



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA**

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

**DISEÑO DE UN SISTEMA BASADO EN IOT PARA MONITOREAR LA
NUTRICIÓN DEL SUELO EN CULTIVOS DE CACAO**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
título de Ingeniero Electrónico

AUTORES: SANTIAGO ANDRÉS QUINDE LOJA
MIGUEL RENATO RIVERA GUERRERO

TUTOR: ING. MÓNICA KAREL HUERTA, PhD.

Cuenca – Ecuador

2023

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Santiago Andrés Quinde Loja con documento de identificación N° 0105142780 y Miguel Renato Rivera Guerrero con documento de identificación N° 0704607795; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 28 de julio del 2023

Atentamente,

Santiago Andrés Quinde Loja

0105142780

Miguel Renato Rivera Guerrero

0704607795

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Nosotros, Santiago Andrés Quinde Loja con documento de identificación N° 0105142780 y Miguel Renato Rivera Guerrero con documento de identificación N° 0704607795, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto Técnico: “Diseño de un sistema basado en IOT para monitorear la nutrición del suelo en cultivos de cacao”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Electrónico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 28 de julio del 2023

Atentamente,

Santiago Andrés Quinde Loja

0105142780

Miguel Renato Rivera Guerrero

0704607795

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Mónica Karel Huerta con documento de identificación N ° 0151450426, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO DE UN SISTEMA BASADO EN IOT PARA MONITOREAR LA NUTRICIÓN DEL SUELO EN CULTIVOS DE CACAO, realizado por Santiago Andres Quinde Loja con documento de identificación N° 0105142780 y Miguel Renato Rivera Guerrero con documento de identificación N° 0704607795, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 28 de julio del 2023

Atentamente,



Ing. Mónica Karel Huerta, Ph.D.

0151450426

AGRADECIMIENTOS

Agradecimiento de Santiago Andrés Quinde Loja

Agradezco primeramente a Dios por permitirme dar un paso adelante a la vida, con el apoyo de mis padres y mi familia al darme un impulso para cumplir mis metas. De igual manera agradezco a los docentes que me apoyaron durante la carrera universitaria compartiendo sus conocimientos y experiencias. A mis amigos por su amistad que me apoyaron a Victor, Jhonny, Leimer y Daniel que se compartió muchos conocimientos y alegrías. A mi tutora PhD. Monica Huerta y compañero de tesis Renato Rivera por formar parte del proceso de investigación de la realización del trabajo de titulación.

Agradecimiento de Miguel Renato Rivera Guerrero

Agradezco a la PhD. Mónica Huerta por su guía y ayuda durante esta investigación, a los ingenieros Freddy Rivera, Flavio Quispe, Angel Soto, Eduardo Pinos, Geovani Sagbay por su invaluable colaboración en todo el proceso realizado. Además agradezco a la Ing Diana Lopez por toda la paciencia mostrada en cada uno de los procesos realizados. También agradecer a cada una de las personas que formaron parte de todo el proceso que ha conllevado llegar al objetivo final, desearía nombrarlos a todos pero por temor a olvidarme de alguien lo haré en forma general gracias a cada uno de ellos.

DEDICATORIAS

DEDICATORIA

Dedicatoria de Santiago Andrés Quinde Loja

Agradezco a mis padres por motivarme a seguir adelante, por brindarme su apoyo incondicional en momentos difíciles, y por su tolerancia y dedicación en mi educación y vida.

Dedicatoria de Miguel Renato Rivera Guerrero

A mis padres por ser el pilar fundamental en cada uno de los pasos que he dado en mi vida y estar siempre con su apoyo incondicional. A cada uno de mis enemigos por siempre estar pendientes de cada uno de mis logros, gracias totales.

Índice general

Agradecimientos	I
Dedicatorias	II
Índice General	III
Índice de figuras	VII
Índice de tablas	VIII
Resumen	IX
Abstract	X
Introducción	1
0.1. Antecedentes	1
0.2. Justificación	5
0.3. Objetivo General	6
0.3.1. Objetivos Específicos	6
1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	7
1.1. Producción de Cacao	7
1.2. Tipos de Cacao en el Ecuador	8
1.2.1. Cacao Criollo	8
1.2.2. Cacao Forastero	9
1.2.3. Cacao Trinitario	10
1.2.4. Cacao Nacional del Ecuador	11

1.3. Nutrición de Suelo para Cacao	12
1.3.1. Análisis de Suelo	12
1.3.2. Análisis Foliar	13
1.3.3. Deficiencias Nutricional del Cacao	14
1.4. Internet de las Cosas (IoT)	17
1.5. Tecnologías de Conectividad para IoT	18
2. MARCO METODOLÓGICO	20
2.1. Diseño del Sistema de Monitoreo de Nutrientes del Suelo para Cultivos de Cacao	20
2.2. Fase de Adquisición de Datos	21
2.2.1. Sensor serial NPK (485)	21
2.2.2. Módulo MAX485	25
2.3. Fase de procesamiento	26
2.4. Fase de transmisión	27
2.5. Fase de almacenamiento	28
2.6. Fase de visualización	29
2.6.1. Pantalla OLED	30
2.6.2. Pybytes	31
2.7. Diseño Protección y Placa PCB	31
2.8. Diseño de Sistema	33
2.8.1. Conexión de Arduino Nano, Pycom FiPy 1.0, Módulos y Sensores	33
2.8.2. Topología de Red	34
2.9. Escenarios de Evaluación	34
2.10. Plataforma IoT Pybytes	38
3. Análisis de resultado	40
3.1. Desarrollo del Sistema de Medición de Nutrientes	40
3.2. Ubicación del Nodo en el Cultivo de Cacao	41
3.3. Almacenamiento de los Datos Adquiridos	42
3.4. Análisis de suelo	43
3.5. Resultado prueba de laboratorio	44

<i>ÍNDICE GENERAL</i>	v
3.6. Resultado prueba de sitio	45
4. Conclusiones	48
Glosario	51
Referencias	56
Anexos	57

Índice de figuras

1.1. Cacao Criollo.	9
1.2. Cacao Forastero.	10
1.3. Cacao Trinitario.	10
1.4. Cacao Nacional del Ecuador.	11
1.5. Deficiencias nutricionales de cacao.	14
2.1. Diagrama del sistema de Monitoreo de Nutrientes de Suelo para cultivos de Cacao. . .	21
2.2. Sensor NPK.	23
2.3. Cableado Sensor NPK.	23
2.4. Módulo MAX485.	26
2.5. Arduino Nano	27
2.6. Modulo Pycom modelo fipy 1.0	28
2.7. Expansion Board v3.1	29
2.8. Dispositivo pantalla OLED	30
2.9. Plataforma Pybytes.	30
2.10. Diseño de tapa en 3D.	31
2.11. Diseño base en 3D	32
2.12. Diseño de placa en EasyEDA en vista 2D	32
2.13. Diseño de placa en EasyEDA en vista 3D	33
2.14. Comunicación y Alimentación de Dispositivos	33
2.15. Conexión de red de nodo al usuario	34
2.16. Ubicación del terreno con cultivo de cacao a evaluar	35
2.17. Desnivel de terreno suelo arcilloso y arenoso	36
2.18. Estudio de terreno suelo arcilloso	37

2.19. Estudio de prueba suelo arenoso	37
2.20. Plataforma Pybytes nombre de proyecto y conexión de dispositivo	38
2.21. Plataforma Pybytes dashboard	38
2.22. Plataforma Pybytes Signals	39
3.1. Desarrollo del Sistema de Medición de Nutrientes	41
3.2. Ubicación del Nodo en el Cultivo de Cacao, con un punto de acceso de suelo e internet	42
3.3. Programación para Lectura de Tarjeta SD	43
3.4. Archivo Creado y Visualizado en un computadora	43
3.5. Prueba realizado en Laboratorio.	45
3.6. Prueba realizada en lugar.	46
3.7. Prueba ubicación de sensor.	47
4.1. Diagrama de flujo de programación Wi-Fi.	57
4.2. Diagrama de flujo de programación Pycom y Arduino nano.	58

Índice de tablas

1.1. Elementos nutritivos de cacao	12
1.2. Niveles de nutrientes del suelo para el cultivo de cacao.	13
1.3. Absorción de nutrientes del cacao según la edad de la planta.	14
2.1. Características y hardware de sensor NPK.	22
2.2. Sistema de Medición del Sensor Serial NPK.	22
2.3. Conexión de Sensor NPK.	24
2.4. Comunicación del sensor.	24
2.5. Marco interrogativo trama de datos (transmisión).	25
2.6. Marco de respuesta trama de datos (Recepción).	25
2.7. Dirección de registro.	25
2.8. Especificaciones básicas de MAX485	26
2.9. Especificaciones básicas de Arduino Nano	27
2.10. Características pantalla OLED 0,96.	31
3.1. Análisis de suelo	44
3.2. Análisis de laboratorio	45
3.3. Análisis de sitio.	46

Resumen

En los últimos años, la producción de cacao ha experimentado un crecimiento significativo, lo que ha generado una mayor demanda como producto de consumo. El rendimiento del cultivo de cacao depende de diversos factores, tales como la exposición solar, la interacción entre diferentes variedades de cacao, las condiciones climáticas y la diversidad de los suelos en los que se cultiva. Estas condiciones tienen un impacto directo en la disponibilidad de nutrientes en el suelo, lo cual, a su vez, influye en el rendimiento de los cultivos. El principal desafío radica en la falta de sistemas automatizados en la agricultura y la ausencia de un sistema de monitoreo en tiempo real efectivo para evaluar los niveles de nutrientes en el suelo. Para abordar este problema, se desarrolló un sistema compuesto por un sensor NPK conectado a través de una interfaz RS485 a un microcontrolador. Los datos recopilados fueron procesados en el microcontrolador y se transmitieron mediante una conexión WiFi utilizando el módulo Pycom FiPy 1.0. La visualización de los datos se logró a través de una pantalla OLED, y se proporcionó acceso a través de la plataforma de Internet Pybytes. Además, se implementó una tarjeta de memoria SD para llevar un registro de los datos. Las pruebas desarrolladas con el prototipo permitieron medir con precisión los nutrientes del suelo y transmitir estos datos de manera eficiente a través de WiFi. La visualización en tiempo real de los niveles de nutrientes en la plataforma Pybytes proporcionó a los agricultores una herramienta valiosa para tomar decisiones informadas sobre la gestión de nutrientes y optimizar la calidad del cacao producido. Este proyecto demuestra que un enfoque de monitoreo puede mejorar la gestión de la nutrición del suelo en cultivos de cacao.

Palabras clave: Wi-Fi; SSDA; Fipy 1.0; OLED, Sensor NPK; UART, Pybytes .

Abstract

In recent years, cocoa production has experienced significant growth, which has led to increased demand for cocoa as a consumer product. Cocoa crop yields depend on several factors, such as solar exposure, the interaction between different cocoa varieties, climatic conditions and the diversity of soils in which cocoa is grown. These conditions have a direct impact on the availability of nutrients in the soil, which in turn influences crop yield. The main challenge lies in the lack of automated systems in agriculture and the absence of an effective real-time monitoring system to assess soil nutrient levels. To address this problem, a system composed of an NPK sensor connected through an RS485 interface to a microcontroller was developed. The collected data were processed in the microcontroller and transmitted via a WiFi connection using the Pycom FiPy 1.0 module. Data visualization was achieved through an OLED display, and access was provided through the Pybytes Internet platform.

In addition, an SD memory card was implemented to keep track of the data. Tests developed with the prototype allowed accurate measurement of soil nutrients and efficient transmission of this data via WiFi. Real-time visualization of nutrient levels on the Pybytes platform provided farmers with a valuable tool to make informed nutrient management decisions and optimize the quality of cocoa produced. This project demonstrates that a monitoring approach can improve soil nutrition management in cocoa crops.

Keywords: Wi-Fi; SSDA; Fipy 1.0; OLED, Sensor NPK; UART, Pybytes.

Introducción

0.1. Antecedentes

Hoy en día muchas personas optan por consumir productos cultivados y cosechados naturalmente, los llamados productos orgánicos, los cuales no han sido fertilizados químicamente. Por esta razón, el campo de la agricultura se ha vuelto de los sectores que impactan en la economía de los países. Para obtener plantaciones eficientemente naturales y productos de excelencia, es primordial llevar a cabo un monitoreo y evaluación de los distintos factores que afectan los cultivos, tales como, la humedad, la radiación solar, efecto invernadero, plagas, nutrición del suelo, entre otros [1].

Según los datos recopilados en 2009 por la Federación Internacional de Movimientos de Agricultura Orgánica (IFOAM), aproximadamente 37.2 millones de hectáreas fueron destinadas al cultivo de productos orgánicos. Esta extensión representa cerca del 0.9% de la superficie agrícola global. A nivel regional, las principales contribuciones a la producción orgánica provinieron de Latinoamérica, Europa y Oceanía, que sumaron conjuntamente el 81 % del total de áreas orgánicas a nivel mundial. Entre los países que lideraron en superficie dedicada al cultivo orgánico destacaron Australia con 12 millones de hectáreas, Argentina con 4.4 millones de hectáreas y Estados Unidos con 1.9 millones de hectáreas [2].

En el ámbito de la agricultura orgánica, los cultivos más prominentes son el café, con una extensión de 2.1 millones de hectáreas, seguido por las aceitunas con 1.7 millones de hectáreas, el cacao con 1.2 millones de hectáreas y las uvas con 0.9 millones de hectáreas. Además, en menor proporción, se cultivan nueces y té [2].

En los últimos años, la producción de cacao ha experimentado un crecimiento

significativo, generando una mayor demanda como producto de consumo. Este aumento en la producción ha contribuido al fortalecimiento de la cadena de valor. En la actualidad, aproximadamente 3.3 millones de toneladas de cacao en grano se exportan a nivel mundial. El continente africano se destaca como el principal líder en la producción de cacao, abarcando el 66 % de la oferta mundial. A continuación, Asia contribuye con el 17.5 % de la producción, mientras que América Latina y el Caribe aportan el 15 % [3].

De acuerdo a la Organización Internacional del Cacao (ICCO), el cacao criollo fino representa entre el 70 % y el 100 % en las exportaciones de cacao en países como: Ecuador, Bolivia, México, Perú, Costa Rica y Colombia. A pesar de esto, la región se enfrenta a desafíos significativos para establecer una posición competitiva sólida [4].

En el continente americano, el cultivo de cacao se extiende desde México hasta Brasil. Entre estos países, Brasil es el más destacado en términos de hectáreas cultivadas, representando el 40 % del total de la región. Le siguen Ecuador con el 24 %, Colombia con el 9 %, República Dominicana con el 9 %, Perú con el 6 % y Venezuela con el 4 % en cuanto a la cantidad de hectáreas sembradas [5].

En lo que respecta a la variedad cacao criollo fino de aroma, América Latina ocupa el primer puesto como principal región productora a nivel global, abarcando aproximadamente el 80 % de la producción total. Dentro de esta región, Ecuador sobresale como el mayor productor de esta variedad de cacao, contribuyendo con el 54 % de la producción mundial. Esto se debe a la diversidad genética del cacao criollo fino, las condiciones climáticas favorables y la disponibilidad de suelos propicios para su cultivo en el país [6].

En Ecuador, el uso del suelo por hectárea es de 1.442.973 (en lo que corresponde a la categoría cultivos permanentes), como es el caso de: cacao, maíz, arroz, palma aceitera, banano, entre otros. Los cuales representan los cinco principales cultivos en el país. Estos datos corresponden al año 2021. El cacao ocupa el primer puesto en hectáreas de superficies plantadas con un total de 590.579, de las cuales 527,347 hectáreas de superficie son cosechadas, y se obtiene un total de 327,903 toneladas de producción de cacao, con un rendimiento de 0.62 (t/ha) [7]. El 80 % de los cultivos de cacao se encuentran concentrados en las provincias de Los Ríos, Guayas, Manabí,

Esmeraldas, Oro y Santa Elena. El resto se distribuye en las provincias de Chimborazo, Bolívar, Cotopaxi, Pichincha, Azuay, Sucumbíos, Orellana, Napo y Zamora Chinchipe.

En la provincia de El Oro al sur de Ecuador el total de cultivos permanentes es de 57,761 hectáreas, los principales productos cultivados son, banano, arroz, cacao, maíz y fréjol. A nivel de esta provincia, la producción de cacao ocupa el segundo lugar en superficie plantadas, 9,944 hectáreas, de las cuales son 8,993 hectáreas de producción cosechadas y se obtienen 4,209 toneladas de producción de cacao con un rendimiento de 0,47 (t/ha) [7].

El rendimiento del cultivo de cacao está determinado por varios factores, como la exposición solar, la interacción entre diferentes variedades de cacao, las condiciones climáticas y la diversidad de suelos en los que se cultivan. Estas condiciones afectan la disponibilidad de nutrientes, lo cual influye en el rendimiento de los cultivos. En el suelo los nutrientes presentes y un pH ligeramente ácido aumentan la biodisponibilidad de los nutrientes, lo que a su vez mejora el rendimiento del cultivo. Por esta razón, se debe llevar un monitoreo preciso sobre los nutrientes del suelo que permitirá mejorar la calidad de producto [8], [9].

Los nutrientes del suelo del cacao se desarrollan por determinaciones analíticas de sus propiedades químicas y para ello se analizan los resultados representativos a profundidades de 0 a 30 cm para observar parámetros de fertilidad como lo son: pH, nitrógeno (N), fósforo (P), bases cambiables de potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), carbono (C) y textura [10].

Las investigaciones llevadas a cabo en los suelos de la costa de Ecuador han revelado la presencia de altos niveles de carbono (C) debido a la acumulación de hojarasca y residuos como mazorcas, ramas y raíces. Estas condiciones contribuyen a que el suelo tenga una textura arcillosa. El Nitrógeno (N), el cual es uno de los principales nutrientes del cacao, está relacionado con el potasio (K), ambos nutrientes pueden afectar el rendimiento de cultivo.

Estudios realizados en los cantones el Guabo, Machala, Santa Rosa y Pasaje; muestran suelos con alta variabilidad de fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg). Esta variabilidad se refleja en un desbalance nutricional. Para mitigar esta situación, en los suelos cacaoteros se aplican fertilizantes con el fin de incrementar

la producción. Sin embargo, no existe un control automatizado para determinar las cantidades de fertilizantes fosfatadas suministradas [11], [12].

Existen varios estudios que respaldan la idea de que la aplicación de un control automatizado en la agricultura conduce a mejoras en la producción de cultivos. Un ejemplo de esto es el diseño e implementación de una red de sensores inalámbricos para el monitoreo de invernaderos de rosas, con el propósito de supervisar de manera continua el sistema de riego, los parámetros de climatización e iluminación. Esta tecnología resulta beneficiosa para las empresas agrícolas dedicadas al cultivo de rosas, como se describe en el estudio de [13].

Otros estudios también respaldan la idea de que la implementación de un control automatizado en la agricultura mejora la producción de cultivos como el café y el chile. Estos estudios han utilizado redes de sensores inalámbricos para monitorear aspectos como la climatización, la iluminación y el riego de manera continua y rentable, como se evidencia en las investigaciones de [14], [15].

Adicionalmente, se ha desarrollado una plataforma tecnológica inteligente para ofrecer apoyo a los agricultores en la región de Azuay. En este contexto, se ha diseñado una arquitectura de IoT destinada al monitoreo agrícola, permitiendo la identificación de cultivos y la transmisión de datos al servidor de Internet. Estas aplicaciones han resultado de gran utilidad para fomentar el análisis y estudio de los sensores, así como para automatizar el proceso de análisis de nutrientes del suelo en el cultivo de cacao, como se detalla en el estudio de [16].

En otro estudio llevado a cabo, se presenta un proyecto para crear una Red de Sensores Inalámbricos (WSN) que tenga la capacidad de controlar y monitorear los parámetros ambientales en los cultivos de cacao. El objetivo principal es proteger y promover la salud y desarrollo de los cultivos a través de la aplicación de tecnología de Internet de las cosas (IoT). Los agricultores tendrán la posibilidad de supervisar factores climáticos, recolectar y transmitir datos relevantes para el cultivo, lo que permitirá mejorar la implementación del cultivo de cacao [17]. Esto se logrará gracias a la utilización de sensores y una base de datos integrada en el sistema IoT [18], [19].

Uno de los estudios relevantes en el ámbito de la agricultura de precisión en Ecuador se centra en el análisis del costo-beneficio de su aplicación. Este estudio

se enfocó en realizar una revisión bibliográfica para fundamentar teóricamente el impacto de las redes de comunicación y los dispositivos utilizados en este contexto, como se describe en [1].

Otros estudios se han dedicado a analizar las redes de sensores inalámbricos mediante investigaciones bibliográficas relacionadas con la aplicación de la agricultura de precisión en Ecuador. Estos trabajos han sido llevados a cabo por [20], [21], y [22].

Por otro lado, un estudio sugiere la implementación del Internet de las Cosas (IoT) en los sistemas de riego del sector agrícola, utilizando sensores y programación en la placa NodeMCU. Esta placa se encarga de recopilar datos y enviarlos a una plataforma gratuita de IoT llamada ThingSpeak, como se detalla en [23] y [24].

Este estudio presenta un diseño económico de un sistema de Internet de las Cosas (IoT) desarrollado para el monitoreo de los niveles de nutrientes en los cultivos de cacao. El propósito principal de esta propuesta es ofrecer a los pequeños y medianos productores agrícolas la capacidad de supervisar y registrar información relacionada con el estado de nutrición del suelo a través de una aplicación multiplataforma, que puede ser accedida desde la web o dispositivos móviles, entre otros. Con esta iniciativa, se busca alcanzar un crecimiento y producción óptimos en los cultivos de cacao al contar con datos precisos sobre la condición de los nutrientes en el suelo.

0.2. Justificación

El desconocimiento acerca del sistema de aplicación de nutrientes en el suelo representa un obstáculo significativo en el cultivo de cacao. Diversas condiciones climáticas y de nutrición del suelo pueden afectar el rendimiento y la producción de los cultivos. Por lo tanto, es de vital importancia que los pequeños productores tengan acceso a información sobre el estado de los nutrientes en sus campos de cultivo. Esto les permitirá realizar análisis del suelo y aplicar las dosis adecuadas de fertilizantes.

En el caso específico del cultivo de cacao, se deben tener en cuenta otros factores que influyen en la nutrición del suelo, como la humedad ambiental y del

suelo, la temperatura y la luminosidad. El uso inadecuado de fertilizantes es una problemática que afecta la fertilización y puede causar deficiencias nutricionales, salinidad, toxicidad y alteraciones en el sabor y los componentes clave para obtener cacao de alta calidad, tanto para la exportación como para el consumo local.

Por lo tanto, el desarrollo de un sistema basado en IoT para monitorear los nutrientes del suelo en los cultivos de cacao resulta fundamental para lograr una producción óptima y obtener un producto de alta calidad. Esta propuesta no solo mejorará el control de los nutrientes, sino que también facilitará la adopción de tecnologías por parte de los agricultores.

0.3. Objetivo General

- Diseñar un sistema basado en IoT para monitorear la nutrición del suelo en cultivos de cacao.

0.3.1. Objetivos Específicos

- Realizar una revisión bibliográfica del proceso de cultivo de cacao, requerimiento de nutrición del suelo, tecnologías basadas en IoT en el sector agrícola y aplicaciones en el funcionamiento de sensores para el monitoreo de nutrientes del suelo.
- Diseñar el sistema para monitoreo, procesamiento y visualización de los datos adquiridos
- Implementar el sistema de monitoreo de nutrientes del suelo.
- Realizar pruebas y comprobar el funcionamiento del sistema de nutrición del suelo para el cultivo del cacao.

Capítulo 1

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

En este capítulo se analiza la producción y los diferentes tipos de cacao, así como sus características y los requerimientos nutricionales en su crecimiento y producción. Además, se detallan tecnologías utilizadas en el proyecto, así como, las tecnologías de comunicación a Internet y el IoT.

1.1. Producción de Cacao

En Ecuador, la agricultura se ha convertido en los sectores importantes para la economía, generando empleo y proporcionando productos de primera necesidad para el consumo humano. En el sistema de siembra, procesamiento y comercialización de estos productos, es crucial asegurarse de que el suelo cuente con los minerales y nutrientes adecuados. Para realizar análisis del suelo, se están implementando técnicas manuales que permiten evaluar la cantidad de minerales y nutrientes presentes en él. En la actualidad, algunos agricultores están automatizando sus procesos mediante el uso de dispositivos tecnológicos, adoptando la tecnología de Internet. Esto les brinda la capacidad de monitorear y controlar de manera más precisa las condiciones del suelo y, por ende, optimizar los cultivos, incluyendo el cultivo de cacao.

El cultivo de cacao (*Theobroma cacao*) es ampliamente reconocido a nivel mundial por su distintivo aroma. Ecuador se ha destacado como un importante exportador de cacao "fino de aroma", un producto altamente valorado en la industria

del chocolate en América del Norte y Europa. En 2019, Ecuador fue el principal exportador de cacao en Latinoamérica y se ubicó entre los cuatro principales a nivel mundial. Durante los últimos diez años, las exportaciones de cacao han experimentado un incremento del 68 %, pasando de 315 toneladas en 2008 a 114,899 toneladas en el período de enero a mayo de 2020. El cacao en grano representa aproximadamente el 86 % de los productos de exportación, aunque también se exporta cacao procesado y en polvo. Sin embargo, las exportaciones de cacao se vieron afectadas en 2020 y 2022 debido a las restricciones impuestas por el estado de excepción declarado por el gobierno y las limitaciones comerciales provocadas por la pandemia del COVID-19. A pesar de esto, se han realizado esfuerzos para implementar tecnología en las actividades productivas y optimizar los recursos disponibles [25].

1.2. Tipos de Cacao en el Ecuador

Ecuador es reconocido por ser un país productor de cacao de alta calidad, y se distingue por cultivar cuatro variedades principales: forastero, criollo, trinitario y Nacional.

1.2.1. Cacao Criollo

Conocido como el rey del cacao", es valorado por su sabor excepcionalmente suave y aromático. Aunque su producción es limitada, Ecuador es uno de los pocos países donde se cultiva esta variedad de cacao. Los granos criollos son altamente apreciados en la industria del chocolate gourmet debido a su perfil de sabor único.

El cacao Criollo se caracteriza por árboles delgados que tienen rendimientos bajos y son más susceptibles a plagas. Representa entre el 5 y el 10 % de la cosecha a nivel mundial. Sus flores son de un delicado color rosado pálido y las mazorcas adquieren tonos rojos o amarillos cuando están maduras. Tienen diez surcos profundos, una textura muy rugosa y están moteadas. Los frutos tienen paredes finas y las semillas son redondas, grandes y pueden ser blancas o de un púrpura pálido. Estas semillas son las que se utilizan para producir el mejor chocolate. Este tipo de cacao

requiere un corto período de fermentación (2-3 días) y posee un aroma distintivo. Sin embargo, debido a su bajo rendimiento y su susceptibilidad a diversas enfermedades, su cultivo es poco común [25]. En la Figura 1.1 se puede apreciar la mazorca de Cacao Criollo en el árbol.



Figura 1.1: Cacao Criollo.

1.2.2. Cacao Forastero

Existe un tipo de cacao conocido como cacao amazónico debido a su distribución natural en América del Sur. La mayoría de su cultivo se lleva a cabo en Brasil y África Occidental, lo que representa aproximadamente el 80% de la producción mundial.

El cacao Forastero, también llamado cacao amazónico, muestra una amplia variabilidad y se encuentra en estado silvestre tanto en la alta Amazonia (Perú, Ecuador y Colombia) como en la baja Amazonia (Brasil, Guyanas y el río Orinoco en Venezuela). Se caracteriza por presentar estaminoides con una pigmentación de color púrpura, mazorcas verdes con más de 30 semillas de color púrpura. Otras variedades pueden mostrar mazorcas amarillas cuando maduran, tener una forma ovalada o amelonada, presentar surcos profundos en la superficie, con una cáscara lisa y un pericarpio delgado o grueso. Las semillas tienen extremos redondos [25]. En la Figura 1.2 se puede apreciar el producto terminado como chocolate y la fruta.



Figura 1.2: Cacao Forastero.

1.2.3. Cacao Trinitario

Los cacaos Trinitario son variedades intermedias entre Criollos y Forasteros, representando aproximadamente el 10 al 15 % de la producción mundial. Estos cacaos presentan una calidad variable entorno a su naturaleza híbridas.

La introducción del cultivo del cacao Trinitario tuvo lugar alrededor de 1890. Estas variedades se caracterizan por tener mazorcas de crecimiento vigoroso y un grano redondeado de color violeta claro. El color de las mazorcas puede variar entre rojo, púrpura y amelonado, mostrando características híbridas [25]. En la Figura 1.3 se puede apreciar la fruta en el árbol.



Figura 1.3: Cacao Trinitario.

1.2.4. Cacao Nacional del Ecuador

Es una variedad autóctona de Ecuador y ha sido reconocido como uno de los tesoros nacionales del país. Conocido por su delicado aroma floral y notas frutales, el cacao Nacional se cultiva principalmente en la región de Esmeraldas. Esta variedad se considera una joya de la industria chocolatera. Esta variedad es fuerte de sabor y aroma, su fermentación es corta correspondiente al cacao forastero, pero su producción se ha perdido por la incorporación de materiales resistentes, el cacao del Ecuador se relaciona más con la variedad Criolla. Los genotipos del cacao Nacional se caracterizan por tener una pigmentación rojo-rosada. Tienen una forma esférica y ligeramente estrecha, con una cáscara de rugosidad. Estos genotipos se cultivan principalmente en zonas secas, lo cual influye en su alta cosecha.

La variedad Nacional del cacao produce un chocolate con características distintivas, lo cual ha sido reconocido por la industria chocolatera internacional [25]. En la Figura 1.4 se representa el fruto del cacao proveniente de Ecuador.



Figura 1.4: Cacao Nacional del Ecuador.

1.3. Nutrición de Suelo para Cacao

La adecuada nutrición del suelo en el cultivo del cacao es crucial para garantizar su óptimo desarrollo y crecimiento, así como para lograr niveles de producción acordes con la variedad de cacao sembrada y su edad. Los nutrientes para el crecimiento se encuentran principalmente en el suelo, especialmente en la capa superior. Sin embargo, estos nutrientes pueden variar debido a la evolución del organismo, las condiciones climáticas y la meteorización de los materiales de origen, así como la presencia de sistemas orgánicos en el suelo [26].

Los elementos para el crecimiento se clasifican en categorías según la cantidad requerida por la planta. Estas categorías incluyen los macronutrientes, los micronutrientes y los oligoelementos, y cada uno cumple una función crucial que debe aprovecharse para lograr un crecimiento eficiente del cacao mediante un programa de nutrición adecuado. La aplicación de fertilizantes es beneficiosa para aprovechar los nutrientes presentes en el suelo y compensar cualquier deficiencia que pueda afectar el crecimiento y la producción óptima de los cultivos. Para lograr esto, es necesario un análisis de suelo, utilizando herramientas que permitan diagnosticar las características físico-químicas del terreno y evaluar la presencia de materia orgánica [26]. En la Tabla 1.1 se presentan los elementos nutritivos que la planta de cacao requiere para un óptimo crecimiento. Incluyen los elementos mayores, los secundarios y los menores cada uno cumple una función y esto se deben aprovechar para un crecimiento del cacao con un programa de nutrición eficiente.

Tabla 1.1: Elementos nutritivos de cacao .

Elementos mayores	Elementos secundarios	Elementos menores
Nitrogeno(N)	Calcio (Ca)	Boro(B);Cobre(Cu);Cobalto(Co);Hierro(Fe);Manganeso(Mn)
Fosforo (P)	Magnesio (Mg)	Niquel(Ni);Molibdeno(Mo);Silicio(Si)
Potasio (K)	Azufre (S)	Sodio(Na);Zinc(Zn).

1.3.1. Análisis de Suelo

La evaluación del suelo es una herramienta de diagnóstico esencial en la fertilización orgánica del suelo, especialmente al comenzar un proyecto en cultivos de cacao o al planificar un programa de nutrición en una plantación. Es fundamental

difundir las recomendaciones de nutrición y fertilización proporcionadas por laboratorios de diagnóstico a los expertos encargados de la dosificación y selección de productos a utilizar en las áreas de producción [26].

1.3.2. Análisis Foliar

El análisis de las hojas de las plantas es una herramienta útil para ajustar las recomendaciones de nutrición. La fertilización foliar se basa en la interpretación de los niveles críticos para determinar si existe alguna deficiencia de nutrientes y poder realizar ajustes en las futuras aplicaciones de fertilizantes. Los pasos necesarios para llevar a cabo este proceso son los siguientes:

- Muestras de diferentes recolecciones.
- Análisis en laboratorios.
- Interpretación de análisis para realizar recomendaciones.

El análisis de suelos se utiliza para desarrollar un plan de fertilización basado en los nutrientes requeridos por el cultivo, su disponibilidad en el suelo, la extracción de nutrientes (según la edad de la planta), la productividad y los parámetros ambientales del lugar de cultivo. Este estudio se enfoca en determinar los niveles de nutrientes absorbidos con el objetivo de mejorar la calidad del cultivo de cacao [27].

En la Tabla 1.2 se especifica la unidad y el nivel adecuado de cada nutriente para el crecimiento de la planta, mientras que en la Tabla 1.3 se describe el crecimiento de la planta desde el inicio del cultivo y su progresión en la producción de cacao.

Tabla 1.2: Niveles de nutrientes del suelo para el cultivo de cacao.

Nutrientes	Unidad mg/kg
Nitrógeno(N)	150-200
Fósforo(P)	20-30
Potasio(k)	150-250
Calcio (Ca)	200-600
Magnesio(Mg)	50-200
Azufre(S)	5-10

Tabla 1.3: Absorción de nutrientes del cacao según la edad de la planta.

Estado	Edad (Meses)	Nutricional (Kg/Ha)					
		N	P	K	Ca	Mg	Mn
Nacimiento	2 a 6	2,4	0,6	2,4	2,3	47	3,9
Desarrollo	28	136	14	151	113	71	7,1
Cosecha o producción	50	438	48	633	373	129	6,1

1.3.3. Deficiencias Nutricional del Cacao

Las deficiencias de nutrientes en el cacao pueden manifestarse tanto en las hojas como en los frutos, las flores y los brotes. Estas deficiencias afectan los requerimientos necesarios para el crecimiento y producción. Si no se corrigen estas deficiencias, el cultivo sufre una disminución en su producción, pérdida de frutos, aumento de plagas y enfermedades, lo que resulta en un rendimiento y producción bajos [26]. En la Figura 1.5 se ilustran los efectos causados en las hojas debido a la falta de nutrientes.

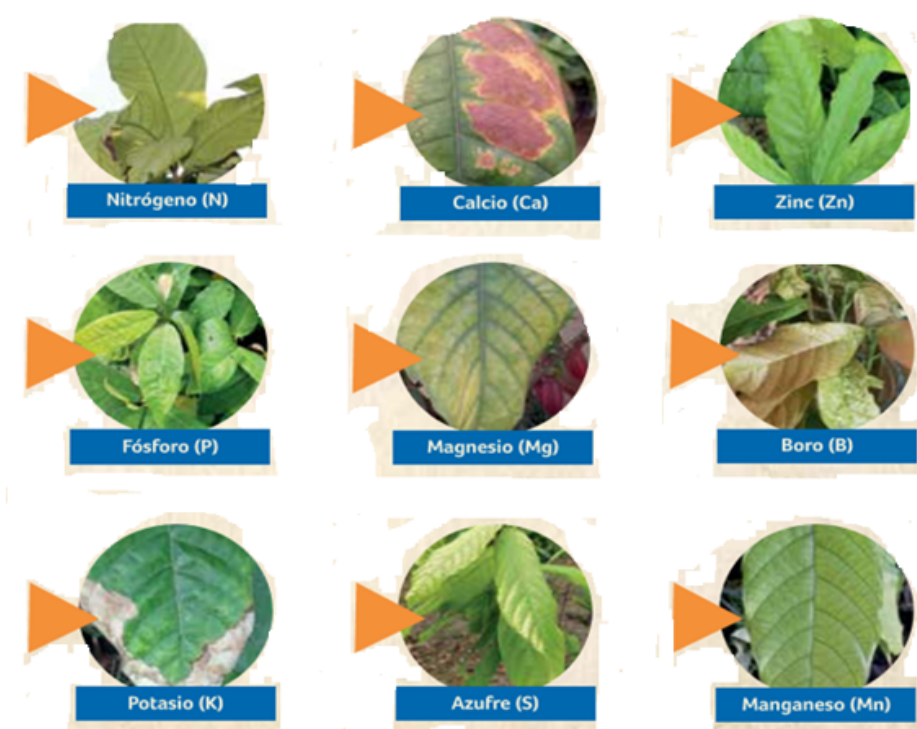


Figura 1.5: Deficiencias nutricionales de cacao.

Los nutrientes necesarios que deben tener movilidad en la planta son:

- Los nutrientes móviles, como el nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio, muestran deficiencias en las hojas más viejas.

- El azufre tiene una movilidad intermedia en la planta.
- Los nutrientes como el hierro, calcio, magnesio, cobre, zinc y boro tienen una movilidad limitada en la planta, lo que resulta en deficiencias que se observan principalmente en las hojas jóvenes.

Las deficiencias en la nutrición de las plantas y los frutos del cacao pueden tener diversos efectos negativos en su desarrollo y rendimiento. Los efectos incluyen:

- Retraso en el crecimiento: La falta de nutrientes esenciales puede retrasar el crecimiento de las plantas de cacao, lo que afecta su altura, ramificación y desarrollo general.
- Decoloración de las hojas: La deficiencia de nutrientes puede causar cambios en el color de las hojas, como amarillamiento, clorosis o manchas. Estos síntomas indican una falta de nutrientes necesarios para la fotosíntesis y otros procesos metabólicos.
- Disminución de la producción de flores y frutos: La falta de nutrientes puede afectar la formación y el desarrollo de las flores y los frutos del cacao. Esto puede resultar en una disminución en la producción de vainas de cacao y afectar la calidad de los granos.
- Mayor susceptibilidad a enfermedades y plagas: Las plantas de cacao debilitadas debido a deficiencias nutricionales son más susceptibles a enfermedades y plagas. Una nutrición deficiente debilita el sistema inmunológico de la planta, lo que la hace más vulnerable a las infecciones y los ataques de insectos y patógenos.
- Calidad inferior del grano de cacao: Las deficiencias nutricionales pueden afectar la calidad del grano de cacao, lo que se refleja en su sabor, aroma y textura. Esto puede influir negativamente en su valor comercial y en la producción de productos de chocolate de alta calidad.

Es importante asegurar una adecuada nutrición de las plantas de cacao mediante la aplicación de fertilizantes y el monitoreo regular de los niveles de

nutrientes en el suelo. Para ello, se debe conocer el efecto de la cada elemento en la planta como es el caso del Nitrógeno, el potasio, el calcio, entre otros. A continuación de detallan los más importantes.

Nitrógeno(N): En las hojas se manifiesta a través de un amarillamiento, hojas delgadas y crecimiento lento.

Fósforo(P): La planta muestra un crecimiento poco vigoroso con hojas de tamaño reducido que no alcanzan su pleno desarrollo. Las raíces son cortas, delgadas y no se extienden profundamente en el suelo. En las hojas viejas, aparenta el tono pálido en los bordes y puntas, mientras que las hojas jóvenes, las venas presentan una apariencia descolorida.

Potasio(K): Se pueden observar signos de deficiencia cuando los bordes de las hojas presentan un amarillamiento que se extiende hacia el centro de la hoja. Además, los frutos pueden estar vacíos en su interior, carecer de sabor y los entrenudos de la planta serán más cortos de lo normal.

Calcio(Ca): La deficiencia se manifiesta en la planta a través de la necrosis de las hojas jóvenes, formando islas en las venas que se distribuyen simétricamente alrededor de la vena central. En los frutos se pueden apreciar signos de putrefacción en la parte apical, así como deformaciones. Además, esta deficiencia afecta el desarrollo de las raíces, lo que conduce a la aparición de brotes marchitos y yemas que experimentan una caída prematura de las hojas.

Magnesio(Mg): La deficiencia presenta en síntomas de las hojas más viejas debido a una baja concentración de hidratos de carbono causada por una baja tasa de fotosíntesis. Esta deficiencia se da en viveros o suelo ácidos.

Azufre(S): En las hojas jóvenes se puede notar una palidez en el color y un crecimiento limitado. Esta condición se debe a una baja síntesis de proteínas

ocasionada por la escasez de aminoácidos, lo cual a su vez resulta en una disminución de clorofila.

Boro(B): La falta de nutrientes se evidencia en las hojas más jóvenes, las cuales exhiben un tamaño pequeño y una forma curvada debido al estrechamiento de la vena central. La lámina foliar adquiere una apariencia frágil y se observa una baja viabilidad del polen. Tanto los frutos como las flores presentan una formación deficiente. Esta deficiencia suele manifestarse principalmente en suelos alcalinos, arenosos y con una baja cantidad de materia orgánica.

Hierro(Fe): Se puede apreciar una ligera clorosis en las hojas más jóvenes, caracterizada por un color amarillo intenso en la lámina foliar, mientras que las nervaduras mantienen su color verde. En casos más graves, las hojas pueden presentar un blanqueamiento completo. Los tallos son delgados y cortos. Esta deficiencia ocurre en suelos mal drenados y con bajo contenido de materia orgánica.

Manganeso(Mn): En las hojas jóvenes, se manifiesta una clorosis intervenal, es decir, una decoloración amarillenta entre las nervaduras, mientras que las nervaduras mismas permanecen de color verde.

Zinc(Zn): Las hojas nuevas muestran deformaciones o alargamientos con una curvatura pronunciada en forma de hoz. Esta condición se debe a la presencia de suelos arenosos o alcalinos.

1.4. Internet de las Cosas (IoT)

Los expertos y especialistas están de acuerdo en que el nuevo sistema tendrá un impacto masivo en el mundo, convirtiendo diversos aspectos de la vida cotidiana, el trabajo, empresas y aspectos de nuestra realidad. Actualmente, podemos observar cómo dispositivos electrónicos, teléfonos y dispositivos portátiles, están conectados. Lo que destaca principalmente es la presencia de sensores ubicuos que miden

variables como temperatura, humedad, viento, luz, tráfico vehicular y de personas, entre muchas otras. Todo esto se interconecta para tomar decisiones relacionadas con la salud, el tráfico, la seguridad, la educación y otros aspectos.

Las aplicaciones de la tecnología son infinitas y la información obtenida a través de estas conexiones permitirá brindar servicios que antes eran impensables en algunos casos. Uno de los sectores que experimentará una transformación profunda gracias a estas tecnologías es la industria. Las aplicaciones de fábrica conectada pueden obtener información en tiempo real sobre el proceso de producción, el consumo de recursos, como energía y materiales, el estado del inventario, la flota de distribución y el estado de la planta y el equipo móvil, y brindar servicios como la mejora de la eficiencia y la productividad, la reducción de costos y la mejora de procesos. y la calidad del producto, así como la capacidad de personalizar la producción y otros beneficios.

Estas tecnologías se combinan con otras como la impresión en dimensiones, automatización en robots y la computación en la nube para formar la llamada cuarta revolución industrial o Industria 4.0 [28].

1.5. Tecnologías de Conectividad para IoT

Las tecnologías de conectividad para el IoT son esenciales para la comunicación de dispositivos con Internet, y entre estas se incluyen: WiFi, Bluetooth, Zigbee, RFID, LTE, LoRaWAN, Sigfox, entre otras.

- Wi-Fi: Tecnología inalámbrica de alta velocidad utilizado en hogares y oficina. Es una tecnología que se utiliza en áreas urbanas y comerciales.
- Bluetooth: Tecnología inalámbrica de corto alcance utilizados en dispositivos como auriculares, altavoces, sensores, entre otros.
- Zigbee: Tecnología de conectividad inalámbrica de potencia baja y bajo costo, se utiliza en componente como interruptores de luz, termostatos, sensores de movimiento, etc.
- RFID: Tecnología que se comunica por radiofrecuencia, utilizados en componentes seguimiento de activos, contenedores, vehículos, productos,

entre otros.

- LTE-M Y NB-IoT: Tecnologías de conectividad con celulares de baja potencia y alta velocidad, se utilizan como medidores inteligentes, sensores ambientales y dispositivos de seguimiento.
- LoRaWAN: Tecnología de conectividad inalámbrica de larga distancia y baja potencia utilizada en zonas rurales y de difícil acceso.
- Sigfox: tecnologías de bajo costo y potencia baja para áreas remotas y zonas rurales [29].

Capítulo 2

MARCO METODOLÓGICO

En el desarrollo de este capítulo, se proporciona una explicación detallada de las fases del diseño del sistema, así como de los dispositivos que desempeñan funciones fundamentales en la red de IoT. Estos dispositivos se encargan de adquirir, procesar, transmitir, almacenar y facilitar la visualización de los datos. Además, se aborda el diseño de las placas y los dispositivos que albergan los componentes necesarios para el sistema en cuestión. También se describen los Escenarios de Evaluación y la plataforma IoT Pybytes utilizada en el sistema propuesto.

2.1. Diseño del Sistema de Monitoreo de Nutrientes del Suelo para Cultivos de Cacao

La estructura del proyecto se divide en cinco etapas fundamentales: adquisición de datos, procesamiento de datos, transmisión de datos, almacenamiento de datos y visualización de datos. Cada una de estas etapas se encuentra detalladamente diseñada, incluyendo la descripción de los dispositivos y componentes pertinentes. En la Figura 2.1 se muestra el diagrama del sistema propuesto, basado en IoT, para monitorear los niveles de nutrientes en el suelo de los cultivos de cacao.

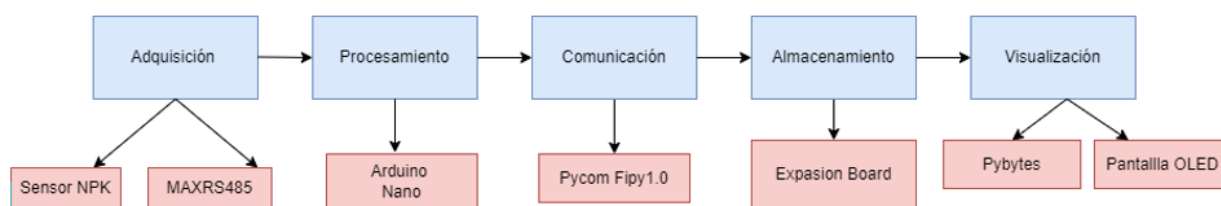


Figura 2.1: Diagrama del sistema de Monitoreo de Nutrientes de Suelo para cultivos de Cacao.

2.2. Fase de Adquisición de Datos

La evaluación de la nutrición del suelo en cultivos de cacao es un procedimiento estandarizado que implica mediciones analíticas de sus propiedades químicas. Estas análisis se efectúan a profundidades que van desde 0 hasta 30 cm, y los parámetros evaluados comprenden el pH, el nitrógeno (N), el fósforo (P), las bases intercambiables como el potasio (K), el calcio (Ca) y el magnesio (Mg), así como el carbono (C) y la textura del suelo [30].

En esta etapa, se procedió a la adquisición de datos para medir los parámetros de la nutrición del suelo, que incluyen componentes como nitrógeno, fósforo y potasio, además de la temperatura, humedad, conductividad y pH. Para llevar a cabo esta tarea, se utilizó el sensor NPK, el cual se conecta a los microprocesadores mediante el módulo MAX485 y utiliza la comunicación serie RS485. Esta tecnología permite alcanzar distancias mayores en comparación con las tecnologías TTL o RS232.

El sensor integrado es capaz de medir parámetros como la temperatura del suelo, la humedad, la conductividad, el pH del suelo, el nitrógeno, el fósforo y el potasio, lo que facilita en gran medida la evaluación sistemática de las condiciones del suelo [30]. Se trata de un sensor de alta precisión con una respuesta rápida en la obtención de datos, una larga durabilidad en su uso en el suelo, resistencia a la electrólisis, a la corrosión y es completamente impermeable [31].

2.2.1. Sensor serial NPK (485)

El sensor integrado mide parámetros como temperatura del suelo, la humedad, la conductividad, pH del suelo, nitrógeno, fósforo y potasio facilita una gran

medida a la evaluación sistemática de condiciones del suelo. Es un sensor de alta precisión, respuesta rápida de datos, durabilidad de tiempo de uso en el suelo, resistente a la electrolisis, a la corrosión y completamente impermeable [31].

La Tabla 2.1 presenta las características y los valores de funcionamiento necesarios para garantizar el correcto funcionamiento del sensor NPK junto con sus parámetros asociados.

Tabla 2.1: Características y hardware de sensor NPK.

Parámetro	Valores
Fuente de alimentación	12-24 Vcc
Señal de salida	RS485
Trabajo de temperatura	-20° C - 60°c .
Longitud de cable	2 m
Resolución NPK)	1 mg/kg (mg/l)
Nivel de protección	IP68

Parámetros de Medición

Para evaluar la adecuación de la descripción de una especificación relacionada con la medición de propiedades del suelo en un sensor, es esencial tener en cuenta varios factores clave, incluyendo la exactitud y la resolución, los cuales se detallan en la Tabla 2.2. En la Figura 2.2 se puede observar el sensor NPK.

Tabla 2.2: Sistema de Medición del Sensor Serial NPK.

Parámetro	Característica	Valores
Temperatura	Rango	-40° C - 80° C.
	Exactitud	±0.5 ° C
	Resolución	0.1 °C
Humedad	Medición	0-100 %
	Precisión	±3 %, 0-53 %, 5 % rango 53- 100 %
	Resolución	0,10 %
Conductividad	Medición	0-10000 us/cm
	Resolución	10 us/cm
PH	Medición	3-9pH
	Exactitud	±0.3pH
	Resolución	0.01pH
NPK	Medición	0-1999 mg/kg
	Precisión	±2%Fs
	Resolución	1mg/kg
Trabajo	Presión	9-1,1 atm



Figura 2.2: Sensor NPK.

Aplicación

El sensor NPK es útil para obtener datos precisos utilizados en sistemas como invernaderos, pruebas rápidas de suelo y evaluación de la temperatura y humedad. Sin embargo, no es adecuado para medir la humedad absoluta en suelos alcalinos o salinos.

Conexión

El dispositivo requiere una alimentación de 12-24 V. La línea de señal 485, que consta de dos líneas A/B, no debe invertirse para evitar conflictos en la dirección de múltiples dispositivos configurados. La secuencia de conexión se muestra en la Figura 2.14 [31].



Figura 2.3: Cableado Sensor NPK.

En la Tabla 2.3 se especifica la conexión del dispositivo para evitar daños y su correcto funcionamiento.

Tabla 2.3: Conexión de Sensor NPK.

	Color de cable	Descripción
Alimentación	Marrón	12-24 Vcc
Negativo	Negro	Potencia negativa
Comunicación	Amarillo (Gris)	485-A
sensor	Azul	485-B

Parámetros de Comunicación

La comunicación del sensor es única es por ello se especifica su funcionamiento y direccionamiento que tiene el sensor para la comunicación en la Tabla 2.4 [31].

Tabla 2.4: Comunicación del sensor.

Parámetro	Contenido
Codificación	8-bit binario
Bit de datos	8-bit
Bit control paridad	no
Dejar pujar	1-bit
Comprobación errores	CRC (código ciclo redundante)
Baudios	2400bps/4800bps/9600bps

Marco de datos En el protocolo Modbus-RTU se compone de diferentes elementos que permiten la transmisión y recepción de información. A continuación, se como se compone el sensor:

- Estructura inicial \geq Tiempo 4 bytes.
- Código de dirección = 1 byte.
- Área de datos = N bytes.
- Comprobación errores= Código CRC de 16
- Fin estructura = tiempo 4-bryte.
- Código de dirección: La dirección del sensor, es única en red de comunicación (0x01).

- Código de función: código es emitida por el host, el transmisor usa 0x03(lee datos de registro).

En la área de datos de comunicación especifica de 16 bits. En donde se especifica la trama de datos del sensor se ilustra en la Tabla 2.5 y 2.6 .

Tabla 2.5: Marco interrogativo trama de datos (transmisión).

Código dirección	Código función	Registro dirección de inicio	longitud registro	Código verificación (Bajo)	Código verificación(alto)
1 byte	1 byte	2 bytes	2 bytes	1 byte	1 byte

Tabla 2.6: Marco de respuesta trama de datos (Recepción).

Código función	Código dirección	Cantidad byte	Datos área 1	Datos área 2	N Datos área	Código control
1 byte	1 byte	1 bytes	2 bytes	2 byte	2 byte	2 byte

En la Tabla 2.7 se representa la dirección cuando se conecta varias sensores en un mismo dispositivo de procesamiento.

Tabla 2.7: Dirección de registro.

Registro dirección	Contenido dirección	Operando
0006H	Valor PH(0.01Ph)	lectura
0012H	Humedad de suelo(0,1 % HR)	Lectura
0013H	Temperatura de suelo(0,1° C)	Lectura
0015H	Conductividad de suelo(1 us/cm)	Lectura
001EH	Nitrógeno de suelo(mg/kg)	Lectura
001FH	Fósforo de suelo(mg/kg)	Lectura
0020H	Potasio de suelo(mg/kg)	Lectura

2.2.2. Módulo MAX485

Este dispositivo es un módulo que conecta un microprocesador, como Arduino o uno similar, utilizando comunicación serie RS485, lo cual permite transmitir datos a largas distancias en comparación con las tecnologías TTL o RS232. Además, es capaz de admitir múltiples dispositivos en el mismo bus de comunicación. Es un

componente fundamental para transmitir la lectura del sensor NPK, permitiendo así que estos datos se procesen y se presenten de manera visual, el dispositivo se ilustra en la Figura 2.4 [32].

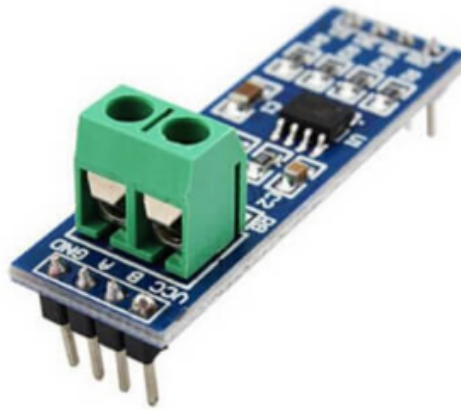


Figura 2.4: Módulo MAX485 .

Características

la Tabla 2.8 se representa las características del funcionamiento del dispositivo.

Tabla 2.8: Especificaciones básicas de MAX485

Características	Parámetro
Alimentación	5V
Corriente de operación	500 uA
Interfaz microcontrolador	Serial UART TTL
Comunicación	Half-Duplex
velocidad	10 Mbits
Distancia	1200m(100kbist/s)
Dimensiones	44*14*20mm

2.3. Fase de procesamiento

Para esta etapa, los datos adquiridos por el sensor NPK se envían a un Nano Arduino que recibe datos en hexadecimal y los convierte a formato decimal, luego se transmite mediante comunicación serial y se muestra a través de la plataforma Pycom FiPy 1.0 para ser visualizados.

El Arduino Nano es un dispositivo compacto y portátil creado específicamente para proyectos de pequeños. Está equipado con salidas digitales y analógicas que permiten interactuar con sensores, pantallas, actuadores y otros componentes electrónicos. Este dispositivo realiza el procesamiento de los datos que provienen de la lectura del sensor NPK y mostrar los datos obtenidos en una pantalla OLED. Además, lleva a cabo una transmisión de datos síncrona con Pycom FiPy 1.0 para cargar estos datos a la nube de internet [33]. La Figura 2.5 muestra el arduino nano utilizado en este proyecto.

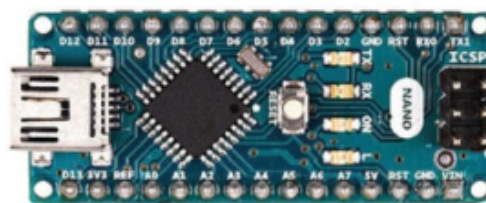


Figura 2.5: Arduino Nano

Características

En la Tabla 2.9 se detallan las especificaciones del Arduino Nano.

Tabla 2.9: Especificaciones básicas de Arduino Nano

Microcontrolador	ATmega328
Tensión de funcionamiento	5V
Tensión entrada (VIN)	6-20 V
Consumo de energía	19mA
Pines E/S digitales	22
Tamaño	18 x45 mm
Peso	7g

2.4. Fase de transmisión

Para esta etapa se utilizó el Pycom Fipy 1.0 para conectar el sistema a una red mediante WiFi. Su función es conectarse a páginas de IoT diseñadas específicamente

para ver los datos recopilados.

Pycom fipy 1.0

Es un microcontrolador habilitado para MicroPython es una versión ligera y simplificada del lenguaje de Python, que cuenta con conectividad Bluetooth, WiFi, Sigfox, LoRa y LTE-CAT M1/NB1, lo que convierte una plataforma de Iot de grado en realizaciones de trabajo empresariales. Es un componente que posibilita el envío de datos a una nube de Internet, permitiendo la visualización de la lectura de datos a través de una conexión WiFi. Esta funcionalidad se logra mediante el uso de una plataforma llamada Pybytes, desarrollada por la empresa Pycom. El dispositivo se muestra en la Figura 2.6. Con Pybytes, es posible crear una página personalizada para visualizar los datos en tiempo real [34].



Figura 2.6: Modulo Pycom modelo fipy 1.0

2.5. Fase de almacenamiento

En esta etapa se utilizó la Placa de Expansión, la misma permite programar un microcontrolador a través de un micro USB, el cual se puede ampliar utilizando la Placa de Expansión v3.1. para permitir la posibilidad de agregar una memoria SD para almacenamiento de datos en gigabytes, el dispositivo se ilustra en la Figura 2.7.

Expansion Board

Esta placa permite programar el microcontrolador a través de un puerto micro USB, y se puede ampliar mediante el uso de una Expansión Board v3.1. Esta expansión brinda la posibilidad de incorporar una memoria SD para el almacenamiento de datos, lo cual permite una capacidad de almacenamiento expansible en gigabytes, para así poder analizar los datos posteriormente [34].

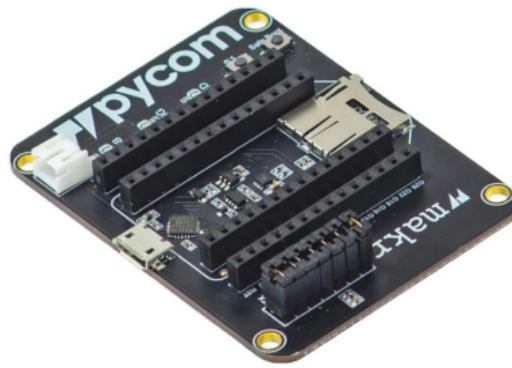


Figura 2.7: Expansion Board v3.1

Pycom tiene una amplia gama de documentación en su página web en ejemplos, especificaciones, etc. La programación del sistema es fácil de usar para usuarios con experiencia en el lenguaje de Python con una versión de la plataforma en MicroPython. Las conectividades que tiene el dispositivo aportan una flexibilidad en bases iniciales de proyectos, en bases de protocolos que no han sido especificados en transmitir información captado de un campo [34].

2.6. Fase de visualización

Los resultados se muestran en una pantalla OLED que ofrece un bajo consumo de energía. El dispositivo se ilustra en la Figura 2.8. El sistema web de Internet permite ver datos desde una computadora o una aplicación móvil de IoT utilizando el componente pycom para la web de Pybytes lo que representa la Figura 2.9 de la plataforma de Internet.



Figura 2.8: Dispositivo pantalla OLED .

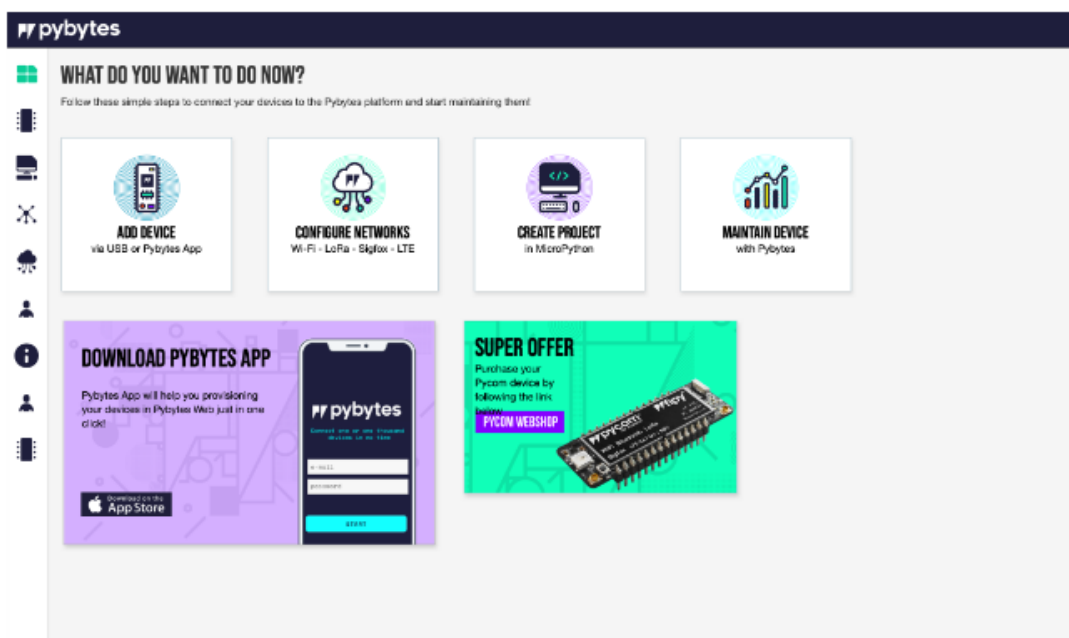


Figura 2.9: Plataforma Pybytes.

2.6.1. Pantalla OLED

Es un dispositivo electrónico tipo led, que permite controlar píxeles individualmente y mostrar textos y gráficos y ser OLED no necesita de retroalimentación, lo que hace que consumo de energía sea menor, dispensable para el uso de visualización de datos [35].

En la Tabla 2.10 se especifica las funciones del dispositivo.

Tabla 2.10: Características pantalla OLED 0,96.

Característica	Parámetro
Tipo	Display OLED
Resolución	128 x 64 pixeles = 0,96 plg
Interfaz	I2C
Dimensión	27mm x27mm x 3mm
Voltaje	3.3V -5,5VDC
Monocromo	Píxeles blancos y azules

2.6.2. Pybytes

Pybytes es sistema de internet web que permite visualizar datos desde una computadora o una aplicación para celular es fácil de utilizar y útil para tecnologías en IoT [36].

2.7. Diseño Protección y Placa PCB

Estructura

Para la comunicación y la placa, diseñamos una estructura en forma de caja utilizando el software Fusión 360 para su posterior impresión en 3D. El diseño del dispositivo se adapta a las dimensiones de cada componente, como la placa PCB, la batería, la pantalla OLED y el Pycom Fipy 1.0, y además incluye una tapa transparente para visualizar los dispositivos dentro de la caja, como se puede observar en las Figuras 2.10 y 2.11.

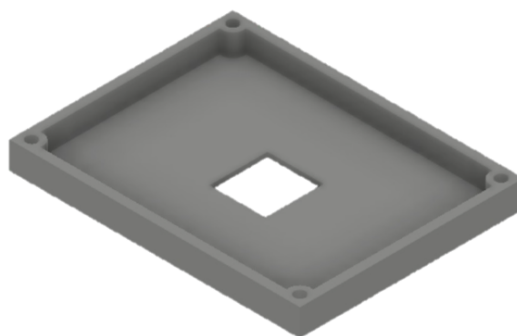


Figura 2.10: Diseño de tapa en 3D.

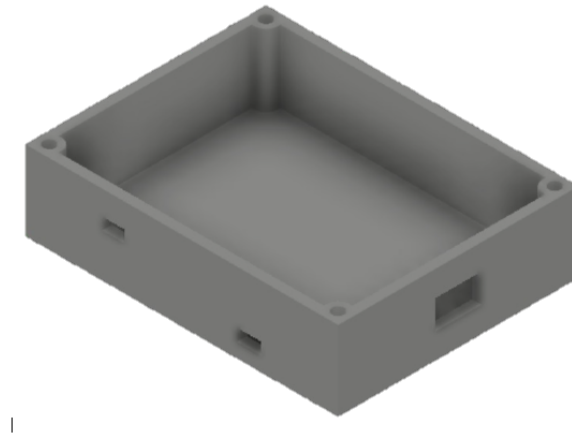


Figura 2.11: Diseño base en 3D

Diseño de placa

El diseño se desarrolló utilizando el software EasyEDA para colocar componentes electrónicos, que incluyen el Arduino Nano, el MAXRS485, los conectores para la pantalla OLED y la comunicación (RX, TX) con el Pycom Fipy 1.0. Las especificaciones se detallan en la Figura 2.12.

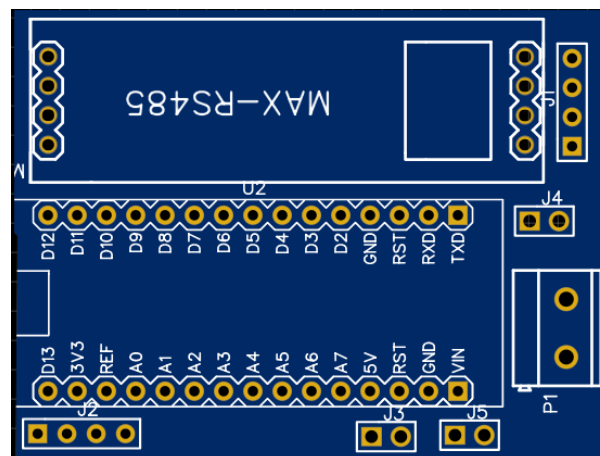


Figura 2.12: Diseño de placa en EasyEDA en vista 2D

La Figura 2.13 muestra una representación tridimensional de la tarjeta del dispositivo con los componentes electrónicos ubicados en la placa.

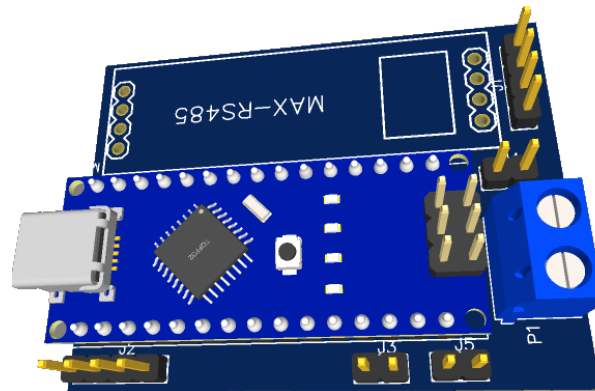


Figura 2.13: Diseño de placa en EasyEDA en vista 3D

2.8. Diseño de Sistema

2.8.1. Conexión de Arduino Nano, Pycom FiPy 1.0, Módulos y Sensores

En la parte de comunicación del esquema, un dispositivo Arduino Nano recolecta valores de la lectura del sensor serial NPK en forma de un valor tipo byte, los cuales se visualizan en una pantalla OLED. Los datos son almacenados y transmitidos al Fipy 1.0 a través de comunicación serial (Rx, Tx) para su visualización en una red WiFi.

En la conversión de datos para la lectura del sensor con arduino se utiliza un modulo MAXRS485. La conexión de pantalla OLED se utiliza una interfaz I2C con Arduino Nano. La conexión del dispositivo se ilustra en la Figura 2.14.

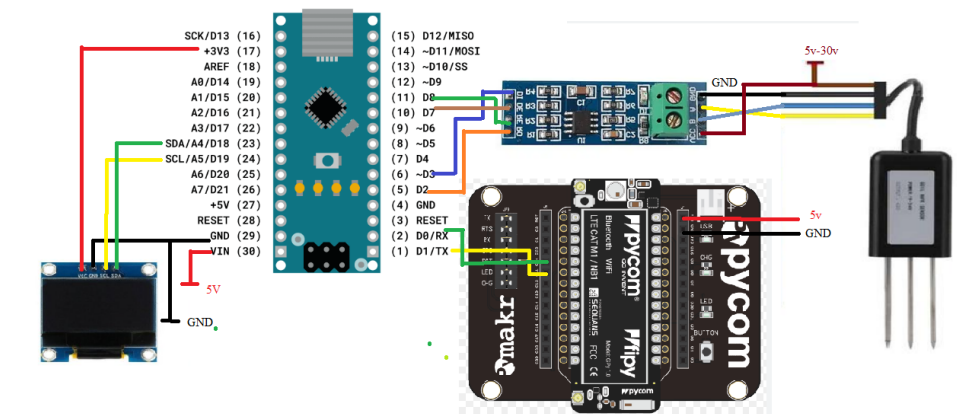


Figura 2.14: Comunicación y Alimentación de Dispositivos

2.8.2. Topología de Red

La comunicación de datos en red entre el sensor y un router se realiza mediante una conexión en estrella, y la transferencia de datos se lleva a cabo a través de una red WiFi. Los datos se envían a la plataforma Pybytes, donde el usuario final puede visualizarlos. La Figura 2.15 ilustra el flujo de conexión del dispositivo hacia el usuario final, quien puede acceder a los datos desde su computadora.

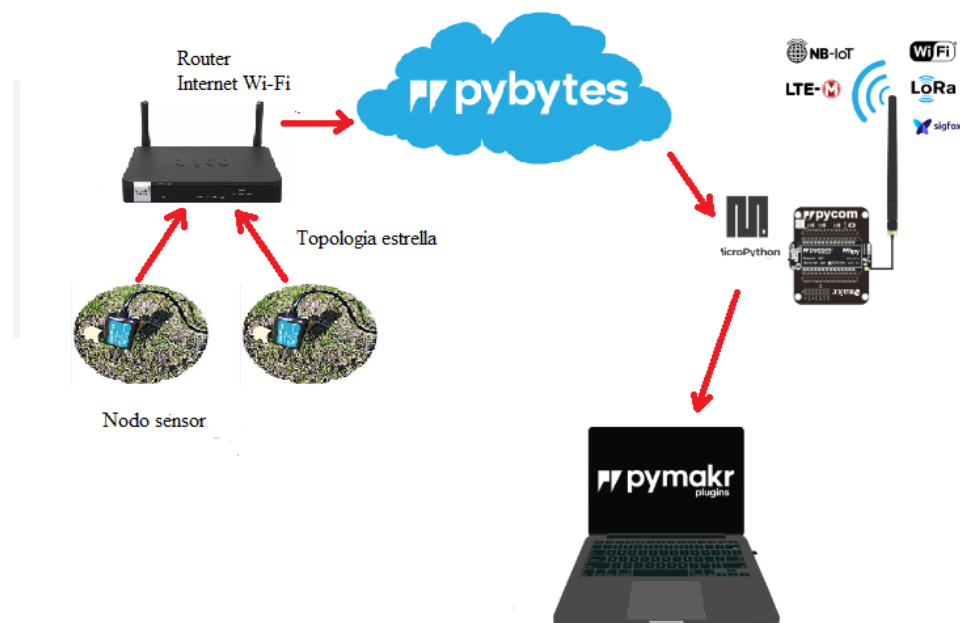


Figura 2.15: Conexión de red de nodo al usuario

2.9. Escenarios de Evaluación

Las pruebas del dispositivo para la medición de nutrientes del suelo en el cultivo de cacao se llevarán a cabo en la provincia de El Oro, en la ciudad de Arenillas. La ubicación exacta se encuentra en las coordenadas -3.514423, -80.096646, en una finca que abarca un área de 2 hectáreas de tierra destinada al cultivo de cacao. Tenemos acceso a esta finca para realizar las pruebas necesarias para garantizar el correcto funcionamiento del dispositivo. La Figura 2.16 muestra las calles de acceso y el área de cultivo correspondiente a la ubicación.



Figura 2.16: Ubicación del terreno con cultivo de cacao a evaluar

En el terreno de prueba en la Figura 2.17, se presenta un desnivel que incluye dos tipos de suelo. En la parte alta, se encuentra un suelo arcilloso caracterizado por su rigidez y bajo contenido de humedad. Por otro lado, en la parte baja se ubica un suelo arenoso, el cual es más húmedo y ofrece condiciones más favorables para el crecimiento de plantas, así como una mayor disponibilidad de nutrientes.



Figura 2.17: Desnivel de terreno suelo arcilloso y arenoso

En el suelo arcilloso, donde la humedad es escasa y hay bajos niveles de nutrientes, las plantas presentan signos evidentes de daño en sus hojas, lo cual puede afectar negativamente la calidad de los frutos. Sin embargo, debido a la dificultad de acceder a esta área para colocar el sensor, es necesario aflojar la tierra para poder insertarlo y realizar las lecturas. En la Figura 2.18 se puede apreciar la colocación del sensor en el suelo arcilloso, evidenciado por el color amarillo del suelo.

En cuanto a la visualización de datos, es importante tener en cuenta que el sensor requiere un suelo húmedo para funcionar adecuadamente. Por lo tanto, no es factible realizar lecturas en días calurosos, sino más bien cuando hay lluvia o cuando el suelo se encuentra húmedo o suave. Una alternativa sería considerar la instalación de un sistema de riego en la zona para mantener la humedad del área de estudio.



Figura 2.18: Estudio de terreno suelo arcilloso

En el suelo arenoso, es posible colocar el sensor sin dificultad, ya que este tipo de suelo retiene la humedad de manera adecuada y no requiere una fuerza excesiva para su inserción. También se observa una mejor calidad de hojas y plantas en esta área, lo que permite realizar lecturas sin problemas. Sin embargo, es importante tener en cuenta que el tipo de suelo no representa el nivel adecuado de nutrientes para el desarrollo y mejora de la calidad de los frutos. En la Figura 2.19 se muestra un suelo arenoso que presenta un color menos amarillento en comparación con el suelo arcilloso mencionado anteriormente.



Figura 2.19: Estudio de prueba suelo arenoso

2.10. Plataforma IoT Pybytes

En la plataforma de IoT Pybytes, se puede crear un dispositivo con el nombre del proyecto en la sección de "Devices". A través de esta plataforma, se puede visualizar el estado de conexión del dispositivo, lo cual se muestra en la Figura 2.20.

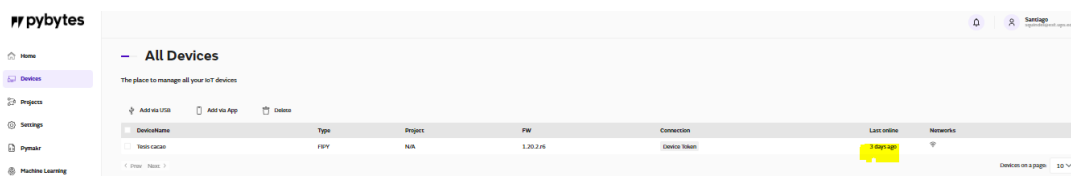


Figura 2.20: Plataforma Pybytes nombre de proyecto y conexión de dispositivo

En el proyecto al acceder al sistema, se proporcionan varios visualizadores que incluyen información como el tiempo de conexión del dispositivo, la ubicación y las señales que se están leyendo. En nuestro caso, hemos añadidos widget de análisis de cada nutriente, el cual se puede observar en la Figura 2.21.

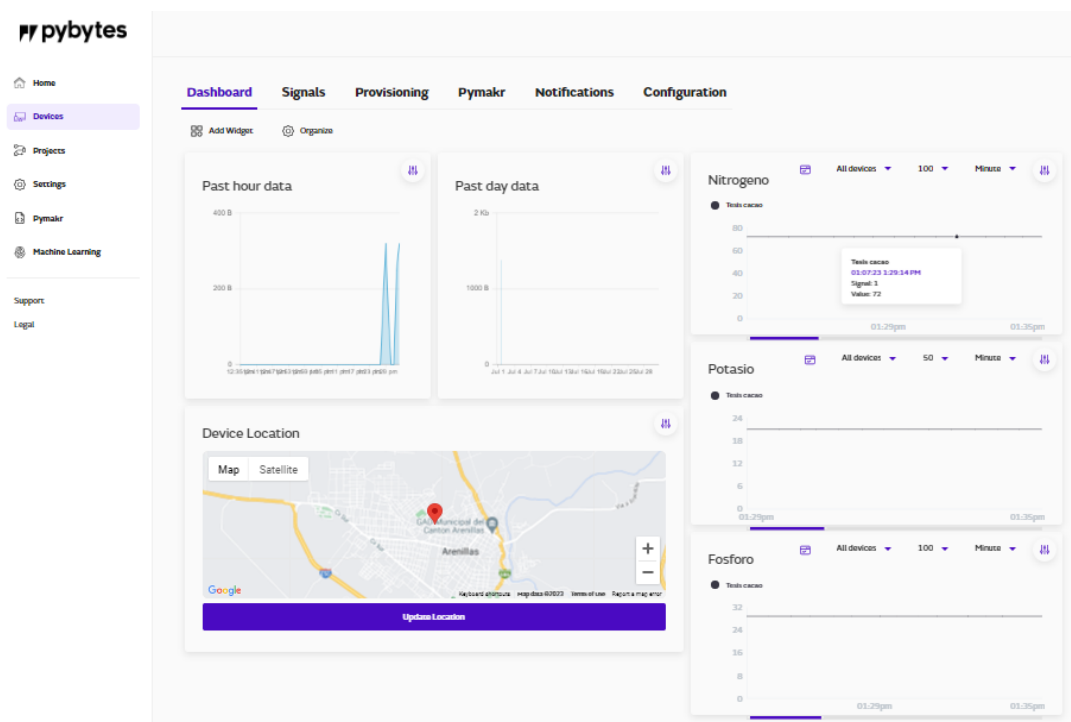
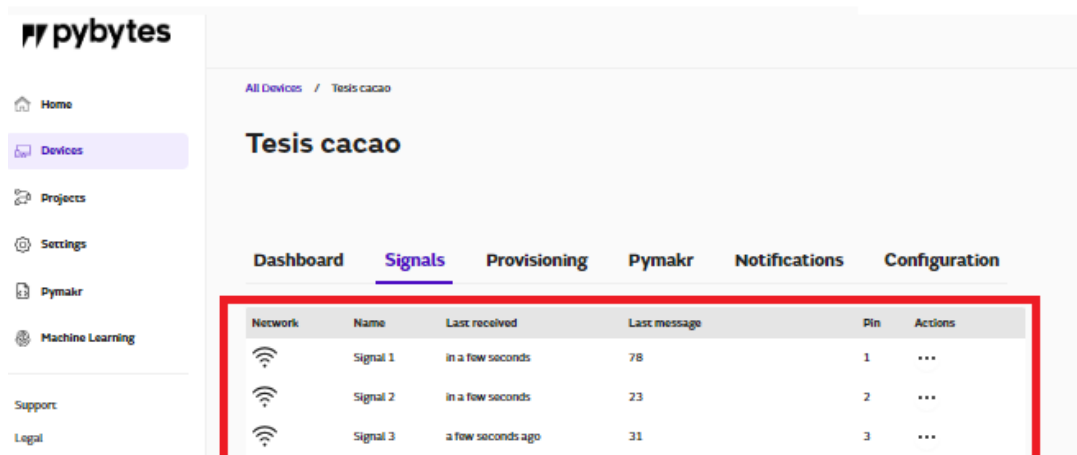


Figura 2.21: Plataforma Pybytes dashboard

En la sección de "Signals", es posible visualizar los datos que se están leyendo en tiempo real. En este caso particular, se están recibiendo tres señales del nodo uno, y se muestra el valor correspondiente a cada una de ellas.



The screenshot displays the Pybytes IoT platform interface. On the left is a navigation sidebar with options: Home, Devices (selected), Projects, Settings, Pymkr, Machine Learning, Support, and Legal. The main content area shows the breadcrumb 'All Devices / Tesis cacao' and the device name 'Tesis cacao'. Below this is a horizontal menu with tabs: Dashboard, Signals (active), Provisioning, Pymkr, Notifications, and Configuration. A table of signals is highlighted with a red border. The table has columns for Network, Name, Last received, Last message, Pin, and Actions. It lists three signals: Signal 1, Signal 2, and Signal 3.

Network	Name	Last received	Last message	Pin	Actions
📶	Signal 1	in a few seconds	78	1	...
📶	Signal 2	in a few seconds	23	2	...
📶	Signal 3	a few seconds ago	31	3	...

Figura 2.22: Plataforma Pybytes Signals

Capítulo 3

Análisis de resultado

En este capítulo, se ofrece una explicación detallada sobre el funcionamiento de los nodos, su estructura final, la visualización de datos a través de una plataforma en la nube, y el proceso de almacenamiento de datos. Además, se presentan los valores obtenidos de la medición de la nutrición del suelo en un cultivo de cacao.

3.1. Desarrollo del Sistema de Medición de Nutrientes

En esta sección, se explica el desarrollo del sistema y cómo se organizan los componentes en el nodo. En el centro de control se encuentra el Arduino Nano, que se encarga de supervisar la interacción entre los componentes y facilitar la comunicación entre el sensor de nutrientes y el módulo de comunicación. El sensor de nutrientes se utiliza para medir y supervisar los niveles de nutrientes en la solución. Por otro lado, el visualizador de lecturas muestra la información capturada por el sensor de nutrientes de manera legible. Finalmente, el módulo de comunicación permite utilizar tecnología de Internet de las Cosas (IoT) para conectar el sistema a plataformas en la nube, brindando la posibilidad de compartir los datos obtenidos y acceder a ellos de forma remota. Puedes observar una representación gráfica de los componentes dentro de la estructura en la Figura 3.1.

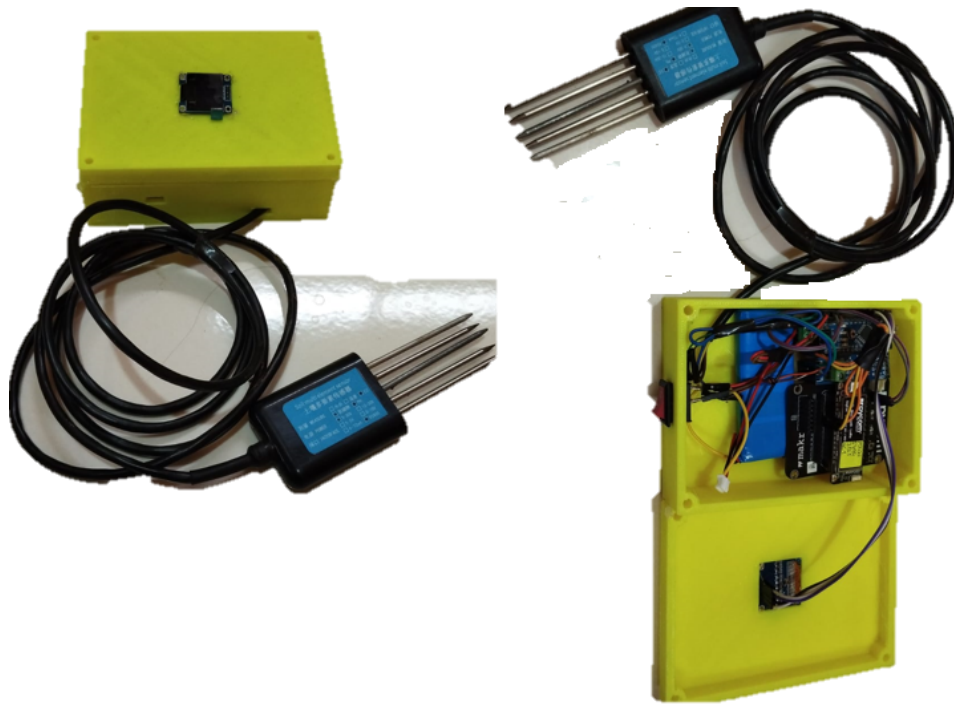


Figura 3.1: Desarrollo del Sistema de Medición de Nutrientes

3.2. Ubicación del Nodo en el Cultivo de Cacao

En el área de cultivo, se colocan dos sensores en ubicaciones óptimas determinadas en función de la calidad de las plantas, siguiendo los criterios de los agricultores. Esto permite evaluar el cultivo con referencia a los valores recomendados en el estudio de crecimiento del cacao. Dado que esta zona presenta diferentes niveles para la lectura de sensores y la conectividad a Internet, se seleccionan lugares específicos según estos criterios para garantizar un funcionamiento adecuado. De esta manera, se elige un punto crucial en el desarrollo del cultivo que se vincula con el cultivador, quien puede proporcionar un análisis más preciso en el área donde se llevan las pruebas. Es fundamental enterrar completamente cada sensor para lograr una detección de datos más precisa. La Ubicación del nodo se puede observar en la Figura 3.2.



Figura 3.2: Ubicación del Nodo en el Cultivo de Cacao, con un punto de acceso de suelo e internet

3.3. Almacenamiento de los Datos Adquiridos

El almacenamiento de los datos adquiridos, se utiliza una tarjeta de memoria SD ubicada en el dispositivo desarrollado, como se muestra en la Figura 2.7 en la Expasion Board. Posteriormente, de forma segura, se extrae la tarjeta y se utiliza un adaptador para transferir los datos a una computadora, donde se pueden leer y utilizar para crear la base de datos. En la Figuras 3.3 y 3.4, se observa la sección donde se lleva a cabo el uso de la tarjeta SD y la extensión en la que se guardan los datos en formato CSV.

```

21 while True:
22     if uart.any():
23         data = uart.read(3)
24         val1 = str(data[0])
25         val2 = str(data[1])
26         val3 = str(data[2])
27
28         # Enviar señales con pybytes
29         pybytes.send_signal(1, val1)
30         pybytes.send_signal(2, val2)
31         pybytes.send_signal(3, val3)
32
33         print("Valores recibidos:", val1, val2, val3)
34
35         fecha_hora_actual = rtc.now()
36         datos = "{}/{}/{ } :{:}:{:},{:},{:},{:}\n".format(
37             fecha_hora_actual[0], fecha_hora_actual[1], fecha_hora_actual[2],
38             fecha_hora_actual[4], fecha_hora_actual[5], fecha_hora_actual[6],
39             val1, val2, val3
40         )
41
42         # Escribe los datos en el archivo CSV
43         with open(csv_file_path, 'a') as archivo_csv:
44             archivo_csv.write(datos)
45
46         time.sleep(1) # Esperar antes de volver a revisar el puerto serial
47
48     os.umount('/sd')

```

Figura 3.3: Programación para Lectura de Tarjeta SD

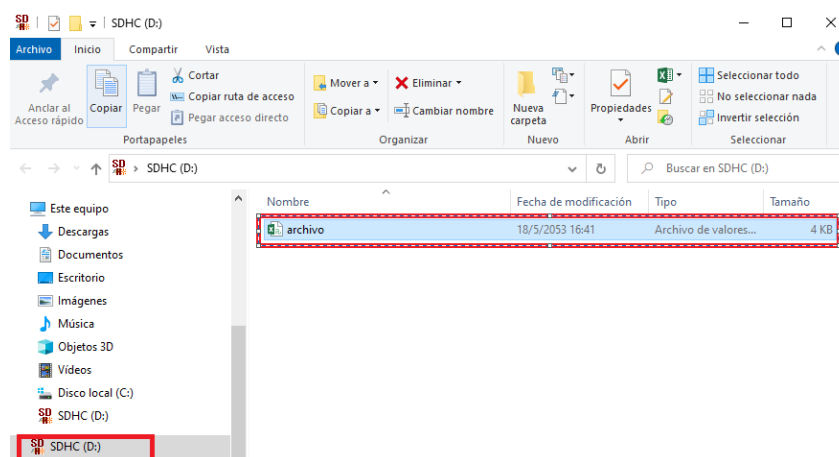


Figura 3.4: Archivo Creado y Visualizado en un computadora

3.4. Análisis de suelo

Hemos obtenido resultados significativos sobre los valores y el tratamiento requerido para el suelo basándonos en los datos de referencia. La Tabla 3.1 muestra los parámetros de estudio del suelo necesarios para un crecimiento óptimo de las plantas y una mejor calidad de los frutos. Por otro lado, el dato resultado obtenido por el sensor durante el análisis del suelo. En la Tabla 1.2 se especifica los valores en la que

Tabla 3.1: Análisis de suelo

Nutriente	Dato de referencia	Dato del sensor
Nitrógeno (N)	150 a 200 mg/kg	75 mg/kg
Potasio (K)	150 a 250 mg/kg	30 mg/kg
Fósforo (P)	20 a 30 mg/kg	22 mg/kg

se debe encontrar los nutrientes en la planta.

Los resultados de las pruebas realizadas en el suelo indican que hay niveles bajos de nitrógeno y potasio presentes.

El nivel de fósforo se encuentra dentro del rango óptimo, lo que indica que este nutriente no representa ningún problema para el crecimiento de la planta.

La deficiencia de potasio tiene varios efectos adversos en la planta, como un crecimiento más lento en el desarrollo, mayor susceptibilidad a enfermedades y plagas, y un impacto negativo en el crecimiento del fruto, que se manifiesta en frutos más pequeños, menor peso y una calidad deficiente que puede afectar su sabor.

La deficiencia de nitrógeno, aunque no es tan significativa en este caso, también tiene efectos negativos en la planta. Se puede observar el amarillamiento de las hojas, una mínima producción de flores y frutos, y debilitamiento general de la planta, lo que puede llevar a un mayor estrés ambiental.

Dado que se han identificado estas deficiencias en el suelo analizado, es importante tener conversaciones con el agricultor para abordar estos problemas. Se deben implementar medidas adecuadas, como la aplicación de fertilizantes en las cantidades y momentos adecuados, para corregir las deficiencias y promover un crecimiento saludable de las plantas.

3.5. Resultado prueba de laboratorio

La prueba de laboratorio, se lleva a cabo el funcionamiento del dispositivo, donde se visualizan los datos obtenidos por el sensor de nutrientes y son supervisados por una computadora. El objetivo de esta prueba es observar cualquier efecto en el funcionamiento del dispositivo y para ello se requiere establecer una conexión mediante cables entre el dispositivo y la computadora. En la Figura 3.5 muestra la representación visual de la prueba realizada en el dispositivo.

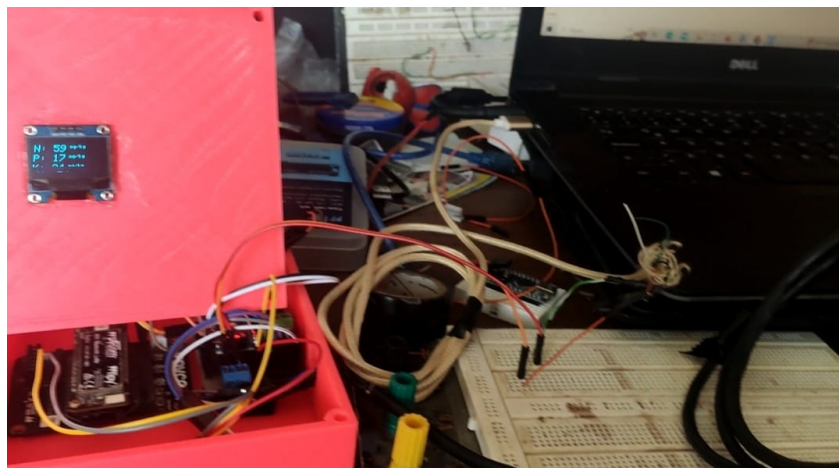


Figura 3.5: Prueba realizado en Laboratorio.

En la Tabla 3.2 se puede ver los resultados obtenido sobre la medición del sensor ante un previo obtención de su correcto funcionamiento los valores cambian por la humedad que puede haber en el recipiente. -

Tabla 3.2: Análisis de laboratorio

Nutriente	Prueba de Laboratorio	Prueba de sitio	Error medición porcentaje
Nitrógeno (N)	78 mg/kg	75 mg/kg	0.0003
Potasio (K)	25 mg/kg	24 mg/kg	0,0004
Fósforo (P)	23 mg/kg	23 mg/kg	0

3.6. Resultado prueba de sitio

En el lugar, se ha instalado el sensor en una ubicación específica en el terreno. El dispositivo es portátil y puede ser insertado directamente en el suelo para realizar las lecturas correspondientes del suelo. A diferencia de la configuración anterior, no hay otros dispositivos presentes para visualizar el funcionamiento. En cambio, el dispositivo se enciende utilizando un interruptor de encendido. Esto permite que el dispositivo realice sus funciones de sensado en el suelo sin necesidad de una supervisión directa o de otros dispositivos para mostrar los resultados. En la Figura 3.6 se puede apreciar el dispositivo en funcionamiento.



Figura 3.6: Prueba realizada en lugar.

En la Tabla 3.3 se puede ver los valores del sensor en el suelo respecto a la medición y respectivo funcionamiento correcto y no hay complicaciones en el dispositivo.

Tabla 3.3: Análisis de sitio.

Nutriente	Prueba de Laboratorio	Prueba de sitio	Error medición
Nitrógeno (N)	78 mg/kg	80 mg/kg	0,00025
Potasio (K)	25 mg/kg	27 mg/kg	0,0007407
Fósforo (P)	23 mg/kg	25 mg/kg	0,000 8

En la medición hay que tener en cuenta la humedad del suelo para su respectivo funcionamiento del sensor y en la Figura 3.7 se ilustra como es el desnivel del suelo y en donde se obtiene los valores precisos en la lectura den sensor.

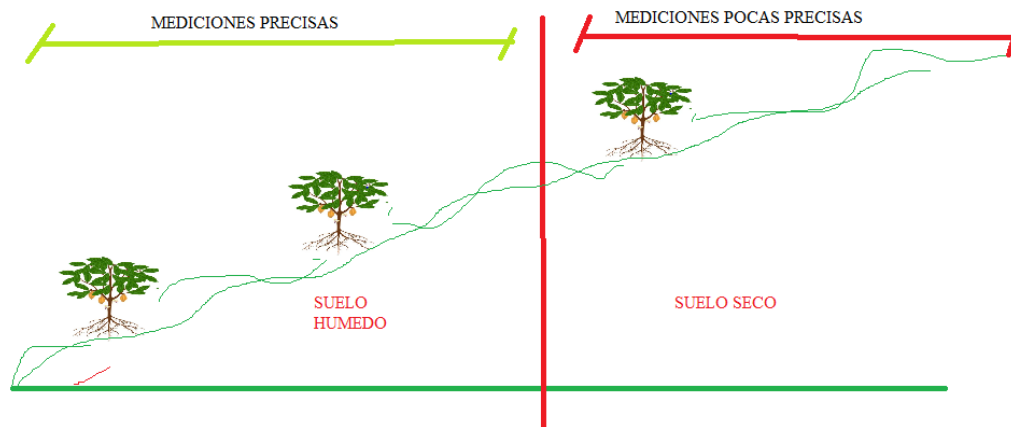


Figura 3.7: Prueba ubicación de sensor.

Capítulo 4

Conclusiones

- Se logró desarrollar un dispositivo electrónico que monitorea los nutrientes esenciales para el cultivo de cacao, enfocándose principalmente en el nitrógeno, potasio y fósforo, los cuales son cruciales en el crecimiento de la planta. Los datos recopilados se visualizan tanto en una plataforma de nube como en una pantalla OLED, brindando al agricultor una herramienta eficaz para realizar los adecuados manejos del suelo y mejorar el crecimiento de las plantas. El dispositivo representa una solución que capacita a los agricultores para optimizar su cultivo y obtener una mejor producción.
- Se consiguió diseñar un dispositivo que incorpora un microcontrolador con capacidad de comunicación WiFi para leer los niveles de nutrientes del suelo.
- Se implementó en el sistema de red, la placa Pycom que ofrece características de conectividad y una plataforma IoT que permite la visualización de datos en una red de internet. Además, este dispositivo tiene un consumo de energía reducido.
- Se verificó que en el nodo, al utilizar conectividad WiFi, puede establecer una conexión accesible con un router o utilizar los datos de un celular. Esta conexión se puede verificar tanto en la plataforma Pybytes, si se utiliza un router, como en un dispositivo celular, donde se puede encontrar y confirmar su correcto funcionamiento como un dispositivo nuevo conectado a la red.
- Se verificó que el dispositivo permite visualizar datos en un área de cultivo extensa al establecer conectividad entre los nodos. Esto nos habilita para

analizar el suelo de manera precisa en función de la ubicación de cada nodo, y proporciona lecturas con un mínimo retardo.

- Se pudo asesorar al agricultor sobre la importancia de mejorar la fertilización del suelo para aumentar la productividad y abordar las deficiencias nutricionales presentes en el suelo. La falta de nutrientes puede tener efectos negativos en la planta, como un crecimiento deficiente, menor resistencia a enfermedades, menor producción de flores y frutos, y un debilitamiento general de la planta. Al mejorar la fertilización del suelo, se espera contrarrestar estos efectos negativos y promover un crecimiento saludable y una mayor productividad en las plantas.
- Se verifico datos sobre la nutrición del suelo es esencial, ya que sin un seguimiento adecuado, el suelo puede carecer de los nutrientes necesarios para producir frutos de calidad. Al implementar un sistema de seguimiento, no solo mejoramos el monitoreo de las plantas y suelo, sino que también optimizamos la cantidad y tipo de nutrientes que el suelo debe recibir para garantizar la producción de frutos de alta calidad. Este enfoque permite una gestión más precisa y eficiente de los recursos agrícolas, lo que a su vez se traduce en productos finales de mejor calidad y un rendimiento agrícola sostenible a largo plazo.

Recomendaciones

- Estudiar los diferentes tipos de suelo para determinar el correcto valor de los niveles de nutrición.
- Analizar los minerales existentes en el suelo que pueden afectar el correcto funcionamiento de los sensores.
- Implementar este sistema en otro tipo de cultivos como cafe.
- Disponer de herramientas apropiadas que permita visualizar de manera precisa la trama de datos generada por el sensor NPK y llevar a cabo la lectura de las funciones específicas.

- Considerar que la extensión de Pymakr no se encuentra disponible en el software Atom. En consecuencia, se recomienda utilizar el software de programación Visual Studio Code, dado que es compatible con la extensión Pymakr y proporciona un entorno idóneo para el desarrollo con Pycom.
- Analizar diferentes plataforma para mejorar la visualización de datos en paginas web.

Glosario

Autenticación Proceso mediante el cual se verifica la identidad de un dispositivo para acceder a una red Wi-Fi...

IoT Internet of Things..

Modo de red Configuración de funcionamiento de un dispositivo Wi-Fi..

OLED Organic light-emitting diode..

Pybytes Plataforma visualizador de datos..

SSID Nombre de la red Wi-Fi utilizado para identificar y distinguir una red inalámbrica de otras..

Wi-Fi Tecnología de red inalámbrica.

Referencias

- [1] M. K. Huerta, A. García-Cedeño, J. C. Guillermo y R. Clotet, «Wireless sensor networks applied to precision agriculture: A worldwide literature review with emphasis on latin america,» *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*, vol. 9, n.º 4, págs. 209-222, 2021.
- [2] K. L. Porras, «El mercado de productos orgánicos: oportunidades de diversificación y diferenciación para la oferta exportable costarricense,» *Promotora del Comercio Exterior de Costa Rica Dirección de Inteligencia Comercial*, 2011.
- [3] O. A. V. Pérez, H. A. V. Cevallos y J. M. Q. Campoverde, «Análisis comparativo del impacto económico del cultivo del cacao en Ecuador del primer semestre 2019 versus el primer semestre 2020,» *Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas*, vol. 4, n.º 2, págs. 169-179, 2021.
- [4] E. O. Afoakwa, *Cocoa production and processing technology*. CRC Press, 2014.
- [5] V. H. Sánchez Arizo, J. L. Zambrano Mendoza y C. Iglesias, «La cadena de valor del cacao en América Latina y el Caribe,» 2019.
- [6] W. Santander Ruiz, R. Garay Montes, C. Verde Girbau y O. Mendieta Taboada, «Determinación del contenido de cadmio en suelos, frutos, granos fermentados y secos, licor de cacao y chocolate en zonas productoras de la Región San Martín,» *Revista de la Sociedad Química del Perú*, vol. 87, n.º 1, págs. 39-49, 2021.
- [7] SIPA, *Cifras Agroproductivas* — [sipa.agricultura.gob.ec](http://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/cifras-agroproductivas), [http : / / sipa . agricultura . gob . ec / index . php / cifras - agroproductivas](http://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/cifras-agroproductivas), [Accessed 20-Jun-2023].

- [8] J. García Lozano, «Caracterización de las respuestas fisiológicas y bioquímicas en tres clones de cacao (*Theobroma cacao* L.) sometidos a diferentes niveles de déficit hídrico,» Tesis doct., Universidad Nacional de Colombia, 2014.
- [9] A. Sharma, A. Jain, P. Gupta y V. Chowdary, «Machine Learning Applications for Precision Agriculture: A Comprehensive Review,» *IEEE Access*, vol. 9, págs. 4843-4873, 2021. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.3048415.
- [10] R Barroso-Tagua, D. Alvarez, T. Huera, D. Changoluisa y C. Bravo, «La fertilidad del suelo como un servicio eco sistémico en cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.), en la provincia de Napo,» en *Libro de memorias: Simposio internacional sobre Manejo sostenible de tierras y seguridad alimentaria. Alemán R., Reyes H., Bravo C.(Eds.). Puyo, Ecuador: Universidad Estatal Amazónica, 2017*, págs. 99-106.
- [11] S. Barrezueta-Unda, «Propiedades de algunos suelos cultivados con cacao en la provincia El Oro, Ecuador,» *CienciaUAT*, vol. 14, n.º 1, págs. 155-166, 2019.
- [12] G Lavanya, C. Rani y P. GaneshKumar, «An automated low cost IoT based Fertilizer Intimation System for smart agriculture,» *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, vol. 28, pág. 100 300, 2020.
- [13] M. Erazo, D. Rivas, M. Pérez et al., «Design and implementation of a wireless sensor network for rose greenhouses monitoring,» en *2015 6th International Conference on Automation, Robotics and Applications (ICARA)*, IEEE, 2015, págs. 256-261.
- [14] J. Abad, J. Farez, P. Chasi et al., «Coffee crops variables monitoring: a case of study in Ecuadorian Andes,» en *Advances in Information and Communication Technologies for Adapting Agriculture to Climate Change II: Proceedings of the 2nd International Conference of ICT for Adapting Agriculture to Climate Change (AACC'18), November 21-23, 2018, Cali, Colombia*, Springer, 2019, págs. 202-217.
- [15] M. R. Ceballos, J. L. Gorricho, O. Palma Gamboa, M. K. Huerta, D. Rivas y M. Erazo Rodas, «Fuzzy system of irrigation applied to the growth of habanero pepper (*capsicum chinense jacq.*) under protected conditions in yucatan, mexico,» *International Journal of Distributed Sensor Networks*, vol. 11, n.º 6, pág. 123 543, 2015.

- [16] A. García-Cedeño, J. C. Guillermo, B. Barzallo et al., «PLATANO: Intelligent technological support platform for azuay province farmers in Ecuador,» en *2019 IEEE International Conference on Engineering Veracruz (ICEV)*, IEEE, vol. 1, 2019, págs. 1-7.
- [17] G. Yascaribay, M. Huerta, M. Silva y R. Clotet, «Performance evaluation of communication systems used for internet of things in agriculture,» *Agriculture*, vol. 12, n.º 6, pág. 786, 2022.
- [18] J. E. Ordoñez Obando y M. F. Ruiz Quimis, «Diseño e implementación de un prototipo WSN para el control y monitoreo de los parámetros ambientales para el cultivo de cacao de la Finca Elizabeth ubicada en el Cantón Naranjal,» Tesis doct., Universidad de Guayaquil. Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas . . . , 2021.
- [19] J. C. Guillermo, A. García-Cedeño, D. Rivas-Lalaleo, M. Huerta y R. Clotet, «Iot architecture based on wireless sensor network applied to agricultural monitoring: A case of study of cacao crops in ecuador,» en *Advances in Information and Communication Technologies for Adapting Agriculture to Climate Change II: Proceedings of the 2nd International Conference of ICT for Adapting Agriculture to Climate Change (AACC'18), November 21-23, 2018, Cali, Colombia*, Springer, 2019, págs. 42-57.
- [20] C. M. Molina, H. F. Chinchero y N. Caral, «Development of an IoT-Based Precision Agriculture System for Strawberry Plantations in Guamote Ecuador,» en *Doctoral Symposium on Information and Communication Technologies*, Springer, 2022, págs. 132-147.
- [21] S. Rodríguez, T. Gualotuña y C. Grilo, «A system for the monitoring and predicting of data in precision agriculture in a rose greenhouse based on wireless sensor networks,» *Procedia computer science*, vol. 121, págs. 306-313, 2017.
- [22] W. Llerena, I. Samaniego, C. Vallejo et al., «Profile of Bioactive Components of Cocoa (*Theobroma cacao* L.) By-Products from Ecuador and Evaluation of Their Antioxidant Activity,» *Foods*, vol. 12, n.º 13, pág. 2583, 2023.

- [23] O. Chieochan, A. Saokaew y E. Boonchieng, «Internet of things (IOT) for smart solar energy: A case study of the smart farm at Maejo University,» en *2017 international conference on control, automation and information sciences (ICCAIS)*, IEEE, 2017, págs. 262-267.
- [24] J. A. Laverde Mena y C. G. Laverde Mena, «Internet de las cosas aplicado en la agricultura ecuatoriana: Una propuesta para sistemas de riego,» *Dilemas contemporáneos: educación, política y valores*, vol. 8, n.º 2, 2021.
- [25] J. C. Zambrano Cruz, «Relaciones filogenéticas entre tipos de cacao (theobroma cacao l.): forastero, trinitario y nacional, basadas en marcadores morfológicos y secuencias nucleotídicas de la región ITS; y su posible uso en la identificación de clones.» B.S. thesis, Quevedo: UTEQ, 2017.
- [26] *Modelo productivo de cacao*. <https://chocolates.com.co/wp-content/uploads/2021/08/PDF-WEB-FOLLETO-NUTRICION-Y-FERTILIZACION.pdf>, [Accessed 06-Jul-2023], 2021.
- [27] S. L. P. Peralta y A. C. Montero, «Estimación del costo de reparación del daño ambiental en el suelo de cacao en la provincia de Cotopaxi-Ecuador,» *Revista Científica Ecociencia*, vol. 6, n.º 1, págs. 1-16, 2019.
- [28] G. Carrión, M. Huerta y B. Barzallo, «Internet of things (IoT) applied to an urban garden,» en *2018 IEEE 6th International Conference on Future Internet of Things and Cloud (FiCloud)*, IEEE, 2018, págs. 155-161.
- [29] M. C. Vega, P. O. Vivas, C. M. Rios, C. G. Luis, B. C. Martín y A. H. Seco, *Las tecnologías IOT dentro de la industria conectada: Internet of things*. EOI Escuela de Organización Industrial, 2015.
- [30] V. Baligar y N. Fageria, «Influence of nitrogen forms and levels on the growth and nutrition of cacao,» *Journal of Plant Nutrition*, vol. 40, n.º 5, págs. 709-718, 2017.
- [31] *Soil NPK Meter RS485 Precision Soil Fertility Nutrient Sensor for Agriculture-JXCT – Born for IoT — jxct-iot.com*, <https://www.jxct-iot.com/product/showproduct.php?id=190>, [Accessed 21-Jun-2023].

- [32] *Módulo MAX485 Conversor RS485 a Serial TTL* — *naylampmechatronics.com*, <https://naylampmechatronics.com/conversores-ttl/62-conversor-rs485-a-serial-ttl.html>, [Accessed 21-Jun-2023].
- [33] *Nano | Arduino Documentation* — *docs.arduino.cc*, <https://docs.arduino.cc/hardware/nano>, [Accessed 21-Jun-2023].
- [34] *documentation* — *docs.pycom.io*, <https://docs.pycom.io/gettingstarted/programming/>, [Accessed 21-Jun-2023].
- [35] *A. Industries, Monochrome 0.96"128x64 OLED Graphic Display - STEMMA QT* — *adafruit.com*, <https://www.adafruit.com/product/326>, [Accessed 21-Jun-2023].
- [36] *Pycom-SSO - LogIn* — *sso.pycom.io*, <https://sso.pycom.io/login>, [Accessed 07-Jul-2023].

Anexos

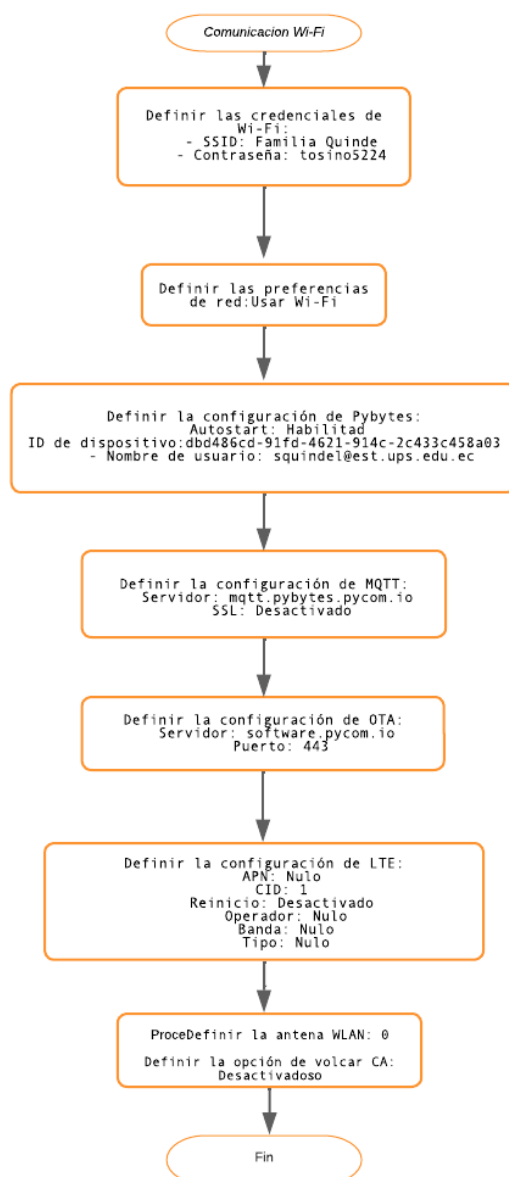


Figura 4.1: Diagrama de flujo de programación Wi-Fi.

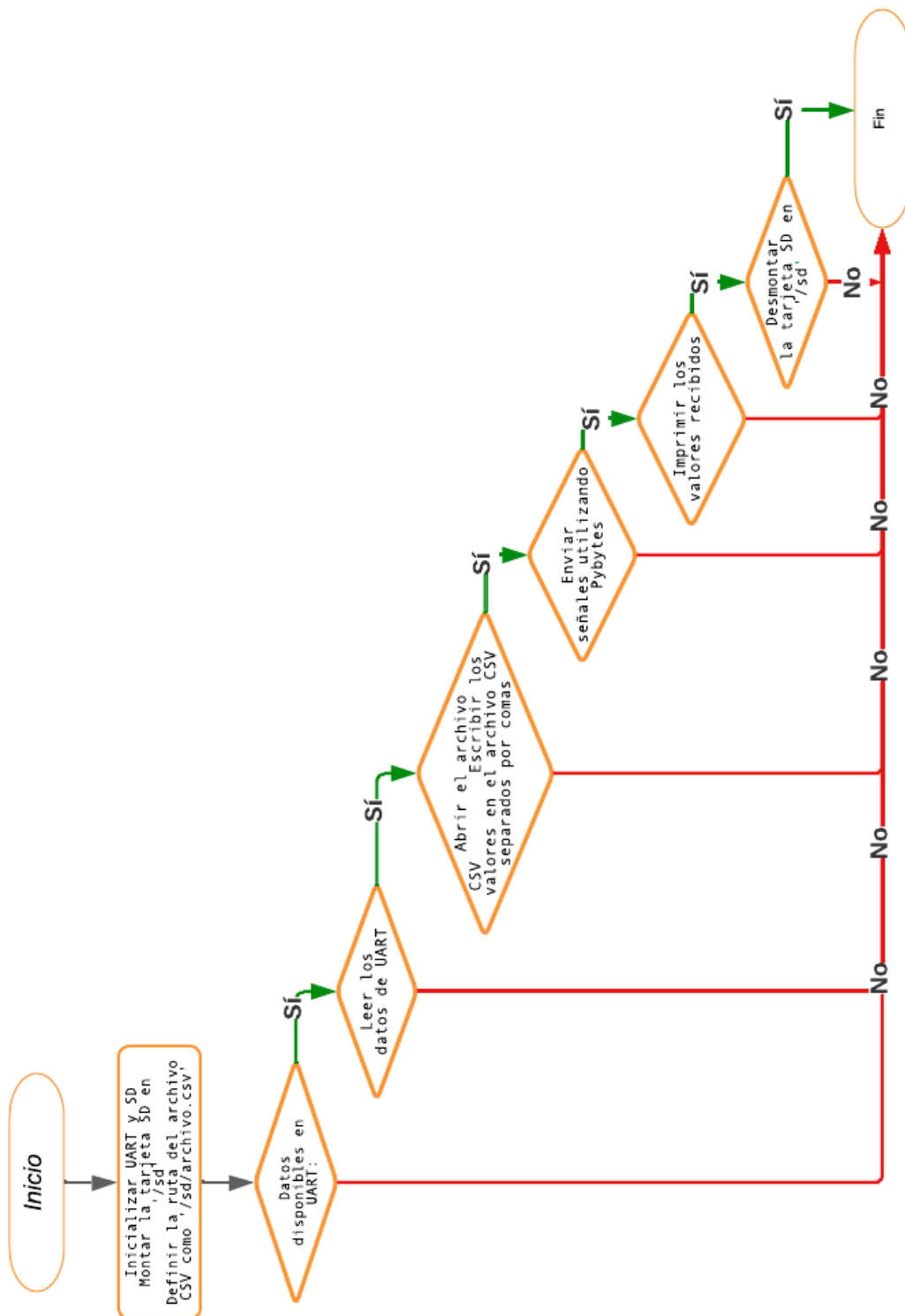


Figura 4.2: Diagrama de flujo de programación Pycom y Arduino nano.