



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE GUAYAQUIL
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE
MONITOREO NUTRICIONAL INTELIGENTE MEDIANTE
SERVICIO IoT DE CULTIVO DE MAÍZ CON PROTOCOLO DE
COMUNICACIÓN LoRaWAN**

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

AUTORES:

Carlos Guillermo Ponce Bueno

Edwing Francisco Jordán Zamora

TUTOR:

Ing. Orlando Barcia Ayala, MSc.

Guayaquil – Ecuador

2022

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Carlos Guillermo Ponce Bueno con cédula de identidad N° 0921193942 y Edwing Francisco Jordán Zamora con cédula de identidad N° 0931662654; manifestamos que:

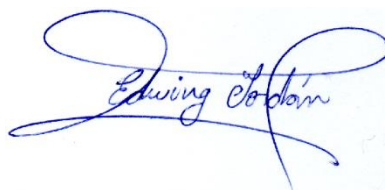
Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Guayaquil, 16 de marzo del año 2023

Atentamente,



Carlos Guillermo Ponce Bueno
0921193942



Edwing Francisco Jordán Zamora
0931662654

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

Nosotros, Carlos Guillermo Ponce Bueno con cédula de identidad N° 0921193942 y Edwing Francisco Jordán Zamora con cédula de identidad N° 0931662654, 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 de investigación titulado: "Diseño e implementación de un sistema de monitoreo nutricional inteligente mediante servicio IoT de cultivo de maíz con protocolo de comunicación LoRaWAN", 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.

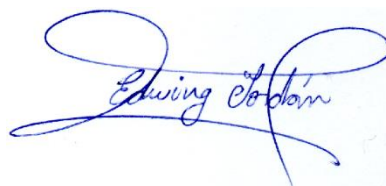
En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 16 de marzo del año 2023

Atentamente,



Carlos Guillermo Ponce Bueno
0921193942



Edwing Francisco Jordán Zamora
0931662654

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Ing. Orlando Barcia Ayala, MSc. con documento de identificación N° 1309445714, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: “Diseño e implementación de un sistema de monitoreo nutricional inteligente mediante servicio IoT de cultivo de maíz con protocolo de comunicación LoRaWAN”, realizado por Carlos Guillermo Ponce Bueno con documento de identificación N° 0921193942 y por Edwing Francisco Jordán Zamora con documento de identificación N° 0931662654, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción del Proyecto de titulación que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 16 de marzo del año 2023

Atentamente,



Ing. Orlando Barcia Ayala, MSc.

1309445714

DEDICATORIA

Este trabajo investigativo realizado con responsabilidad y perseverancia se lo dedico a Dios, a mis padres Norita y Edwing, a mi tío Alcides, quien se convirtió en mi segundo papá y que ahora me guían desde el cielo, los mismos que han sido pilares fundamentales para alcanzar mis metas.

Edwing Francisco Jordán Zamora

Este proyecto se lo dedico a Dios quien está presente en cada momento de mi vida, a mis padres, Simón y Celia, guías importantes en este camino, sus consejos y ejemplos fueron fundamental para esta parte de mi proyecto de vida. A mi hermana Johanna por sus consejos y alentarme en seguir adelante en momentos difíciles. A mi esposa Karen, mis hijos Jean y Aisha, quienes son inspiración y fortaleza para seguir adelante con mis proyectos.

Carlos Guillermo Ponce Bueno

AGRADECIMIENTO

Realizo este agradecimiento post mortem a mi primo Ab. Alcides Mendoza (+) a quien siempre consideré como mi hermano y como un ejemplo a seguir porque pese a su discapacidad supo triunfar en la vida y gracias a su esfuerzo y trabajo pudo brindarme una buena educación. Sé que graduándome como Ingeniero Electrónico él desde el cielo estará orgulloso de mí.

Edwing Francisco Jordán Zamora

Agradezco a Dios, quien con su bendición llena siempre mi vida y a toda mi familia por estar siempre presentes. De igual manera mis agradecimientos a la Universidad Politécnica Salesiana del Ecuador, a la facultad de Ingeniería Electrónica y telecomunicaciones, a los docentes quienes con la enseñanza de sus conocimientos me hicieron crecer cada día como profesional.

Finalmente quiero expresar mi más grande y sincero agradecimiento al Ing. Orlando Barcia, tutor de tesis, principal colaborador durante todo este proceso, quien con su dirección y colaboración permitió el desarrollo de este proyecto.

Carlos Guillermo Ponce Bueno

RESUMEN

AÑO	ALUMNOS	DIRECTOR DE PROYECTO TÉCNICO	TEMA DE PROYECTO TÉCNICO
2022	Carlos Guillermo Ponce Bueno Edwing Francisco Jordán Zamora	Ing. Orlando Barcia Ayala, MSc.	Diseño e implementación de un sistema de monitoreo nutricional inteligente mediante servicio IoT de cultivo de maíz con protocolo de comunicación LoRaWAN.

El maíz es uno de los productos agrícolas más importantes en la economía ecuatoriana y uno de los cereales más importantes del mundo debido a que forma parte de la alimentación básica y también es destinado para la elaboración de balanceados. El cultivo de maíz requiere tiempo, concentración y cuidados necesarios como un buen sistema de riego, la temperatura y la humedad para lograr un mejor rendimiento.

Por lo general, el maíz se cultiva a una profundidad entre 3 y 5cm en surcos, la siembra de las semillas se la realiza en hileras, aunque también es recomendable hacerlo por bloques con un espacio de 35 centímetros, caso contrario se necesitará de más fertilizante y agua lo que conllevaría a un menor rendimiento o producción. Es por esta razón que el sistema de riego debe ser regular y constante.

El término IoT que significa internet de las cosas se refiere a una interconexión o agrupación de dispositivos u objetos mediante una red. Si nos referimos a un tipo de red usual, es necesario destacar el protocolo de red LoRaWAN, también conocida como de largo

alcance, el cual emplea una arquitectura compuesta por gateways y nodos que se conectan entre sí.

Diseñar e implementar un sistema de monitoreo nutricional inteligente mediante servicio IoT de cultivo de maíz con protocolo de comunicación LoRaWAN será un gran beneficio para los agricultores porque permitirá ahorrar tiempo y facilitar la mano de obra, garantizando el crecimiento de la planta y una excelente producción, gracias a un buen aporte de nutrientes y una tierra rica en materia orgánica.

Palabras Claves: Cultivos con sistemas de monitoreo, IoT, LoRaWAN.

ABSTRACT

YEAR	STUDENTS	TECHNICAL PROJECT DIRECTOR	TECHNICAL PROJECT TOPIC
2022	Carlos Guillermo Ponce Bueno Edwing Francisco Jordán Zamora	Ing. Orlando Barcia Ayala, MSc.	Design and implementation of an intelligent nutritional monitoring system through IoT service for corn cultivation with LoRaWAN communication protocol.

Corn is one of the most important agricultural products in the ecuadorian economy and one of the most important cereals in the world because it is part of the basic diet and is also intended for the preparation of balanced meals. Corn cultivation requires time, concentration and necessary care such as a good irrigation system, temperature and humidity to achieve a better yield.

In general, corn is cultivated at a depth between 3 and 5cm in furrows, sowing the seeds is done in rows, although it is also recommended to do it in blocks with a space of 35 centimeters, otherwise more fertilizer will be needed. and water which would lead to a lower yield or production. It is for this reason that the irrigation system must be regular and constant.

The term IoT which means internet of things refers to an interconnection or grouping of devices or objects through a network. If we refer to a type of usual network, it is necessary to highlight the LoRaWAN network protocol, also known as long-range, which uses an architecture made up of gateways and nodes that connect to each other.

Designing and implementing an intelligent nutritional monitoring system through an IoT service for corn cultivation with LoRaWAN communication protocol will be a great benefit for farmers because it saves time and facilitate labor, guaranteeing plant growth and excellent production. thanks to a good supply of nutrients and a soil rich in organic matter.

Keywords: Crops with monitoring systems, IoT, LoRaWAN.

ÍNDICE GENERAL

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	II
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TIULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA.....	III
CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	IV
DEDICATORIA	V
AGRADECIMIENTO	VI
RESUMEN.....	VII
ABSTRACT.....	IX
ÍNDICE GENERAL.....	XI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XV
ÍNDICE DE TABLAS.....	XVII
ÍNDICE DE GRÁFICOS	XVIII
ÍNDICE DE ANEXOS.....	XIX
INTRODUCCIÓN	1
1. EL PROBLEMA.....	2
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	2
1.2. ANTECEDENTES.....	2
1.3. IMPORTANCIA Y ALCANCES	3
1.4. DELIMITACIÓN	3
1.4.1. DELIMITACIÓN TEMPORAL:	3

1.4.2.	DELIMITACIÓN ESPACIAL:	3
1.4.3.	DELIMITACIÓN ACADÉMICA.....	4
1.5.	BENEFICIARIOS DE LA PROPUESTA	4
1.6.	EXPLICACIÓN DEL PROBLEMA	4
1.7.	OBJETIVOS.....	5
1.7.1.	OBJETIVO GENERAL:	5
1.7.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS:	5
2.	FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	6
2.1.	ESTADO DEL ARTE.....	6
2.2.	PRODUCCIÓN DE MAÍZ EN ECUADOR	9
2.3.	ETAPAS DEL CRECIMIENTO DEL MAÍZ	9
2.4.	ETAPAS VEGETATIVAS DEL MAÍZ	10
2.5.	ETAPAS REPRODUCTIVAS DEL MAÍZ.....	10
2.6.	INTERNET OF THINGS (IoT)	12
2.7.	COMPONENTES DE UN SISTEMA IoT	12
2.7.1.	HARDWARE	13
2.7.2.	MIDDLEWARE	13
2.7.3.	PRESENTACIÓN.....	13
2.8.	AGRICULTURA DE PRECISIÓN.....	13
2.8.1.	CICLO DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN	14
2.8.1.1.	ADQUISICIÓN DE DATOS.....	14

2.8.1.2.	ANÁLISIS DE DATOS	14
2.8.1.3.	TOMA DE DECISIONES Y APLICACIÓN	15
2.8.1.4.	PUESTA EN MARCHA – MONITORIZACIÓN.....	15
2.9.	MATERIALES A UTILIZARSE	16
	DISPOSITIVOS LoRaWAN	16
	ARDUINO MEGA 2560	17
	ARDUINO NANO RV3.....	18
	qBox DIY IOT	19
	SENSOR NPK DETECTOR DE SUELO	20
	MAX485 MÓDULO TTL A RS-485	21
	MÓDULO WIFI ESP8260	23
	SOFTWARE	24
	NODE – RED	24
	PROTOCOLO MQTT	25
	SERVIDOR MARIADB	25
	MÁQUINA VIRTUAL ORACLE	26
3.	MARCO METODOLÓGICO	27
3.1.	DESCRIPCIÓN DEL PROTOTIPO	27
3.2.	ETAPAS DEL PROTOTIPO.....	27
3.3.	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	38

4. CONCLUSIONES	42
5. RECOMENDACIONES	43
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44
ANEXOS	I
ANEXO 1: ENCUESTA DE MEDICIÓN DE IMPACTO	II
ANEXO 2: Diagrama de conexión del dispositivo TX.	III
ANEXO 3: Diagrama de conexión del dispositivo RX.	IV
ANEXO 4: GLOSARIO.	V
ANEXO 5: PROGRAMACIÓN	VI
ANEXO 6: PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO, RECEPCIÓN DE DATOS Y EN EL DASHBOARD.....	XI
ANEXO 7: MANUAL DE USUARIO	XIII

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: IOT APLICADO A LA AGRICULTURA.

FIGURA 2: ETAPAS VEGETATIVAS Y REPRODUCTIVAS DEL MAÍZ.

FIGURA 3: GRANO DE UNA PLANTA DE LA ETAPA R3.

FIGURA 4: MAZORCAS PRINCIPALES DE UNA PLANTA DE LA ETAPA REPRODUCTIVA 1 HASTA LA ETAPA REPRODUCTIVA 6.

FIGURA 5: TAXONOMÍA DE LOS COMPONENTES DE IoT.

FIGURA 6: AGRICULTURA DE PRECISIÓN.

FIGURA 7: CICLO DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN.

FIGURA 8: RED LoRaWAN.

FIGURA 9: PLACA ARDUINO MEGA 2560.

FIGURA 10: ARDUINO NANO RV3.

FIGURA 11: CAJA QBOX DIY IOT.

FIGURA 12: SENSOR NPK.

FIGURA 13: MAX485 MÓDULO TTL A RS-485.

FIGURA 14: ANTENA LORA EBYTE-32 INSTALADA EN EL GATEWAY.

FIGURA 15: MÁQUINA VIRTUAL ORACLE.

FIGURA 16: PROTOTIPO TX Y RX FUNCIONANDO CORRECTAMENTE.

FIGURA 17: EQUIPOS SOLDADOS A LA BAQUELITA.

FIGURA 18: EQUIPOS YA CONECTADOS INSTALADOS EN LA CAJA QBOX.

FIGURA 19: PROTOTIPO TX CON LOS SENSORES NPK Y DE HUMEDAD INSTALADOS.

FIGURA 20: PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL PROTOTIPO TX.

FIGURA 21: DECLARACIÓN DE VARIABLES Y FUNCIONES EN EL CÓDIGO.

FIGURA 22: INICIALIZACIÓN DE COMUNICACIONES SERIALES Y LA LCD.

FIGURA 23: CAPTURA Y ENVÍO DE DATOS DE LAS VARIABLES DE NITRÓGENO, POTASIO, FÓSFORO Y HUMEDAD.

FIGURA 24: MÓDULO WIFI ESP8260 Y ANTENA EBYTE-32 SOLDADOS EN LA BAQUELITA.

FIGURA 25: CONEXIÓN DEL MÓDULO WIFI ESP8260 Y LA ANTENA EBYTE.

FIGURA 26: DECLARACIÓN DE LIBRERÍAS Y VARIABLES EN EL MÓDULO RX.

FIGURA 27: INICIALIZACIÓN DE PUERTOS SERIALES Y FUNCIÓN WIFI.

FIGURA 28: FUNCIÓN WIFI Y RECEPCIÓN DE DATOS.

FIGURA 29: RECEPCIÓN DE DATOS DE TODAS LAS VARIABLES.

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1: CARACTERÍSTICAS DEL ARDUINO NANO RV3.

TABLA 2: CARACTERÍSTICAS DEL SENSOR NPK.

TABLA 3: CARACTERÍSTICAS DEL MAX485 MÓDULO TTL A RS-485.

TABLA 4: CARACTERÍSTICAS DE LA BATERÍA DE IONES DE LITIO 7.4 V.

TABLA 5: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL MÓDULO WIFI ESP8260.

TABLA 6: TIPOS DE NODOS.

ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1: INTERPRETACIÓN DE LA PREGUNTA 1.

GRÁFICO 2: INTERPRETACIÓN DE LA PREGUNTA 2.

GRÁFICO 3: INTERPRETACIÓN DE LA PREGUNTA 3.

GRÁFICO 4: INTERPRETACIÓN DE LA PREGUNTA 4.

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: ENCUESTA DE MEDICIÓN DE IMPACTO ¡Error! Marcador no definido.

ANEXO 2: DIAGRAMA DE CONEXIÓN DEL DISPOSITIVO TX..... ¡Error! Marcador no definido.

ANEXO 3: DIAGRAMA DE CONEXIÓN DEL DISPOSITIVO RX. ¡Error! Marcador no definido.

ANEXO 4: GLOSARIO..... ¡Error! Marcador no definido.

ANEXO 5: PROGRAMACIÓN..... ¡Error! Marcador no definido.

ANEXO 6: PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO, RECEPCIÓN DE DATOS Y EN EL DASHBOARD..... ¡Error! Marcador no definido.

ANEXO 7: MANUAL DE USUARIO ¡Error! Marcador no definido.

INTRODUCCIÓN

La agricultura es un factor de suma importancia en la economía de cada país porque ayuda a generar nuevos ingresos, brindando oportunidades de empleo a la población, reduciendo así la pobreza lo que conlleva a tener una mejor calidad de vida. El trabajo de los agricultores es muy sacrificado, gracias a ellos es que podemos tener los alimentos en la mesa de cada hogar.

El surgimiento de la agricultura se da en el período neolítico hace más de diez mil años, los primeros cultivos fueron el trigo, la cebada, en Mesopotamia y en Egipto, el maíz en Mesoamérica y el arroz en el este de Asia, modificando la forma de vida de los pobladores, la supervivencia y dando paso al comercio mediante el intercambio de productos. En un inicio, el hombre empleó utensilios de madera y piedra para trabajar el campo. Con el pasar de los años, gracias a la ciencia y a la tecnología, se fueron creando otras clases de herramientas lo que facilitó el trabajo de los agricultores.

Actualmente, las variaciones climáticas producto del calentamiento global han producido alteraciones en los recursos naturales y en los ecosistemas, reduciendo así el rendimiento de los cultivos y una disminución considerable de los nutrientes por la aparición de plagas. Otro factor que podría detener el crecimiento de la planta es el incremento de la temperatura.

Cabe recalcar, que la tecnología ha transformado esta ardua labor, porque mediante un sistema de monitoreo podemos conocer el estado nutricional de un cultivo para manejarlo de manera eficiente y lograr una agricultura sustentable y moderna.

1. EL PROBLEMA

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En el Ecuador los agricultores realizan su trabajo de forma mecánica, es decir de forma manual sin alguna tecnología que los oriente para poder optimizar sus recursos, ya que en el país no se acostumbra a usar la tecnología para esta práctica, por ejemplo; en otros países usan estas tecnologías para poder tener un sistema de riego para sus plantaciones que tengan la cantidad de riego necesario dependiendo de la humedad de su suelo.

Tal como se detalla en el ejemplo, en el país este trabajo se lo realiza de forma manual, desperdiciando los recursos y sin poder llegar a tener los mejores resultados. Como se menciona en este proyecto, se busca aproximarnos a la nutrición ideal del suelo para obtener una cosecha de calidad.

1.2. ANTECEDENTES

Desde años atrás los agricultores en el país realizan el trabajo nutricional del suelo de sus cultivos para una mejor cosecha lo realizan de forma empírica, en algunos casos era exitoso, pero en otros momentos no tenían el mismo éxito, esto les genera mayores gastos de inversión y un menor margen de ganancias.

Por ello mediante este proyecto se busca que los agricultores puedan realizar este trabajo de manera eficiente al saber cuáles son los macronutrientes que su suelo carece y los factores necesarios como la humedad del suelo para de esta manera obtener una óptima cosecha buscando tener siempre el mayor margen de ganancias y facilitando la ardua labor de los agricultores, en este caso con un cultivo de maíz.

1.3. IMPORTANCIA Y ALCANCES

Este trabajo de titulación tiene como objetivo el diseño y la implementación de un sistema de monitoreo nutricional y de humedad de un sembrío de maíz mediante servicios IoT, el mismo que permitirá publicar los datos en la Web para su visualización mediante dashboards.

La relevancia social radica en que a través de nuestro proyecto los agricultores del sector de la ladrillera junto a la Coop. Ciudad de Dios, hacienda “Luchadores del Agro” podrán monitorear los factores necesarios para el cultivo del maíz como la temperatura, humedad y macronutrientes del suelo.

1.4. DELIMITACIÓN

1.4.1. DELIMITACIÓN TEMPORAL:

La investigación y desarrollo de este proyecto se realizó entre los meses de julio y septiembre del presente año 2022.

1.4.2. DELIMITACIÓN ESPACIAL:

En cuanto a la delimitación espacial, la misma se realizará en el sector de la ladrillera junto a la Coop. Ciudad de Dios, hacienda “Luchadores del Agro” Guayaquil-Ecuador, de la cual se tomó una muestra de su suelo y se envió a su evaluación, se realizará el proyecto en esa ubicación ya que será implementada en ese sitio para poder demostrar su funcionamiento y el método de trabajo.

1.4.3. DELIMITACIÓN ACADÉMICA

El presente trabajo de investigación se basó en servicios IoT, lo cual permitirá el monitoreo nutricional del sembrío de los agricultores de la hacienda “Luchadores del Agro” en el sector de la Ladrillera. Se aplicarán los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera en materias como: Medios de transmisión, Redes inalámbricas, Electivas y seminarios. Cabe recalcar que también se realizó un prototipo funcional para la aplicación en el laboratorio de la Universidad Politécnica Salesiana, sede Centenario.

1.5. BENEFICIARIOS DE LA PROPUESTA

Los beneficiarios directos del trabajo de titulación serán los agricultores del sector de la Ladrillera junto a la Coop. Ciudad de Dios, hacienda “Luchadores del Agro” Guayaquil-Ecuador lo que brindará facilidades para el control de la humedad, temperatura y otros factores necesarios para un buen cultivo de maíz.

1.6. EXPLICACIÓN DEL PROBLEMA

El proyecto surge de la necesidad de implementar la tecnología en la agricultura para optimizar recursos, tiempo y reducir la mano, cambiando así el método convencional por un sistema de monitoreo nutricional inteligente.

Para exponer el problema hemos planteado la siguiente pregunta:

¿De qué manera influye un sistema de monitoreo nutricional inteligente mediante servicio IoT de cultivo de maíz con protocolo de comunicación LoRaWAN en los agricultores del sector de la Ladrillera junto a la Coop Ciudad de Dios, hacienda “Luchadores del Agro” Guayaquil-Ecuador?

1.7. OBJETIVOS

1.7.1. OBJETIVO GENERAL:

Diseñar e implementar un sistema de monitoreo nutricional NPK de un sembrío de maíz mediante servicios IoT, lo cual permitirá publicar sus datos en la Web y poder visualizar dicha información mediante dashboards configurados previamente.

1.7.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- ❖ Diseñar la arquitectura necesaria para un sistema de monitoreo nutricional y de humedad, para de esta forma poder recibir y transmitir sus datos mediante la tecnología IoT.
- ❖ Implementar un prototipo para el monitoreo nutricional y humedad de un cultivo, los cuales utilizarán los módulos Gateway LoRa WAN y End nodes Lora WAN.
- ❖ Visualizar en tiempo real todos los parámetros que son transmitidos por los dispositivos implementados en el proyecto.
- ❖ Elaborar un manual de usuario sobre el uso de los dispositivos que comprenden un sistema de monitoreo nutricional.

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. ESTADO DEL ARTE

El IoT ha revolucionado los procesos agrícolas porque gracias a esta tecnología es posible recoger, almacenar y procesar datos en tiempo real mediante la implementación de sensores, monitoreos nutricionales que nos permiten conocer el estado de los cultivos como la humedad, temperatura, nutrientes entre otros factores necesarios para que una cosecha sea productiva y rinda al máximo para mejorar la economía del país.

(Fernández, 2018) recalca que, en la actualidad, son muchos los beneficios que el IoT brinda al sector agrícola porque es una herramienta que permite optimizar arduos procesos. Gracias a la tecnología podemos monitorear el suelo y la salud del cultivo, alcanzando así una mayor productividad y rentabilidad de los recursos. Otra ventaja, es que nos permite saber con exactitud la cantidad de agua, fertilizante requerido para nuestro sembrío. También ayuda al control de plagas y enfermedades que a la larga se convierten en una amenaza para los agricultores.



Figura 1: Fernández, J. (2018). *IoT aplicado a la agricultura, el poder de la comunicación*. Fertiberia. <https://www.fertiberia.com/es/blog/2018/enero/agricultura-inteligente-3-beneficios-iot-en-agricultura/>

El monitoreo nutricional comprende un conjunto de acciones que brindan datos necesarios e importantes para tomar decisiones correctas que ayuden a prevenir, controlar y erradicar problemas en los sembríos, evitando así problemas de salud. Gracias al monitoreo se puede establecer la cantidad exacta de insumos que requieren los cultivos para una buena producción.

El maíz es uno de los cereales y gramínea más importante del mundo debido a sus propiedades nutritivas tanto para los seres humanos como para los animales. (Agropecuarios, 2018) define el maíz como uno de los granos alimenticios de mayor antigüedad por lo que sus primeros cultivos fueron hace aproximadamente hace 10 mil años A.C. Es una planta productiva y por su crecimiento moderado puede estar tranquilamente al cuidado del hombre, su nombre científico es *Zea Mays*, es de tallo macizo y largo, con él se elaboran muchos platos como también suele molerse para la elaboración de harinas.

Como todo agricultor espera un buen rendimiento de lo que ha cosechado, es necesario tomar en consideración algunos factores agronómicos para obtener un mejor resultado.

La Compañía de Nutrición de Cultivos para el Futuro (YARA, 2022) señala que para que el agricultor pueda alcanzar su meta es necesario aplicar un programa nutricional balanceado con lo siguiente:

- **Fósforo:** Para un buen establecimiento del cultivo y un desarrollo radicular. Es un nutriente esencial para el crecimiento vegetal.
- **Nitrógeno:** Es utilizado para producir aminoácidos, asegura altos rendimientos en la cosecha del maíz.
- **Potasio:** Es absorbido en grandes cantidades por la planta, ayuda al cierre de las estomas (células oclusivas que forman parte de la epidermis de las plantas)

fortaleciendo el desarrollo del cultivo. La deshidratación de las plantas se debe a un bajo nivel de potasio.

- **Calcio:** Protege la producción de raíces, tallos y hojas; garantizando una buena resistencia en las plantas.
- **Azufre, hierro y magnesio:** Conserva un buen crecimiento, acrecentando la actividad fotosintética.
- **Zinc:** Es uno de los micronutrientes necesario para el crecimiento y reproducción de las plantas, es empleado para la formación de la clorofila y ayuda para que las plantas puedan resistir bajas temperaturas.
- **Boro:** Es un elemento indispensable para la nutrición vegetal, contribuye a la formación de la pared celular y ayuda a metabolizar el nitrógeno. En el caso del maíz, ayuda a conseguir una buena fecundación de los granos.

Existen otros factores que ayudan a mejorar el rendimiento del cultivo de maíz como:

- Conservar un pH perfecto en el suelo fortalece un buen desarrollo y disponibilidad de nutrientes. Como el maíz no tolera un pH bajo, el idóneo medido en agua va entre 6 a 7.2.
- Aplicar cal para para mejorar la estructura del suelo y así mejorar el rendimiento del cultivo.
- Reducir la maleza, plagas y enfermedades mediante el control de malas hierbas y haciendo rotaciones con otros cultivos.
- Hidratar las plantas durante el proceso de floración ayuda a conseguir una buena fertilización de las semillas.

2.2. PRODUCCIÓN DE MAÍZ EN ECUADOR

En el Ecuador, el maíz es considerado un cereal y un alimento de consumo diario, por lo tanto, su producción se da a gran escala. (Agro Bayer Ecuador, 2022) destaca lo siguiente:

En la actualidad, la producción nacional está orientada principalmente a los tipos duro y suave de color amarillo, el rendimiento promedio del maíz amarillo duro, considerando dos ciclos de siembra, fue de 5.76 t/ha. La mayor producción se encuentra ubicada en la provincia de Los Ríos, Manabí, Guayas y el resto en la provincia de Loja. Es importante destacar que alrededor del 90% de la siembra de maíz tiene lugar en la época lluviosa. Se estima un área promedio de siembra anual de 250 mil hectáreas de maíz amarillo y una producción total de aproximadamente 1,4 Millones de toneladas del grano.

Esto indica que la cosecha de maíz en el Ecuador ha tenido un gran rendimiento por lo que contribuye a la economía del país.

2.3. ETAPAS DEL CRECIMIENTO DEL MAÍZ

Etapas vegetativas		Etapas reproductivas	
VE	Emergencia	R1	Aparición de los estigmas
V1	Primera hoja	R2	Blíster
V2	Segunda hoja	R3	Grano lechoso
V3	Tercera hoja	R4	Grano pastoso
V(n)	Enésima hoja	R5	Grano dentado
VT	Aparición de las panojas	R6	Grano maduro

Figura 2: Pioneer. (2015). *Etapas vegetativas y reproductivas del maíz.* (p.9) https://www.pioneer.com/CMRoot/International/Latin_America_Central/Chile/Servicios/Informacion_tecnica/Corn_Growth_and_Development_Spanish_Version.pdf

Las etapas de crecimiento de las plantas de maíz son las mismas, pero éstas varían debido a diferencias ambientales y de productos; estas etapas ayudan a determinar el momento correcto en que se deben aplicar fungicidas, herbicidas y fertilizantes. Las etapas del desarrollo del maíz se dividen en: etapas vegetativas y etapas reproductivas.

2.4. ETAPAS VEGETATIVAS DEL MAÍZ

La primera etapa vegetativa del maíz es la VE conocida como emergencia o de surgimiento, ésta se da cuando los coleóptilos (estructura que emerge desde la semilla hacia arriba) atraviesan la superficie del suelo. Según el sistema radicular, durante esta etapa también hay crecimiento debajo de la tierra.

La etapa V1 se origina cuando la primera hoja surge completamente, ésta es de punta redonda, mientras que las demás son puntiagudas.

La etapa V2 inicia cuando dos hojas aparecen por completo con collares visibles.

En la etapa V3 se inicia el proceso fotosintético y en fin de la función de la semilla, las raíces aumentan su tamaño y empieza la formación del pelo radical.

En la etapa V(n) la enésima hoja está completamente desarrollada con lígula visible y collar.

La última etapa vegetativa es la VT e inicia con la aparición de la panoja y la liberación del polen por lo general se da en la mañana o en la tarde.

2.5. ETAPAS REPRODUCTIVAS DEL MAÍZ

La etapa R1 inicia con la aparición de los estigmas.

La etapa R2 se la conoce como Blíster o ampolla, durante esta etapa de granulación, los granos, el grano de maíz es de color blanco y se asemeja a una ampolla.

En la etapa R3, denominada grano lechoso, los granos en su interior poseen un líquido de color blanco y lechoso; en su exterior son de color amarillo.

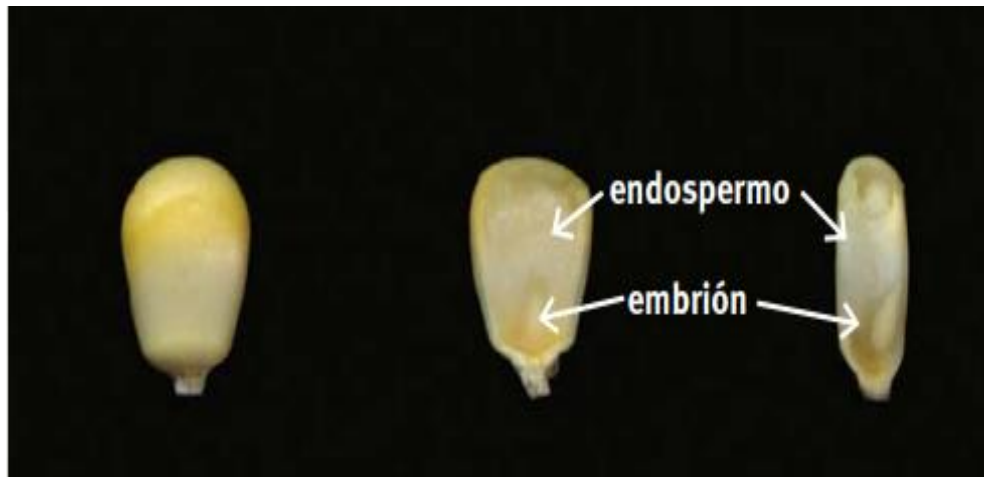


Figura 3: Pioneer. (2015). *Grano de una planta de la etapa R3.* (p.16)
https://www.pioneer.com/CMRoot/International/Latin_America_Central/Chile/Servicios/Informacion_tecnica/Corn_Growth_and_Development_Spanish_Version.pdf

Durante la etapa R4 (grano pastoso), el fluido ha cambiado su consistencia a pastosa, la humedad del grano es del 70% y la mazorca es de color blanco.

En la etapa R5 (grano dentado), inicia el secado del grano y la mazorca es de color rojo oscuro. La humedad del grano es del 55%.

Por último, tenemos la etapa R6 (grano maduro), en la cual el maíz ha alcanzado su madurez fisiológica. La humedad del grano alcanza entre el 30-35%.



Figura 4: Pioneer. (2015). *Mazorcas principales de una planta de la etapa reproductiva 1 hasta la etapa reproductiva 6.* (p.18)

https://www.pioneer.com/CMRoot/International/Latin_America_Central/Chile/Servicios/Informacion_tecnica/Corn_Growth_and_Development_Spanish_Version.pdf

2.6. INTERNET OF THINGS (IoT)

El término IoT o también conocido como “Internet de las cosas” es un sistema basado en la agrupación e interconexión de objetos y dispositivos mediante una red, éstos pueden ser desde unos simples objetos de uso doméstico hasta sensores, dispositivos médicos, inteligentes y portátiles.

2.7. COMPONENTES DE UN SISTEMA IoT

El Service Management Institute en su sitio web señala que un sistema IoT está compuesto por 3 componentes que son: hardware, middleware y la presentación.



Figura 5: Peris, J. (2021). *Taxonomía de los componentes de IoT.*

<https://news.itsmf.es/taxonomia-de-los-componentes-de-iot/#:~:text=Los%20tres%20componentes%20del%20IoT,el%20an%C3%A1lisis%20de%20datos%3B%20y>

2.7.1. HARDWARE

Por lo general, un nodo está compuesto por unidades de procesamiento, interfaces de sensores, fuentes de alimentación y unidades transceptoras. En la actualidad, los sensores se han convertido en dispositivos más versátiles porque mediante el uso de una banda de frecuencia tienen la capacidad de transmitir información de gran utilidad.

2.7.2. MIDDLEWARE

Es un tipo de software que se emplea como un interfaz entre cada uno de los componentes del IoT, gracias a esta conexión podemos comunicar datos o transmitir información mediante una red.

2.7.3. PRESENTACIÓN

Comprende las herramientas de interpretación y visualización que se pueden diseñar o a las que se pueden acceder en las diversas plataformas.

2.8. AGRICULTURA DE PRECISIÓN

La agricultura de precisión es una serie de herramientas que permiten la realización de la actividad agrícola con mayor facilidad y precisión, por ejemplo: la aplicación de la cantidad exacta de insumos como: pesticidas, fertilizantes, agua, entre otros. Si conocemos estos datos podemos hacer que los cultivos rindan al máximo, aumentando así su productividad.

Involucra el uso de sensores, GPS, drones y otros medios electrónicos que nos faciliten la obtención de información sobre nuestros cultivos para así poder evaluar las variaciones del mismo.



Figura 6: Agroecología Tornos. (2018). *Agricultura de precisión.*

<https://www.agroecologiatornos.com/agricultura-precision-revolucion-silenciosa-sector-agricola/>

2.8.1. CICLO DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN

El ciclo de la agricultura de precisión inicia con la adquisición de datos, continúa con el análisis de los datos, luego la toma de decisiones, aplicación y finalmente la puesta en marcha (monitorización).

2.8.1.1. ADQUISICIÓN DE DATOS

La geolocalización o ubicación de la parcela permite conocer datos como: análisis del suelo, resistividad, restos nitrogenados y se lo realiza de dos maneras:

- ✓ **Cartográfica:** mediante una imagen satelital o aérea, por ejemplo: el uso de drones.
- ✓ **Física:** con la ayuda de un GPS a bordo.

2.8.1.2. ANÁLISIS DE DATOS

Para facilitar la interpretación y el entendimiento de los datos, éstos deben ser tratados mediante herramientas matemáticas y estadísticas como gráficas, mapeo.

2.8.1.3. TOMA DE DECISIONES Y APLICACIÓN

Una vez recopilada la información, más los conocimientos agrónomos es el momento es el momento de crear las condiciones perfectas sobre el cultivo y ésta se toma en función de dos estrategias que son:

- ✓ **Enfoque preventivo:** basado en el análisis de los indicadores estadísticos como el historial de la parcela, la resistividad, etc.)
- ✓ **Enfoque de gestión:** éste se da gracias a las mediciones periódicas mediante proxy-detección (sensores a bordo), muestras físicas, teledetección satelital o aérea.

2.8.1.4. PUESTA EN MARCHA – MONITORIZACIÓN

Aquí se evalúa la producción y el rendimiento final, gracias al monitoreo de nuestros cultivos podemos medir el efecto a corto y largo plazo



Figura 7: Agroecología Tornos (2018). *Ciclo de la agricultura de precisión.*
<https://www.agroecologiatornos.com/agricultura-precision-revolucion-silenciosa-sector-agricola/>

2.9. MATERIALES A UTILIZARSE

DISPOSITIVOS LoRaWAN

LoRaWAN es un prototipo de red que emplea la tecnología LoRa para redes de área amplia y baja potencia y la LPWAN (Low Power Wide Area Network) elaborada especialmente para comunicar y administrar dispositivos de bajo consumo empleando la tecnología LoRa. Las redes LoRaWAN se componen de: gateways y nodos. Los gateways son los que reciben y envían la información a los nodos, mientras que, los nodos también conocidos como sensores se encargan de enviar y recibir información hacia el Gateway.

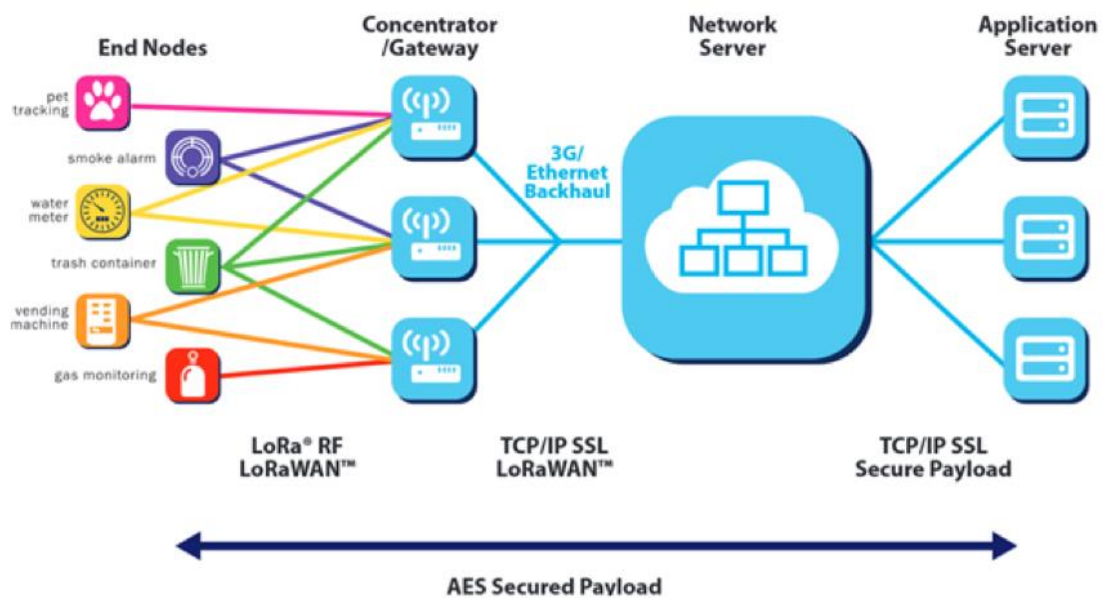


Figura 8: Campos, F. (2020). Red LoRaWAN. <https://www.m2mlogitek.com/que-es-lorawan/>

El desarrollo de tecnologías IoT administradas bajo el protocolo de redes LoRaWAN proporciona una serie de ventajas como: largo alcance de cobertura porque éste puede llegar hasta los 15 kilómetros, en comparación con otro tipo de redes, se puede afirmar que es un hardware de bajo costo y de bajo consumo, posee una alta capacidad porque una puerta de enlace puede vincular a miles de dispositivos IoT.

ARDUINO MEGA 2560

La placa Arduino Mega 2560 está basada en el microcontrolador ATmega 2560, ha sido elaborada con tecnología CMOS de baja potencia y de 8 bits, a diferencia de la placa Arduino UNO R3 la primera posee más líneas de expansión y más capacidad de memoria por lo que se la emplea en proyectos más grandes. Posee 54 entradas y salidas digitales, 4 UARTs, conexión USB, 16 entradas analógicas, botón de reseteo, conector ICSP, cristal de 16 Mhz,

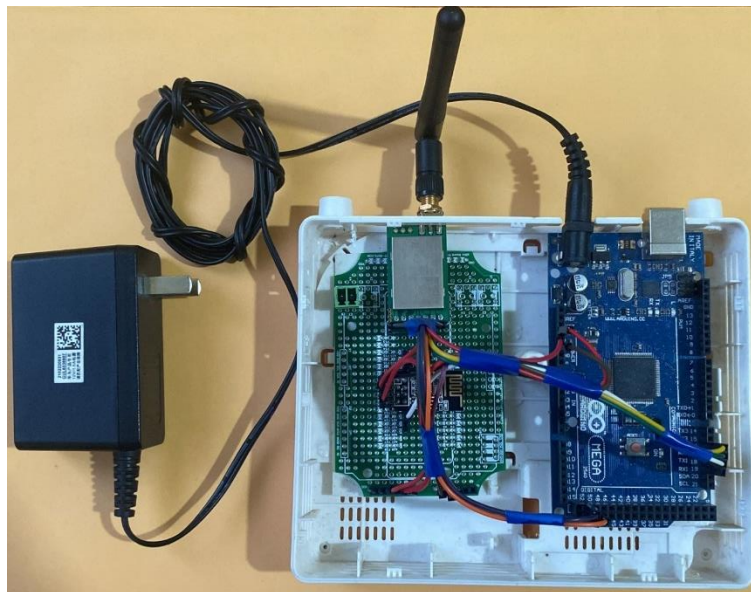


Figura 9: Placa Arduino Mega 2560

Puede alimentarse con una fuente externa o mediante una conexión USB y ésta selecciona de manera automática la fuente de poder. Los pines de alimentación son: GND (pines de tierra), VIN (voltaje de entrada a la placa cuando se está utilizando una fuente externa), IOREF (pin que muestra la referencia de voltaje), 3V3 (fuente generada por el regulador de la placa), 5V (pin que proporciona un voltaje de 5V desde el regulador de la placa).

ARDUINO NANO RV3

Es una placa basada en el microprocesador ATmega328, su tamaño es pequeño, funciona con un cable USB mini-B y no posee conector para alimentación externa. Es ideal para proyectos en los que el tamaño es un factor importante a considerarse.



Figura 10: ARDUINO NANO RV3

CARACTERÍSTICAS	
Pines E/S Digitales:	14 (de los cuales 6 proveen de salida PWM).
Microcontrolador:	Atmel ATmega328.
Memoria Flash:	32 KB.
Tensión de Operación (nivel lógico):	5 V.
Tensión de Entrada (recomendado):	7-12 V.
Tensión de Entrada (límites):	6-20 V.

Entradas Analógicas:	8 corriente max por cada PIN de E/S: 40 mA.
EEPROM:	1 KB (ATmega328) (512 bytes – ATmega168).
SRAM:	2 KB (ATmega328) (1 KB ATmega168).
Frecuencia de reloj:	16 MHz.

Tabla 1: Características del ARDUINO NANO RV3

qBox DIY IOT

Carcasa o caja ideal para proyectos relacionados con sensores de medición ya que es impermeable IP65, fabricada con material ABS, además cuenta con bridas de cable PG-7 con entradas las cuales permiten la conexión de la alimentación y conexión de los sensores a la PCB ubicada dentro de la caja o la diseñada que se desee implementar. Tiene un conector SMA integrado que brinda conexión a la placa desde la antena externa.



Figura 11: Caja qBox DIY IOT utilizadas en el proyecto.

SENSOR NPK DETECTOR DE SUELO

El sensor NPK cuenta con IP68 el cual permite la protección contra agua y polvo, con esta se garantiza alargar la vida del sensor y el funcionamiento correcto del mismo. Las sondas del sensor cuentan con resistencia a la oxidación, electrolítica y resistencia a la corrosión salina y alcalina; por esto, este tipo de sensores es ideal para llevar un monitoreo de cultivos y monitoreo de nutrientes en el suelo porque permite una medición portátil, gracias a este dispositivo se puede realizar la medición de la condición del suelo para un óptimo crecimiento de la planta.



Figura 12: Sensor NPK

CARACTERÍSTICAS	
Material:	ABS
Longitud:	Aproximadamente 5.5 pulgadas.
Peso:	Aproximadamente 7.2 onzas.
Ancho:	Aproximadamente 1.6 pulgadas.
Rango de medición:	0-1999 mg/kg.

Precisión de medición:	± 2% F
Humedad de funcionamiento:	5 a 95% (humedad relativa), sin condensación
Temperatura de funcionamiento:	5 a 113.0 °F
Fuente de alimentación:	12 V a 24 V CC

Tabla 2: Características del Sensor NPK

MAX485 MÓDULO TTL A RS-485

Esta board está indicado para una comunicación RS-485, es un transceptor con una velocidad de respuesta imitada y de baja potencia. Se conecta a un Arduino o microcontrolador y permite convertir las señales seriales TTL a RS-485.



Figura 13: MAX485 Módulo TTL a RS-485.

CARACTERÍSTICAS	
Chip principal:	MAX485
Consumo Corriente:	500 uA (Max)
Voltaje de Operación:	5 V
Tipo de Comunicación:	Half-Duplex
Longitud máxima de alcance:	De 1200 metros (a 100 kbit/s)
Velocidad máxima:	De 10 Mbit/s (a 12 metros)

Tabla 3: Características del MAX485 Módulo TTL a RS-485

BATERÍA DE IONES DE LITIO 7.4 V

Este dispositivo tiene la capacidad de dar 7.4V a 2200mAh. Es una batería de Ion Litio-Polímero.

CARACTERÍSTICAS	
Duración:	Larga duración. de 7.4 V y 2200 mAh.
Tamaño de la batería:	2.65 x 1.46 x 0.75 pulgadas.
Tipo de enchufe:	XH 2.54 macho de 2 pines.
Protección:	Protección contra sobredescarga, temperatura, cortocircuitos, corriente.

Tabla 4: Características de la batería de iones de litio 7.4 V

MÓDULO WIFI ESP8260

El módulo wifi ESP8260 es un chip integrado con conexión que permite dar acceso a una red, es ideal para dispositivos IoT, posee algunas ventajas, una de ellas es su bajo consumo, trabaja en 3 modos:

- ✓ Modo activo o active mode.
- ✓ Modo en sueño profundo o deep sleep.
- ✓ Modo dormido o sleep mode.

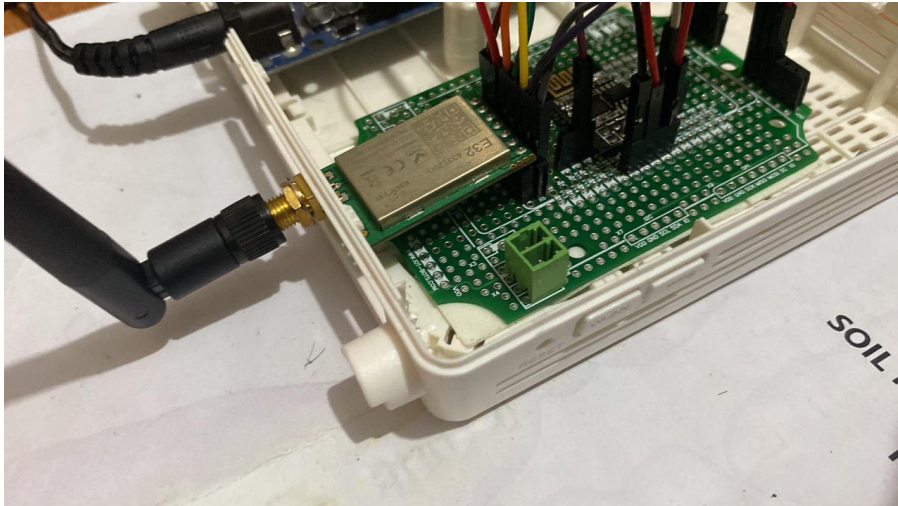


Figura 14: Antena LORA EBYTE-32 instalada en el Gateway.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
Hardware:	<ul style="list-style-type: none">*Corriente de operación 80 mA*Utiliza una CPU Tensilica L106 32-bit.*Temperatura de operación -40°C y 125°C.*Voltaje de operación entre 3V y 3,6V.
	<ul style="list-style-type: none">*Soporta los principales buses de comunicación (SPI, I2C, UART).*Tiene 17 puertos GPIO, pero solo se pueden usar 9 o 10.

Puertos GPIO:	*Pueden ser configurados con resistencia Pull-up o Pull-down..
Conectividad:	*Soporta IPv4 y los protocolos TCP/UDP/HTTP/FTP
Características eléctricas:	* Voltaje de trabajo entre 3V y 3,6V.

Tabla 5: Especificaciones técnicas del módulo wifi ESP8260

SOFTWARE

NODE – RED

Es una herramienta de programación originalmente diseñada por IBM, se utiliza en dispositivos controladores de hardware para procesar datos en tiempo real. Permite crear nodos e instalarlos de una manera sencilla, adaptándolo a las necesidades, también simplifica los servicios, la programación y la conectividad porque conecta varios dispositivos a la vez y organiza el flujo de información.

NODOS	
Nodos de entrada:	Aceptan datos de entrada para ser enviados a una base de datos o un panel de control.
Nodos de salida:	Ofrecen datos tras recibirlos mediante diferentes métodos como por ejemplo un mensaje MQTT.

Nodos de entrada y salida:	Permiten la entrada de datos y luego ofrecen una o varias salidas. Por ejemplo, podemos leer una temperatura, transformarla en grados Celsius y enviarla a otro nodo.
-----------------------------------	---

Tabla 6: Tipos de nodos

PROTOCOLO MQTT

El MQTT es un protocolo de mensajería ligero que se lo emplea para la comunicación de un equipo a otro. Una de las ventajas más importantes es que permite dar más seguridad debido a que los equipos están conectados a servidores brindando así seguridad a los datos registrados y guardados. Es utilizado con frecuencia debido a su ligereza, pues necesita un ancho mínimo de banda.

Según la arquitectura MQTT, hay dos tipos de sistemas que son brókeres y clientes. Los brókeres son los servidores con el que se comunican los clientes. Cada uno de los clientes pueden ser suscriptor, editor o ambos.

SERVIDOR MARIADB

Es considerado como un sistema de gestión de base de datos de código abierto, posee una arquitecta ampliable, alta disponibilidad con entorno distributivo, seguridad de base de datos de clase empresarial, escalabilidad flexible, y rendimiento optimizado en todos los niveles. Está empleado para análisis de datos y transacciones de alta disponibilidad. Este servidor dispone de una alta compatibilidad con la sintaxis de Oracle debido a que posee las mismas interfaces, bibliotecas, API y órdenes.

MÁQUINA VIRTUAL ORACLE

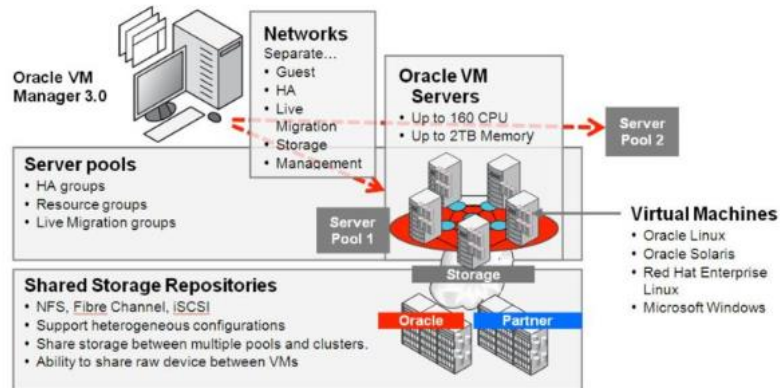


Figura 15: Álvarez, J. (2011). *Máquina Virtual Oracle*. <https://avanttic.com/blog/oracle-virtual-machine-arquitectura-funcionalidades/>

Las máquinas Virtuales Oracle son un software de virtualización que brinda una capacidad informática flexible y segura para las cargas de trabajo en la nube, y éstas van desde proyectos pequeños hasta aplicaciones a gran escala, permite la ejecución de múltiples sistemas operativos en un solo dispositivo.

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. DESCRIPCIÓN DEL PROTOTIPO

El proyecto consiste en un sistema de monitoreo nutricional y humedad mediante servicios de IoT con protocolos de comunicación LoRaWAN, el fin del proyecto es dar una lectura lo más precisa posible del estado del suelo referente a los macronutrientes Nitrógeno, Potasio y Fósforo que son esenciales para una óptima cosecha tratando de minimizar el costo y tiempo que conlleva esta práctica para los agricultores.

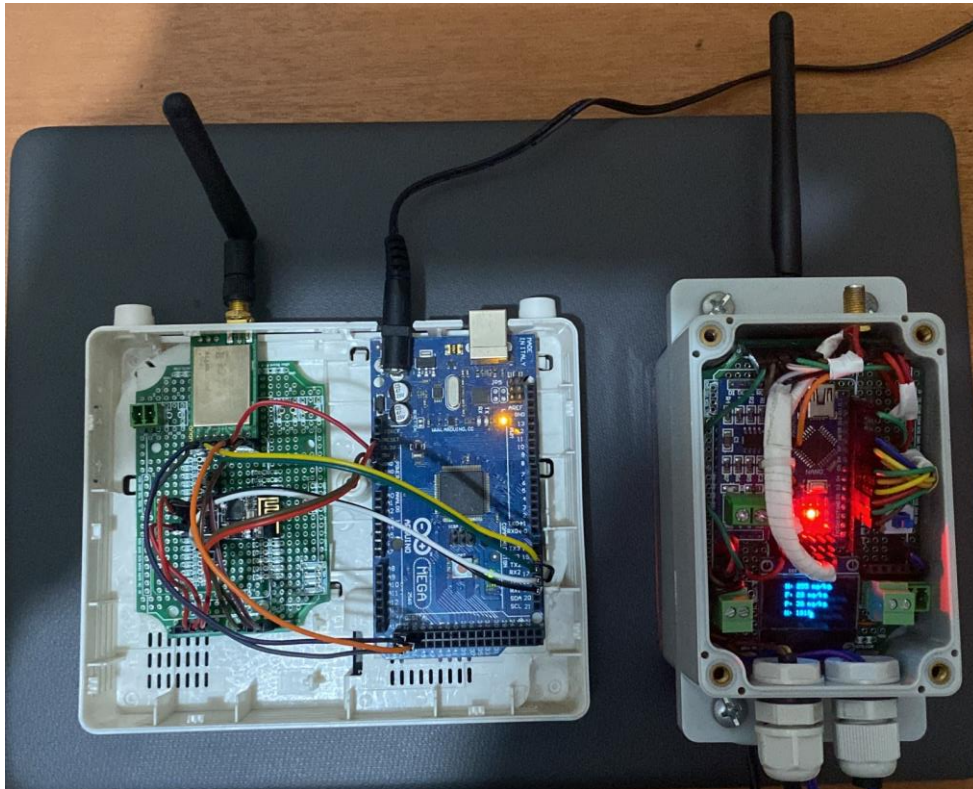


Figura 16: Prototipo Tx y Rx funcionando correctamente.

3.2. ETAPAS DEL PROTOTIPO

El proyecto se inició verificando que todos los dispositivos a utilizar tengan un correcto funcionamiento, se procedió a separar los dispositivos que se utilizaron para el prototipo del

dispositivo Tx y del prototipo del dispositivo Rx. Posteriormente se procedió a soldar de a poco los equipos utilizados en el prototipo del dispositivo Tx, entre estos como se puede verificar en las imágenes están la LCD, el Arduino nano, las borneras de conexión, el módulo TTL A RS-485, la antena LORA EBYTE-E32, además de un botón de encendido y apagado del prototipo y la colocación de la batería de iones de litio 7.4 V para poderle brindar energía a los diferentes dispositivos.

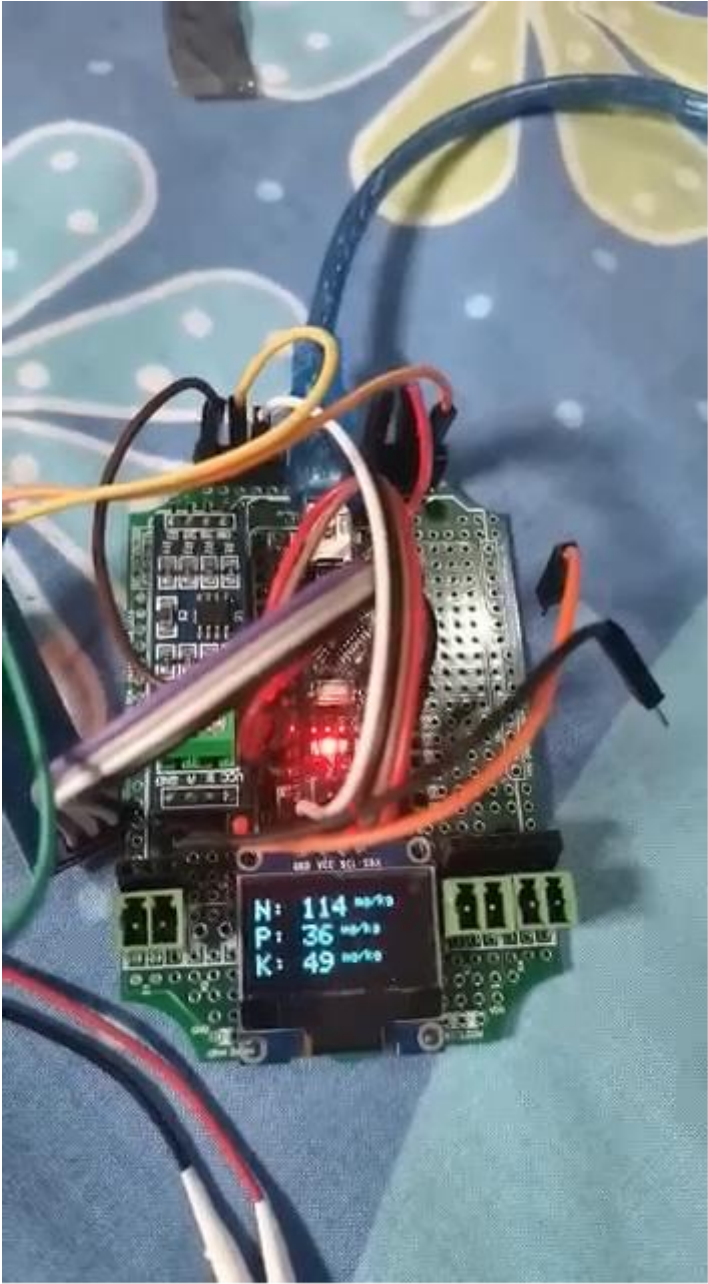


Figura 17: Equipos soldados a la baquelita.

Luego de lo realizado anteriormente se instaló la baquelita en la caja qBox y se procedió a instalar el sensor NPK y el sensor de humedad, se procedió a verificar el funcionamiento de los sensores en conjunto con los demás dispositivos.



Figura 18: Equipos ya conectados instalados en la caja qBox.

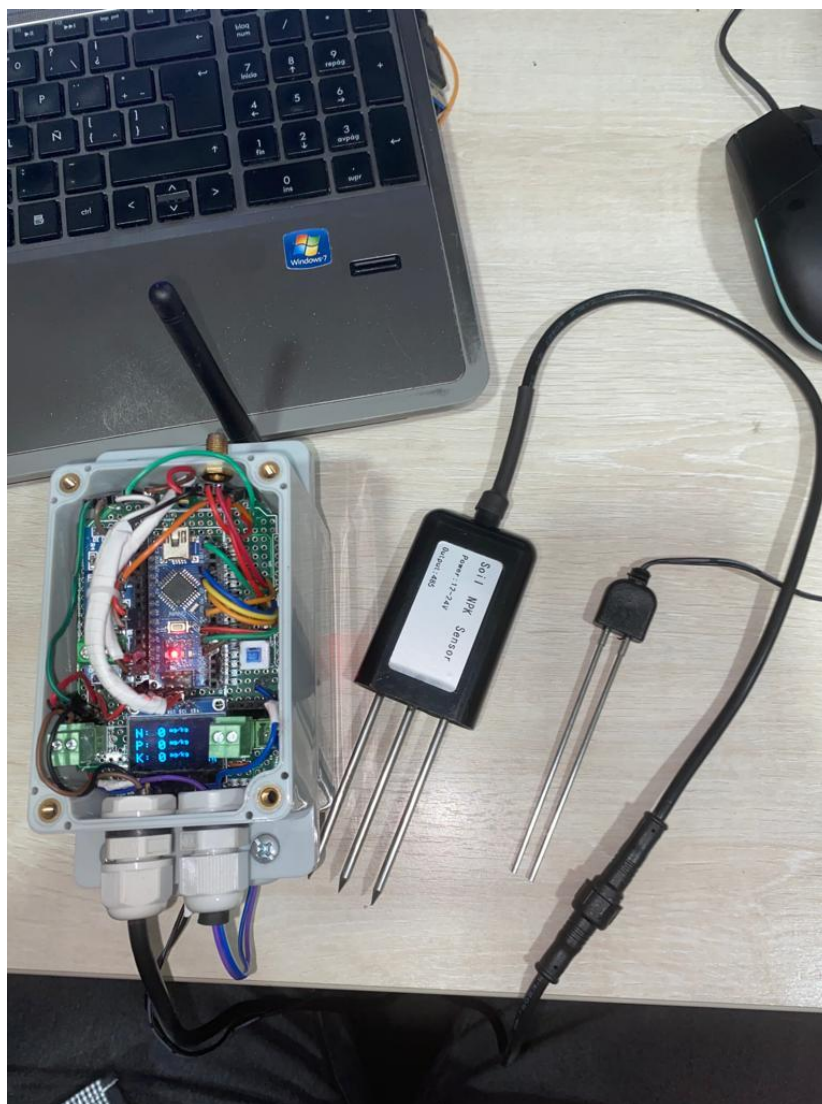


Figura 19: Prototipo TX con los sensores NPK y de humedad instalados.



Figura 20: Pruebas de funcionamiento del prototipo TX.

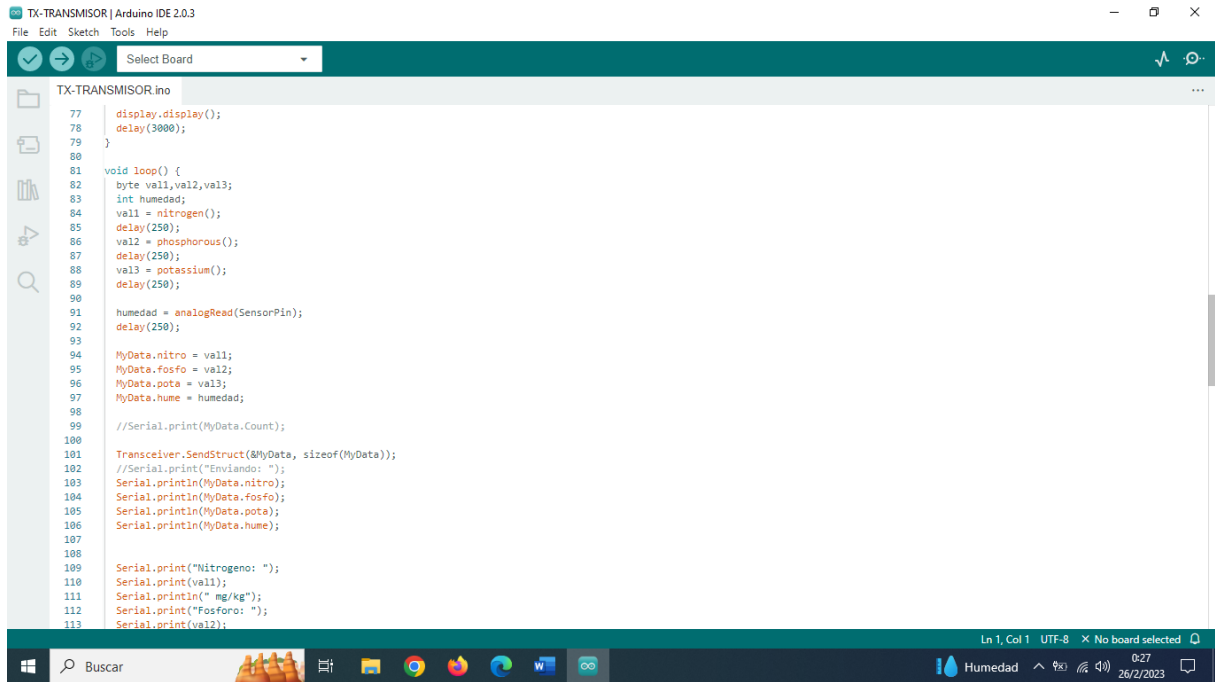
En el Arduino nano se almacena la programación para los diferentes dispositivos del prototipo Tx, como se puede verificar en las imágenes se declaran librerías y variables para el funcionamiento de los equipos en cuanto a la emisión de datos al prototipo Rx, además de la inicialización de las comunicaciones seriales de los equipos y la posterior captura y emisión de datos como se mencionó anteriormente.

```
1 #include <SoftwareSerial.h>
2 #include "EBYTE.h"
3 #include <Wire.h>
4 #include <Adafruit_GFX.h>
5 #include <Adafruit_SSD1306.h>
6 #include "EBYTE.h"
7
8
9 #define SCREEN_WIDTH 128 // OLED display width, in pixels
10 #define SCREEN_HEIGHT 64 // OLED display height, in pixels
11 #define OLED_RESET -1 // Reset pin # (or -1 if sharing Arduino reset pin)
12 Adafruit_SSD1306 display(SCREEN_WIDTH, SCREEN_HEIGHT, &Wire, OLED_RESET);
13
14
15
16 #define RE 8
17 #define DE 7
18 #define PIN_RX 9
19 #define PIN_TX 12
20 #define PIN_M0 4
21 #define PIN_M1 5
22 #define PIN_AX 6
23
24 int SensorPin = A0;
25
26 struct DATA {
27   int nitro;
28   int fosfo;
29   int pota;
30   int hume;
31 };
32
33 DATA MyData;
34 const byte code[] = {0x01, 0x03, 0x00, 0x1e, 0x00, 0x03, 0x65, 0xcd};
35 const byte nitro[] = {0x01, 0x03, 0x00, 0x1e, 0x00, 0x01, 0xe4, 0x0c};
36 const byte phos[] = {0x01, 0x03, 0x00, 0x1f, 0x00, 0x01, 0xb5, 0xcc};
37 const byte pota[] = {0x01, 0x03, 0x00, 0x20, 0x00, 0x01, 0x85, 0xc0};
```

Figura 21: Declaración de variables y funciones en el código.

```
1 #include <SoftwareSerial.h>
2 #include "EBYTE.h"
3 #include <Wire.h>
4 #include <Adafruit_GFX.h>
5 #include <Adafruit_SSD1306.h>
6 #include "EBYTE.h"
7
8
9 #define SCREEN_WIDTH 128 // OLED display width, in pixels
10 #define SCREEN_HEIGHT 64 // OLED display height, in pixels
11 #define OLED_RESET -1 // Reset pin # (or -1 if sharing Arduino reset pin)
12 Adafruit_SSD1306 display(SCREEN_WIDTH, SCREEN_HEIGHT, &Wire, OLED_RESET);
13
14
15
16 #define RE 8
17 #define DE 7
18 #define PIN_RX 9
19 #define PIN_TX 12
20 #define PIN_M0 4
21 #define PIN_M1 5
22 #define PIN_AX 6
23
24 int SensorPin = A0;
25
26 struct DATA {
27   int nitro;
28   int fosfo;
29   int pota;
30   int hume;
31 };
32
33 DATA MyData;
34 const byte code[] = {0x01, 0x03, 0x00, 0x1e, 0x00, 0x03, 0x65, 0xcd};
35 const byte nitro[] = {0x01, 0x03, 0x00, 0x1e, 0x00, 0x01, 0xe4, 0x0c};
36 const byte phos[] = {0x01, 0x03, 0x00, 0x1f, 0x00, 0x01, 0xb5, 0xcc};
37 const byte pota[] = {0x01, 0x03, 0x00, 0x20, 0x00, 0x01, 0x85, 0xc0};
```

Figura 22: Inicialización de comunicaciones seriales y la LCD.



```
TX-TRANSMISOR.ino
77   display.display();
78   delay(3000);
79 }
80
81 void loop() {
82   byte val1,val2,val3;
83   int humedad;
84   val1 = nitrogen();
85   delay(250);
86   val2 = phosphorous();
87   delay(250);
88   val3 = potassium();
89   delay(250);
90
91   humedad = analogRead(SensorPin);
92   delay(250);
93
94   MyData.nitro = val1;
95   MyData.fosfo = val2;
96   MyData.pota = val3;
97   MyData.hume = humedad;
98
99   //Serial.print(MyData.Count);
100
101   Transceiver.SendStruct(&MyData, sizeof(MyData));
102   //Serial.print("Enviando: ");
103   Serial.println(MyData.nitro);
104   Serial.println(MyData.fosfo);
105   Serial.println(MyData.pota);
106   Serial.println(MyData.hume);
107
108
109   Serial.print("Nitrogeno: ");
110   Serial.print(val1);
111   Serial.println(" mg/kg");
112   Serial.print("Fosforo: ");
113   Serial.print(val2);
```

Figura 23: Captura y envío de datos de las variables de nitrógeno, potasio, fósforo y humedad.

En el prototipo Rx se realizó un trabajo similar al prototipo Tx, salvo algunos cambios en dispositivos, por ejemplo; se utilizó un Arduino mega, la antena LORA EBYTE-32, el módulo WIFI ESP8260 con el cual el prototipo puede tener acceso a internet.

Como se muestra en las imágenes se soldó en la baquelita la antena LORA EBYTE-32 y el módulo WIFI ESP8260 y se los conectó con el Arduino mega.

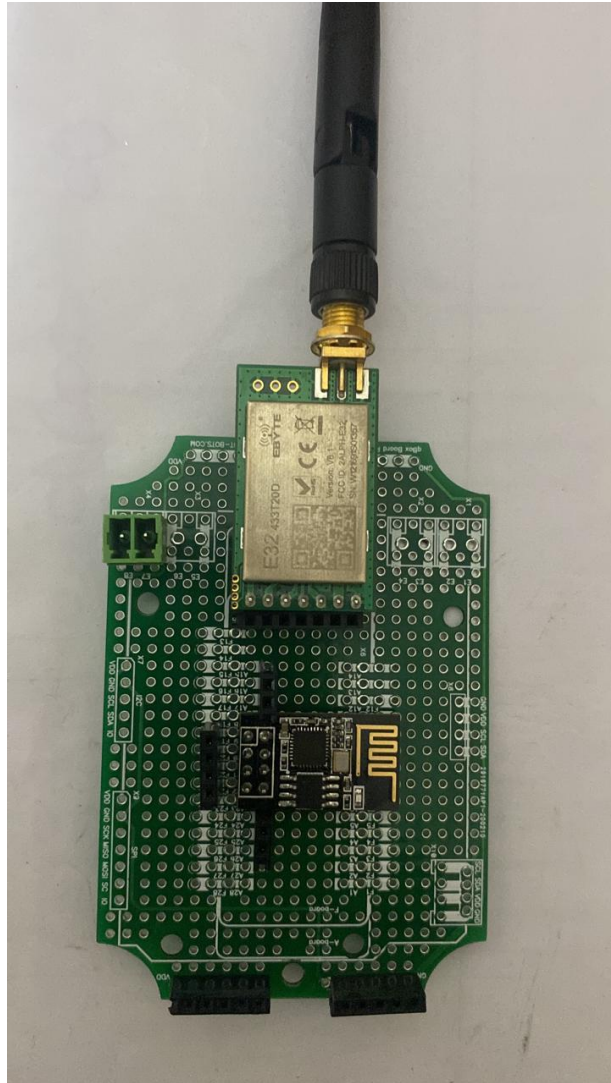


Figura 24: Módulo WIFI ESP8260 y antena EBYTE-32 soldados en la baquelita.

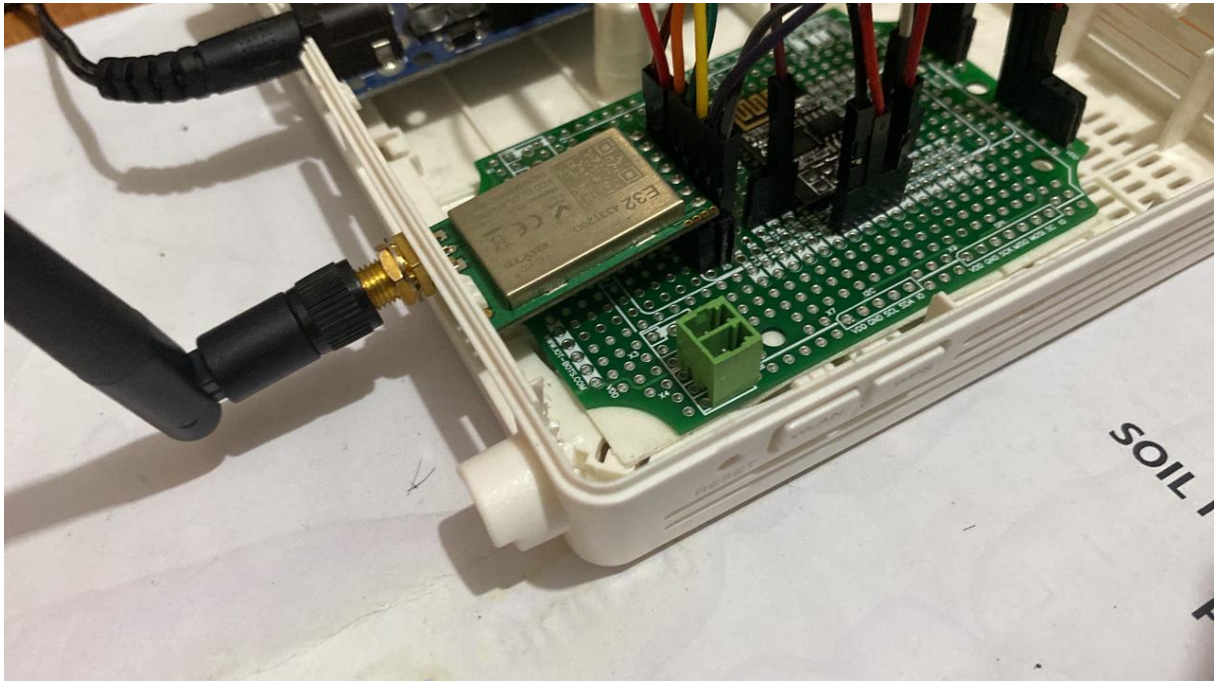


Figura 25: Conexión del módulo WIFI ESP8260 y la antena EBYTE.

En el Arduino mega se almacenan los comandos necesarios para que los equipos del dispositivo Rx capten y envíen los datos a los dashboards de node-RED, se establecen las librerías, se inicializan variables y puertos seriales además de la configuración necesaria para que tenga el acceso a internet.

```

RX-RECEPTOR | Arduino IDE 2.0.3
File Edit Sketch Tools Help
Select Board
RX-RECEPTOR.ino RX-RECEPTOR.ino
1 #include <WiFiEsp.h>
2 #include <WiFiEspClient.h>
3 #include <PubSubClient.h>
4 #include "SoftwareSerial.h"
5 #include "EBYTE.h"
6
7 //define PIN_RX 17
8 //define PIN_TX 16
9 #define PIN_M0 53
10 #define PIN_M1 52
11 #define PIN_AX 51
12
13 //Conexión a la red wifi: nombre de la red y contraseña
14 #define WIFI_AP "TP-LINK_FF26"
15 #define WIFI_PASSWORD "40701516"
16 struct DATA {
17     int nitro;
18     int fosfo;
19     int pota;
20     int hume;
21
22 };
23 int Chan;
24 DATA MyData;
25 unsigned long Last;
26
27 //SoftwareSerial ESerial(PIN_RX, PIN_TX);
28
29 // create the transceiver object, passing in the serial and pins
30 EBYTE Transceiver(Serial2, PIN_M0, PIN_M1, PIN_AX);
31 //Nombre o IP del servidor mosquitto
32 char server[50] = "91.121.93.94";
33
34 //Iniciamos el objeto de cliente esp
35 WiFiEspClient espClient;
36
37 //Iniciamos el objeto suscriptor del cliente
Ln 1, Col 1 UTF-8 No board selected
26°C Mayorm. nubla... 1:53 26/2/2023
```

Figura 26: Declaración de librerías y variables en el módulo RX.

```
RX-RECEPTOR | Arduino IDE 2.0.3
File Edit Sketch Tools Help

Select Board

RX-RECEPTOR.ino RX-RECEPTOR.ino
38 //con el objeto del cliente
39 PubSubClient client(espClient);
40
41 //Conexión serial para el esp con una comunicación
42 //serial, pines 2: rx y 3: tx
43 //SoftwareSerial soft(2, 3);
44
45 //Contador para el envío de datos
46 unsigned long lastSend;
47
48 int status = WL_IDLE_STATUS;
49
50 void setup() {
51 //Iniciamos la comunicación serial para el log
52 Serial.begin(9600);
53 Serial2.begin(9600);
54 Serial.println("Starting Reader");
55 //this init will set the pinModes for you
56 Transceiver.init();
57 Transceiver.PrintParameters();
58
59 //Iniciamos la conexión a la red WiFi
60 InitWiFi();
61 //Colocamos la referencia del servidor y el puerto
62 client.setServer( server, 1883 );
63 lastSend = 0;
64 }
65
66 void loop() {
67
68 if (Serial2.available()) {
69
70 // i highly suggest you send data using structures and not
71 // a parsed data-i've always had a hard time getting reliable data using
72 // a parsing method
73
74 Transceiver.GetStruct(&MyData, sizeof(MyData));

```

Figura 27: Inicialización de puertos seriales y función WIFI.

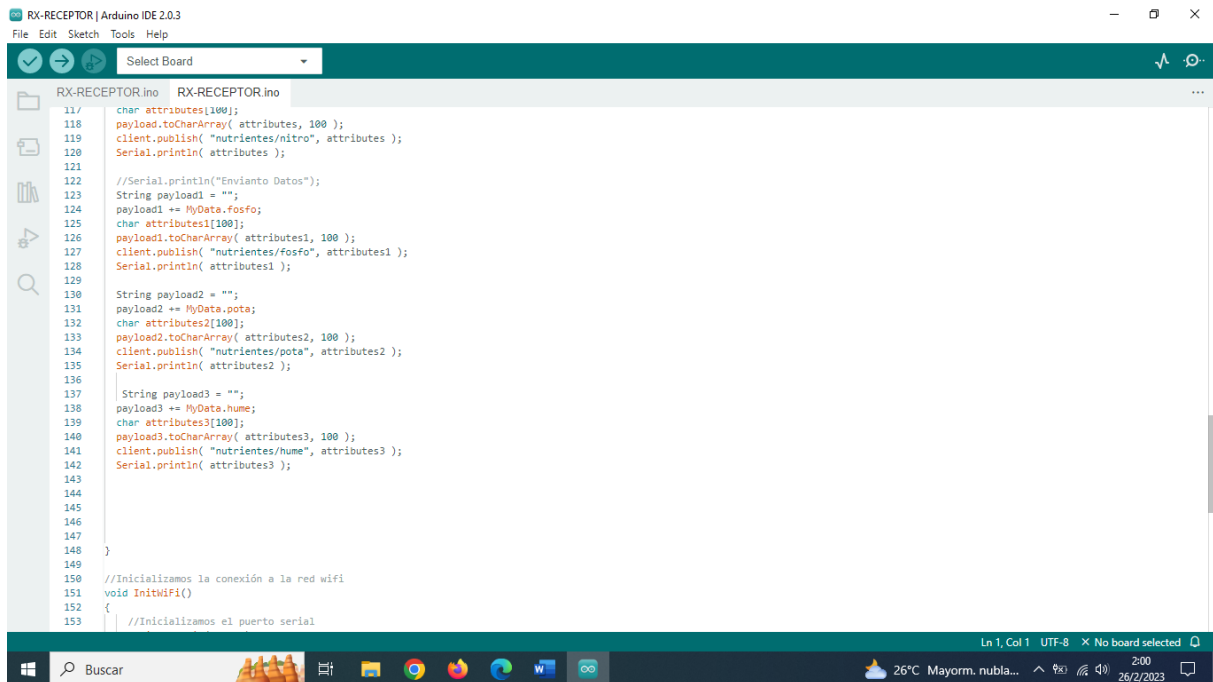
```
RX-RECEPTOR | Arduino IDE 2.0.3
File Edit Sketch Tools Help

Select Board

RX-RECEPTOR.ino RX-RECEPTOR.ino
86 Last = millis();
87
88 }
89
90 //Validamos si el modulo WiFi aun esta conectado a la red
91 status = WiFi.status();
92 if(status != WL_CONNECTED) {
93 //Si falla la conexión, reconectamos el modulo
94 reconnectWiFi();
95 }
96
97 //Validamos si esta la conexión del servidor
98 if(!client.connected() ) {
99 //Si falla reintentamos la conexión
100 reconnectClient();
101 }
102
103 //Creamos un contador para enviar la data cada 2 segundos
104 if(millis() - lastSend > 2000 ) {
105 sendDataTopic();
106 lastSend = millis();
107 }
108
109 client.loop();
110 }
111
112 void sendDataTopic()
113 {
114 Serial.println("Envio de Datos");
115 String payload = "";
116 payload += MyData.nitro;
117 char attributes[100];
118 payload.toCharArray( attributes, 100 );
119 client.publish( "nutrientes/nitro", attributes );
120 Serial.println( attributes );
121
122 //Serial.println("Envio de Datos");

```

Figura 28: Función WIFI y recepción de datos.



```
117 char attributes[100];
118 payload.toCharArray( attributes, 100 );
119 client.publish( "nutrientes/nitro", attributes );
120 Serial.println( attributes );
121
122 //Serial.println("Envio de Datos");
123 String payload1 = "";
124 payload1 += MyData.fosfo;
125 char attributes1[100];
126 payload1.toCharArray( attributes1, 100 );
127 client.publish( "nutrientes/fosfo", attributes1 );
128 Serial.println( attributes1 );
129
130 String payload2 = "";
131 payload2 += MyData.nota;
132 char attributes2[100];
133 payload2.toCharArray( attributes2, 100 );
134 client.publish( "nutrientes/pota", attributes2 );
135 Serial.println( attributes2 );
136
137 String payload3 = "";
138 payload3 += MyData.hume;
139 char attributes3[100];
140 payload3.toCharArray( attributes3, 100 );
141 client.publish( "nutrientes/hume", attributes3 );
142 Serial.println( attributes3 );
143
144
145
146
147
148
149
150 //Iniciamos la conexión a la red wifi
151 void InitWiFi()
152 {
153 //Iniciamos el puerto serial
```

Figura 29: Recepción de datos de todas las variables.

RESULTADOS

Se diseñó e implementó un sistema de monitoreo nutricional inteligente mediante tecnología IoT de cultivo de maíz con protocolo de comunicación LoRaWAN para beneficiar a los agricultores, con el objetivo de ahorrar tiempo y dinero, garantizando así un correcto crecimiento de las plantas.

Se realizó la implementación de los prototipos para el monitoreo nutricional y de humedad del proyecto ya que el mismo cuenta con un prototipo de transmisión en el cual se utilizó los dispositivos Arduino Nano, dispositivo EBYTE, MÓDULO TTL A RS-485, el sensor NPK y el sensor de humedad, también un prototipo de recepción en el cual se utilizó materiales como el Arduino Mega, módulo WIFI ESP8260 y la antena EBYTE.

Se pudo visualizar en tiempo real los parámetros esenciales del proyecto como lo son Nitrógeno, Potasio, Fósforo y humedad mediante dashboards realizados en node-RED, esta

también se encuentra en un servidor que guarda la información recolectada por los sensores con el fin de realizar estadísticas del cultivo.

Mediante la realización del manual de usuario se detalla el uso de los equipos utilizados en el proyecto de titulación, además de realizar las advertencias necesarias para que personas que no estén familiarizadas con el proyecto, puedan utilizar los prototipos de manera adecuada sin causar daño a los mismos.

3.3. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Gracias a los resultados obtenidos mediante la aplicación de las encuestas se puede deducir lo siguiente:

PREGUNTA 1:



Gráfico 1: Interpretación de la pregunta 1.

INTERPRETACIÓN: El 85% de los encuestados contestaron que sí consideran que el proyecto cumplió de manera correcta con los objetivos planteados, el 5% están parcialmente de acuerdo y el 10% están de acuerdo.

PREGUNTA 2:



Gráfico 2: Interpretación de la pregunta 2.

INTERPRETACIÓN: El 95% de los encuestados están totalmente de acuerdo en que este prototipo facilitará el trabajo de los agricultores y permitirá ahorrar tiempo y el 5% está de acuerdo.

PREGUNTA 3:

¿Cómo calificaría usted la tecnología empleada en el presente proyecto?

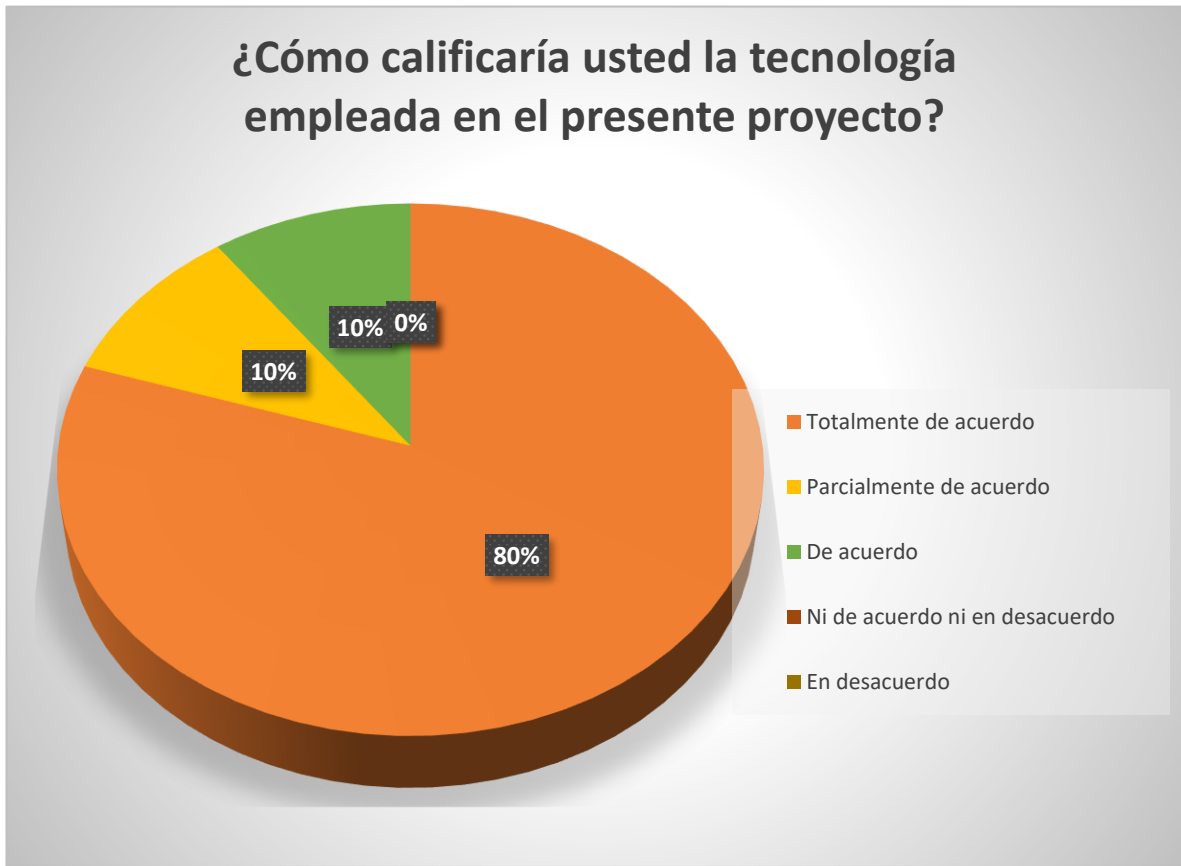


Gráfico 3: Interpretación de la pregunta 3.

INTERPRETACIÓN: El 80% de los encuestados están totalmente de acuerdo con la tecnología empleada en el proyecto, el 10% está parcialmente de acuerdo y el 10% de acuerdo.

PREGUNTA 4:



Gráfico 4: Interpretación de la pregunta 4.

INTERPRETACIÓN: El 70% cree oportuno implementar el proyecto de una manera más profunda y a mayor escala en el ámbito de la agricultura, el 15% está parcialmente de acuerdo y el 15 % está de acuerdo.

PREGUNTA 5:

¿Qué otra tecnología considera usted que podríamos implementar en proyectos de esta índole?

Las personas encuestadas mencionaron que el software del SIG y GPS se lo podría implementar en proyectos relacionados con la agricultura porque permiten la reducción del consumo de fertilizantes, nutrientes y agua, así los agricultores pueden monitorear los

cambios actuales y futuros e la temperatura, precipitaciones, rendimientos, entre otros factores.

4. CONCLUSIONES

- ✓ Tras la finalización de este proyecto se observa la importancia de la tecnología IoT en la vida cotidiana y más aún si lo orientamos a un área de aplicación específica, como fue el caso del proyecto con la agricultura.
- ✓ Podemos concluir que el monitoreo nutricional y de humedad es una parte esencial para que los agricultores puedan tener un óptimo desarrollo de sus cultivos, además los datos enviados y receptados por los sensores tanto NPK como de humedad son almacenados para que el usuario pueda verificar estados anteriores de su suelo y su evolución durante las cosechas.
- ✓ De la misma manera con la aplicación del protocolo LoRaWAN se puede conocer el valor de varios factores como lo son la humedad, la temperatura y los macronutrientes que engloban gran parte de este proyecto y que se puedan mostrar mediante dashboards con el objetivo de tener una mejor comprensión de la información obtenida.
- ✓ La tecnología IoT es de gran importancia para la agricultura, ahora y en el futuro ya que con la misma se puede monitorear y llevar un proceso automatizado sin importar el tipo de sembrío, sin tener la necesidad de estar en el espacio físico del mismo dando una gran ayuda a los agricultores.

- ✓ Con la elaboración del manual de usuario nos aseguramos que personas que no estén familiarizadas con el proyecto pueden usar los prototipos de manera segura y adecuada respetando las advertencias realizadas en dicho manual.

5. RECOMENDACIONES

- ✓ Buscar medidas para realizar capacitaciones para los agricultores del país, con estas capacitaciones ellos podrán conocer los beneficios de la tecnología IoT orientada a la agricultura.
- ✓ Se recomienda registrar en una base de datos las mediciones realizadas, con el fin de poder comparar resultados y verificar el correcto desarrollo del proyecto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ✓ Agro Bayer Ecuador. (2022). *Agro Bayer Ecuador*. Recuperado el 03 de Noviembre de 2022, de <https://www.agro.bayer.ec/es-ec/cultivos/maiz.html>
- ✓ Agroecología Tornos. (15 de Octubre de 2018). *Agroecología Tornos*. Obtenido de <https://www.agroecologiatornos.com/agricultura-precision-revolucion-silenciosa-sector-agricola/>
- ✓ Agropecuarios, A. d. (19 de Enero de 2018). *¿Conoces el origen del maíz?* Recuperado el 03 de Noviembre de 2022, de <https://www.gob.mx/aserca/articulos/conoces-el-origen-del-maiz?idiom=es>
- ✓ Amazon. (s.f.). EBL Baterías recargables de iones de litio de 7.4 V y 2200 mAh de repuesto para electrónica, juguetes, iluminación, equipos. Obtenido de <https://www.amazon.com/-/es/Bater%C3%ADas-recargables-repuesto-electr%C3%B3nica-iluminaci%C3%B3n/dp/B087BYJ51T>
- ✓ Amazon. (s.f.). EBL Baterías recargables de iones de litio de 7.4 V y 2200 mAh de repuesto para electrónica, juguetes, iluminación, equipos. Obtenido de <https://www.amazon.com/-/es/Bater%C3%ADas-recargables-repuesto-electr%C3%B3nica-iluminaci%C3%B3n/dp/B087BYJ51T>
- ✓ Amazon. (s.f.). qBox DIY IOT. Recuperado el 17 de Febrero de 2023, de <https://www.amazon.com/qBox-DIY-Enclosure-Plus-SMAs/dp/B088XZFN27>
- ✓ Amazon. (s.f.). Sensor NPK. Obtenido de <https://www.amazon.com/-/es/precisi%C3%B3n-nutrientes-detector-fertilizantes-inteligente/dp/B0836WYNJ1>
- ✓ Arduino. (19 de Julio de 2022). *Arduino*. Obtenido de <https://store-usa.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3>

- ✓ AV electronics. (s.f.). NANO V3. Obtenido de <https://avelectronics.cc/producto/nano-v3/>
- ✓ *Avanttic*. (s.f.). Obtenido de <https://avanttic.com/blog/oracle-virtual-machine-arquitectura-funcionalidades/>
- ✓ Bluee. (s.f.). Obtenido de <https://bluee.com.mx/pages/productos/modulos/bluee-lora>
- ✓ Campos, F. (25 de Febrero de 2020). Qué es LoRaWAN. Recuperado el 16 de Febrero de 2023, de <https://www.m2mlogitek.com/que-es-lorawan/>
- ✓ Del Valle, L. (s.f.). *programar fácil*. Obtenido de <https://programarfacil.com/podcast/esp8266-wifi-coste-arduino/>
- ✓ Fernández, J. (2018). *Fertiberia*. Recuperado el 07 de Noviembre de 2022, de <https://www.fertiberia.com/es/blog/2018/enero/agricultura-inteligente-3-beneficios-iot-en-agricultura/>
- ✓ Maker electrónico. (s.f.). Conversor TTL a RS485 con driver max485. Obtenido de <https://www.makerelectronico.com/producto/conversor-ttl-a-rs485-con-driver-max485/>
- ✓ *Mariadb*. (s.f.). Obtenido de <https://mariadb.org/es/>
- ✓ MCI electronics. (s.f.). ARDUINO UNO. Recuperado el 17 de Febrero de 2023, de <https://arduino.cl/arduino-uno/>
- ✓ OCI. (s.f.). Obtenido de <https://www.oracle.com/es/cloud/compute/virtual-machines/>
- ✓ *Paessler*. (s.f.). Obtenido de <https://www.paessler.com/es/it-explained/mqtt>
- ✓ Peris, J. (25 de Noviembre de 2021). *Service Management Institute*. Obtenido de <https://news.itsmf.es/taxonomia-de-los-componentes-de-iot/>

- ✓ PIONEER, R. (2015). Recuperado el 05 de Noviembre de 2022, de https://www.pioneer.com/CMRoot/International/Latin_America_Central/Chile/Servicios/Informacion_tecnica/Corn_Growth_and_Development_Spanish_Version.pdf
- ✓ *Proyecto Arduino*. (s.f.). Obtenido de <https://proyectoarduino.com/arduino-mega-2560/>
- ✓ *SINELEC*. (s.f.). Obtenido de <https://blog.gruposinelec.com/actualidad/que-es-node-red-y-para-que-sirve/>
- ✓ Toledo, R. (31 de Julio de 2018). Etapas de desarrollo de cereales. Recuperado el 07 de Noviembre de 2022, de <http://www.agro.unc.edu.ar/~wpweb/cereales/wp-content/uploads/sites/31/2018/07/Etapas-fenologicas-de-cereales-y-oleaginosas.pdf>
- ✓ Unit Electronics. (s.f.). Bluee32 IoT. Obtenido de <https://uelectronics.com/producto/bluee32-iot/>
- ✓ YARA. (2022). Recuperado el 05 de Noviembre de 2022, de <https://www.yara.com.ec/nutricion-vegetal/maiz/como-aumentar-el-rendimiento-del-maiz/>

ANEXOS

ANEXO 1: ENCUESTA DE MEDICIÓN DE IMPACTO

PROYECTO: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO NUTRICIONAL INTELIGENTE MEDIANTE SERVICIO IoT DE CULTIVO DE MAÍZ CON PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN LoRaWAN

OBJETIVO: Recabar los puntos de vista en cuanto a los niveles de impacto en la ejecución del proyecto previo a la titulación.

INSTRUCCIONES: Marque con una X en la opción que considere pertinente.

PREGUNTAS:

1. ¿Considera que el proyecto cumplió de manera correcta con los objetivos planteados?

Totalmente de acuerdo ()

Parcialmente de acuerdo ()

De acuerdo ()

Ni de acuerdo ni en desacuerdo ()

En desacuerdo ()

2. Bajo su percepción, ¿Cree usted, que este prototipo facilitará el trabajo de los agricultores y permitirá ahorrar tiempo?

Totalmente de acuerdo ()

Parcialmente de acuerdo ()

De acuerdo ()

Ni de acuerdo ni en desacuerdo ()

En desacuerdo ()

3. ¿Cómo calificaría usted la tecnología empleada en el presente proyecto?

Totalmente de acuerdo ()

Parcialmente de acuerdo ()

De acuerdo ()

Ni de acuerdo ni en desacuerdo ()

En desacuerdo ()

4. ¿Cree oportuno que el proyecto realizado debería implementarse de una manera más profunda y a mayor escala en el ámbito de la agricultura?

Totalmente de acuerdo ()

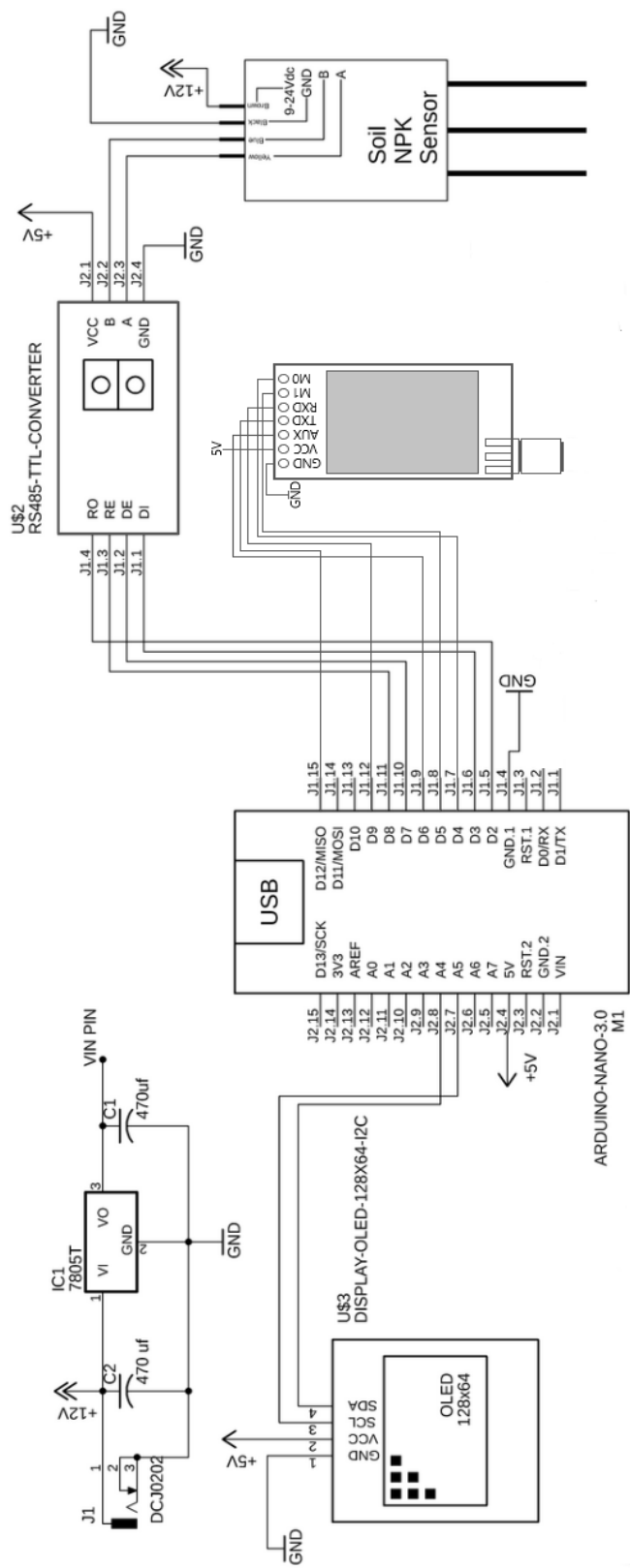
Parcialmente de acuerdo ()

De acuerdo ()

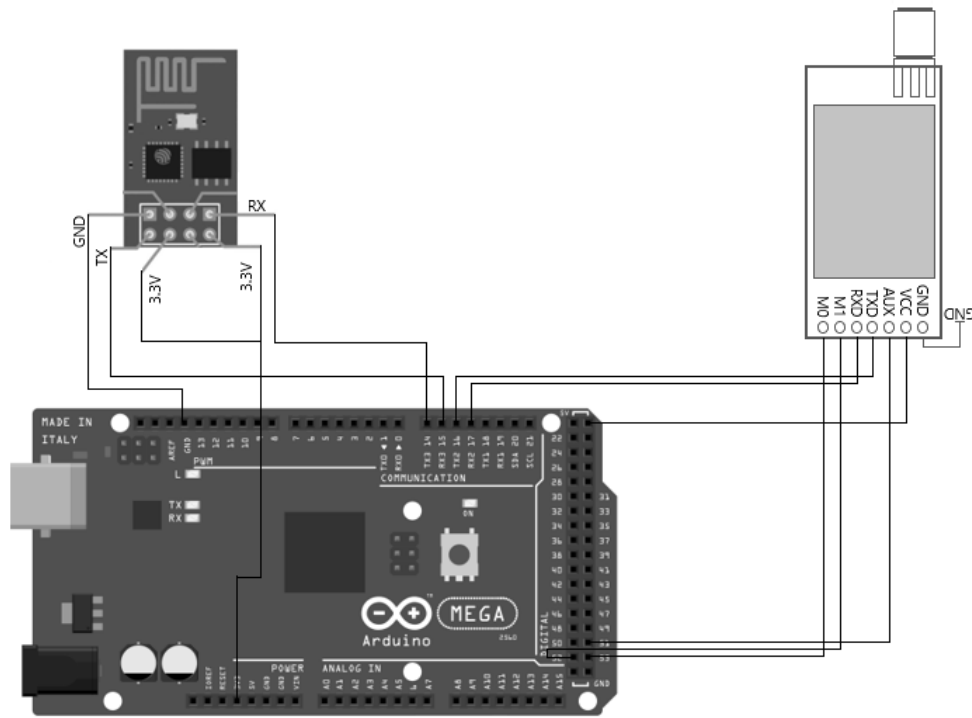
Ni de acuerdo ni en desacuerdo ()

En desacuerdo ()

5. ¿Qué otra tecnología considera usted que podríamos implementar en proyectos de esta índole?



ANEXO 2: Diagrama de conexión del dispositivo TX.



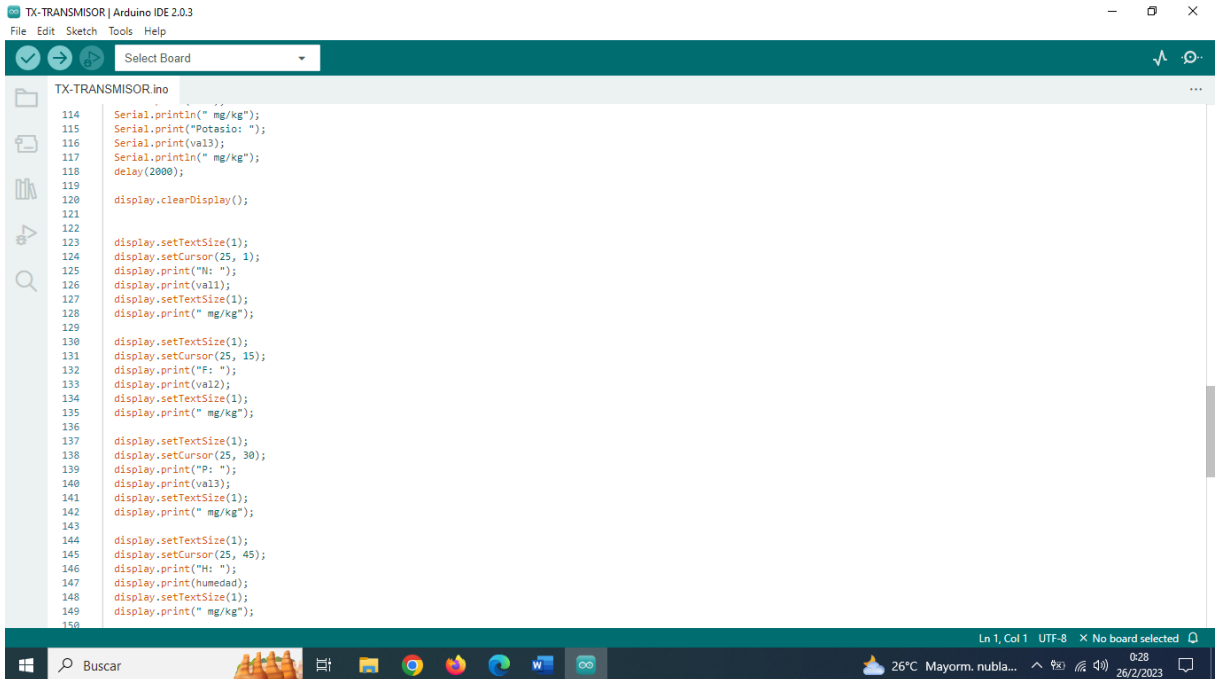
ANEXO 3: Diagrama de conexión del dispositivo RX.

ANEXO 4: GLOSARIO.

GLOSARIO

1. **GPS:** Sistema de Posicionamiento Global.
2. **IoT:** Internet de las cosas.
3. **NPK:** nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K).
4. **Gateway:** puerta de enlace o pasarela (dispositivo).
5. **LoRaWAN:** protocolo de comunicación para redes de baja potencia y área amplia.
6. **Dashboard:** tablero, panel o cuadro de mando.
7. **T/ha:** toneladas por hectárea por año.
8. **Middleware:** herramienta de comunicación y transmisión de información.
9. **LoRa:** es una tecnología de modulación que utilizan los dispositivos para alcanzar una cobertura de baja potencia.
10. **LPWAN:** redes de bajo consumo y área extensa.
11. **UARTs:** dispositivo electrónico controlador de dispositivos series y puertos.
12. **Conector ICSP:** "In Circuit Serial Programming", es una tecnología incluida que facilita la programación mediante una serie de pines concretos.
13. **Half – dúplex:** sistema bidireccional de transmisión de información.

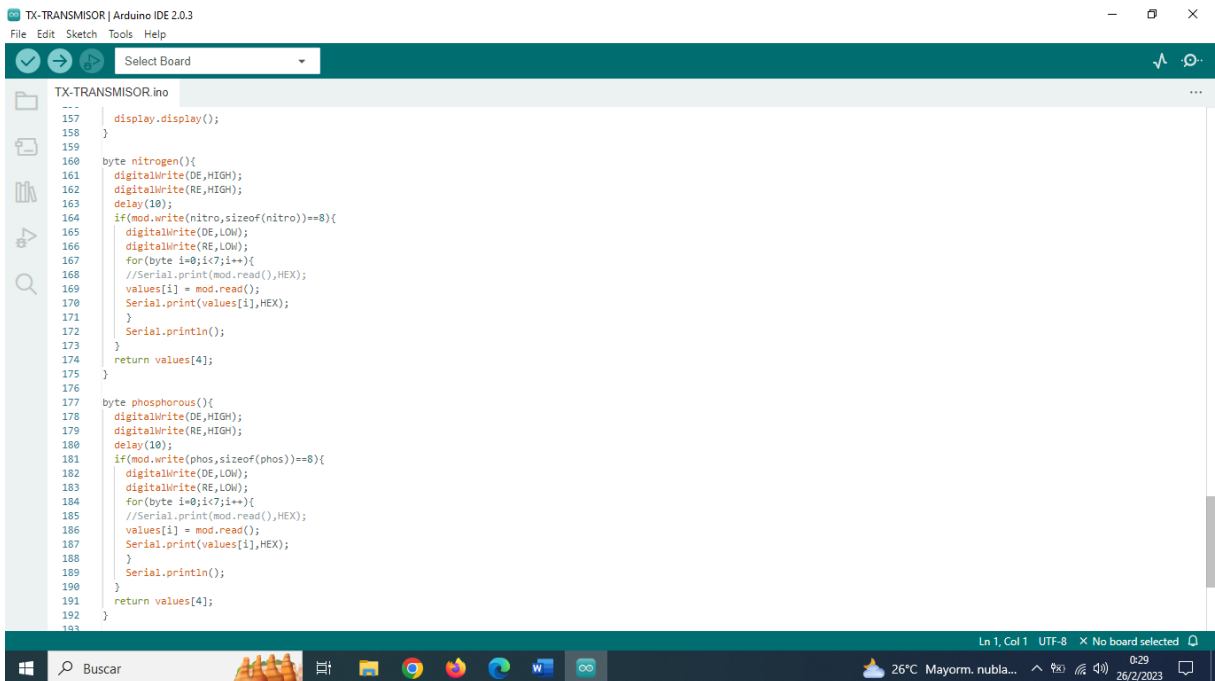
ANEXO 5: PROGRAMACIÓN



The screenshot shows the Arduino IDE interface with the file TX-TRANSMISOR.ino open. The code is as follows:

```
114 Serial.println(" mg/kg");
115 Serial.print("Potasio: ");
116 Serial.print(val3);
117 Serial.println(" mg/kg");
118 delay(2000);
119
120 display.clearDisplay();
121
122
123
124 display.setTextSize(1);
125 display.setCursor(25, 1);
126 display.print("N: ");
127 display.print(val1);
128 display.setTextSize(1);
129 display.print(" mg/kg");
130
131 display.setTextSize(1);
132 display.setCursor(25, 15);
133 display.print("F: ");
134 display.print(val2);
135 display.setTextSize(1);
136 display.print(" mg/kg");
137
138 display.setTextSize(1);
139 display.setCursor(25, 30);
140 display.print("P: ");
141 display.print(val3);
142 display.setTextSize(1);
143 display.print(" mg/kg");
144
145 display.setTextSize(1);
146 display.setCursor(25, 45);
147 display.print("H: ");
148 display.print(humedad);
149 display.setTextSize(1);
150 display.print(" mg/kg");
```

Creación de la función para la variable del Nitrógeno.



The screenshot shows the Arduino IDE interface with the file TX-TRANSMISOR.ino open. The code is as follows:

```
157 display.display();
158 }
159
160 byte nitrogen(){
161   digitalWrite(DE,HIGH);
162   digitalWrite(RE,HIGH);
163   delay(10);
164   if(mod.write(nitro,sizeof(nitro))==8){
165     digitalWrite(DE,LOW);
166     digitalWrite(RE,LOW);
167     for(byte i=0;i<7;i++){
168       //Serial.print(mod.read(),HEX);
169       values[i] = mod.read();
170       Serial.print(values[i],HEX);
171     }
172     Serial.println();
173   }
174   return values[4];
175 }
176
177 byte phosphorous(){
178   digitalWrite(DE,HIGH);
179   digitalWrite(RE,HIGH);
180   delay(10);
181   if(mod.write(phos,sizeof(phos))==8){
182     digitalWrite(DE,LOW);
183     digitalWrite(RE,LOW);
184     for(byte i=0;i<7;i++){
185       //Serial.print(mod.read(),HEX);
186       values[i] = mod.read();
187       Serial.print(values[i],HEX);
188     }
189     Serial.println();
190   }
191   return values[4];
192 }
193
```

Creación de las funciones para las variables fósforo y potasio.


```
TX-TRANSMISOR | Arduino IDE 2.0.3
File Edit Sketch Tools Help
Select Board
TX-TRANSMISOR.ino
174     return values[4];
175 }
176
177 byte phosphorous(){
178     digitalWrite(DE,HIGH);
179     digitalWrite(RE,HIGH);
180     delay(10);
181     if(mod.write(phos,sizeof(phos))==0){
182         digitalWrite(DE,LOW);
183         digitalWrite(RE,LOW);
184         for(byte i=0;i<7;i++){
185             //Serial.print(mod.read(),HEX);
186             values[i] = mod.read();
187             Serial.print(values[i],HEX);
188         }
189         Serial.println();
190     }
191     return values[4];
192 }
193
194 byte potassium(){
195     digitalWrite(DE,HIGH);
196     digitalWrite(RE,HIGH);
197     delay(10);
198     if(mod.write(pota,sizeof(pota))==0){
199         digitalWrite(DE,LOW);
200         digitalWrite(RE,LOW);
201         for(byte i=0;i<7;i++){
202             //Serial.print(mod.read(),HEX);
203             values[i] = mod.read();
204             Serial.print(values[i],HEX);
205         }
206         Serial.println();
207     }
208     return values[4];
209 }
210
```

Fase final del código de transmisión.

```
RX-RECEPTOR | Arduino IDE 2.0.3
File Edit Sketch Tools Help
Select Board
RX-RECEPTOR.ino
159     //si obtenemos un error, lo mostramos por log y denememos el programa
160     if (WiFi.status() != WL_NO_SHIELD) {
161         Serial.println("El modulo WIFI no esta presente");
162         while (true);
163     }
164     reconnectWiFi();
165 }
166
167 void reconnectWiFi() {
168     Serial.println("Iniciar conexión a la red WIFI");
169     while(status != WL_CONNECTED) {
170         Serial.print("Intentando conectarse a WPA SSID: ");
171         Serial.println(WIFI_AP);
172         //Conectar a red WPA/WPA2
173         status = WiFi.begin(WIFI_AP, WIFI_PASSWORD);
174         delay(500);
175     }
176     Serial.println("Conectado a la red WIFI");
177 }
178
179 void reconnectClient() {
180     //Creamos un loop en donde intentamos hacer la conexión
181     while(!client.connected()) {
182         Serial.print("Conectando a: ");
183         Serial.println(server);
184         //Creamos una nueva cadena de conexión para el servidor
185         //le intentamos realizar la conexión nueva
186         //si requiere usuario y contraseña la enviamos connect(clientId, username, password)
187         String clientId = "ESP8266Client-" + String(random(0xffff), HEX);
188         if(client.connect(clientId.c_str())) {
189             Serial.println("[DONE]");
190         } else {
191             Serial.print( "[FAILED] [ rc = " );
192             Serial.print( client.state() );
193             Serial.println( " : reintentando en 5 segundos]" );
194             delay( 5000 );
195         }
196     }
197 }
```

Funciones de reconexión y error de WIFI.

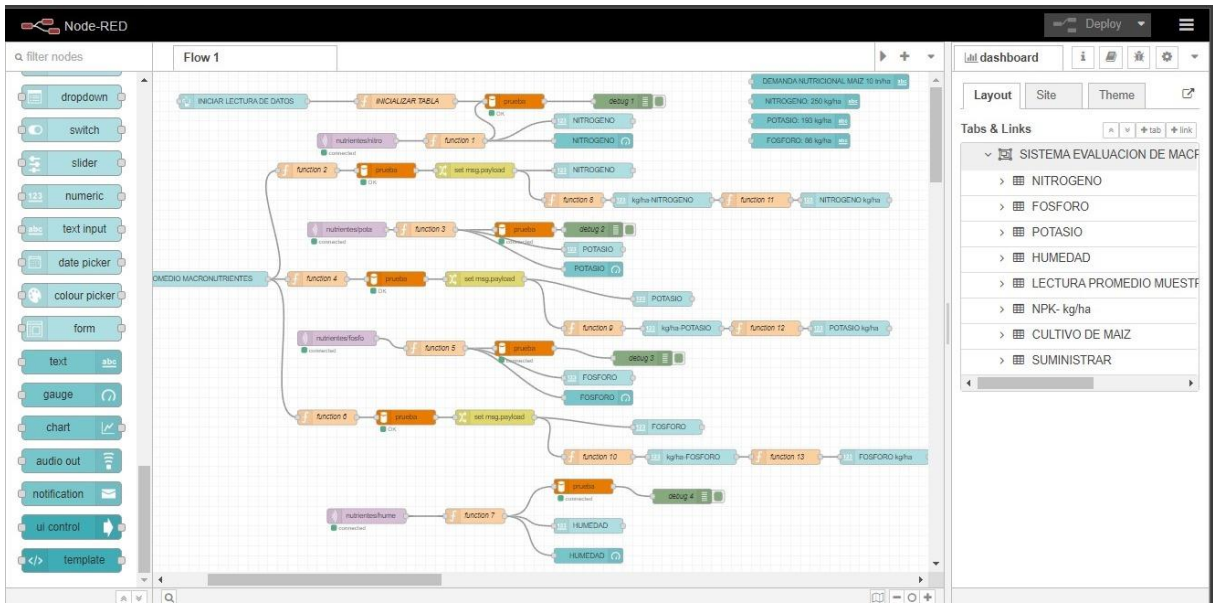
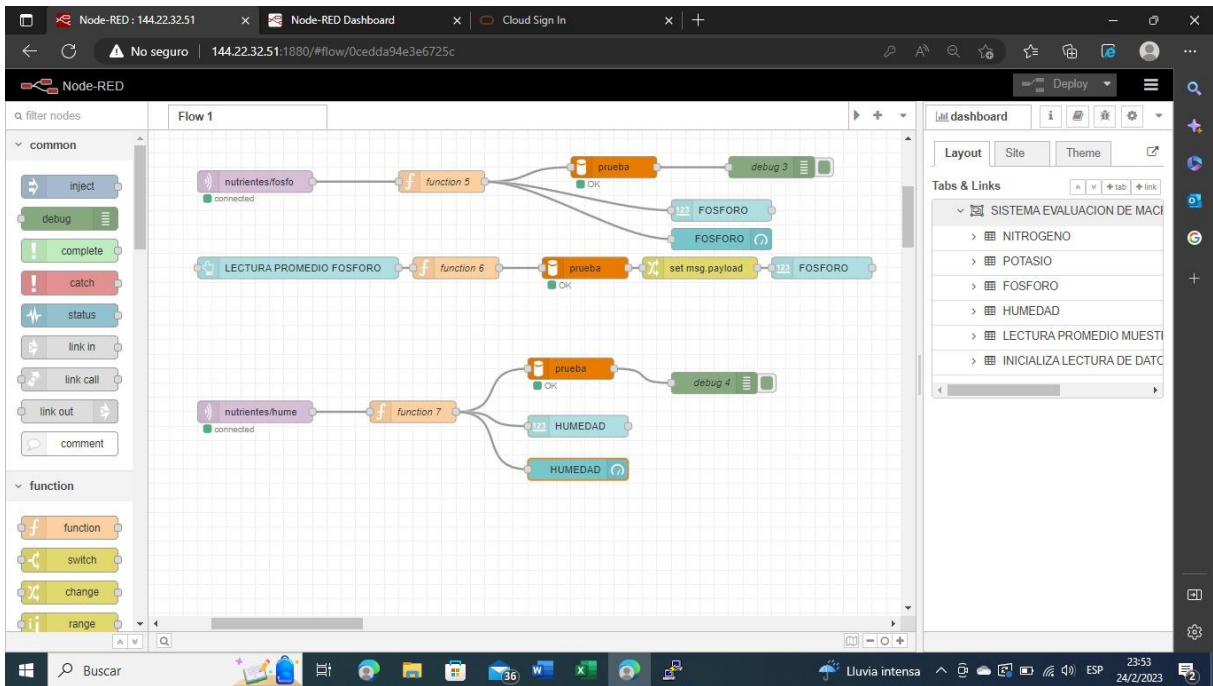
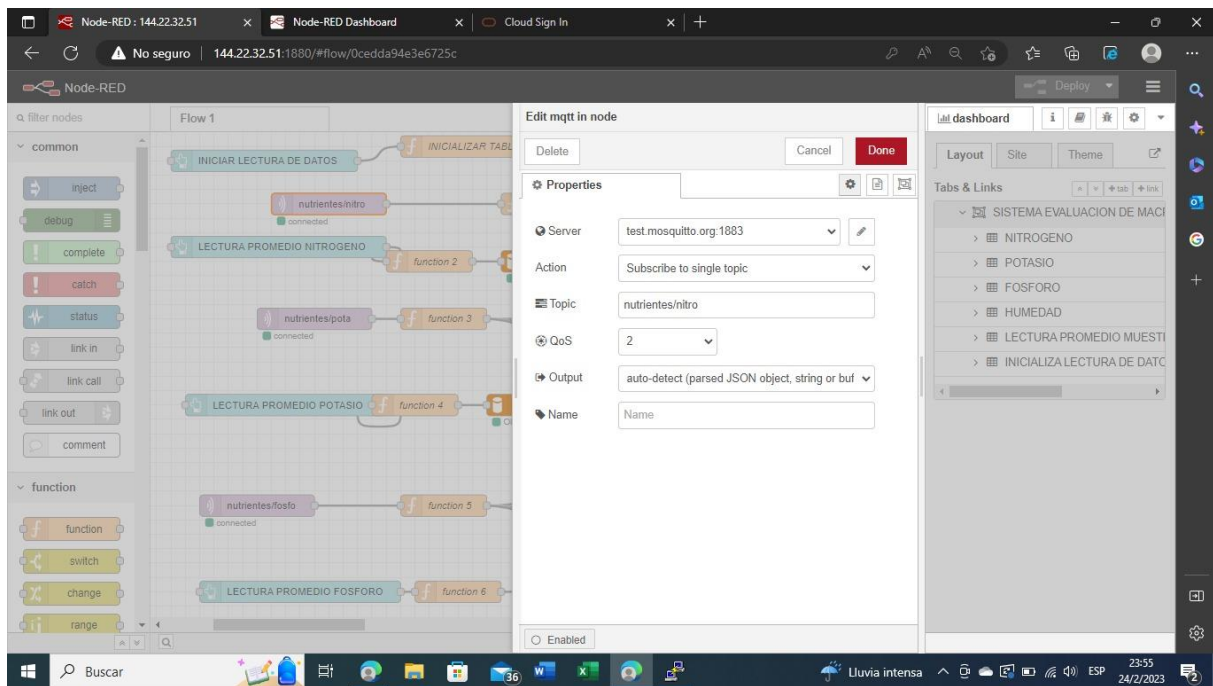


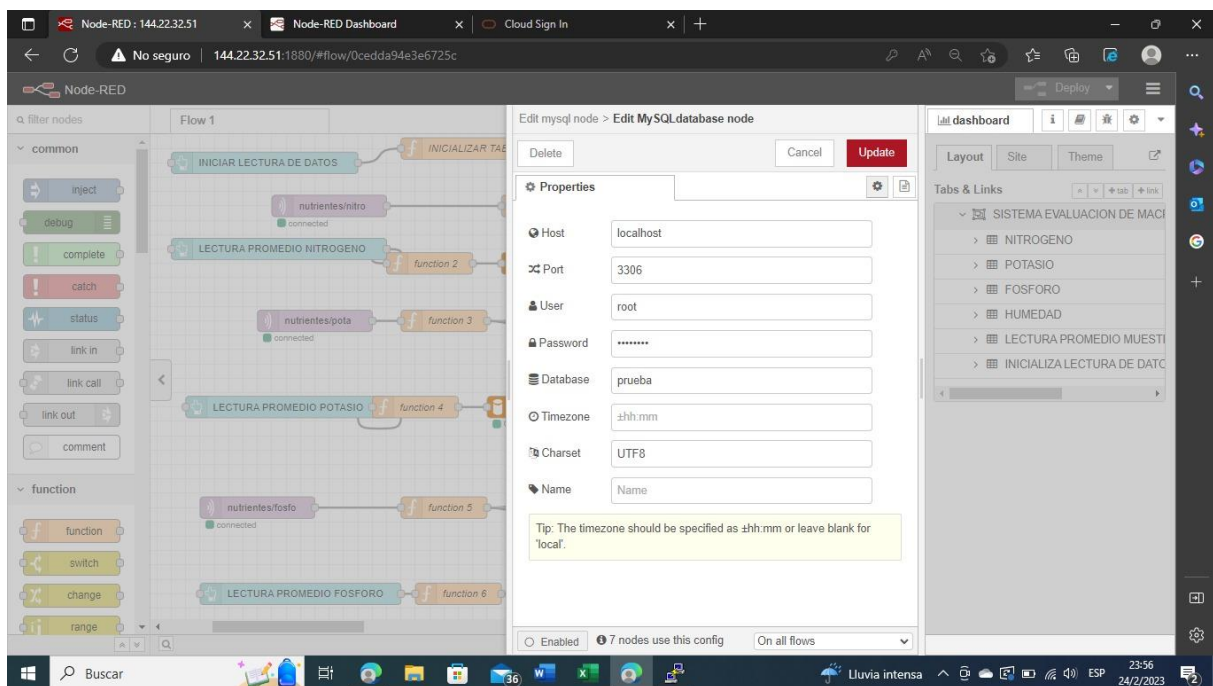
Diagrama de bloques en Node-RED.



Parte final del diagrama de bloques en Node-RED.



Servidor MQTT - MOSQUITO.



Conexión a la base de datos.

Recursos informáticos

Instancias en carlosponce66 (raiz) Compartimento

Una **instancia** es un host informático. Seleccione o máquinas virtuales (VM) o instancias con hardware dedicado. La imagen que se utiliza para iniciar una instancia determina el sistema operativo y el resto del software.

Cada arrendamiento obtiene las 3000 primeras horas de OCPU y 18 000 GB de horas al mes de forma gratuita para crear instancias Ampere A1 Compute con la unidad VM Standard A1 Flex (equivalente a 4 OCPU y 24 GB de memoria). Cada arrendamiento también incluye dos instancias VM Standard E2.1 Micro de forma gratuita. [Más información sobre los recursos Siempre gratis](#)

[Crear instancia](#) Configuración de tabla

Nombre	Estado	IP pública	IP Privada	Unidad	Recuento de OCPU	Memoria (GB)	Dominio de disponibilidad	Dominio de errores	Creación
Mikrotik	En ejecución	144.22.46.154	10.0.0.181	VM.Standard.E...	1	1	AD-1	FD-1	jue, 9 feb 2023...
Nodo-Red	En ejecución	144.22.32.51	10.0.0.233	VM.Standard.E...	1	1	AD-1	FD-3	jue, 16 feb 202...
Ubuntu	En ejecución	144.22.51.20	10.0.0.100	VM.Standard A...	1	6	AD-1	FD-3	sáb, 18 feb 202...

Compartimento: carlosponce66 (raiz)

Filtrado: Estado: Cualquier estado

Tipo de capacidad:

Copyright © 2023, Oracle y/o sus filiales. sábado, 25 de febrero de 2023

Instancia Oracle - Cloud.

Nodo-Red Siempre gratis

Inicio Parar Reiniciar Terminar Más Acciones

Información de instancia Instancia blindada Oracle Cloud Agent Notificaciones Etiquetas

Información general

Dominio de disponibilidad: AD-1
 Dominio de errores: FD-3
 Región: sa-santiago-1
 OCID: 6hqapa [Mostrar](#) [Copiar](#)
 Iniciado: jue, 16 feb 2023, 2:19:20 UTC
 Compartimento: carlosponce66 (raiz)
 Tipo de capacidad: Bajo demanda

Acceso a instancias

Puede [conectarse a una instancia de Linux en ejecución](#) mediante una conexión shell segura (SSH). Necesitará la clave privada del par de claves SSH que se utilizó para crear la instancia.

Dirección IP pública: 144.22.32.51 [Copiar](#)
 Nombre de usuario: opc

VNIC primario

Dirección IP Privada: 10.0.0.233
 Grupos de seguridad de red: Ninguno [Editar](#)
 Subred: [subnet-20230208-2252](#)
 Registro de DNS privado: Activar
 Nombre de host: nodo-red
 FQDN interno: nodo-red... [Mostrar](#) [Copiar](#)

Opciones de inicio

Tipo de asociación de NIC: PARAVIRTUALIZED
 Volumen de datos remotos: PARAVIRTUALIZED
 Firmware: UEFI_64
 Tipo de volumen de inicio: PARAVIRTUALIZED

Detalles de la instancia

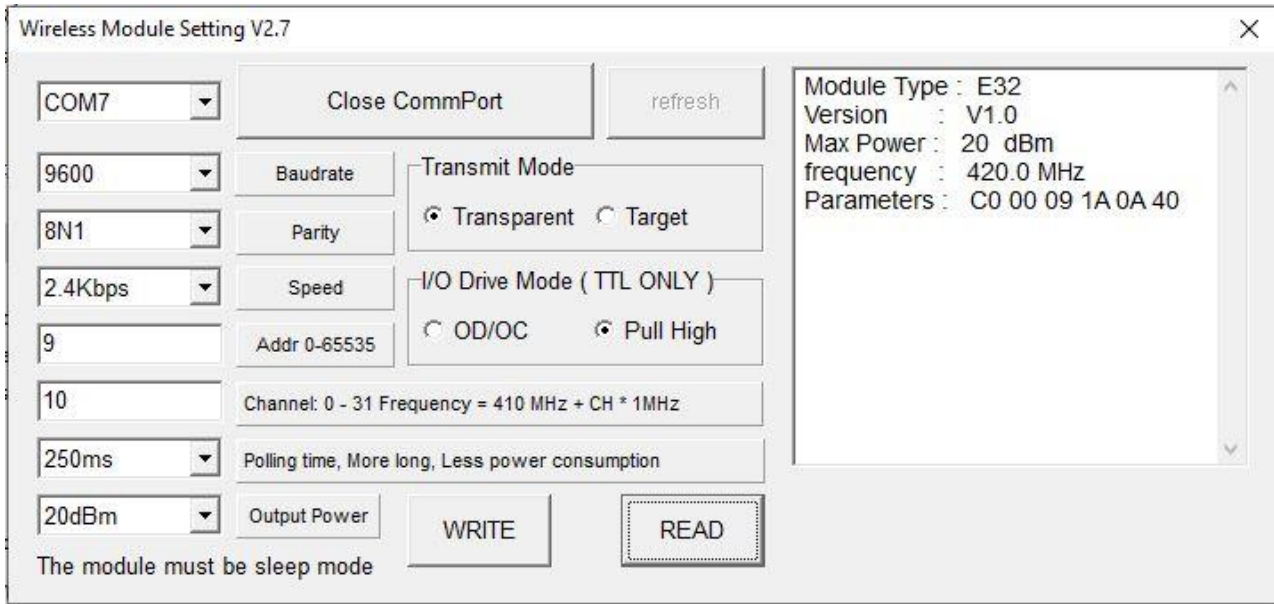
Red virtual en la nube: [vcn-20230208-2252](#)
 Reinicio por mantenimiento: -
 Imagen: [Oracle Linux 8.6-2022.12.15.0](#)
 Modo de inicio: PARAVIRTUALIZED
 Servicio de metadatos de instancia: Versiones 1 y 2 [Editar](#)
 Migración en directo: Usar valor por defecto recomendado [?](#)
 Acción de recuperación de mantenimiento: Restaurar instancia

Configuración de unidad

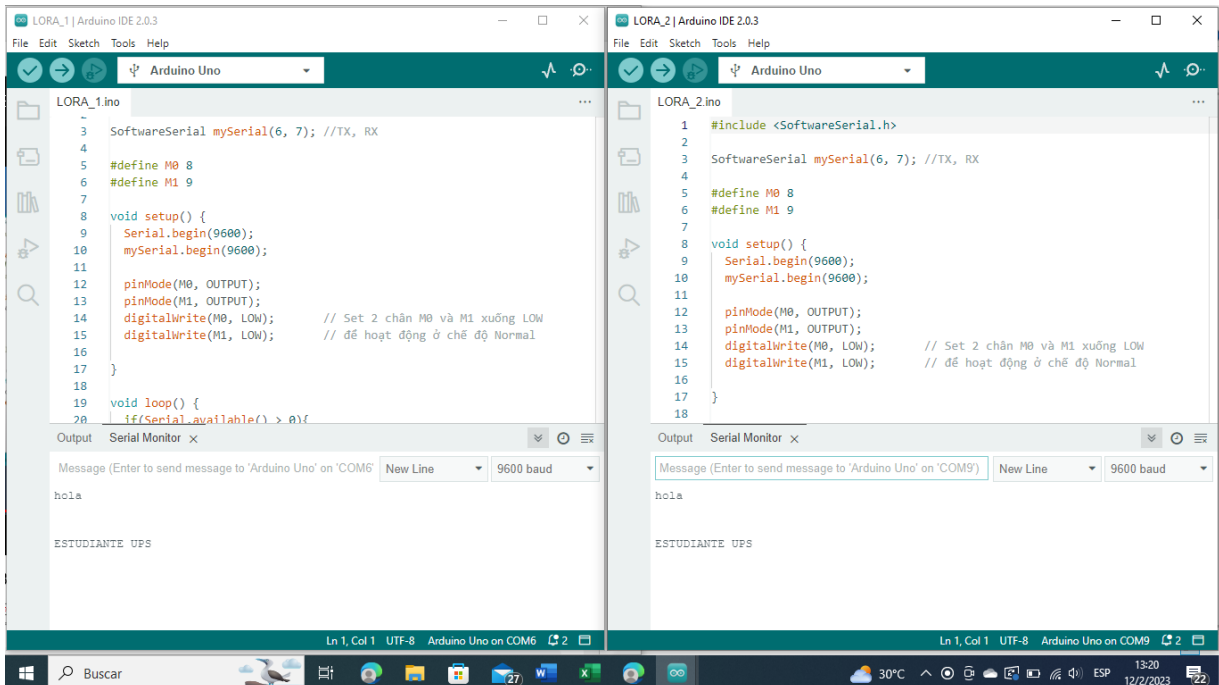
Copyright © 2023, Oracle y/o sus filiales. Todos los derechos reservados.

Información acerca Oracle - Cloud.

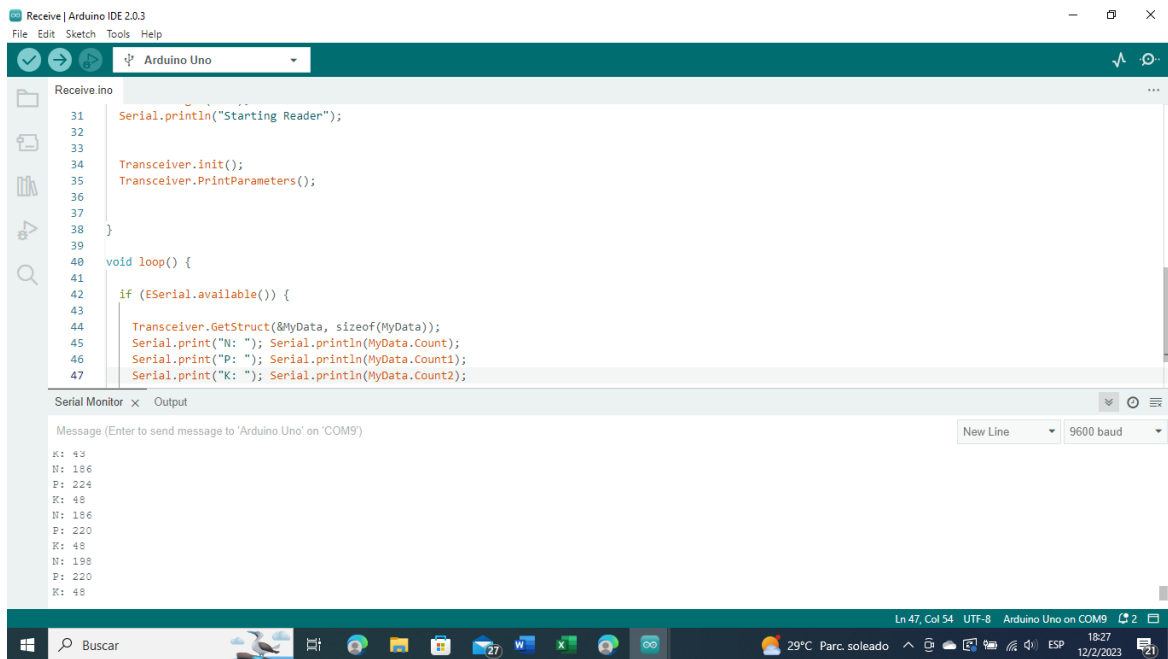
ANEXO 6: PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO, RECEPCIÓN DE DATOS Y EN EL DASHBOARD.



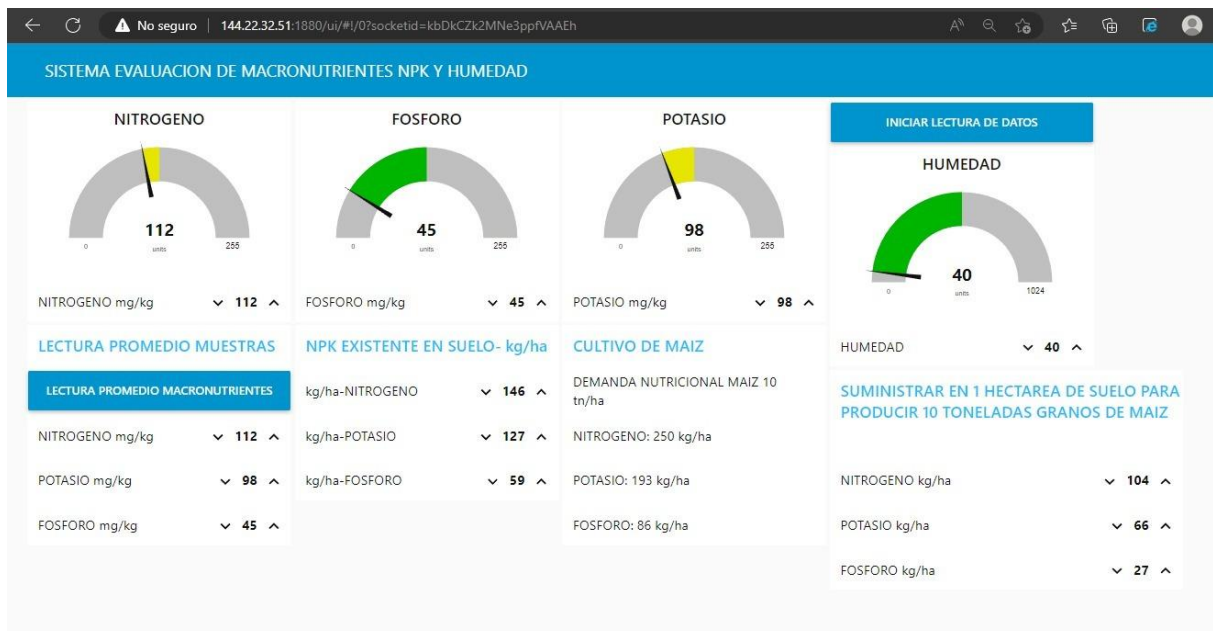
Prueba de funcionamiento EBYTE LoRaWAN E32.



Pruebas de transmisión de datos.



Pruebas de recepción de datos.



Pruebas en el dashboard en Node-RED.

ANEXO 7:

MANUAL

DE

USUARIO



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA

SALESIANA

ECUADOR

MANUAL



DE



USUARIO

AUTORES:

✓ *Carlos Guillermo Ponce Bueno*

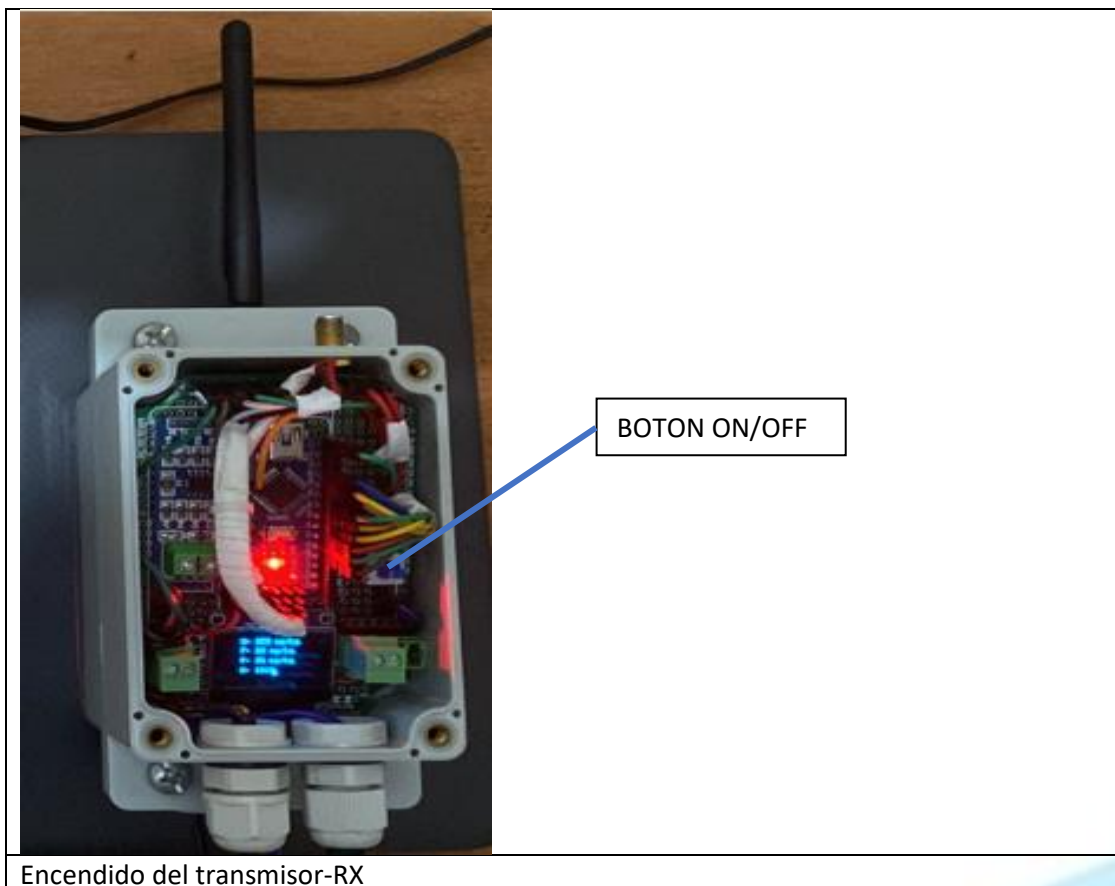
✓ *Edwing Francisco Jordán Zamora*

INDICE

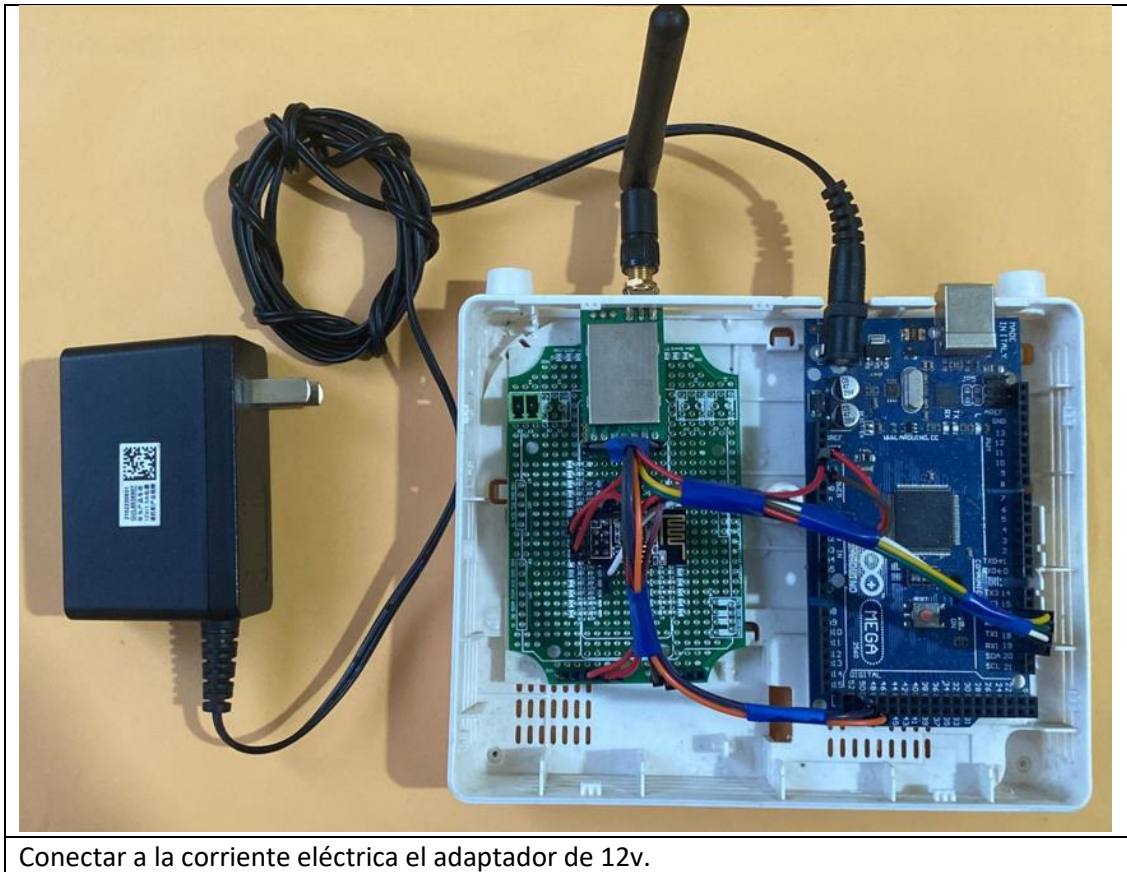
- 1.FUNCIONAMIENTO Y PUESTA EN MARCHA DEL TRANSMISOR Y RECEPTOR.**
- 2.EXPLICACION DE LA CORRECTA POSICION DE LOS SENSORES EN EL SUELO.**
- 3.CONFIGURACION DEL ADAPTADOR INALAMBRICO(RECEPTOR-GATEWAY).**
- 4.CONFIGURACION PARA CONEXIÓN DE SERVIDOR MQTT-MOSQUITO.**
- 5.CONFIGURACION PARA CONEXIÓN A LA BASE DE DATOS.**
- 6.VISUALIZACION DE REGISTROS EN LA BASE DE DATOS.**
- 7.INGRESO AL DASHBOARD Y TOMA DE MUESTRAS.**

1. FUNCIONAMIENTO Y PUESTA EN MARCHA DEL TRANSMISOR Y RECEPTOR.

TRANSMISOR-TX

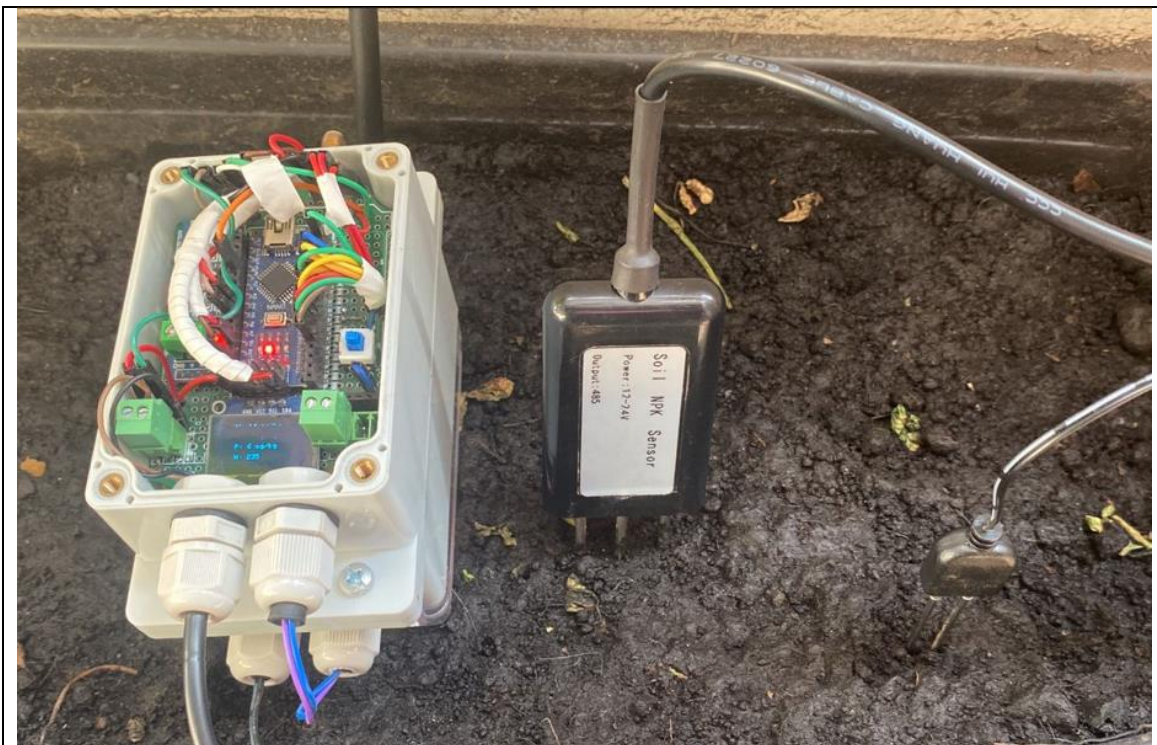


RECEPTOR RX-GATEWAY



Conectar a la corriente eléctrica el adaptador de 12v.

2. EXPLICACIÓN DE LA CORRECTA POSICIÓN DE LOS SENSORES EN EL SUELO.



Insertar los electrodos del sensor NPK y sensor de humedad, en el suelo a tomar las muestras, no introducir todo el electrodo, dejar una holgura de 1 a 2 cms.

3. CONFIGURACIÓN DEL ADAPTADOR INALÁMBRICO(RECEPTOR-GATEWAY).



RX-RECEPTOR | Arduino IDE 2.0.3

File Edit Sketch Tools Help

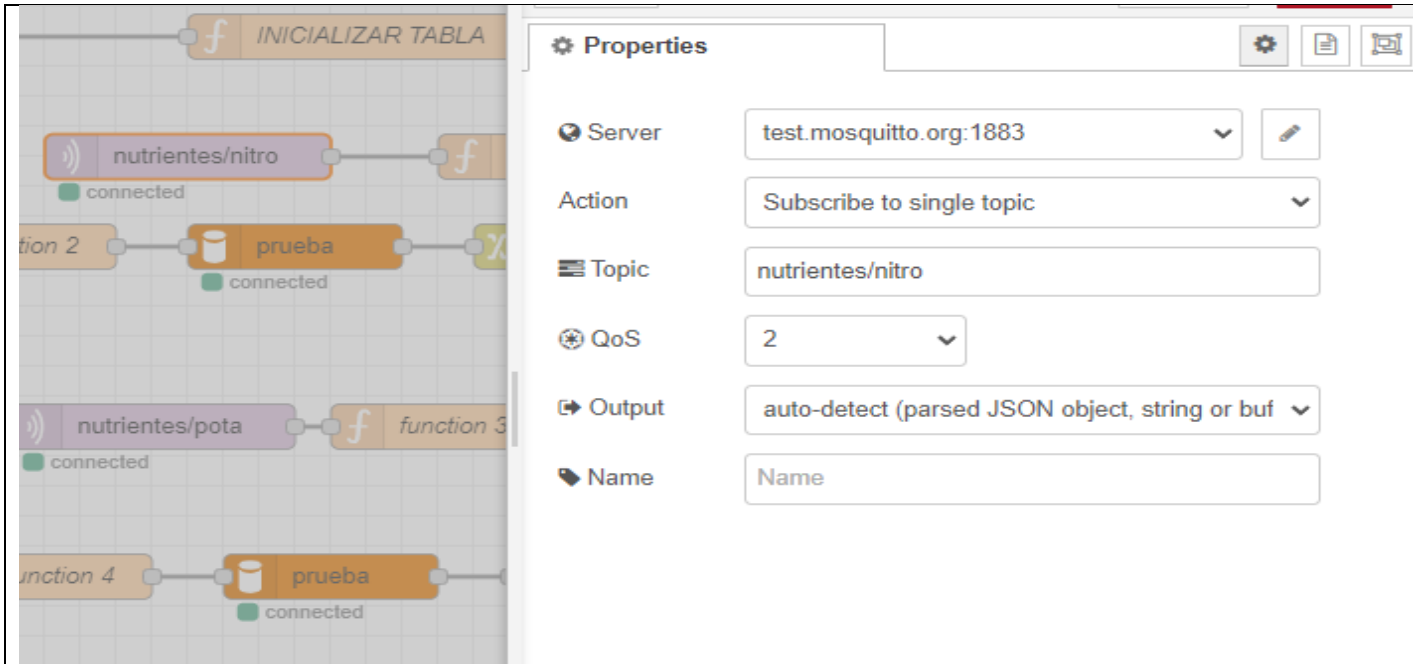
Arduino Mega or Mega 2560

```
RX-RECEPTOR.ino
1  #include <WiFiEsp.h>
2  #include <WiFiEspClient.h>
3  #include <PubSubClient.h>
4  #include "SoftwareSerial.h"
5  #include "EBYTE.h"
6
7  //#define PIN_RX 17
8  //#define PIN_TX 16
9  #define PIN_M0 53
10 #define PIN_M1 52
11 #define PIN_AX 51
12
13 //Conexión a la red wifi: nombre de la red y contraseña
14 #define WIFI_AP "iphonecarlos"
15 #define WIFI_PASSWORD "12345678"
```

Esta configuración se realiza con el ingreso a la configuración del Arduino Mega RX:

- Definir SSID de la red a conectarse, la misma debe contar con acceso a internet.
- Definir password de la red y guardar la configuración.

4. CONFIGURACIÓN PARA CONEXIÓN DE SERVIDOR MQTT- MOSQUITO



The screenshot displays the Node-RED interface. On the left, a flow is visible with several nodes: a function node labeled 'INICIALIZAR TABLA', an MQTT subscriber node for 'nutrientes/nitro', a database node labeled 'prueba', and another function node. The MQTT node is connected and shows a green 'connected' status. On the right, the 'Properties' panel is open, showing the following configuration:

- Server: test.mosquitto.org:1883
- Action: Subscribe to single topic
- Topic: nutrientes/nitro
- QoS: 2
- Output: auto-detect (parsed JSON object, string or buf)
- Name: Name

Ingresa al software Node-red mediante la siguiente URL: <http://144.22.32.51:1880/#flow/0cedda94e3e6725c>.

Nos ubicamos y seleccionamos Botón de Suscripción, configuramos los siguientes parámetros:

- Server, vamos a digitar nuestro servidor MQTT y puerto (el servidor MQTT de su elección).
- Topic, vamos a suscribirnos a nutrientes/nitro
- De la misma manera configuramos Server MQTT y suscribimos a nutrientes/pota; nutrientes/fosfo y nutrientes/humedad.

Una vez configurado guardamos con el botón DEPLOY.

5. CONFIGURACIÓN LA CONEXIÓN A LA BASE DE DATOS

Flowchart background: INICIALIZAR TABLA, antes/nitro, prueba (connected), es/pota, prueba (connected), osfo.

Window title: Edit mysql node > Edit MySQLdatabase node

Buttons: Delete, Cancel, Update

Properties:

- Host: localhost
- Port: 3306
- User: root
- Password:
- Database: prueba
- Timezone: ±hh:mm
- Charset: UTF8
- Name: Name

Tip: The timezone should be specified as ±hh:mm or leave blank for 'local'.

La captura de muestras es guardada en María Base de datos, mostraremos la configuración de esta:

- Damos click en el Botón Base de datos, aquí se configurará la base de datos de su elección, en este caso nuestra Base de datos se llama prueba.
- En Host, configuramos nuestro servidor local o público que tenga disponible.
- Port, digitamos el puerto 3306.
- Password del servidor.
- Database, nombre de la base a la cual desea conectarse y Damos click en Update.

6. VISUALIZACION DE REGISTROS EN LA BASE DE DATOS.

```
opc@nodo-red:~  
Using username "opc".  
Authenticating with public key "imported-openssh-key"  
Activate the web console with: systemctl enable --now cockpit.socket  
  
Last login: Sat Feb 25 05:14:01 2023 from 200.24.132.99  
[opc@nodo-red ~]$  
[opc@nodo-red ~]$  
[opc@nodo-red ~]$  
[opc@nodo-red ~]$  
[opc@nodo-red ~]$  
[opc@nodo-red ~]$  
[opc@nodo-red ~]$ mysql -uroot -pkosong prueba  
Reading table information for completion of table and column names  
You can turn off this feature to get a quicker startup with -A  
  
Welcome to the MariaDB monitor.  Commands end with ; or \g.  
Your MariaDB connection id is 460  
Server version: 10.10.3-MariaDB MariaDB Server  
  
Copyright (c) 2000, 2018, Oracle, MariaDB Corporation Ab and others.  
  
Type 'help;' or '\h' for help. Type '\c' to clear the current input statement.  
  
MariaDB [prueba]>
```

Ingresamos a la base de datos prueba desde el servidor Nodo-red donde se encuentra alojada la misma.

- Digitamos en el terminal el siguiente comando `mysql -uroot -pkosong prueba`


```
opc@nodo-red:~  
+-----+-----+-----+-----+  
| NULL | 117 | NULL | NULL |  
| NULL | NULL | 37 | NULL |  
| NULL | NULL | NULL | 50 |  
| 975 | NULL | NULL | NULL |  
| NULL | 118 | NULL | NULL |  
| NULL | NULL | 37 | NULL |  
| NULL | NULL | NULL | 50 |  
| 976 | NULL | NULL | NULL |  
| NULL | 118 | NULL | NULL |  
| NULL | NULL | 37 | NULL |  
| NULL | NULL | NULL | 50 |  
| 976 | NULL | NULL | NULL |  
| NULL | 117 | NULL | NULL |  
| NULL | NULL | 37 | NULL |  
| NULL | NULL | NULL | 50 |  
| 976 | NULL | NULL | NULL |  
| NULL | 118 | NULL | NULL |  
| NULL | NULL | 37 | NULL |  
| NULL | NULL | NULL | 50 |  
| 975 | NULL | NULL | NULL |  
+-----+-----+-----+-----+  
1484 rows in set (0.002 sec)  
  
MariaDB [prueba]> █
```

Para visualizar los registros de la base de datos:

- SELECT humedad,nitrogeno,fosforo,potasio FROM macronut;

7. INGRESO AL DASHBOARD Y TOMA DE MUESTRAS.

SISTEMA EVALUACION DE MACRONUTRIENTES NPK Y HUMEDAD

<h4>NITROGENO</h4> <p>NITROGENO mg/kg 0</p>	<h4>FOSFORO</h4> <p>FOSFORO mg/kg 0</p>	<h4>POTASIO</h4> <p>POTASIO mg/kg 0</p>	<h4>HUMEDAD</h4> <p>HUMEDAD 1008</p>
<p>LECTURA PROMEDIO MUESTRAS</p> <p>LECTURA PROMEDIO MACRONUTRIENTES</p> <p>NITROGENO mg/kg 0</p> <p>POTASIO mg/kg 0</p> <p>FOSFORO mg/kg 0</p>	<p>NPK EXISTENTE EN 1 HECTAREA DE SUELO- kg/ha</p> <p>kg/ha-NITROGENO 0</p> <p>kg/ha-POTASIO 0</p> <p>kg/ha-FOSFORO 0</p>	<p>CULTIVO DE MAIZ</p> <p>DEMANDA NUTRICIONAL MAIZ 10 tn/ha</p> <p>NITROGENO: 250 kg/ha</p> <p>POTASIO: 193 kg/ha</p> <p>FOSFORO: 86 kg/ha</p>	<p>INICIAR LECTURA DE DATOS</p> <p>HUMEDAD 1008</p> <p>SUMINISTRAR EN 1 HECTAREA DE SUELO PARA PRODUCIR 10 TONELADAS GRANOS DE MAIZ</p> <p>NITROGENO kg/ha 0</p> <p>POTASIO kg/ha 0</p> <p>FOSFORO kg/ha 0</p>

Ingresar a la siguiente URL: <http://144.22.32.51:1880/ui/#!/0?socketid=xqdK2CBBfUN6PIB2AAEr> , este enlace corresponde al ingreso del dashboard direccionado a la ip publica del software node-red.

Dar click en el botón INICIAR LECTURA DE DATOS y comenzar la toma de las lecturas necesarias en su suelo.

LECTURA PROMEDIO MUESTRAS			NPK EXISTENTE EN 1 HECTAREA DE SUELO- kg/ha		
LECTURA PROMEDIO MACRONUTRIENTES					
NITROGENO mg/kg	▼ 0 ▲		kg/ha-NITROGENO	▼ 0 ▲	
POTASIO mg/kg	▼ 0 ▲		kg/ha-POTASIO	▼ 0 ▲	
FOSFORO mg/kg	▼ 0 ▲		kg/ha-FOSFORO	▼ 0 ▲	

Una vez tomada todas las muestras dar click en el botón LECTURA PROMEDIO MACRONUTRIENTES, allí vamos a obtener un valor promedio de todas la muestras capturadas y nos calcula NPK existente en 1 hectárea de suelo con profundidad 10cms.

CULTIVO DE MAIZ

DEMANDA NUTRICIONAL MAIZ 10
tn/ha

NITROGENO: 250 kg/ha

POTASIO: 193 kg/ha

FOSFORO: 86 kg/ha

Este cuadro es informativo donde indica DEMANDA NUTRICIONAL MAIZ para cosechar 10 toneladas en 1 hectárea.

SUMINISTRAR EN 1 HECTAREA DE SUELO PARA PRODUCIR 10 TONELADAS GRANOS DE MAIZ

NITROGENO kg/ha ∨ 0 ∧

POTASIO kg/ha ∨ 0 ∧

FOSFORO kg/ha ∨ 0 ∧

En este cuadro el sistema muestra, cuanto NPK necesitaría adicional para cosechar 10 toneladas de granos de maíz en 1 hectárea de suelo. El sistema realiza un cálculo en función de la cantidad de NPK tomadas en las muestras de suelo.