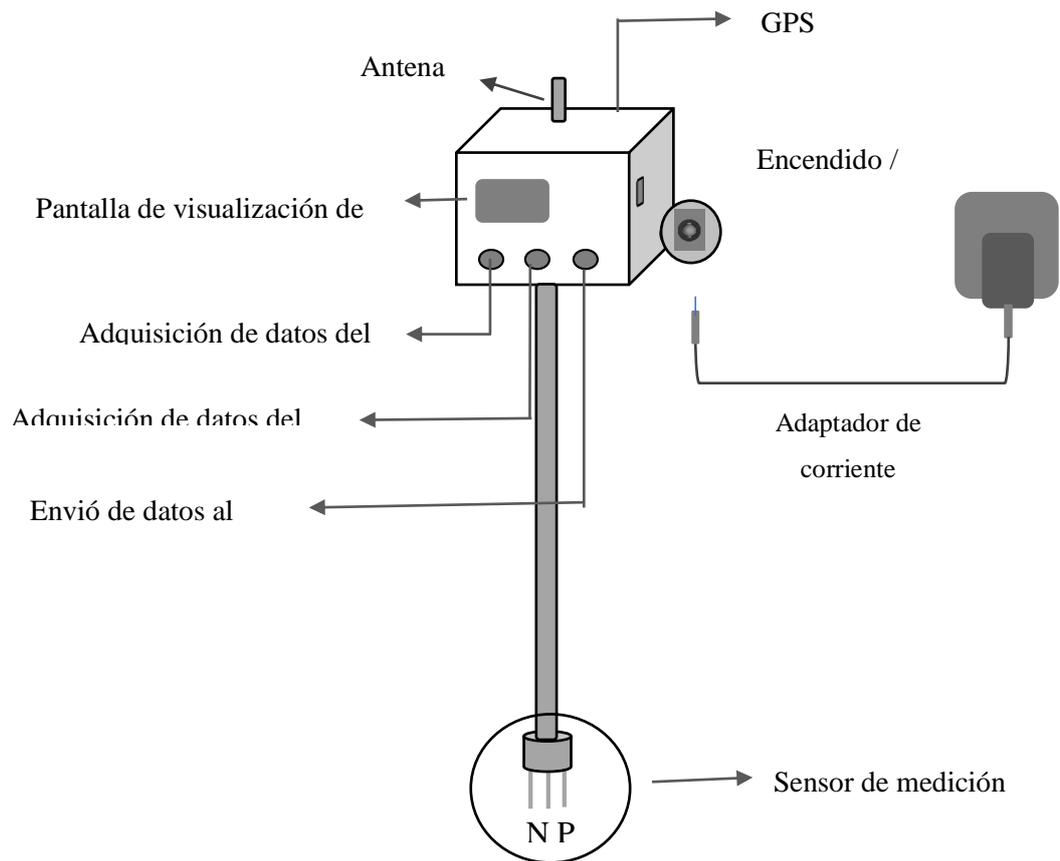
Al iniciar sesión se mostrará los parámetros específicos para la medición

- Identificador del productor
- Área del terreno
- Tipo de muestreo
- Número de muestra



Estos son los parámetros para la toma de muestras y gestiona los datos que el supervisor necesita para ver si el suelo necesita o no fertilización.

3. MÓDULO DE MEDICIÓN



1. Encender el dispositivo de medición
2. Verificar la batería, en caso de estar baja poner a cargar
3. Encender el módulo de visualización
4. Acceder al usuario como administrador
5. Seleccionar los parámetros más acordes para su medición como:
 - Identificador del productor
 - El área de medición
 - El tipo de muestreo
 - Cantidad de muestras
6. Antes de realizar la medición de los nutrientes del suelo con el dispositivo asegurarse que la tierra se encuentre húmeda.
7. Proceder a realizar la medición respectiva de acuerdo al tipo de muestreo que haya planificado para conocer los nutrientes
8. Pulsar el botón de adquisición de datos del sensor
9. Verificar los datos medidos en la pantalla oled y por último accionar el pulsador de envío de datos al servidor.