



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

**DESARROLLO DE UN SISTEMA DE MONITOREO PARA LA
DETERMINACIÓN DE NUTRIENTES DEL SUELO PRESENTES
EN CULTIVOS DE CACAO BASADO EN SMART GRID Y
MACHINE LEARNING**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

AUTORES

DAYANA VERENICE CAZORLA GARCÍA

KATHERINE ALEXANDRA CAZCO ARGUELLO

Riobamba – Ecuador

2022



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

**DESARROLLO DE UN SISTEMA DE MONITOREO PARA LA
DETERMINACIÓN DE NUTRIENTES DEL SUELO PRESENTES
EN CULTIVOS DE CACAO BASADO EN SMART GRID Y
MACHINE LEARNING**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

AUTORES: DAYANA VERENICE CAZORLA GARCÍA

KATHERINE ALEXANDRA CAZCO ARGUELLO

DIRECTOR: ING. JORGE LUIS PAUCAR SAMANIEGO

Riobamba – Ecuador

2022

© 2022, Dayana Verenice Cazorla García y Katherine Alexandra Cazco Arguello

Autorizamos la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Nosotras, Dayana Verenice Cazorla García y Katherine Alexandra Cazco Arguello, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autoras asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 18 de octubre de 2022



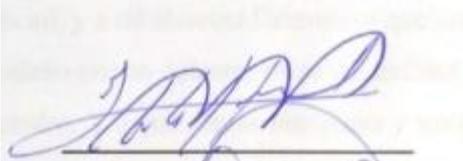
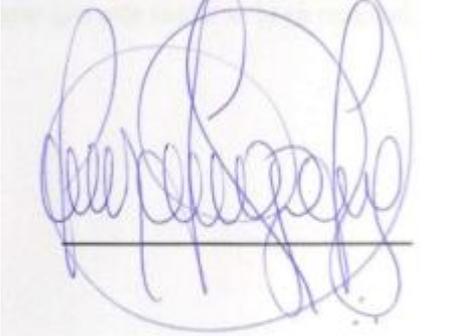
Dayana Verenice Cazorla García
060407675-2



Katherine Alexandra Cazco Arguello
060492109-8

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular: Tipo: Dispositivo Tecnológico, **DESARROLLO DE UN SISTEMA DE MONITOREO PARA LA DETERMINACIÓN DE NUTRIENTES DEL SUELO PRESENTES EN CULTIVOS DE CACAO BASADO EN SMART GRID Y MACHINE LEARNING**, realizado por las señoritas: **DAYANA VERENICE CAZORLA GARCÍA Y KATHERINE ALEXANDRA CAZCO ARGUELLO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Jorge Luis Hernández Ambato PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2022-10-18
Ing. Jorge Luis Paucar Samaniego DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2022-10-18
Ing. Paúl Patricio Romero Riera ASESOR DEL TRIBUNAL		2022-10-18

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi familia, porque sin ellos nada de esto hubiera sido posible, ya que estuvieron en este proceso todo este tiempo, a mi madre que supo guiarme por el camino correcto a diario, a mi padre que supo apoyarme a la distancia, a mis hermanas y sobrinos que siempre fueron un soporte y a mi amigo incondicional que llegó justo en el momento que más lo necesitaba mi mascota Puffy.

Vere

Dedico este trabajo de titulación primeramente a Dios por darme la fuerza y sabiduría para culminar esta etapa de mi vida, a mi padre Daniel por siempre llenarme de buenos consejos, darme siempre su amor y apoyo incondicional y enseñarme que el trabajo duro y la responsabilidad son importantes para superarse a uno mismo, a mi madre Alexandra por nunca dejarme sola y estar siempre pendiente de mí, y a mi abuelita Grimanesa que me cuida desde el cielo porque siempre creyó en mí y me enseñó con su dulzura, amor y humildad a ser una mejor persona y a motivarme a alcanzar mis anhelos. Y a mis demás familiares y amigos por siempre haber estado a mi lado apoyándome y lograr que este sueño se haga realidad.

Kathy

AGRADECIMIENTO

Primeramente, agradezco a Dios por permitirme cumplir uno de mis sueños más preciados y lo más importante a lado de mi familia. A mi madre porque supo educarme de la mejor manera siendo la mejor mamá del mundo y estoy segura de que sin ella esto no sería posible, a mi padre que gracias a su apoyo pude realizar este proyecto, con su ejemplo de lucha, constancia y sacrificio me enseñó que lo más importante de todo es retribuir un poquito de lo que ellos han hecho por mí. Es por esto que lo más importante para mí es hacer que mis padres se sientan orgullosos, y espero con este pequeño logro poder cumplirlo.

Vere

Agradezco a Dios por darme la salud y la fuerza necesaria para culminar este trabajo de titulación. Al grupo de investigación PAFTA que tiene por máxima autoridad el Ing. Paúl Paguay. A mi padre Daniel Cazco por haberme apoyado y acompañado en los viajes a la provincia de Orellana para la realización e implementación de este proyecto. Y a mis demás familiares y amigos que me aconsejaron, me apoyaron y fueron una parte importante en mi vida.

Kathy

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xi
ÍNDICE DE ANEXOS	xvi
RESUMEN.....	xvii
SUMMARY	xviii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	
1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA	3
1.1. Antecedentes	3
1.2. Planteamiento del problema.....	4
1.3. Justificación	5
1.3.1. <i>Justificación teórica</i>	5
1.3.2. <i>Justificación aplicada</i>	7
1.4. Objetivos	9
1.4.1. <i>Objetivo general</i>	9
1.4.2. <i>Objetivos específicos</i>	10
CAPÍTULO II	
2. MARCO TEÓRICO	11
2.1. Agricultura de precisión	11
2.1.1. <i>Etapas</i>	11
2.1.2. <i>Tecnologías</i>	12
2.1.3. <i>Ventajas</i>	12
2.2. Cacao en el Ecuador	12
2.2.1. <i>Historia</i>	13
2.2.2. <i>Clasificación</i>	13
2.2.2.1. <i>Cacao Nacional</i>	13
2.2.2.2. <i>Cacao Ccn51</i>	13
2.2.3. <i>Importancia</i>	14
2.2.4. <i>Exportación</i>	14
2.3. Fertilizantes	15
2.3.1. <i>Propiedades físicas</i>	15
2.3.2. <i>Propiedades químicas</i>	15
2.3.3. <i>Nutrientes</i>	15

2.3.3.1.	<i>Macronutrientes</i>	16
2.3.4.	<i>Ejemplos</i>	17
2.4.	Instrumentos de medición	18
2.4.1.	<i>Sensor NPK</i>	18
2.5.	Smart grid	19
2.6.	Sistema de adquisición de datos	19
2.6.1.	<i>LoRaWAN</i>	20
2.7.	Sistema de Procesamiento de Datos	21
2.7.1.	<i>Machine Learning</i>	22
2.8.	Sistema de Almacenamiento de Datos y visualización de datos en la nube	23
2.9.	Sistema de alimentación	24
2.10.	Herramientas de desarrollo computacional	24
2.10.1.	<i>Software Matlab</i>	24
2.10.2.	<i>Fuzzy Logic</i>	25
CAPÍTULO III		
3.	MARCO METODOLÓGICO	27
3.1.	Investigación	27
3.1.1.	<i>Tipo de metodología</i>	28
3.1.2.	<i>Niveles de investigación</i>	28
3.1.3.	<i>Alcance de la investigación</i>	28
3.1.4.	<i>Limitaciones</i>	28
3.1.5.	<i>Modalidad de campo</i>	29
3.1.6.	<i>Recolección de información</i>	29
3.2.	Procesamiento y análisis de datos	29
3.2.1.	<i>Plan empleado para procesar la información recogida</i>	29
3.2.2.	<i>Plan de análisis e interpretación de resultados</i>	30
3.3.	Problemática y selección de sistema LORA	30
3.3.1.	<i>Diagnostico para el diseño de un sistema LORA WAN</i>	31
3.4.	Diseño de la red WAN	32
3.4.1.	<i>Protocolo de comunicación</i>	32
3.5.	Planificación de la construcción	33
3.5.1	<i>Reconocimiento de las áreas del cultivo de cacao en cuestión.</i>	33
3.5.2	<i>Ubicación sensores RS-NPK-N01-TR</i>	33
3.5.3	<i>Ubicación nodos LORA</i>	35
3.5.4	<i>Ubicación Gateway</i>	37
3.6	Desarrollo del proyecto	37

3.7	Selección general del Sistema de Monitoreo.....	39
3.7.1	<i>Ventajas y características del controlador Lora.....</i>	40
3.8	Desarrollo del Nodo Lora	40
3.8.1	<i>Requerimientos del diseño mecánico</i>	40
3.9	Análisis del circuito	41
3.10	Materiales y herramientas tecnológicas	41
3.10.1	<i>Sensor RS-NPK-N01-TR</i>	42
3.10.1.1	<i>Conexiones y parámetros técnicos del sensor RS-NPK-N01-TR.....</i>	42
3.10.1.2	<i>Modbus Poll</i>	44
3.10.2	<i>Lora Controller UC501-915M</i>	46
3.10.2.1	<i>Características y especificaciones del Controlador Lora.....</i>	47
3.10.2.2	<i>Configuraciones en el Toolbox de Lora Controller</i>	48
3.10.3	<i>Gateway Lora UG65.....</i>	53
3.10.3.1	<i>Características y especificaciones del UG65.....</i>	53
3.10.3.2	<i>Configuraciones y conexiones del Gateway</i>	54
3.11	Diseño del algoritmo Machine Learning.....	62
3.11.1	<i>Definición de los parámetros</i>	63
3.11.2	<i>Implementación del algoritmo</i>	63
3.11.2.1	<i>Tool box Matlab</i>	66
3.11.2.2	<i>Ventana de comandos Matlab.....</i>	68
3.12	Diseño del Dashboard	69
3.12.1	<i>Milesight IoT Cloud</i>	69
3.12.2	<i>Node Red.....</i>	74
3.13	Aplicaciones adicionales	81
3.13.1	<i>The things Stack</i>	81
3.13.2	<i>Device Hub.....</i>	84
CAPÍTULO IV		
4	MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	86
4.1	Comprobación del envío de datos por etapas	86
4.5.1.1	<i>Análisis del sensor NPK sobre la tierra de la plantación de cacao.....</i>	87
4.1.6	<i>Análisis de datos en el Gateway.....</i>	90
4.1.6.1	<i>Tráfico de datos.....</i>	90
4.1.6.2	<i>Device Hub</i>	90
4.1.6.3	<i>Pin</i>	90
4.2	Pruebas de ubicación del sensor	91

4.3	Análisis de muestras recolectadas en laboratorio	93
4.3.1	Cálculo de error y pérdidas	93
<i>4.3.1.1</i>	<i>Prueba de normalidad</i>	<i>93</i>
<i>4.3.1.2</i>	<i>Prueba T.....</i>	<i>94</i>
4.4	Pruebas en la nube.....	96
<i>4.9.1.</i>	<i>Cloud</i>	<i>96</i>
<i>4.4.1</i>	<i>Node-RED</i>	<i>101</i>
4.5	Pruebas de Machine Learning	104
<i>4.5.1</i>	<i>Matlab</i>	<i>104</i>
<i>4.5.1.1</i>	<i>Toolbox.....</i>	<i>104</i>
<i>4.5.1.2</i>	<i>Ventana de comandos</i>	<i>105</i>
4.5.2	Node red	106
4.6	Validación del sistema de recolección de datos	107
<i>4.6.1</i>	<i>Validación de nutrientes</i>	<i>107</i>
<i>4.6.2</i>	<i>Validación de la fertilidad del suelo</i>	<i>109</i>
4.7	Elementos utilizados	109
4.8	Análisis de costos	110
	CONCLUSIONES.....	111
	RECOMENDACIONES.....	113
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2:	Exportación de cacao años 2014-2018.	14
Tabla 2-2:	Fuentes de Nitrógeno.....	16
Tabla 3-2:	Regla del fósforo	16
Tabla 1-3:	Requerimientos de los dispositivos	41
Tabla 2-3:	Instrucciones de cableado.....	42
Tabla 3-3:	Parámetros técnicos del sensor NPK.....	43
Tabla 4-3:	Parámetros básicos de comunicación.	43
Tabla 5-3:	Dirección de registro.	44
Tabla 6-3:	Especificaciones del controlador LoRaWAN Serie sUC50x	47
Tabla 7-3:	Interfaz de Datos 1	47
Tabla 8-3:	Interfaz de Datos 2.	48
Tabla 9-3:	Especificaciones es del Gateway UG65	53
Tabla 10-3:	Datos estándares de los nutrientes	63
Tabla 11-3:	Variables Lingüísticas 1	65
Tabla 12-3:	Datos estándares de los nutrientes	66
Tabla 1-4:	Comparación de datos recolectados por el sensor y el análisis de laboratorio	93
Tabla 2-4:	Prueba de normalidad realizada en el software SPSS	94
Tabla 3-4:	Prueba T ND1.....	94
Tabla 4-4:	Prueba T ND2.....	95
Tabla 5-4:	Prueba T PD1	95
Tabla 6-4:	Prueba T PD2	95
Tabla 7-4:	Elementos utilizados en la Smart grid de un cultivo de cacao.	110
Tabla 8-4:	Elementos utilizados en la Smart grid de un cultivo de cacao.	110

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-1:	Esquema general de la solución.....	8
Ilustración 2-1:	Diagrama de bloques	9
Ilustración 3-1:	Arquitectura del Smartgrid	9
Ilustración 1-2:	Tres etapas de la agricultura de precisión.....	11
Ilustración 2-2:	Estados del cacao y almendras.....	12
Ilustración 3-2:	Cacao CCN-51	13
Ilustración 4-2:	Composición elemental promedio de las plantas	15
Ilustración 5-2:	Ejemplos de fertilizantes.....	17
Ilustración 6-2:	Sensor NPK.....	18
Ilustración 7-2:	Ejemplo de una arquitectura general de la Smart grid habilitada para IoT..	19
Ilustración 8-2:	Ejemplo de las diferentes etapas de un sistema de adquisición de datos.	20
Ilustración 9-2:	Arquitectura de red LoRa.	21
Ilustración 10-2:	Modelo de una Machine learning	23
Ilustración 11-2:	Dispositivos de almacenamiento de datos	23
Ilustración 12-2:	Paneles solares como fuente de alimentación para la smartgrid.....	24
Ilustración 13-2:	Software de Matlab.....	25
Ilustración 14-2:	MATLAB fuzzy Logic Designer.....	26
Ilustración 15-2:	Software de Node-RED.....	26
Ilustración 1-3:	Diagrama de flujo del proceso.....	27
Ilustración 2-3:	Problemática de la utilización de sistemas de monitoreo	31
Ilustración 3-3:	Componentes de iot construidos con una red inteligente.....	32
Ilustración 4-3:	Finca para la ubicación de los dispositivos Lora.	33
Ilustración 5-3:	Plantación de cacao.....	33
Ilustración 6-3:	Ubicación sensor NPK en el suelo.....	34
Ilustración 7-3:	Ubicación del primer sensor NPK en el suelo de la plantación de cacao.	34
Ilustración 8-3:	Ubicación del segundo sensor NPK en el suelo de la plantación de cacao..	35
Ilustración 9-3:	Montaje en poste del primer nodo Lora con el controlador.....	35
Ilustración 10-3:	Montaje en poste del primer nodo Lora con el controlador.....	36
Ilustración 11-3:	Montaje en poste del segundo nodo Lora con el controlador.	36
Ilustración 12-3:	Gateway Lora en la casa de la finca La Belleza	37
Ilustración 13-3:	Diagrama de flujo – Desarrollo del proyecto.....	38
Ilustración 14-3:	Sensor RS-NPK-N01-TR.....	42
Ilustración 15-3:	Conexión sensor NPK a convertidor RS485 a USB	44
Ilustración 16-3:	Configuración de la conexión en el software Modbus Poll.	45

Ilustración 17-3:	Definición de Lectura/Escritura en el software Modbus Poll.	45
Ilustración 18-3:	Controlador Lora UC501-915M.	46
Ilustración 19-3:	Visión general del Hardware.	46
Ilustración 20-3:	Interfaces Internas de Controlador Lora.	48
Ilustración 21-3:	Conexión sensor NPK a conector M12.....	49
Ilustración 22-3:	Conexión USB del LoRa al PC.....	49
Ilustración 23-3:	Parámetros del estado del controlador LoRa.	50
Ilustración 24-3:	Ajuste LoRaWAN en el ToolBox.....	50
Ilustración 25-3:	Configuración de la frecuencia de LoRaWAN.	51
Ilustración 26-3:	Configuración Básica para cambiar el intervalo de notificación.	51
Ilustración 27-3:	Configuración serial para habilitar el RS485 y ajustes del puerto serie.	52
Ilustración 28-3:	Configuración de los canales a leer en el controlador LoRa.....	52
Ilustración 29-3:	Lora Gateway.....	53
Ilustración 30-3:	Gui de la web de Mulesight para Gateway LoRaWAN.....	55
Ilustración 31-3:	Resumen del estado del Gateway LoRaWAN.	55
Ilustración 32-3:	Configuración IP y tipo de conexión.	56
Ilustración 33-3:	Estado y prueba de la dirección IP.....	56
Ilustración 34-3:	Configuración de los radios y antena.....	57
Ilustración 35-3:	Configuración de los canales.	57
Ilustración 36-3:	Gráfica de las frecuencias de los radios en el Gateway LoRaWAN.....	58
Ilustración 37-3:	Configuración general del sistema.....	58
Ilustración 38-3:	Configuración de la hora del sistema.....	59
Ilustración 39-3:	Configuración general del servidor.....	59
Ilustración 40-3:	Dispositivos conectados.....	60
Ilustración 41-3:	Perfiles de los datos	60
Ilustración 42-3:	Tráfico de datos.	61
Ilustración 43-3:	Configuración SMTP.....	61
Ilustración 44-3:	Configuración del correo electrónico.....	62
Ilustración 45-3:	Configuración de los eventos en el sistema	62
Ilustración 46-3:	Algoritmo implementado mediante FuzzyLogic ToolBox en MATLAB....	64
Ilustración 47-3:	Algoritmo implementado mediante FuzzyLogic ToolBox en MATLAB....	64
Ilustración 48-3:	Definición de variables lingüísticas para cada función.....	66
Ilustración 49-3:	Definición de variables lingüísticas para cada función.....	67
Ilustración 50-3:	Definición de reglas 1	67
Ilustración 51-3:	Definición de reglas 2.....	68
Ilustración 52-3:	Programación del algoritmo Fuzzy del nutriente Nitrógeno.....	69
Ilustración 53-3:	Conexión de los dispositivos Lora a la nube.	70

Ilustración 54-3:	Configuraciones básicas del controlador Lora 1.....	70
Ilustración 55-3:	Configuración de la interfaz del controlador Lora 1.....	71
Ilustración 56-3:	Configuración del dispositivo controlador Lora 2.....	71
Ilustración 57-3:	Configuración de la interfaz del controlador Lora 2.....	71
Ilustración 58-3:	Configuración de alarmas para el déficit de Nitrógeno.....	72
Ilustración 59-3:	Configuración de alarmas para el déficit de Fósforo.....	72
Ilustración 60-3:	Configuración de alarmas para el déficit de Potasio.....	73
Ilustración 61-3:	Alarmas configuradas en la interfaz de trigger.....	73
Ilustración 62-3:	Configuración del Dispositivo 1 en el Dashboard.....	73
Ilustración 63-3:	Configuración del Dispositivo 2 en el Dashboard.....	74
Ilustración 64-3:	Gráfica de la programación en Node-RED.....	74
Ilustración 65-3:	Programación en JavaScript en una función de Node-RED parte 1.....	75
Ilustración 66-3:	Programación en JavaScript en una función de Node-RED parte 2.....	75
Ilustración 67-3:	Programación en Node-RED para nitrógeno.....	76
Ilustración 68-3:	Programación en Node-RED para fósforo.....	76
Ilustración 69-3:	Programación en Node-RED para potasio.....	77
Ilustración 70-3:	Programación en Node-RED para la determinación de fertilidad del suelo	77
Ilustración 71-3:	Programación dentro de la función para Nitrógeno.....	78
Ilustración 72-3:	Programación dentro de la función para Fosforo.....	78
Ilustración 73-3:	Programación dentro de la función para potasio.....	79
Ilustración 74-3:	Programación dentro de la función para la determinación de fertilidad del suelo.....	79
Ilustración 75-3:	Salida de correo electrónico para el Controlador D1 y el Controlador D2 en Node-red.....	80
Ilustración 76-3:	Configuración dentro del nodo de salida de correo electrónico en Node-red.....	80
Ilustración 77-3:	Entorno The Things Stack.....	81
Ilustración 78-3:	Conexión con el Gateway.....	81
Ilustración 79-3:	Agregación The Thing Stack.....	82
Ilustración 80-3:	Agregación de los dos dispositivos finales.....	82
Ilustración 81-3:	Creación del API key.....	83
Ilustración 82-3:	MQTT Explorer.....	83
Ilustración 83-3:	Device - Hub.....	84
Ilustración 84-3:	Configuración de Device – Hub.....	84
Ilustración 85-3:	Generación del link para acceder a la configuración del Gateway.....	85
Ilustración 1-4:	Prueba en tierra de la región sierra en una planta de romero.....	86
Ilustración 2-4:	Prueba 2 en una planta de babaco.....	86

Ilustración 3-4:	Primera muestra de suelo arcilloso de la plantación de cacao.	87
Ilustración 4-4:	Segunda muestra de suelo arcilloso de la plantación de cacao	87
Ilustración 5-4:	Prueba del sensor NPK conectado al módulo del controlador Lora.	88
Ilustración 6-4:	Envío de datos del controlador al Gateway	88
Ilustración 7-4:	Envío de datos del Gateway a IoT Cloud	89
Ilustración 8-4:	Envío de datos con Node-red.....	89
Ilustración 9-4:	Prueba de funcionamiento de internet.....	90
Ilustración 10-4:	Niveles de instalación del sensor NPK.	91
Ilustración 11-4:	Ubicación del sensor NPK a 25cm.	91
Ilustración 12-4:	Ubicación del primer sensor NPK a 15cm y los datos recolectados en el controlador Lora	92
Ilustración 13-4:	Ubicación del segundo sensor NPK a 15cm y los datos recolectados en el controlador Lora	92
Ilustración 14-4:	Análisis químico de dos muestras de suelo arcilloso.	93
Ilustración 16-4:	Estado del Gateway en Milesight IoT Cloud.	96
Ilustración 15-4:	Visualización de datos de los nutrientes en los dispositivos Lora.	96
Ilustración 17-4:	Dashboard “Home” de los dispositivos en Milesight IoT Cloud.	97
Ilustración 18-4:	Visualización de los datos en el dispositivo 1 en el Dashboard Milesight IoT Cloud	97
Ilustración 19-4:	Visualización de los datos en el dispositivo 2 en el Dashboard Milesight IoT Cloud.....	98
Ilustración 20-4:	Dashboard con los datos registrados en el Controlador Lora 1.	98
Ilustración 21-4:	Dashboard con los datos registrados en el Controlador Lora 2.	99
Ilustración 22-4:	Informe de alarmas en Milesight IoT Cloud.....	99
Ilustración 23-4:	Informe de alarmas del primer controlador lora, al gmail por medio de Milesight IoT Cloud	100
Ilustración 24-4:	Informe de alarmas del segundo controlador lora, al gmail por medio de Milesight IoT Cloud	100
Ilustración 25-4:	Valor del nitrógeno del Dispositivo 1 y Dispositivo 2, en el Dashboard de Node-red	101
Ilustración 26-4:	Valor del fósforo del Dispositivo 1 y Dispositivo 2, en el Dashboard de Node-red	102
Ilustración 27-4:	Valor del potasio del Dispositivo 1 y Dispositivo 2, en el Dashboard de Node-red	102
Ilustración 28-4:	Determinación de la fertilidad del suelo en el Dispositivo 1 y 2, en el Dashboard de Node-red	103
Ilustración 29-4:	Envío de datos del primer controlador lora, al gmail a través de node red.	103
Ilustración 30-4:	Envío de datos al gmail del segundo controlador lora, a través de node red... ..	103

Ilustración 31-4:	Pantalla de resultados (Rules 1).....	104
Ilustración 32-4:	Pantalla de resultados (Rules 2).....	105
Ilustración 33-4:	Entradas y salidas en un sistema Fuzzy.	105
Ilustración 34-4:	Gráficas de entrada y salida del algoritmo en Matlab.....	106
Ilustración 35-4:	Recomendaciones de node-red generados por los valores sensados.....	106
Ilustración 36-4:	Lectura del sensor y recomendaciones en el dashboard de Node Red.....	107
Ilustración 37-4:	Respuestas en Toolbox Matlab Reglas 1	108
Ilustración 38-4:	Respuesta por medio de la ventana de comando de Matlab.	108
Ilustración 39-4:	Dasboard de la fertilidad del suelo en Node Red.....	109
Ilustración 40-4:	Respuestas en Toolbox Matlab Reglas 2	109

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: REQUERIMIENTOS

ANEXO B: GRÁFICAS DETALLADAS DEL TOOLBOX

ANEXO C: ALGORITMO MACHINE LEARNING – VENTANA DE COMANDO

ANEXO D: ANÁLISIS QUÍMICO DEL LABORATORIO

ANEXO F: PROGRAMACIÓN POR NODOS

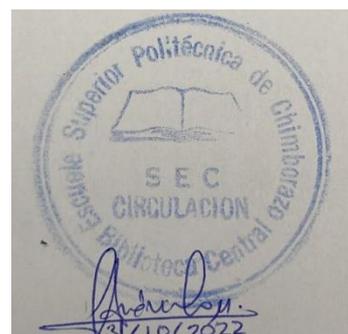
ANEXO G: IMPLEMENTACIÓN

ANEXO H: ACTA ENTREGA Y RECEPCIÓN

RESUMEN

El objetivo principal del trabajo de titulación fue desarrollar un sistema de monitoreo basado en Smart grid y machine learning para la determinación de nutrientes del suelo presentes en cultivos de cacao ubicado en la sede ESPOCH Orellana en la finca La Belleza. El correcto desarrollo de las plantas se debe a los nutrientes existentes en el suelo por lo que se necesitó analizar los macronutrientes que son nitrógeno, fósforo y potasio por medio de un sensor de fertilidad de suelo NPK. El sistema de monitoreo está basado en una Smart grid de dos nodos, que poseen tecnología Lora Wan, este cuenta con dos controladores Lora, un Gateway UG-65 y un Router, que permite enviar los valores a internet haciendo uso del IoT con un almacenamiento de datos en la nube. Los datos se procesan por medio de un algoritmo de machine learning basado en lógica difusa que proporciona alarmas y recomendaciones con respecto a los fertilizantes que se deben utilizar, haciendo uso del software Node – Red, la información recolectada en tiempo real se visualiza en la aplicación IoT Cloud y en el Dashboard programado en Node-Red. El sistema de monitoreo está trabajando de manera adecuada, para esto se realizó diversas pruebas, empezando con el correcto uso del sensor, se corroboró que los valores mostrados directamente en la computadora por medio del software Modbus Poll, el dashboard de node red y la simulación del algoritmo de Matlab, tienen una media similar de los valores obtenidos en el análisis de laboratorio con un error menor al 2%. Además, con la prueba de normalidad y con la prueba T se concluyó que la hipótesis nula aplicada a cada nutriente es aceptada ya que el promedio es mayor al nivel de significancia de 0.01.

Palabras claves: <AGRICULTURA DE PRECISIÓN>, <MACHINE LEARNING>, <RED ELÉCTRICA INTELIGENTE (SMART GRID)>, <SISTEMA DE MONITOREO>, <FERTILIDAD DEL SUELO>, <TECNOLOGÍA LORAWAN>, <CONTROLADORES (HARDWARE)>.

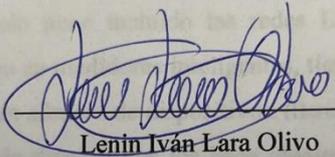


2054-DBRA-UPT-2022

SUMMARY

The objective of the Curricular integration research project was to develop a monitoring system based on a Smart grid and machine learning for the determination of soil nutrients present in cocoa crops located at the ESPOCH in Orellana province in La Belleza farm. The correct development of the plants is due to the existing nutrients in the soil, so it was necessary to analyze the macronutrients, nitrogen, phosphorus, and potassium, with a soil NPK fertility sensor. The monitoring system is based on a Smart grid of two nodes, which have Lora Wan technology; it has two Lora drivers, a Gateway UG-65 and a Router, which allows sending the values to the internet using the IoT with storage of data in the cloud. The data is processed through a machine learning algorithm based on fuzzy logic that provides alarms and recommendations regarding the fertilizers that should be used; using the Node-Red software, the information collected in real-time is displayed in the application IoT Cloud and Dashboard programmed in Node-Red. The monitoring system is working correctly, for this several tests were carried out, starting with the correct use of the sensor; it was confirmed that the values shown directly on the computer through the Modbus Poll software, the Node-Red dashboard, and the simulation of the MATLAB algorithm, have a similar mean of the values obtained in the laboratory analysis with an error of less than 2%. In addition, with the normality and T-test, it was concluded that the null hypothesis applied to each nutrient is accepted since the average is greater than the significance level of 0.01.

Keywords: <PRECISION AGRICULTURE>, <MACHINE LEARNING>, <INTELLIGENT ELECTRICAL NETWORK (SMART GRID)>, <MONITORING SYSTEM>, <SOIL FERTILITY>, <LORAWAN TECHNOLOGY>, <DRIVERS (HARDWARE)>.



Lenin Iván Lara Olivo
0602546103

INTRODUCCIÓN

Según diversos estudios, (Mena, 2018a: pp.19-30) y (Ministerio del Ambiente, 2011a: p.3), se puede decir que el Ecuador es uno de los países a nivel mundial privilegiado en términos de biodiversidad con la mayor cantidad por unidad de área en el mundo. Esta biodiversidad se observa en la región Amazónica que está formada con varias provincias, una de ellas es Orellana en la que se llevó a cabo el proyecto de investigación “Implementación de una Plataforma Informática de Alertas Tempranas Fitosanitarias Agrícolas en los cantones La Joya de los Sachas, Loreto y Francisco de Orellana” donde podemos notar que la agricultura se encuentra dentro del sector primario, uno de los productos que se trabajan en esta zona es el cacao, que es un árbol procedente de América que produce un fruto del mismo nombre que se puede utilizar como ingrediente para alimentos entre los que destaca el chocolate. (Durango et al., 2019a: p.39).

La innovación tecnológica es importante para el fortalecimiento del sector agrícola en Ecuador, en función de esto se habla de la agricultura de precisión soportada en Iot, el cual considera diferentes capas como son: La capa de captura de datos en la que puede instalarse una red inteligente, la capa de almacenamiento, la capa de procesamiento que genera predicciones y recomendaciones y la capa de consulta que permite a los usuarios finales visualizar en una interfaz web los parámetros y condiciones en tiempo real. (Montoya et al., 2017a: pp.39-46)

El beneficio que representa instalar una smartgrid en los cultivos de cacao es la adquisición de datos de forma remota, que automáticamente se controlan mediante los sensores ubicados en el cultivo, las cifras registradas se visualizan en cualquier lugar, y se generan recomendaciones de acuerdo con los datos recogidos, medidos y procesados del suelo. (Abbasi et al., 2019a: p.24) .

Las recomendaciones serán de acuerdo con los nutrientes medidos por los sensores de nitrógeno, fósforo y potasio, mismos que de acuerdo con el manual Soil NPK Sensor User Manual (JXCT, 2020a., p.3), permitirán determinar la fertilidad del suelo. La transmisión de datos se hace mediante el protocolo de comunicación Wireless, el mismo que permite enviar los datos a la nube para que sean procesados. Este protocolo tiene incluido las redes Low-power WAN (LPWAN), que actualmente son la mejor opción en medidores inteligentes, tiene un bajo consumo de energía, un bajo costo y soporte para un gran número de dispositivos. (Hernández y López, 2020a: pp.19-22)

El bajo consumo de este tipo de dispositivos los hace ideales, ya que en el proyecto se utiliza energía solar, lo que permite abastecer a todo el sistema de la smartgrid, considerando que las zonas de medición no tienen acceso a energía eléctrica.

La investigación tiene como finalidad incrementar la cantidad de estaciones nuevas o existentes de otras regiones que sean compatibles con la tecnología de transmisión utilizada, con lo cual a futuro se pueda convertir en un servicio comunitario, por lo que con el desarrollo de este trabajo de

titulación estamos aportando a que se pueda cumplir este objetivo ya que los resultados obtenidos serán tomados en cuenta como recolección de datos de la investigación.

En este proyecto se pretende ayudar al avance de la agricultura, en base a procedimientos tecnológicos como el uso de tecnología LORA para el transporte de datos y centrándonos en los correctos nutrientes que el suelo necesita en base a mediciones, con ayuda de sensores que nos proporcionarán los datos necesarios para que la planta crezca y se desarrolle de una manera correcta, además se podrá emitir alarmas y facilitar recomendaciones en cuanto a la cantidad y tipo de fertilizante necesario en el suelo para suministrar condiciones óptimas y que el producto final sea el deseado. Además, este brinda una ventaja para el productor, dado que eleva los rendimientos y disminuye los costos con un menor empleo de mano de obra, garantizando un aumento del poder adquisitivo y, por tanto, de su calidad de vida. (Herrero et al., 2006a: p.43)

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1. Antecedentes

La biodiversidad puede llegar a tener diferentes definiciones, en (Bravo Velásquez, 2014a: p.11), menciona que es el resultado de diferentes procesos ya sean estos naturales o de manera en las cuales participan las sociedades humanas. En cambio (Wuellins et al., 2019a: p.39) incluye varias significaciones para tener en cuenta como son la variedad de ecosistemas y en un campo más amplio determinar en una especie las diferencias genéticas. Igualmente, (Bravo Velásquez, 2014b: p.12) menciona tres diferentes tipos de biodiversidad que son alfa, beta y gamma, los mismos que se clasifican por el tamaño de área en el que se está trabajando o las especies que se están tratando. Según diversos estudios, (Mena, 2018b: pp.19-30) y (Ministerio del Ambiente, 2011b: pp.3-4) se puede decir que el Ecuador es uno de los países a nivel mundial privilegiado en términos de biodiversidad con la mayor cantidad por unidad de área en el mundo.

La región Amazónica está formada con varias provincias, una de ellas es Orellana en la que se llevará a cabo el proyecto, la cual cuenta con una Población Económica Activa (PEA) que representa el 33% del total de la población provincial. Está dividida por sectores, el 52% se dedica al sector primario (agricultura, silvicultura, caza y pesca), el 35% al sector secundario (manufactura, industria, comercio) y el 13% al sector terciario (prestación de servicios y sector público).(GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO DE LA PROVINCIA DE, 2021, pp. 167-172)

Podemos notar que la agricultura se encuentra dentro del sector primario, uno de los productos que se trabajan en esta zona es el cacao, que es un árbol procedente de América que produce un fruto del mismo nombre que se puede utilizar como ingrediente para alimentos entre los que destaca el chocolate. El cacao es de importancia relevante en la economía del Ecuador, por ser un producto de exportación y por constituir una fuente de empleo para un alto porcentaje de habitantes de los sectores rurales y urbano. (Wuellins et al., 2019b: pp.49-62)

Lo mencionado anteriormente también hace referencia a que la agricultura tuvo un papel indispensable desde la antigüedad, según (Robledo-Arratia, 2015, pp.1-11), se sabe que la primera relación que tuvieron los humanos con la agricultura fue la recolección de frutos y semillas, ya que tuvieron que realizar un cambio significativo, pasaron de ser recolectores y cazadores a ser agricultores.

Para que exista el siguiente avance en la agricultura fue necesario un avance tecnológico para así ir mejorando cada procedimiento de los diferentes productos a tratar, tomando en cuenta siempre los pros y contras que las diferentes decisiones producían como el uso de abonos químicos y

plaguicidas que tuvieron un mayor impacto en el medioambiente. Hoy en día gracias a la ingeniería y tecnología se ha podido transformar la agricultura y se han introducido conceptos como los invernaderos, tecnologías de riego, cuidado del clima, equipos de nutrición del suelo, tratado de aguas, entre otros. (Bastida, 2017, pp. 281-294)

Una base para la investigación es el trabajo realizado por (Montoya et al., 2017b: pp.39-46), donde se propone una arquitectura para agricultura de precisión soportada en Iot, en este se detalla una arquitectura Lambda, considerando diferentes capas como son: La capa de captura de datos, la capa de almacenamiento, la capa de procesamiento que genera predicciones y recomendaciones y la capa de consulta que permite a los usuarios finales visualizar en una interfaz web los datos climáticos y las predicciones.

De igual importancia es la investigación de donde se plantea el diseño e implementación de una estación meteorológica automática (Garzón y Rincón, 2017a: pp.4-40) para la medición de variables ambientales que se relacionan con la generación de energía eólica y fotovoltaica, lleva consigo la inclusión de elementos adicionales a los sensores de las variables a medir, de tal forma que se pueda cumplir con el sistema de adquisición de datos, el sistema de almacenamiento de información, el sistema de visualización y sincronización de hora y lugar de la ubicación de la Estación Meteorológica Automática (EMA).

En la investigación de (Montoya et al., 2017c: pp.40-56), se trabaja por medio de elementos cableados, mientras que en el proyecto a desarrollar se trabaja con dispositivos que cuentan con comunicación Wireless que facilita la transmisión de datos sin conexiones. Por otra parte, en (Garzón y Rincón, 2017b: pp.40-76) ,utilizan sensores para el análisis en variables ambientales, a diferencia de este proyecto que se enfoca en parámetros de medición de nutrientes y fertilidad del suelo.

En este proyecto se pretende ayudar al avance de la agricultura, en base a procedimientos tecnológicos como el uso de tecnología LORA para el transporte de datos y centrándonos en los correctos nutrientes que el suelo necesita en base a mediciones, con ayuda de sensores que nos proporcionarán los datos necesarios para que la planta crezca y se desarrolle de una manera correcta, con los datos obtenidos se podrá emitir alarmas y facilitar recomendaciones en cuanto a la cantidad y tipo de fertilizante necesario en el suelo para suministrar condiciones óptimas y que el producto final sea el deseado.

1.2. Planteamiento del problema

¿Cómo se puede desarrollar un sistema de instrumentación que determine la cantidad de nutrientes del suelo presentes en un cultivo de cacao para emitir alarmas de fertilización?

1.3. Justificación

1.3.1. Justificación teórica

En el Ecuador una de las actividades más relevantes es el sector agrícola, de acuerdo con los datos del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), el cacao es uno de los principales productos tradicionales de exportación ecuatoriana. El sector cacaotero contribuye en un 5% de la población económicamente activa nacional (PEA) y el 15% de la PEA rural, por ende, contribuye una base fundamental de la economía familiar costera del país, las estribaciones de las montañas de los Andes y la Amazonía ecuatoriana donde esta planta no ha sido muy explotada. (Dilas Jiménez Josué Otoniel, 2022, pp.9-10)

Por esta razón, se evidencia una oportunidad para que el Ecuador aumente la producción de cacao fino de aroma y el cacao ordinario destinado a la exportación, mismo que debe mantener una alta calidad exigida por las leyes sanitarias de los países importadores y para ello se debe intensificar el cultivo del cacao orgánico, que tiene mayor demanda por la tendencia al cuidado de la salud. (Villamar et al., 2016: p.48)

Por tanto, la innovación tecnológica es importante para el fortalecimiento del sector agrícola en Ecuador, en función de esto se habla de la agricultura de precisión, que tiene ventaja para el productor, dado que eleva los rendimientos y disminuye los costos con un menor empleo de mano de obra, garantizando un aumento del poder adquisitivo y, por tanto, de su calidad de vida. (Herrero et al., 2006b: p.43)

Según lo analizado en (Reinoso y Zabala, 2012: p.10), la aplicación de fertilizantes en la agricultura tradicional trata a todo el campo de cultivo con una superficie uniforme con necesidades similares, mientras que con la agricultura de precisión se tiene zonas diferenciadas, mismas que son tratadas con cantidades exactas de fertilizantes o abonos, según las necesidades de cada región o cultivo, lo que garantiza un mejor cuidado del medio ambiente al disminuir hasta un 50% la cantidad de elementos químicos. Esta tecnificación puede llevarse a cabo por medio del desarrollo de Red Inteligente ya que se adaptan a los cambios del sistema gracias a los vínculos comunicativos que se establecen.

El beneficio que representa instalar una smartgrid en los cultivos de cacao es la adquisición de datos de forma remota, que automáticamente se controlan mediante los sensores ubicados en el cultivo, las cifras registradas se visualizan en cualquier lugar, y se generan recomendaciones de acuerdo con los datos recogidos, medidos y procesados del suelo. (Abbasi et al., 2019b: p.24)

Las recomendaciones serán de acuerdo con los nutrientes medidos por los sensores de nitrógeno, fósforo y potasio, mismos que de acuerdo con el manual Soil NPK Sensor User Manual (JXCT, 2020b: p.3), permitirán determinar la fertilidad del suelo.

La transmisión de datos se hace mediante el protocolo de comunicación Wireless, el mismo que permite enviar los datos a la nube para que sean procesados. Este protocolo tiene incluido las redes Low-power WAN (LPWAN), que actualmente son la mejor opción en medidores inteligentes, ya que transmiten pequeñas cantidades de datos a grandes distancias, tiene un bajo consumo de energía, un bajo costo y soporte para un gran número de dispositivos. Dentro de esta tecnología, está la red Lora WAN, el cual es un protocolo de red que usa la tecnología Lora para comunicar y administrar dispositivos LoRa, esta es una técnica de modulación orientada a IoT, que puede operar por debajo de 1GHz.(Hernández y López, 2020) (Hernández y López, 2020b: pp.19-22)

El bajo consumo de este tipo de dispositivos los hace ideales, ya que en el proyecto se utiliza energía solar, lo que permite abastecer a todo el sistema de la smartgrid, considerando que las zonas de medición no tienen acceso a energía eléctrica. En base a lo analizado en (Sarker et al., 2019: p.296), el conjunto de datos recogidos por los sensores junto con los dispositivos Lora mediante nodos, deberá ser usado para realizar estimaciones estadísticas con referencia a la información obtenida en cuanto a los fertilizantes y abonos adecuados a utilizar para la implementación en el cultivo.

La principal ventaja de usar Smart grid, utilizando el internet de las cosas (IoT) para el almacenamiento de los datos en la nube, es que se obtendrá los parámetros para determinar la falta de nutrientes en el suelo. Debido a que el grado de acidez del suelo y su contenido de nutrientes en nitrógeno, fósforo y potasio son los medios por los que responden en varias medidas a tratamientos con fertilizantes de acuerdo con el tipo de suelo.

El proyecto cuenta con un aporte a la sociedad mediante el proyecto de investigación titulado “Implementación de una plataforma informática de alertas tempranas fitosanitarias agrícolas en los cantones Loreto, Joya de los Sachas y Francisco de Orellana”, desarrollado por el Instituto de Investigación IDI de la ESPOCH, mismo que permite a los estudiantes involucrarse en el desarrollo, experimentación y recolección de datos ya sea a manera de prácticas o como trabajos de titulación. Se abre así también la posibilidad de incrementar estudios de otro tipo de enfermedades o plagas que afecten los cultivos en la región.

La investigación tiene como finalidad incrementar la cantidad de estaciones nuevas o existentes de otras regiones que sean compatibles con la tecnología de transmisión utilizada, con lo cual a futuro se pueda convertir en un servicio comunitario, por lo que con el desarrollo de este trabajo de titulación estamos aportando a que se pueda cumplir este objetivo ya que los resultados obtenidos serán tomados en cuenta como recolección de datos de la investigación.

1.3.2. Justificación aplicativa

El internet de las Cosas (IoT), es una red de objetos como sensores y actuadores conectados a internet a través de redes fijas e inalámbricas donde se puede capturar datos de forma autónoma y auto configurable de forma inteligente basada en los hechos del mundo físico. Es decir, el IoT tiene una combinación de métodos y procesos que comprenden la utilización de sensores, una red y un dispositivo final, mismos que tiene como objetivo proporcionar al usuario final una representación de los datos de una manera visual, legible y práctica. (Montoya et al., 2017d: pp.43)

Los avances de la tecnología con respecto al IoT han hecho que la tecnología inalámbrica, tanto celular RF (radio frecuencia), sea asequible y fácil de usar en aplicaciones de Smart grid.

La Smart grid es un sistema donde se monitorea los datos medidos por los sensores de las variables que influyen en la fertilidad y estado del suelo donde se implementará el sistema de monitoreo dentro del Proyecto de investigación: “Implementación de una Plataforma Informática de Alertas Tempranas Fitosanitarias Agrícolas en los cantones La Joya de los Sachas, Loreto y Francisco de Orellana”. A través de estas variables se podrá identificar los nutrientes del suelo (nitrógeno, fósforo y potasio) presentes en el mismo, con el fin de generar las alarmas necesarias para mantener un suelo fértil y con ello asegurar el crecimiento y florecimiento de la planta. En este caso de estudio, se analizará los cambios y necesidades nutricionales en el cultivo de cacao dentro de la parcela experimental a implementarse en la finca La Belleza.

Este trabajo es la implementación de una smartgrid con un sistema de adquisición de datos que pretende informar al usuario acerca de su cultivo de cacao y generar recomendaciones para que el desarrollo de este se mantenga en buen estado. Las variables se obtendrán por un medio físico (sensores), lo que permitirá al usuario visualizar y analizar los parámetros proporcionados, además de visualizar las recomendaciones que se generen de acuerdo con estos valores. La información obtenida servirá al usuario para tomar una decisión en beneficio de su producto.

Los instrumentos de medición se definen de acuerdo con la información y estadísticas obtenidas por medio de la smartgrid. Mismos que se deben ubicar en sitios estratégicos para la región geográfica, así también se debe tomar en cuenta el tipo de cultivo y el tipo de suelo donde está ubicada la siembra, para hacer las mediciones correspondientes con un correcto monitoreo. Se ha seleccionado este tipo de sensores NPK, ya que miden 3 variables que son nitrógeno, fósforo y potasio y con ello determinan la fertilidad del suelo, facilitando la evaluación del estado de este. Además, estos sensores están hechos de acero inoxidable, resistentes a la corrosión por sal y álcalis, lo cual es un gran beneficio considerando el clima donde se implementará el sistema. Teniendo en cuenta que el proyecto se va a desarrollar dentro una investigación ya establecida hace dos años se ha considerado estos elementos ya detallados. De igual manera, según el manual Soil NPK Sensor

User Manual (JXCT, 2020c: p.7), en caso de presentar fallas o daños se los puede reemplazar fácilmente y sin complicaciones.

De este modo, los parámetros medidos por los sensores se pretenden enviar a la nube, para ser procesados y comparados con los valores normales de nutrientes presentes en el tipo de suelo en estudio, para luego crear un algoritmo que genere una alarma fitosanitaria con recomendaciones y aplicaciones, así evitar pérdidas en las plantas de cacao y asegurar el correcto desarrollo y crecimiento de estas, en los cultivos analizados.

Una ventaja de la implementación de una Smart grid en la adquisición de datos al usar dispositivos Lora, y contar con comunicación Wireless es el ahorro en gran cantidad de conexiones, ya que estos dispositivos permiten enviar los datos a grandes distancias. De hecho, con el uso de internet, para enviar los datos a la nube, se hace fácil la manipulación y visualización de estos, para analizarlos y procesarlos adecuadamente con los softwares requeridos.

En la Ilustración 1-1 se detalla un esquema general de lo que se va a realizar mientras que en la figura 2-1 se observa mediante un diagrama de bloques el procedimiento a seguir paso a paso y en la figura 3-1 se observan la arquitectura del proyecto con los elementos a utilizar.

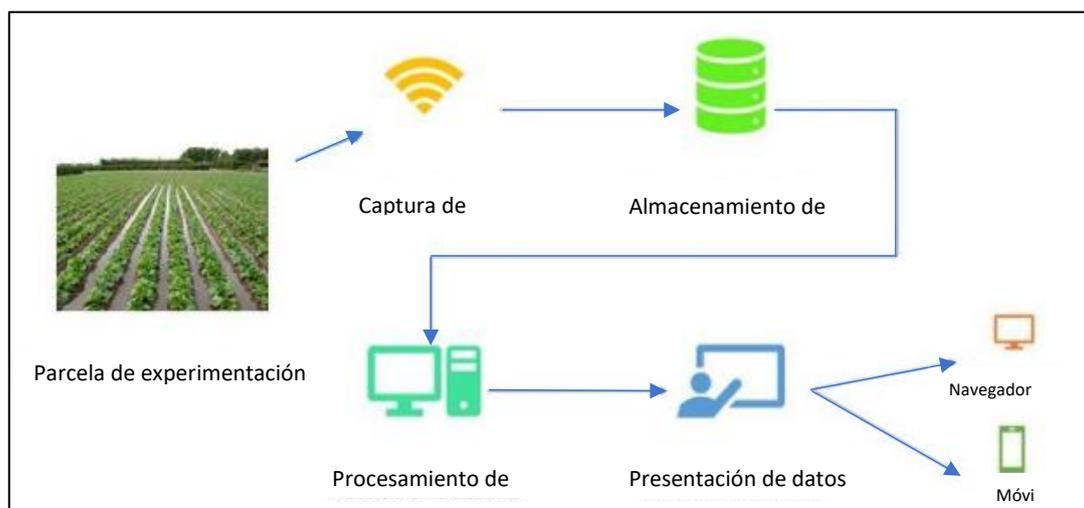


Ilustración 1-1: Esquema general de la solución

Fuente: Proyecto Investigación IDI, 2020.

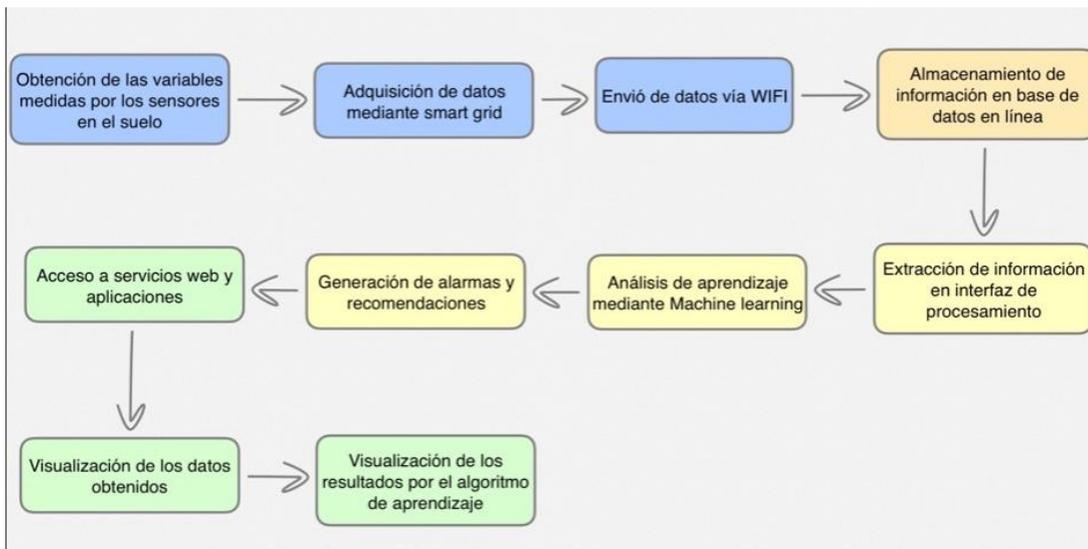


Ilustración 2-1: Diagrama de bloques

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022

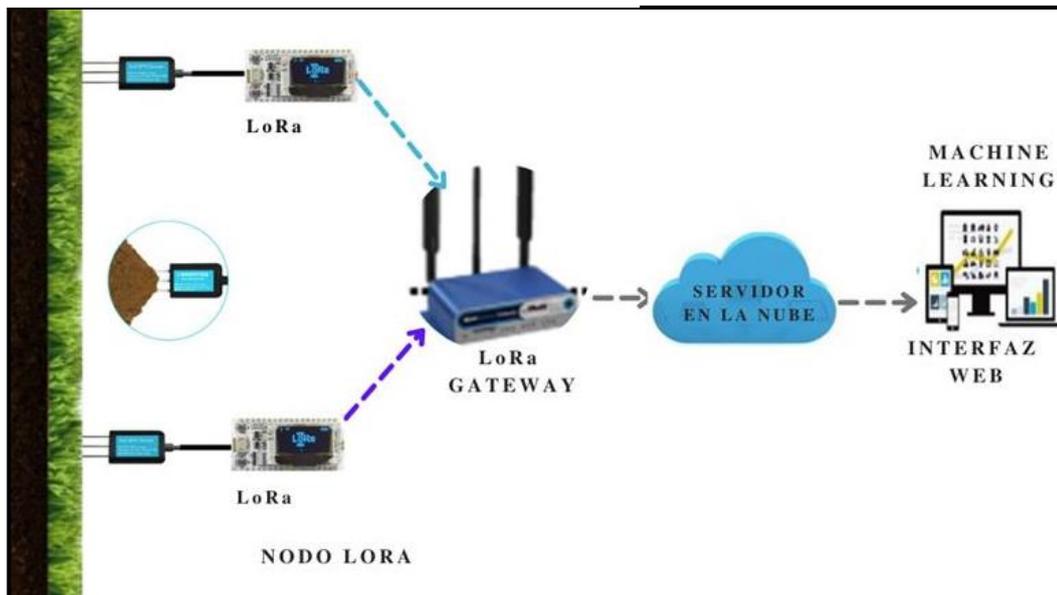


Ilustración 3-1: Arquitectura del Smartgrid

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Desarrollar un sistema de monitoreo basado en Smart grid y machine learning para la determinación de nutrientes del suelo presentes en cultivos de cacao ubicado en la sede ESPOCH Orellana en la finca La Belleza.

1.4.2. Objetivos específicos

- Emplear los parámetros obtenidos de los niveles óptimos de fósforo, nitrógeno y potasio que permitan a los cultivos de cacao desarrollarse.
- Diseñar un sistema de medición de fósforo, potasio y nitrógeno con el fin de determinar los nutrientes en el suelo en un cultivo de cacao.
- Diseñar una red inteligente autónoma que permita monitorear de manera inalámbrica los nutrientes en el suelo de un cultivo de cacao.
- Desarrollar un algoritmo de machine learning para un sistema de supervisión y monitoreo de los nutrientes con el fin de recomendar correcciones en la fertilización del suelo del cultivo de cacao.
- Desarrollar procesos que permitirán validar el correcto funcionamiento del sistema con base en los niveles óptimos de fósforo, nitrógeno y potasio en un cultivo de cacao.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Agricultura de precisión

El desarrollo de la automatización y el avance tecnológico ha permitido que los procesos de la agricultura evolucionen y así llegar a un nuevo concepto. La agricultura de precisión es “un conjunto de técnicas orientado a optimizar el uso de los insumos agrícolas (semillas, agroquímicos y correctivos) en función de la cuantificación de la variabilidad espacial y temporal de la producción agrícola”. (Mantovani, Marçal de Queiroz y Pinto, 2006a: pp.15-17)

Considerando el concepto y conociendo que se utilizan equipos tecnológicos, cabe aclarar que la recolección de datos permite un análisis predictivo y ayuda a la toma de decisiones y determinar las cantidades necesarias de productos a utilizar. (Montoya et al., 2017e: pp.39-56)

2.1.1. Etapas

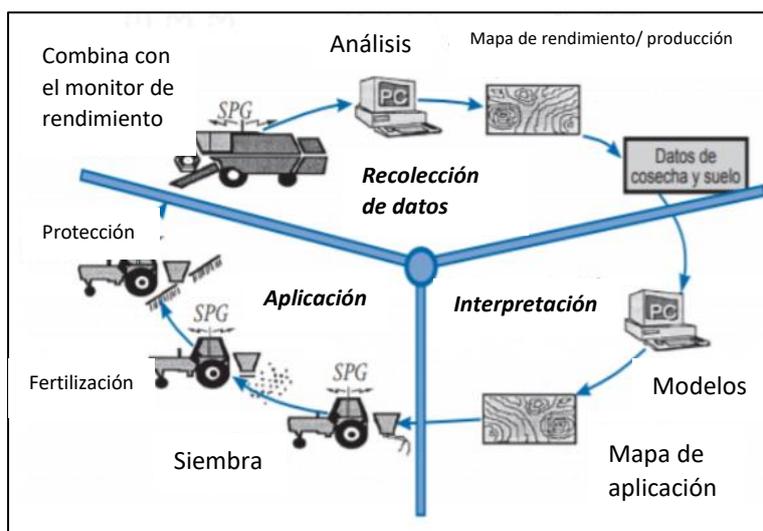


Ilustración 1-2: Tres etapas de la agricultura de precisión

Fuente: (AGCO, 2005)

Como se puede observar en la ilustración 1-2 existen tres etapas importantes en la agricultura de precisión que son: recolección de datos, procesamiento e interpretación de la información y la aplicación de insumos.

2.1.2. Tecnologías

Algunas de las tecnologías más utilizadas según (Mantovani, Marçal de Queiroz y Pinto, 2006b: pp.18-21) son:

- Sistemas GPS
- Sensores y controladores
- Mapeo
- Sistema GIS
- Tecnología de dosis variable

2.1.3. Ventajas

La importancia que la agricultura de precisión posee se ven reflejadas en los ítems que según (Sistema General de Regalías, 2021, pp.1-5), se pueden considerar las siguientes:

- Identificación rápida de la maleza
- Análisis en tiempo real
- Alertas fitosanitarias
- Análisis de datos
- Identificación de enfermedades
- Uso correcto de fertilizantes.

2.2. Cacao en el Ecuador



Ilustración 2-2: Estados del cacao y almendras

Fuente: Asociación Cámara Nacional de cacao, 2015

2.2.1. Historia

El cacao es originario de las selvas tropicales y considerado una planta tropical perteneciente al género *Theobroma* que comprende varias especies. (Paula Nikole Velastegui, 2019a: pp.14-15)

Según (Guerrero, 2017a: pp.18-20), el cacao se divide en tres grupos que son criollos, forasteros y trinitarios.

2.2.2. Clasificación

El cacao en el Ecuador se puede clasificar de diferentes maneras, una de ellas es la que se presenta a continuación.

2.2.2.1. Cacao Nacional

Se considera como el producto estrella del Ecuador, es reconocido por sus características únicas en cuanto a su fino aroma y sabor debido a condiciones climáticas y geográficas del Ecuador. (Páez y Espinoza, 2015, p.23)

2.2.2.2. Cacao Ccn51

Este cacao se lo reconoce debido a que en su etapa de madurez es más rojiza, tiene mayor cantidad de grasa y pulpa. Tiene gran capacidad de producción y presenta una resistencia a las enfermedades y plagas. (Paula Nikole Velastegui, 2019b: pp.34-36)



Ilustración 3-2: Cacao CCN-51

Fuente: (Anecacao, 2019)

2.2.3. *Importancia*

El proceso de siembra es específico ya que primeramente se debe escoger una superficie adecuada considerando las condiciones del suelo y clima. Además, se debe considerar árboles de sombra, controlar las malezas, aplicación de fertilizantes, debe incluir canales de drenaje y de ser posible riego automático. (Paula Nikole Velastegui, 2019c: pp.18-20), (Guerrero, 2017 b: pp.18-20)

Los factores de riesgo, las enfermedades y los cuidados del cacao, los insectos pueden llegar a ser una plaga, para ello se debe considerar un uso correcto de los insecticidas. (Paula Nikole Velastegui, 2019d: pp.20-23)

La cosecha y postcosecha, la primera es indispensable ya que se recomienda que se deben identificar principalmente los frutos que se encuentra maduros es decir de coloración amarilla o roja. Para que la segunda parte se cumpla de manera adecuada se debe hacer una correcta separación considerando enfermedades y madurez para asegurarse de una correcta entrega a los diferentes compradores. (Paula Nikole Velastegui, 2019e: pp.23-24)

2.2.4. *Exportación*

El cacao es considerado uno de los principales productos de exportación del país. Según (Anecacao, 2019, pp.1-8), contribuye en la economía familiar ya que el sector cacaotero brinda un 15% de la PEA rural. De manera estratificada se conoce que el cacao está representado por pequeños productores en mayor cantidad. Además, según (CEPAL, 2015, pp.1-10). Ecuador es uno de los mayores productores de granos de cacao a nivel mundial considerado en tercer lugar.

Tabla 1-2: Exportación de cacao años 2014-2018.

EXPORTACIONES DE CACAO / EN TONELADAS MÉTRICAS					
Meses	2014	2015	2016	2017	2018
Enero	14.573	25.582	22.585	26.416	20.573
Febrero	16.737	25.035	23.165	22.398	15.488
Marzo	17.878	26.155	19.396	27.986	20.990
Abril	19.474	16.454	13.164	18.879	20.449
Mayo	16.851	15.169	13.305	16.955	17.720
Junio	14.829	15.749	16.782	16.056	18.785
Julio	16.247	15.065	12.445	20.384	18.645
Agosto	15.800	19.405	13.228	28.622	25.212
Septiembre	20.350	20.903	17.731	29.084	32.091
Octubre	19.873	23.380	28.972	37.316	48.102
Noviembre	25.824	26.276	36.381	33.848	41.820
Diciembre	35.842	31.368	32.478	23.582	35.695
TOTAL	234.278	260.541	249.632	301.526	315.57
VARIACIÓN%		11%	-4%	21%	5%
		2014-2015	2015-2016	2016-2017	2017-2018

Fuente: Anecacao, 2019, pp.1-8

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

2.3. Fertilizantes

Para que se pueda considerar como fertilizante es necesario que exista por lo menos uno o varios nutrientes que ayuden al desarrollo y crecimiento de la planta es decir que estos se puedan aprovechar. (Guerrero, 2013c: pp.4-10) y (CARDENAS, 2020, pp.18-20)

2.3.1. *Propiedades físicas*

Estas propiedades son importantes por sus cualidades de aplicación, transporte y almacenamiento. Por lo general, “las técnicas de manufactura utilizan diferentes tratamientos para generar condiciones físicas favorables” como son: granulometría, consistencia del gránulo, densidad aparente, humedad relativa crítica. (Guerrero, 2013d: pp.10-20)

2.3.2. *Propiedades químicas*

Las principales propiedades son: solubilidad, pH de la solución saturada, equivalente de acidez o basicidad residual, índice de salinidad, compatibilidad química en mezclas. (Guerrero, 2013e: pp.34-38)

2.3.3. *Nutrientes*

Se considera una gran cantidad de elementos para el correcto crecimiento de una planta ya se en el aire o en el suelo. Los nutrientes poseen diferentes funciones, además estos pueden ser divididos en dos categorías los macronutrientes y micronutrientes. (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2002a: pp.7-10)

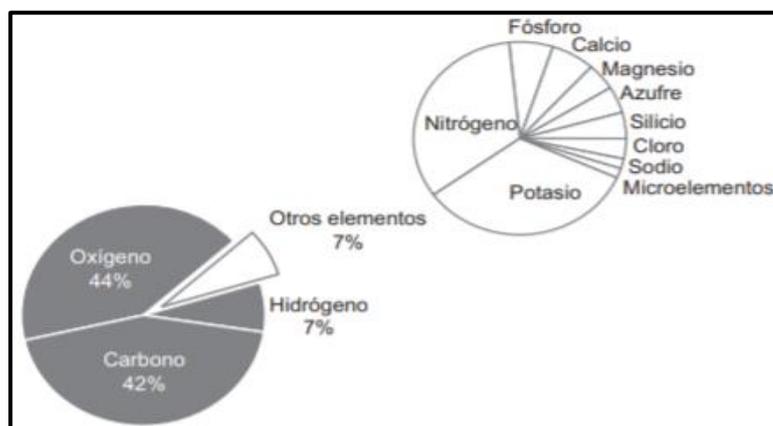


Ilustración 4-2: Composición elemental promedio de las plantas

Fuente: Organización de las Naciones Unidas (2002)

2.3.3.1. Macronutrientes

Se dice que se los necesita en grandes cantidades y que si el suelo no posee estos nutrientes podría llegar a tener deficiencia.

- **Nitrógeno:** Según (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2002b: pp.7-10), es el motor del crecimiento de la planta. Este nutriente se combina con componentes producidos por el metabolismo de carbohidratos para formar aminoácidos y proteínas. Está involucrado en todos los procesos principales de desarrollo de las plantas y en la elaboración del rendimiento. (Florida - Friendly, 2016, pp.13-14)

Tabla 2-2: Fuentes de Nitrógeno

Forma	Acción rápida o soluble	Acción lenta o controlada
Orgánico	Urea (sintético)	Bio-Sólidos
Inorgánico	Nitrato de Amonio Sulfato de Amonio Fosfato de Amonio	Tipos de urea: Revestida con azufre (SCU) Polímero de azufre recubierto (PCU) Productos de formaldehído Materiales formados de urea metileno Di-urea-metileno Tri-urea-dimetileno Triazona

Fuente: (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2002)

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

- **Fósforo:** Este nutriente cumple un papel importante en la transferencia de energía y por ende para el proceso de fotosíntesis, así también para el desarrollo de tejidos. (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2002c: pp.7-10)

Tabla 3-2: Regla del fósforo

Regla del fósforo de FDACS limita el uso	
0.25 lb 1000 ft ² por aplicación	0.5 lb 1000 ft ² al año

Fuente: (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2002)

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

- **Potasio:** Es indispensable ya que este activa aproximadamente 60 enzimas, mejora el régimen hídrico y aumenta su tolerancia a la sequía, heladas y salinidad, además ayuda a que la planta posea menos enfermedades. (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2002d: pp.7-10)

2.3.4. Ejemplos



Ilustración 5-2: Ejemplos de fertilizantes

Fuente: Portafolio cacao o completo para el cultivo de cacao

- **Ferticacao 20-6-17-3-4-1:**

Fórmula elaborada con materia prima importada, ajustada a las necesidades específicas del cultivo del cacao tomando en cuenta el nivel de fertilidad de nuestros suelos. Contiene en fórmula balanceada: Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Magnesio, Azufre y Boro. Fórmula elaborada con materia prima importada, ajustada a las necesidades específicas del cultivo del cacao tomando en cuenta el nivel de fertilidad de nuestros suelos. Contiene en fórmula balanceada: Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Magnesio, Azufre y Boro. (Fertisa, 2020a: pp.1-2)

- **PLUS:** Fertilizante elaborado con materia prima importada de la mejor calidad, con base al requerimiento de nutrientes del cultivo de cacao, asegurando un excelente desarrollo y producción de mazorcas. Contiene 7 elementos que son el Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Magnesio, Azufre, Boro y Zinc, de forma balanceada, con las relaciones adecuadas que garantizan una correcta nutrición al cultivo. (Fertisa, 2020b: pp.2-3)

- **Fernitrok - NITRATO DE POTASIO (13.5-0-45):** Fertilizante 100% soluble y de rápida asimilación, debido a su contenido de Nitrógeno (13.5%) en forma nítrica (NO₃), el cual no necesita ser transformado por los microorganismos del suelo. Fernitrok aporta con una alta concentración de potasio (45% K₂O), nutriente que es indispensable para aumentar los rendimientos y mejorar la calidad del Cacao. (Fertisa, 2020c: pp.3-4)

- **K Mag:** Es un fertilizante versátil, suministra 3 Nutrientes Esenciales para la planta, Potasio (K₂O) 22%, Magnesio (MgO) 18% y Azufre (S) 22%, solubles en agua y altamente disponibles para las plantas. (Fertisa, 2020d: pp.4-5)

2.4. Instrumentos de medición

Se sabe que la medición es definida por medio de una comparación tanto de una magnitud como de la unidad de medida. Los instrumentos de medición se han utilizado desde la antigüedad hasta nuestros días, ya sea para la construcción, nivelación, alineación o medición de diferentes objetos. Los instrumentos de medición pueden ser de diferentes tipos, dependiendo de los parámetros que se necesite evaluar. (Capote, 2011, p.19)

2.4.1. Sensor NPK



Ilustración 6-2: Sensor NPK

Fuente: (EIC GROUP, 2021)

El sensor NPK es adecuado para detectar el contenido de nitrógeno, fósforo y potasio y la fertilidad en el suelo, facilitando así la evaluación sistemática del estado de este. Puede ser enterrado en el suelo durante mucho tiempo, resistente a la electrólisis a largo plazo, a la corrosión, a las macetas al vacío, completamente impermeable.

El sensor se utiliza ampliamente en la detección de nitrógeno, fósforo y potasio en el suelo, la agricultura de precisión, la silvicultura, la investigación del suelo, la exploración geológica, el cultivo de plantas y otros campos. (JXCT, 2020d: pp.4-5)

Según (Gavade y Bhoi, 2017: pp.638-641) ,“El principio de los sensores ópticos NPK se basa en la interacción entre la luz incidente y las propiedades de la superficie del suelo, de modo que las características reflejadas varían según las propiedades físicas y químicas del suelo.”

2.5. Smart grid

Una Smart grid o red inteligente se conoce como la modernización de un sistema de energía eléctrica que se caracteriza por un flujo bidireccional de información o datos. Esta red supone una mejora de la red convencional mediante integración de tecnologías de la comunicación, la tecnología de la información y el sector eléctrico. (Reka y Dragicevic, 2018: p.96)

La preocupación de una red inteligente es conectar dispositivos a gran velocidad y monitorizarlos de forma continua, además se tiene más probabilidad de identificar fallos de forma más inteligente.

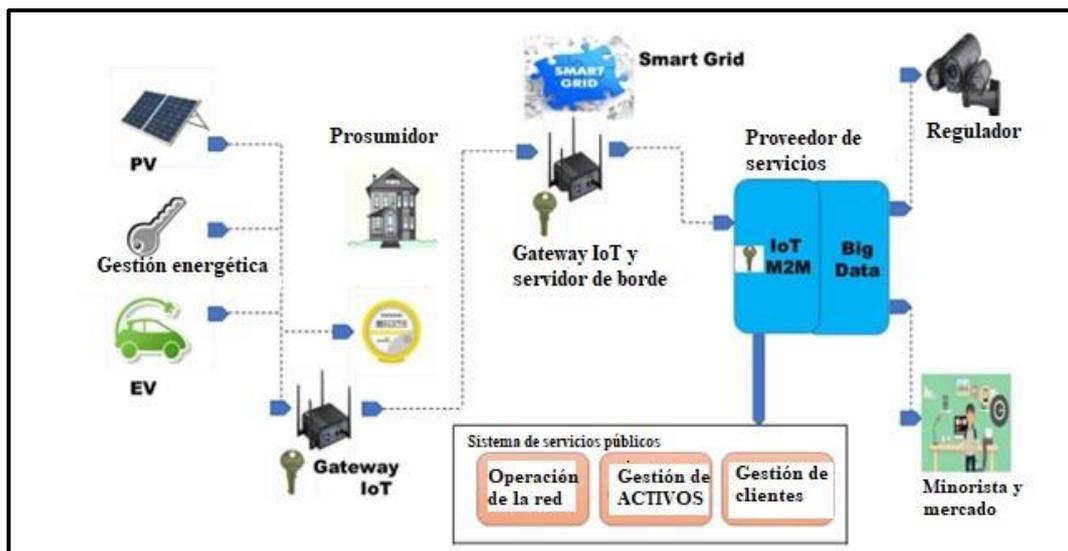


Ilustración 7-2: Ejemplo de una arquitectura general de la Smart grid habilitada para IoT.

Fuente: (Reka y Dragicevic, 2018)

2.6. Sistema de adquisición de datos

Según (Cardona-Zapata et al., 2021a: p.76), se entiende por un Sistema de Adquisición de Datos (SAD) como un proceso en el cual se muestrea señales que han medido magnitudes físicas de fenómenos externos, y las han convertido en señales eléctricas que son acopladas al sistema digital a través de un microprocesador y con un software que debe almacenar, procesar y muestrear estas señales a través de una pantalla. Estos han sido ampliamente utilizados en el área de las ciencias ya que favorecen la recolección y el procesamiento de datos al instante.

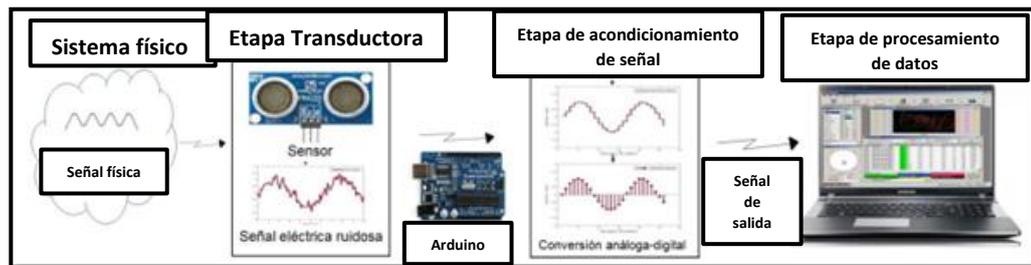


Ilustración 8-2: Ejemplo de las diferentes etapas de un sistema de adquisición de datos.

Fuente: Cardona y López, 2017.

Las etapas que se observan en la Ilustración 8-2, se especifican a continuación:

a. Etapa transductora

Después de lo analizado en (Cardona-Zapata et al., 2021b: p.76), se entiende que el transductor o sensor, es sensible a un fenómeno físico, por lo que transforma esta variable a una señal eléctrica para que luego pueda ingresar a la etapa de acondicionamiento de señal.

b. Etapa de acondicionamiento de señal

Según (Cardona-Zapata et al., 2021c: p.76), en esta etapa a la señal se le realiza una amplificación, aislamiento, filtrado, linealización, o atenuación, para que luego sea llevada al conversor análogo-digital que puede ser de aproximación sucesiva, voltaje a frecuencia o Sigma-Delta, donde la señal podrá ser acoplada al sistema digital.

c. Etapa de procesamiento de datos

Según lo leído en (Cardona-Zapata et al., 2021d: p.76), los sistemas digitales pueden ser un microcontroladores como los presentes en las placas de Arduino, mismas que pueden realizar un procesamiento de señal o tan solo enviarla al ordenador donde se realizará la etapa de procesamiento numérico que corresponda a cada experimento.

2.6.1. LoRaWAN

Según (Hernández y López, 2020c: pp.31-40), LoRaWAN es un protocolo de red que usa la tecnología LoRa para comunicar y administrar dispositivos LoRa. Es decir, es la capa de acceso al medio.

a. Clases de LoRaWAN

En esta red LoRaWAN, los dispositivos se dividen en diferentes clases de acuerdo con las funcionalidades que soportan:

- **Clase A:** Ofrecen mayor ahorro de energía, pues solo entran en modo escucha (ventana RX).
- **Clase B:** Eliminan la restricción de recepción de datos con la necesidad de envío de un paquete.

- **Clase C:** Ofrecen el menor ahorro de energía ya que siempre están en modo escucha y esta solo se interrumpe cuando se produce una transmisión, pero estos también presentan la mejor latencia.

b. Arquitectura de red

En base a lo analizado en (Hernández y López, 2020d: pp.26-27), LoRa utiliza una red en forma de estrella de un solo salto. Además, estas redes no necesitan elementos de enrutamiento. Y están formadas por los siguientes elementos:

- **Dispositivos finales:** Estos son dispositivos que se utilizan para la conexión de los objetos de la red LoRa. Estos recogen la información específica del objeto y la transmiten a la pasarela.
- **Gateway o pasarela:** Estas son las estaciones base LoRa, mismas que transmiten de forma bidireccional las transmisiones realizadas por varios dispositivos finales y los servidores de red.
- **Servidores de red:** Se encargan de la recepción y procesamiento de la información que proviene de los dispositivos finales.
- **Servidor de aplicaciones:** Estos recopilan y analizan los datos recibidos de los nodos finales y determina las acciones del nodo final.

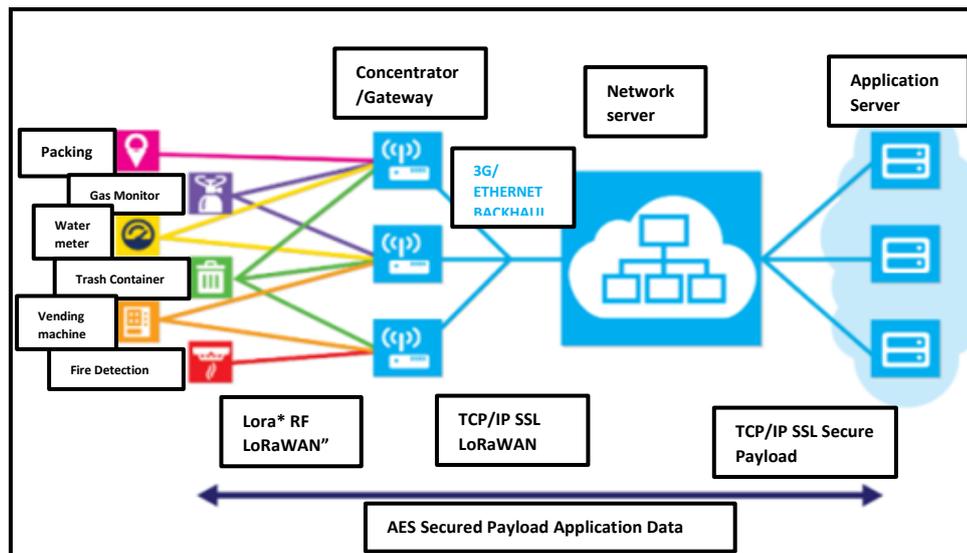


Ilustración 9 -2: Arquitectura de red LoRa.

Fuente: (Hernández & López, 2020)

2.7. Sistema de Procesamiento de Datos

Según (Garzón y Rincón, 2017c: pp.19-20), los sistemas de procesamiento de datos son los encargados de tomar uno o varios datos digitales en sus entradas, ya sea de forma paralela o de forma serial, para así llevarlos a un determinado proceso aritmético, para su visualización o para que sean almacenados en una memoria digital. En la actualidad los dispositivos como microcontroladores

o placas de desarrollo tienen módulos para la adquisición de datos como conversores analógico-digitales o puertos de comunicación como Wifi, USB, etc. Estas placas de desarrollo consisten en múltiples sistemas integrados o incrustados dentro de un único circuito general, mismo que está prediseñado para cumplir con características personalizadas como:

- La resolución y la cantidad de canales de un ADC.
- La velocidad y la capacidad del microprocesador.
- Cantidad de memoria ROM y RAM.

Estas placas cuentan con su propio entorno de programación usando lenguajes de alto nivel como C o Java.

Las tecnologías más sobresalientes en cuanto a estas placas de desarrollo son las siguientes:

- Arduino
- RaspBerry Pi
- Texas Instruments
- PSOCs de Cypress
- Arndale de Samsung

2.7.1. *Machine Learning*

De acuerdo con lo analizado en (Yao y Liu, 2014a: p.477), el Machine learning, es un subcampo de la inteligencia artificial el cual se relaciona con el progreso de los modelos computacionales de aprendizaje. Este tipo de aprendizaje se basa en el trabajo de varias disciplinas como: ciencias cognitivas, complejidad computacional, informática, estadística, teoría del control, filosofía y biología. Desde el punto de vista biológico, el machine learning es un estudio de cómo crear ordenadores que aprendan de la experiencia y modifiquen su actividad en función de ese aprendizaje, a diferencia de los ordenadores tradicionales que necesitan que el programador explícitamente su actividad.

Un machine learning tiene dos componentes clave: un elemento de aprendizaje y un elemento de rendimiento, como se observa en la Ilustración 10-2. En resumen, el entorno proporciona cierta información al elemento de aprendizaje, luego este usa la información para que pueda tomar mejores decisiones, y el elemento de rendimiento selecciona acciones para realizar su tarea. (Yao y Liu, 2014b: p.478)

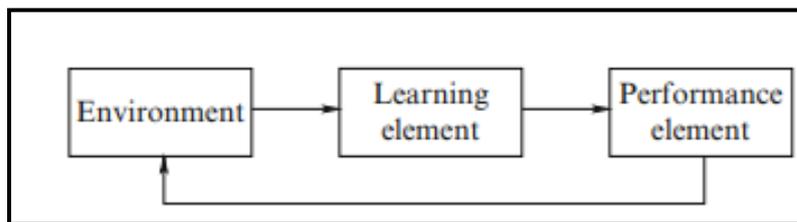


Ilustración 10-2: Modelo de una Machine learning

Fuente: (Yao y Liu, 2014)

Según los algoritmos, existen diversos tipos de machine learning como la programación lógica inductiva, el árbol de decisiones, el aprendizaje bayesiano, las redes neuronales artificiales y el aprendizaje por refuerzo.

2.8. Sistema de Almacenamiento de Datos y visualización de datos en la nube

Según (Garzón y Rincón, 2017d: p.21), se define como un sistema de almacenamiento de datos a un conjunto de componentes que se usan para leer o grabar información como soporte para el almacenaje de datos, que puede ser de manera temporal o permanente.

Este almacenamiento puede ser primario, es decir maneja almacenamiento masivo, y el almacenamiento secundario se refiere a un proceso secuencial en donde se guarda la información hasta que el usuario lo requiera.



Ilustración 11-2: Dispositivos de almacenamiento de datos

Fuente: Almacenamiento,2011

Un sistema de visualización de datos facilita al usuario la comprensión de los datos que se visualizan. Además, este proceso implica una secuencia donde la información que es obtenida y

analizada desde otro punto debe identificar los datos que sean útiles para el usuario y descartar aquellos que no lo sean, tomado de (Garzón y Rincón, 2017e: pp.21-22) .

2.9. Sistema de alimentación

Según (Garzón y Rincón, 2017f: p.22), la alimentación debe ser diseñada de acuerdo al sistema que requiera la energía y las condiciones en que se encuentre. En este caso, teniendo en cuenta la ubicación de la smartgrid, su emplazamiento y demás características, por ello es necesario hacer uso de una alimentación que sea continua y autónoma. Entonces lo ideal es usar paneles solares, por lo que se deberá contar con el análisis para la carga de baterías, en donde se toma en cuenta los puntos del día en los que la energía solar no sea suficiente para brindar energía a la smartgrid



Ilustración 12-2: Paneles solares como fuente de alimentación para la smartgrid.

Fuente: Contexto ganadero,2019.

2.10. Herramientas de desarrollo computacional

Para los datos recolectados por la smartgrid será necesario el uso de cálculos, análisis y ciertas configuraciones, haciendo uso de softwares especializados que serán esenciales para el desarrollo de este trabajo.

2.10.1. Software Matlab

Según lo analizado en (Fernández, 2009, p.4), Matlab es un programa donde se realiza cálculos numéricos con vectores y matrices, entonces se puede trabajar también con números escalares reales y complejos, con cadenas de caracteres y con otras estructuras de información que sean más complejas. Además, uno de los puntos fuertes de Matlab es que permite construir nuestras propias

herramientas reutilizables. Matlab será utilizado para comprobar el entrenamiento de la red por medio de machine Learning.

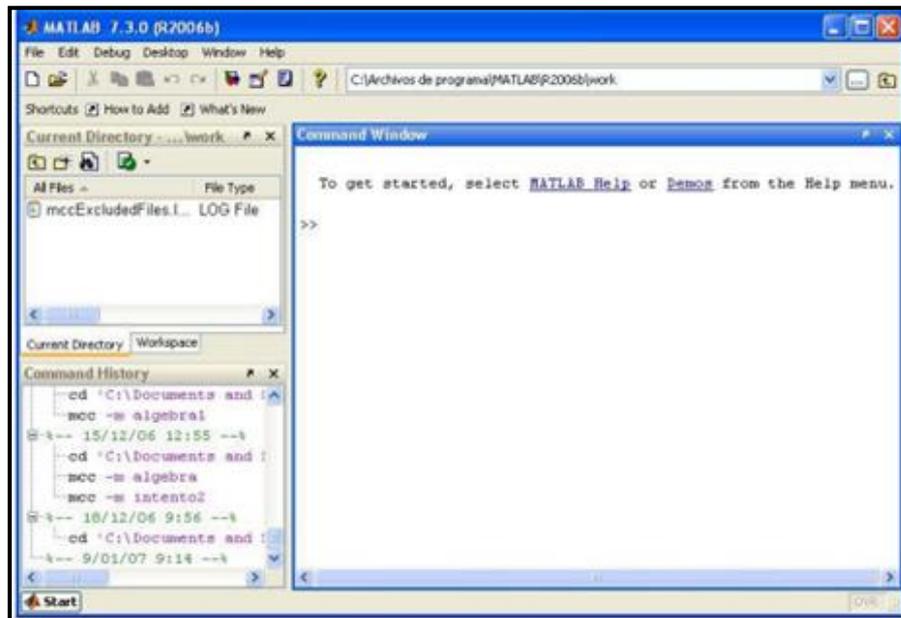


Ilustración 13-2: Software de Matlab.

Fuente: Manual básico de Matlab, 2009

2.10.2. *Fuzzy Logic*

Con el software de Matlab se hace uso de una herramienta que trabaja con lógica difusa con el comando Fuzzy Logic Toolbox, en el cual se puede ingresar los datos recolectados como funciones de membresía, para obtener las salidas donde se especifique las decisiones que deberá tomar. Según las referencias tomadas de (Elias, Yahya y Sing, 2018: p.624), hay cinco herramientas GI principales para construir, editar y observar sistemas de inferencia difusa en la caja de herramientas de lógica difusa.

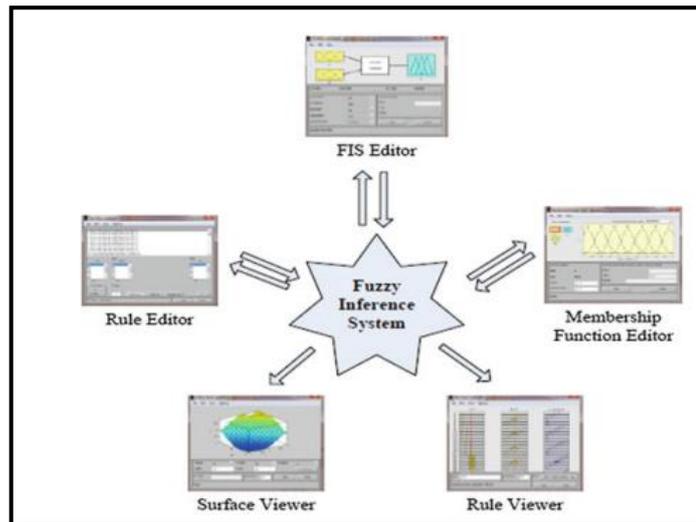


Ilustración 14-2: MATLAB fuzzy Logic Designer.

Fuente: Elias, Yahya, & Sing, 2018.

Estas herramientas son el sistema de inferencia difusa o editor FIS, el editor de funciones de membresía y el editor de reglas, el visor de reglas y el visor de superficie, como se muestra en la Ilustración 14-2. Estas herramientas serán utilizadas para la creación de reglas y la verificación de toma de decisiones de acuerdo con el porcentaje de nitrógeno, fosforo y potasio recolectado por los sensores NPK.

2.10.3. *Node-RED*

Node-red es una herramienta de programación basada en flujos, la cual fue desarrollada por el equipo de servicios de tecnología Emergente de IBM y ahora es parte de la Fundación OpenJS. Esta programación basada en flujos fue inventada por Paul Morrison en 1970, y es una forma de describir el comportamiento de una aplicación como una red de cajas negras o nodos, y pues cada nodo tiene un propósito bien definido, en los cuales se les da una función a los datos para luego pasarlos. Además, Node-RED tiene un tiempo de ejecución basado en Node.js en donde se usa un navegador web para acceder al editor de flujo. (OpenJS, 2022a)



Ilustración 15-2: Software de Node-RED.

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

El presente trabajo busca implementar un sistema de nodos LoRaWAN, para los procesos de recolección de datos, procesamiento y análisis de estos datos con su respectiva interpretación, también el almacenamiento y visualización de la información recolectada con los sensores. Los resultados obtenidos se reflejarán en un servidor web, así como en una plataforma IoT llamada Ubidots haciendo uso del internet. El funcionamiento de esta red LoRaWAN, seguirá la misma secuencia de sistematización de la figura, el sistema de smartgrid a implementar permitirá controlar y generar datos y consejos, acerca de los nutrientes presentes en el suelo y como mejorarlos.



Ilustración 1-3: Diagrama de flujo del proceso.

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

3.1. Investigación

El presente trabajo es de investigación explicativa, pues trata de la aplicación de conocimientos y tecnologías para la resolución de un problema en específico en sector de la agricultura, proporcionando un sentido de entendimiento al fenómeno a que se hace referencia, pues ayuda a comprender ampliamente. (Sampieri, Collado y Lucio, 2006: p.108)

De los resultados de una investigación técnica, se generarán ideas para mejorar la producción de cacao en una parcela, por lo cual se pondrá en práctica los dispositivos adecuados según los requerimientos de implementación de una smartgrid con LoRaWAN.

3.1.1. Tipo de metodología

En el trabajo de titulación se emplearán dos métodos, el cuantitativo que toma en cuenta los datos cuantificables o numéricos que pueden ser jerarquizados, medidos o categorizados a través de análisis estadístico de manera que ayuda a descubrir patrones y relaciones, así como a realizar generalizaciones. El otro método por emplear es el experimental, que trata de una orientación a partir de lo ya descrito y explicado, se centra en predecir que va a pasar en el futuro, si en esa situación de la realidad, se hace un determinado cambio.

3.1.2. Niveles de investigación

- Explicativa
- Validación de instrumentos.

3.1.3. Alcance de la investigación

El alcance de la investigación se formula en base al uso de las smartgrid mediante la tecnología LoRaWAN, pues el alto costo y desconocimiento de los materiales utilizados, la mayoría de agricultores no incorporan dicho sistema, pero se debe tomar en cuenta que la implementación tiene la ventaja de aumentar la producción de cualquier producto mediante el control del suelo, reduciendo costos y ahorrando tiempo del productor al poder acceder a la visualización del estado del mismo mediante internet en cualquier parte del mundo.

Se pretende alcanzar exploratoriamente con este proyecto los conocimientos acerca de las ventajas del uso de una smartgrid con LoRaWAN para el control de los nutrientes del suelo en la producción de cacao, que resulte beneficioso para los diferentes agricultores de esta fruta, que a largo plazo tendrán más ganancias con un menor coste de producción.

3.1.4. Limitaciones

Debido a que es un proyecto que se desarrollará en la finca La belleza, provincia de Orellana, se debe tener en cuenta los lineamientos que tenga la finca para el cumplimiento de los objetivos, además de estar apegados a un horario flexible tanto para los ingenieros de la sede orellana como para nuestra disponibilidad para viajar.

Se incluye como limitación que solamente se hará uso de dos nodos LoRa para una gran extensión de terreno donde están las plantas de cacao, por los costos de implementación de cada uno.

3.1.5. *Modalidad de campo*

Se aplicó investigación de campo para el levantamiento de información, análisis de los resultados, las comprobaciones, fundamentación de conocimientos, desarrollo de aplicaciones prácticas, métodos y conocimientos utilizados para dar solución al problema que tiene lugar en el ambiente donde está el hecho bajo estudio., Además se investigará necesidades de implementación de una smartgrid mediante LoRaWAN para el proceso de medición de los nutrientes del suelo. Pues en este tipo de investigación la mayoría del trabajo se realiza sobre el proceso y se usa un estudio documental para complementar los resultados que se obtengan.(Muñoz, 2011, p.126)

3.1.6. *Recolección de información*

La recolección de información se da por medio de herramientas de campo como son los sensores, los mismos que ayudan a obtener los datos requeridos para el análisis necesario, tanto para el procesamiento como para la interpretación de los resultados, estos permitirán mejorar el uso de fertilizantes correctos lo cual tendrá un efecto positivo en el crecimiento de la planta y la obtención de un mejor producto al paso del tiempo.

3.2. *Procesamiento y análisis de datos*

Una vez recolectada la información, el siguiente paso es procesar los datos con el fin de tener un resultado deseado en base a las condiciones planteadas.

3.2.1. *Plan empleado para procesar la información recogida*

Cuando la información ha sido recolectada, se procede a tener una comunicación por radiofrecuencia utilizando módulos LoRa, los cuales nos permiten transferir datos hacia un módulo Gateway sin necesidad de alambrado, este parámetro ayuda a tener conexiones de varios lugares con facilidad, además el Gateway permite la conexión de hasta 100 módulos diferentes, en este caso vamos a utilizar dos módulos LoRa en una parcela de aproximadamente 1 hectárea, está nos ayudará con el traspaso de datos que se miden por medio del sensor en cada nodo hacia el módulo Gateway que se encuentra ubicado en la Finca la Belleza de la sede ESPOCH-Orellana, ya que en esta locación se cuenta con acceso a internet y por ende se puede enviar los datos obtenidos hacia la nube.

3.2.2. *Plan de análisis e interpretación de resultados*

Una vez que se obtienen los datos en el Gateway se procede a transmitir los datos hacia la nube y empieza la fase de interpretación y análisis de los resultados. En base a los datos que se obtiene se puede empezar con la programación de condiciones dependiendo de los niveles óptimos que se necesiten y generar una recomendación en la cual se presenta los fertilizantes que son necesarios utilizar.

3.3. *Problemática y selección de sistema LORA*

La gran parte de la población que posee parcelas con sembríos no cuenta con un sistema de monitoreo que les ayude de manera eficiente a cuidar su suelo y por ende sus plantaciones para la obtención de un mejor producto. Al momento de hacerlo todo manual se pose varios efectos adversos que pueden no ser beneficiosos como puede ser la colocación de fertilizantes innecesarios lo cual no solo representa un gasto económico, sino que tiene efectos en la planta y por ende a sus frutos.

Además, otro efecto es el tiempo utilizado en la observación, recolección y análisis de muestras y se debe analizar no solo en una parte, si no en varias. Utilizando una red inteligente se puede colocar varios nodos los cuales permiten el análisis al mismo tiempo de los diferentes nodos y además puede presentar los datos en tiempo real en la nube por medio de un Dashboard al cual el beneficiario podrá acceder a cualquier momento, y al final del día o de la semana dependiendo de cómo lo desee se emite una recomendación en cada nodo, es decir que además de que se recomienda un fertilizante que sea el adecuado, genera zonas en las que se necesita colocar, dependiendo de los nodos ubicados. Esto ayuda a la reducción de costos y a la producción del producto de manera eficiente y óptima del productor.

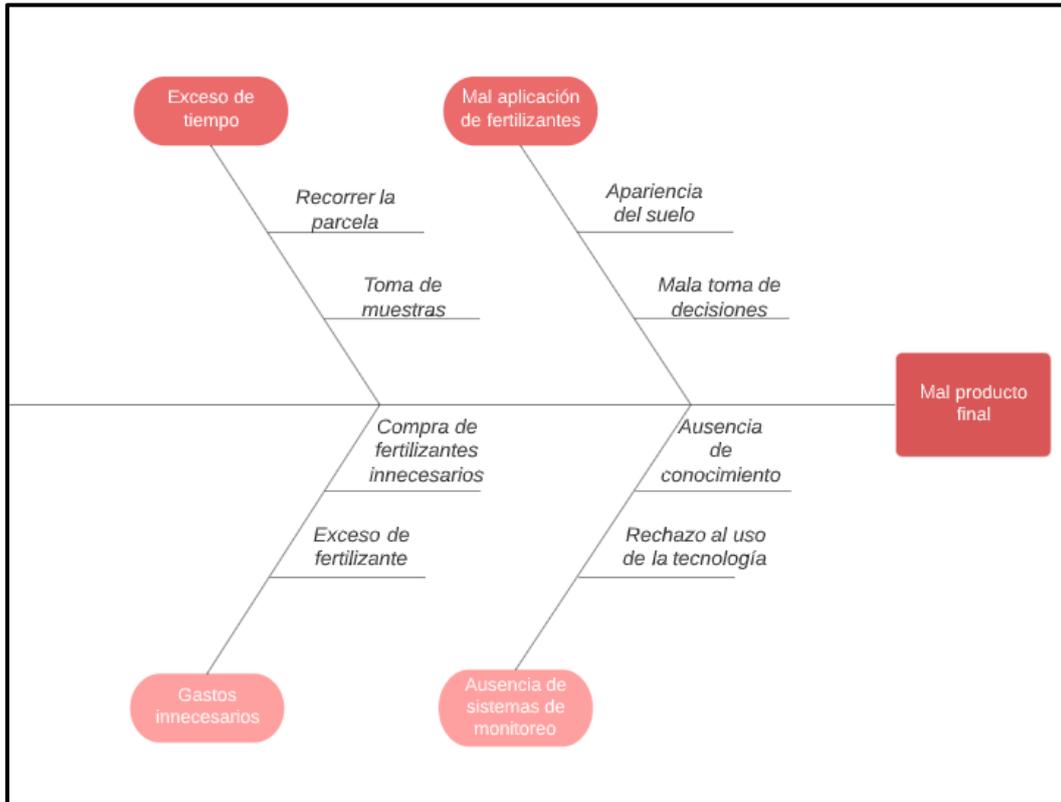


Ilustración 2-3: Problemática de la utilización de sistemas de monitoreo

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022

3.3.1. Diagnóstico para el diseño de un sistema LORA WAN

Para resolver los problemas que antes se mencionan se presenta un sistema de monitoreo por medio de una red inteligente en la cual se pueden diferenciar tres niveles importantes:

- **Nivel de proceso:** Este nivel está compuesto por todos los elementos e instrumentación como sensores, módulos entre otros.
- **Nivel de Control:** Aquí se aplica Machine Learning por medio del Gateway gracias a aplicaciones en la nube que nos permiten la realización de este tipo de programación, a su vez se puede realizar la programación por medio de softwares como Phyton. Esto nos permitirá emitir las condiciones deseadas hacia el sistema.
- **Nivel de supervisión:** Para la supervisión se tiene un Dashboard en la nube que se puede acceder desde cualquier dispositivo, ya sea computador, celular, Tablet, etc.

3.4. Diseño de la red WAN

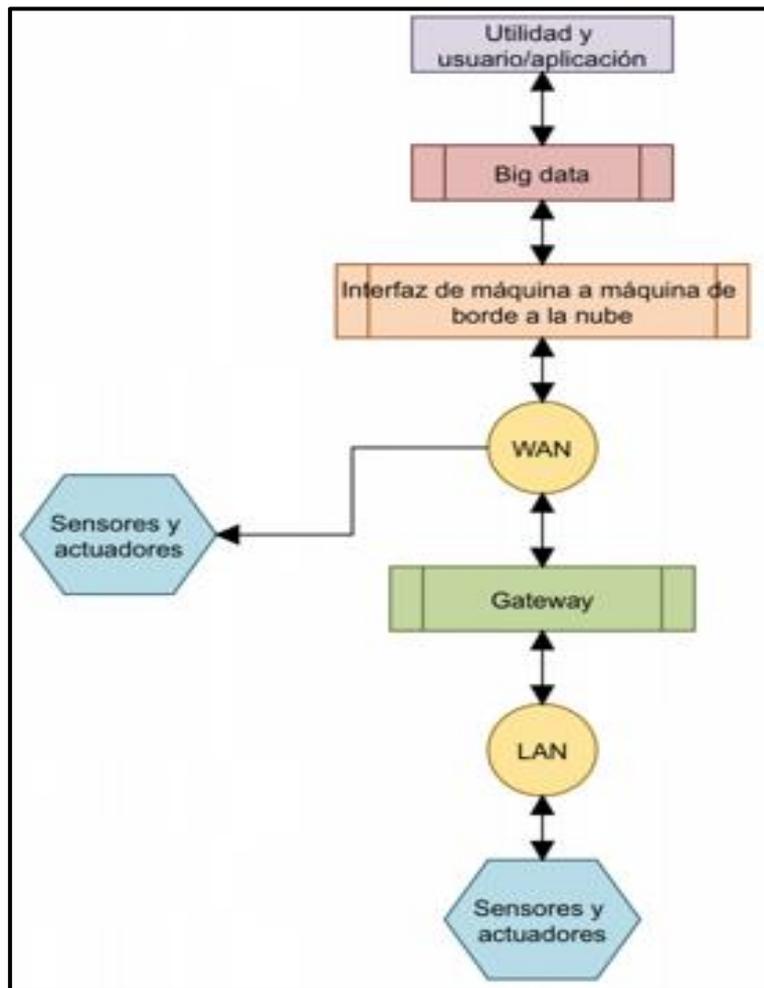


Ilustración 3-3: Componentes de iot construidos con una red inteligente

Fuente: (Reka y Dragicevic, 2018)

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022

3.4.1. Protocolo de comunicación

LoRa es una capa física de la modulación inalámbrica de largo alcance. Esta se basa en la modulación de espectro ensanchado de chirridos, que además de tener las mismas características de bajo consumo que la modulación de frecuencia (FSK), aumenta sustancialmente el alcance de comunicación. (Chang, Huang y Huang, 2019: p.1)

LoRaWAN define el protocolo de comunicación MAC que es el acceso aleatorio basado en Aloha, y la arquitectura del sistema para la red basada en el enlace de comunicación de la capa física de LoRa.

El Gateway puede comunicarse con un nodo de clase A sólo después de que el nodo de clase A haya transmitido algún paquete.

3.5. Planificación de la construcción

Los dispositivos utilizados en este proyecto tienen diferentes ubicaciones en el campo de la parcela de cacao, mismo que se especificaran a continuación.

3.5.1 Reconocimiento de las áreas del cultivo de cacao en cuestión.

En las siguientes ilustraciones, se observa la plantación de cacao y el lugar donde se ubicaron los dispositivos.



Ilustración 4-3: Finca para la ubicación de los dispositivos Lora.

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022



Ilustración 5-3: Plantación de cacao.

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022

3.5.2 Ubicación sensores RS-NPK-N01-TR

Este sensor se ubicará en el suelo de la parcela de cacao de la finca La belleza de la sede ESPOCH Orellana. Para ubicar el sensor en el suelo, se cavo una fosa con un diámetro de 20cm (de acuerdo con lo encontrado en la parte de pruebas), y se insertó la aguja de acero del sensor horizontalmente

en la pared de la fosa a la profundidad determinada, luego se rellenó las fosas firmemente, para luego estabilizarlas durante un tiempo para medir y registrar los datos. (Shandong Renke Control Technology Co., 2021a: p.6)

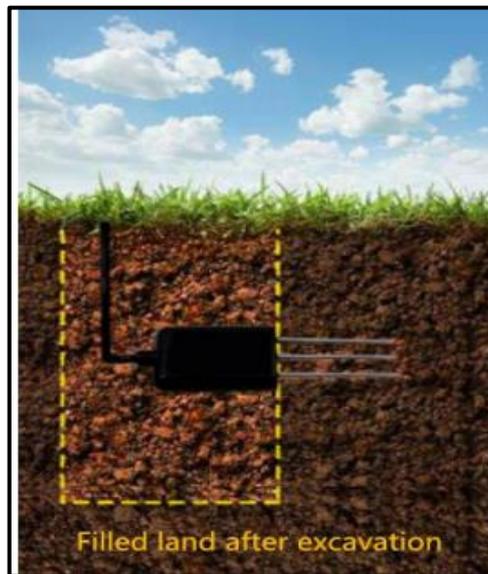


Ilustración 6-3: Ubicación sensor NPK en el suelo

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

Los sensores se ubicaron a una distancia de 1000m el uno del otro. El primer sensor se ubicó en el lado izquierdo de la plantación de cacao de la finca.



Ilustración 7-3: Ubicación del primer sensor NPK en el suelo de la plantación de cacao.

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

El segundo sensor se ubicó hacia el lado derecho de la finca, a una distancia de 1000m del primer sensor.



Ilustración 8-3: Ubicación del segundo sensor NPK en el suelo de la plantación de cacao.

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

Es importante mencionar que la clase de protección del sensor es de IP68 adecuado para el medio ambiente en donde se lo utiliza.

3.5.3 *Ubicación nodos LORA*

Los controladores Lora se ubicaron alado de los sensores, ya que estos son los que proveen de energía a los sensores al igual que recolectan los datos de estos. Los controladores se los ubico en postes como se muestran en las Ilustraciones.

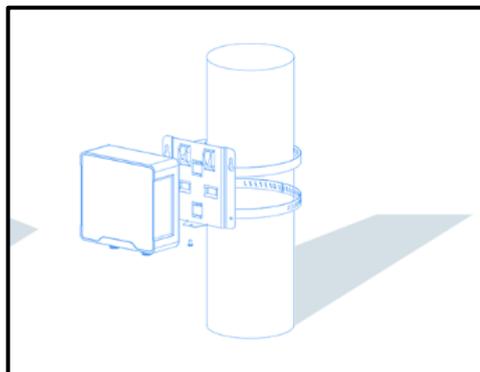


Ilustración 9-3: Montaje en poste del primer nodo Lora con el controlador.

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

Para el primer controlador Lora se cavó una fosa para la colocación de un poste al que se aseguró el controlador, como se observa en la Ilustración 10-3.



Ilustración 10-3: Montaje en poste del primer nodo Lora con el controlador.

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

En la Ilustración 11-3, se observa la ubicación del segundo controlador lora en su poste.



Ilustración 11-3: Montaje en poste del segundo nodo Lora con el controlador.

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

3.5.4 *Ubicación Gateway*

El Gateway Lora, se ubicó en la casa de la finca la belleza donde se nos ha proporcionado de internet, para que este dispositivo pueda enviar los datos obtenidos hacia la nube de Milesight.



Ilustración 12-3: Gateway Lora en la casa de la finca La Belleza.

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

3.6 **Desarrollo del proyecto**

El desarrollo del proyecto cuenta con diferentes etapas, las mismas que se muestran en la ilustración 13-3, estas son una serie de pasos que se deben analizar ya que cada uno contiene información necesaria para el correcto funcionamiento.

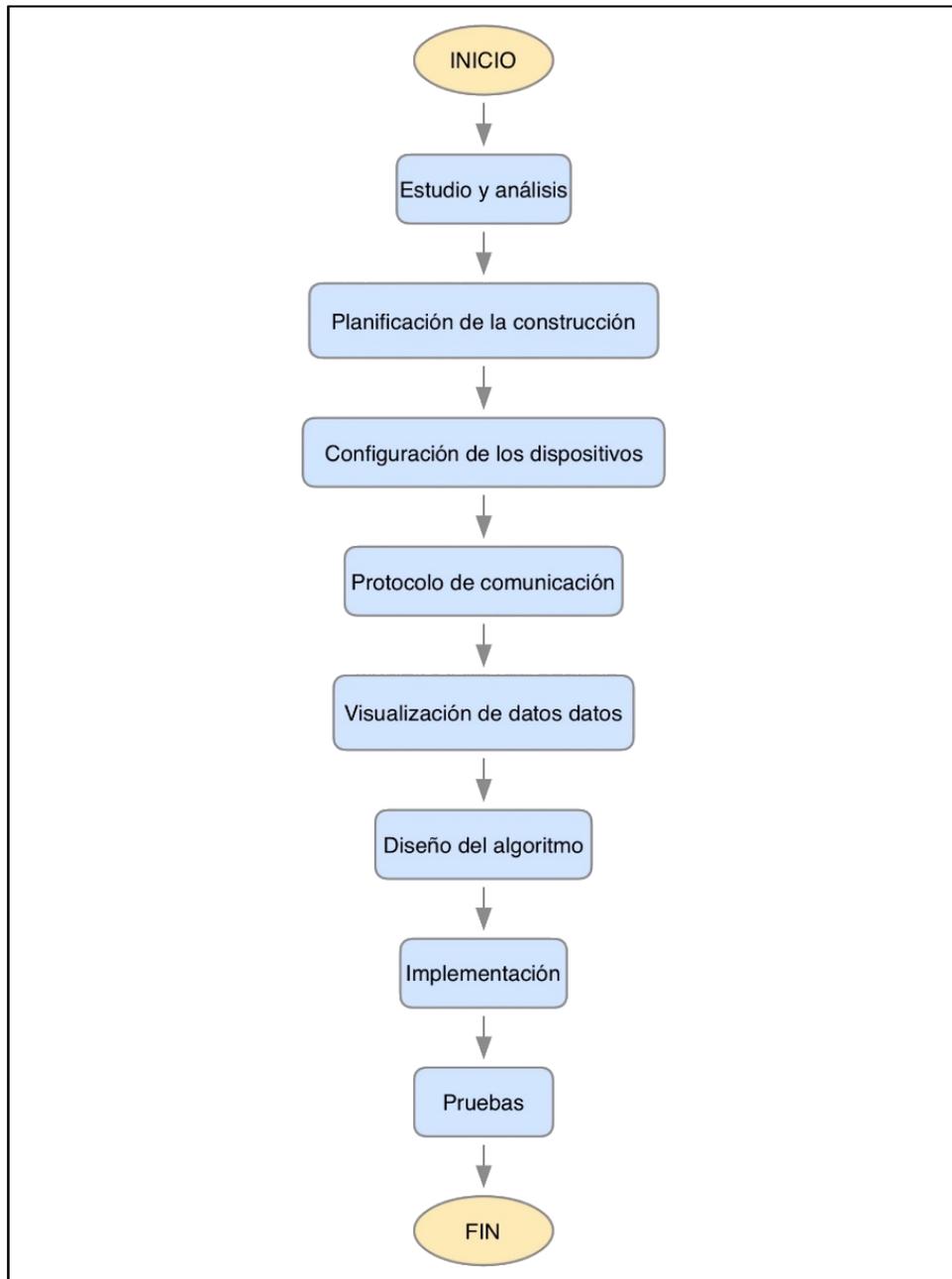


Ilustración 13-3: Diagrama de flujo – Desarrollo del proyecto

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

- El estudio y análisis hace referencia al área de trabajo, que es lo que se va a desarrollar, que datos son los que se van a analizar, cuales van a ser las variables por tomar en cuenta y que requerimientos se necesita para que se cumpla el objetivo principal.
- La planificación de la construcción se basa en encontrar los equipos necesarios que cumplan los requerimientos antes analizados y además analizar el área de trabajo en el cuál, los mismos van a ser situados para que puedan ubicarse de una manera segura y tengan un alargamiento en su vida útil y se pueda proteger su integridad.

- Una vez obtenidos los dispositivos, se procede a la configuración de los diferentes parámetros, ya sea de los controladores, sensores o el Gateway que son los equipos empleados en este proyecto. Dependiendo de cada uno se debe cambiar la dirección IP, los canales, las frecuencias, entre otros parámetros dependiendo de las necesidades.
- El siguiente paso es poner en marcha el protocolo de comunicación, el primer paso es la conexión del sensor al controlador, el mismo que se da por medio de un puerto serial (RS-485), el segundo paso es conectar el controlador al Gateway, en este proyecto se utiliza un protocolo LORA WAN, el mismo que transmite los datos por radiofrecuencia una vez leídos por el sensor. Finalmente se debe conectar el Gateway a la nube el mismo que cuenta con una red LAN conectado directamente al Router.
- Con la ayuda del Gateway conectado al internet y con la posibilidad de tener los datos en la nube se crea un HMI para la visualización de datos en tiempo real. Esto se da con ayuda de la aplicación IoT Cloud la misma que permite agregar los dispositivos que se desean visualizar y a su vez configurar cada uno de los aspectos que se necesiten ser vistos en el HMI.
- Una vez obtenidos los datos se procede al diseño de un algoritmo por medio de machine learning, el mismo que ayudará al desarrollo de las alarmas necesarias dependiendo de los datos que se obtienen y además cada cierto tiempo. Además, las alarmas son programadas por medio de NODE-RED y se presencian tanto en un correo electrónico como en un dashboard específico para alarmas, al cual el cliente tendrá acceso.
- Una vez cumplidos los pasos antes mencionados se procede a realizar la instalación de los equipos en el área destinada y teniendo en cuenta los requerimientos que se mencionaron en los pasos pasados.
- Finalmente se procede a realizar las pruebas necesarias para comprobar el correcto funcionamiento de los equipos, para la elaboración del informe final y cómo ayuda a las personas este sistema empleado en las parcelas de cacao.

3.7 Selección general del Sistema de Monitoreo.

Una vez que se estableció los parámetros mencionados en la sección anterior se procede seleccionar el tipo de Sistema de Monitoreo a utilizar:

- Sistema de medición de los nutrientes presentes en el suelo como Nitrógeno, Fósforo y Potasio.
- Comunicación inalámbrica para la transmisión de datos entre el controlador y el Gateway.
- El monitoreo debe ser en tiempo real.

3.7.1 Ventajas y características del controlador Lora.

El Sistema de Monitoreo debe cumplir con los factores que se detallan a continuación:

- Factor Económico:
 - Se reducen los costos a largo plazo, debido a la reducción de colocación de fertilizantes.
 - Se necesitan pocos sensores debido al alcance de estos lo que disminuye costos.
 - La colocación es sectorizada lo que hace que se reduzca la cantidad de compra y reduce costos.
 - Es inalámbrico lo que reduce costos en cableado.
- Factor de Construcción:
 - Poseen menor dificultad con respecto a otros Sistemas de Monitoreo.
 - Los mecanismos que utiliza son innovadores y sencillos de utilizar.
 - La tecnología de comunicación es sencilla de controlar.
- Factor de rendimiento:
 - Trabaja en tiempo real las 24 horas del día.
 - Posee un panel solar el cual permite que los controladores estén disponibles siempre y sin necesidad de conectarse a la red eléctrica.
 - En el dispositivo Gateway se pueden conectar más de 100 dispositivos a la vez.
 - El Monitoreo es sencillo
 - En caso de que exista alguna falla, la reparación es sencilla.
 - Permite visualizar los datos cada cierto tiempo, estos pueden variar entre 1 minuto y 24 horas dependiendo de las necesidades y configuraciones en el controlador.
 - Es posible configurar diferentes tipos de dispositivos ya sean controladores o sensores de diferentes tipos que puedan ser conectados a la red del dispositivo final.

3.8 Desarrollo del Nodo Lora

Para el desarrollo del Nodo Lora es necesario contar con los diferentes elementos que cumplan las características y requerimientos que se ha mencionado anteriormente, para esto se describe una lista de elementos que ayudará a su correcto funcionamiento.

3.8.1 Requerimientos del diseño mecánico

A continuación, se detallan los elementos que ayudan a realizar las funciones establecidas para el Sistema de Monitoreo:

- Sensores NPK

- Controladores Lora
- Lora Gateway
- Router

Para poder configurar estos dispositivos hay que tener en cuenta las condiciones necesarias para que los dispositivos puedan funcionar correctamente, en este caso como se está trabajando con Tecnología Lora WAN es necesario colocar la frecuencia con la que se va a trabajar, esto depende del lugar en el que se vaya a colocar, en este caso es para Ecuador y la correcta configuración se muestra en la Tabla 1-3.

Tabla 1-3: Requerimientos de los dispositivos

Dispositivo	Requerimiento
Controlador Lora	Frecuencia: AU-915
Lora Gateway	Frecuencia: AU -915
Sensor NPK	Baud rate: 4800 Bit de datos: 8 bits Bit de paridad: no Bit de parada: 1 bit

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

3.9 Análisis del circuito

Los circuitos y la distribución de estos se la emplean en tres elementos principales que son el sensor del suelo NPK, los nodos LORAWAN y el Gateway donde se recogen los datos de los sensores para ser enviados al internet. En la computadora se analiza y realiza la respectiva comparación mediante machine learning para dar un resultado o la debida recomendación al agricultor.

3.10 Materiales y herramientas tecnológicas

La selección de los elementos que se utilizan en este trabajo se basa en las necesidades y características que se necesitan en el proyecto ubicado en la finca La Belleza en la sede Orellana de la ESPOCH, siempre precautelando la situación económica para abaratar costos, pero conservando la calidad y precisión de los equipos.

3.10.1 Sensor RS-NPK-N01-TR

El sensor que se ha utilizado es el sensor RS-NPK-N01-TR, este sensor tiene tiempos de detección ilimitados, una alta precisión de medición, velocidad de respuesta rápida y buena intercambiabilidad, además está completamente sellado, es resistente a la corrosión ácida y alcalina, siendo que puede enterrarse en el suelo para pruebas dinámicas a largo plazo, lo cual lo hace óptimo para ser utilizado en la región amazónica.



Ilustración 14-3: Sensor RS-NPK-N01-TR

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022

3.10.1.1 Conexiones y parámetros técnicos del sensor RS-NPK-N01-TR

La entrada de alimentación de amplio voltaje es de 5-30V, en la Tabla 2-3, se muestra la descripción de la interfaz.

Tabla 2- 3: Instrucciones de cableado

	Color de la línea	Descripción
Potencia	Café	Alimentación positiva (5-30 V DC)
	Negro	Fuente de alimentación negativa
Comunicación	Amarillo o gris	485-A
	Azul	485-B

Fuente: (Shandong Renke Control Technology Co., 2021)

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022

Al cablear la línea de señal RS485 se debe tener en cuenta que las líneas A/B no se conectan en sentido inverso y las direcciones entre varios dispositivos no pueden entrar en conflicto. (Shandong Renke Control Technology Co., 2021b: p.7)

Algunos parámetros de medición importantes para la recolección de datos se muestran en la Tabla 3-3.

Tabla 3-3: Parámetros técnicos del sensor NPK.

Parámetros	Especificaciones técnicas
Rango de medición	1-1999 mg/kg (mg/L)
Precisión de medición	±2% F.s
Resolución	1 mg/kg (mg/l)
Tiempo de respuesta(T90)	<1 S
Temperatura de trabajo	0°C - 55°C
Humedad de trabajo	5-95% humedad relativa sin condensación
Humedad del suelo de la resolución	0,1%
Temperatura del suelo de la resolución	0,1 °C
Clase de protección	IP68
Puerto de comunicación	RS485 (Protocolo Modbus-RTU)
Dimensiones	45*15*123 mm
Alimentación	5-30V DC

Fuente: (Shandong Renke Control Technology Co., 2021)

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022

Los parámetros básicos de comunicación son considerados para la recolección de los datos y son los siguientes mostrados en la Tabla 4-3:

Tabla 4-3: Parámetros básicos de comunicación.

Parámetros	Contenido
Codificación	Binario de 8-bit
Bit de datos	8-bit
Bit de paridad	no
Bit de parada	1-bit
Comprobación de errores	CRC (código cíclico redundante)
Tasa de Baudios	Se puede ajustar 2400/4800/9600 bps, el valor por defecto es 4800bps.

Fuente: (Shandong Renke Control Technology Co., 2021)

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022

En la Tabla 5-3, se observa algunas de las direcciones de registro para la lectura de la trama de datos, según el protocolo de comunicación Modbus-RTU.

Tabla 5-3: Dirección de registro.

Dirección de registro	PLC o dirección de configuración	Contenido	Operación	Definición
001E H	40031	Nitrógeno	Solo lectura	Contenido de nitrógeno en tiempo real.
001F H	40032	Fósforo	Solo lectura	Contenido de fósforo en tiempo real.
0020 H	40033	Potasio	Solo lectura	Contenido de potasio en tiempo real.

Fuente: (Shandong Renke Control Technology Co., 2021)

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022

3.10.1.2 Modbus Poll

El software que se ha utilizado para verificar el funcionamiento del sensor NPK es “Modbus Poll” el cual utiliza una interfaz de usuario de múltiples ventanas, es decir puede mostrar diferentes áreas de datos o datos de diferentes IDs de esclavos al mismo tiempo. Además, esta conexión utiliza Modbus TCP/IP, por ello para la conexión en serie se ha utilizado un USB a RS485.(Witte Software, 2014, p.7)

Para usar este software, se ha hecho la conexión que se muestra en la Ilustración 15-3, donde se observa que al convertidor USB se conectan el cable amarillo RS485 A y el cable azul RS485 B, luego el cable café y negro a la fuente de 12V, tal como se especifica en la Tabla 2-3.



Ilustración 15-3: Conexión sensor NPK a convertidor RS485 a USB

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022

En este software se han configurado los parámetros para la configuración de conexión de acuerdo con la Tabla 4-3, tal como se muestra en la Ilustración 16-3.

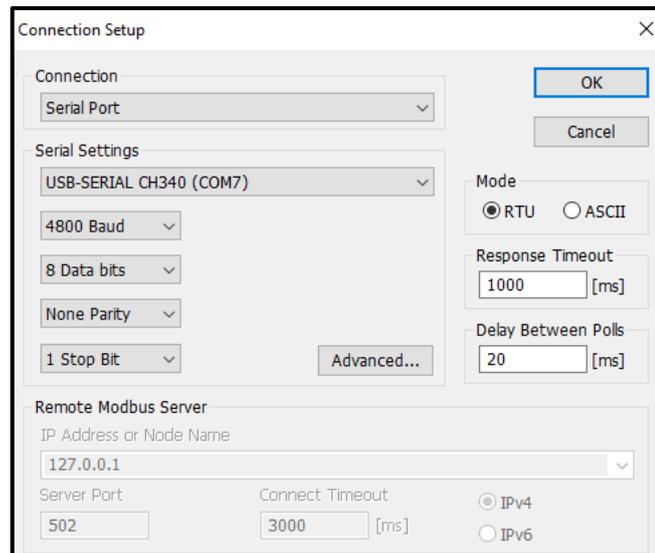


Ilustración 16-3: Configuración de la conexión en el software Modbus Poll.

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

En la Ilustración 17-3, se muestra la configuración de la definición de lectura/escritura de acuerdo con los parámetros mostrados en la Tabla 5-3. Se definen los datos que serán mostrados en la ventana, se debe tener en cuenta que Modbus Poll utiliza direcciones Modbus que siempre cuentan desde 0.

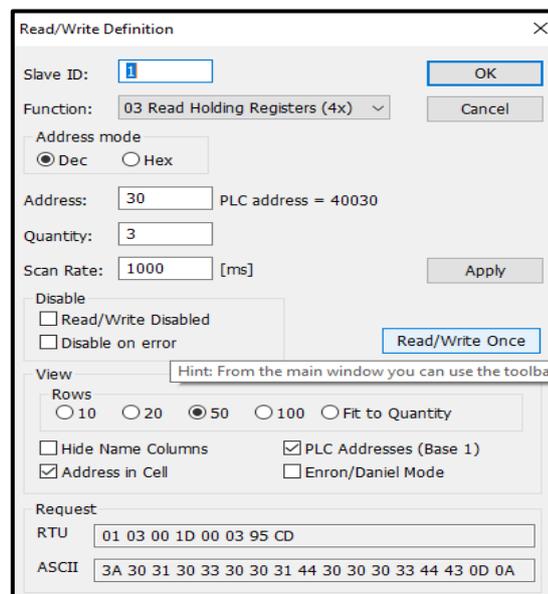


Ilustración 17-3: Definición de Lectura/Escritura en el software Modbus Poll.

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

3.10.2 Lora Controller UC501-915M

El modelo del controlador que se ha utilizado es el UC501-915M mostrado en la Ilustración 18-3, con este se puede adquirir datos de múltiples sensores. Además, contiene diferentes interfaces de E/S para entradas analógicas, entradas digitales, salidas digitales, puertos serie, entre otros. Esta serie UC50x puede configurarse mediante NFC o un puerto USB con cable. Y para aplicaciones de exterior, este módulo proporciona alimentación solar con una batería integrada, y está equipada con una carcasa de protección IP67 con conectores M12, de esta manera el módulo puede protegerse del agua y el polvo en un entorno difícil como el de la región de la Amazonia. (Milesight, 2021a: p.4)



Ilustración 18-3: Controlador Lora UC501-915M.

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

Este controlador tiene un alcance de transmisión de hasta 15km con línea de visión, además es compatible con pasarelas y servidores de red LoRaWAN estándar. En la Ilustración 19-3, se observa una visión general del Hardware de controlador Lora.



Ilustración 19-3: Visión general del Hardware.

Fuente: (Milesight, 2021)

3.10.2.1 Características y especificaciones del Controlador Lora

En la Tabla 6-3, se detallan algunas de las especificaciones del controlador Lora.

Tabla 6-3: Especificaciones del controlador LoRaWAN Serie sUC50x

Transmisión inalámbrica	
Tecnología	LoRaWAN
Frecuencia	CN470/IN865/EU868/RU864/US915/AU915/KR920/AS923-1&2&3&4
Fuente Tx	16dBm (868 MHz)/20dBm (915 MHz)/19dBm (470 MHz)
Sensibilidad	-137dBm @ 300bps
Modo de trabajo	UC501: OTAA/ABP Clase A, Clase C
Características físicas	
Fuente de alimentación	UC 501: 1. 2x2550 mAh batería recargable 2. Alimentación solar (5V, 1.6W) 5-24 VDC
Conector de alimentación	1 x M12 Interfaz macho con código A
Temperatura de operación	-20°C a + 60°C
Protección de entrada	IP67
Dimensiones	116 x 116 x 45.5 mm (4.56 x 4.56 x 1.79 in)
Instalación	Montaje en pared o en poste

Fuente: (Milesight Iot, 2021)(Milesight, 2021)

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022

El controlador cuenta con dos interfaces de datos, la interfaz 1 y la interfaz, que se detallan a continuación.

Tabla 7-3: Interfaz de Datos 1.

Pin	Descripción
1	5V/9V/12V salida (conmutable)
2	3.3V salida
3	GND
4	Entrada analógica 1
5	Entrada analógica 2
6 ¹²	5-12V DC IN

Fuente: (Milesight, 2021)

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022

Tabla 8-3: Interfaz de Datos 2.

Pin	Descripción	
1	5V/9V/12V salida (conmutable)	
2	3.3V salida	
3	GND	
4	GPI01	
5	GPI02	
6	RS232/RS485 (Conmutable)	
7		
8	Reservado	
Pin	RS232	RS485
6	TXD	A
7	RXD	B

Fuente: (Milesight, 2021)

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022

Para el sensor NPK se usa la interfaz de datos 2, de la Tabla 8-3, pues esta cuenta con comunicación RS485. Además, el controlador cuenta con interfaces internas como se muestra en la Ilustración 20-3.

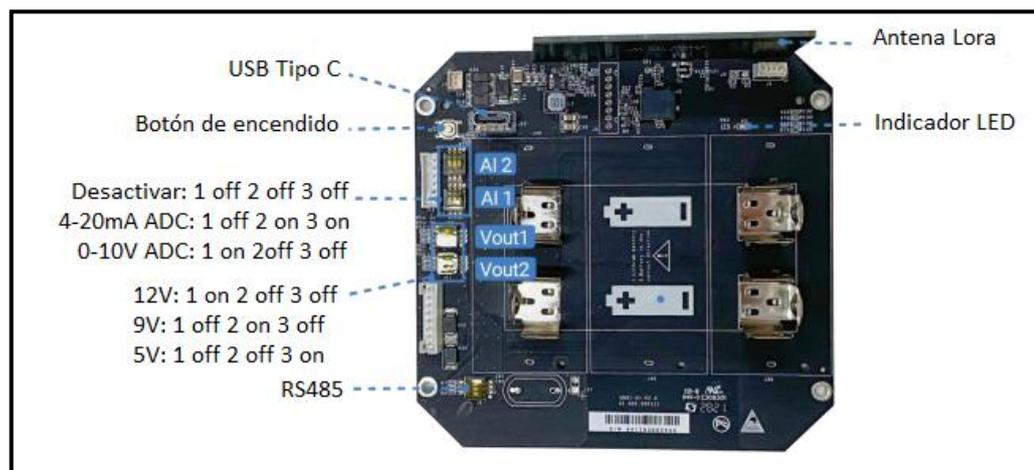


Ilustración 20-3: Interfaces Internas de Controlador Lora.

Fuente: (Milesight, 2021)

3.10.2.2 Configuraciones en el Toolbox de Lora Controller

La configuración del controlador Lora se puede hacer por NFC y por USB. Para la configuración por USB del sensor en el controlador LoRa. Se ha conectado el sensor NPK a uno de los conectores M12 que pertenecen a la interfaz 2 del controlador LoRa, de acuerdo con las especificaciones dadas en la Tabla 2-3 y en la Tabla 8-3. Luego el dispositivo LoRa se ha conectado al computador con un USB tipo C, en donde se hace uso del ToolBox proporcionado por Milesight IoT.

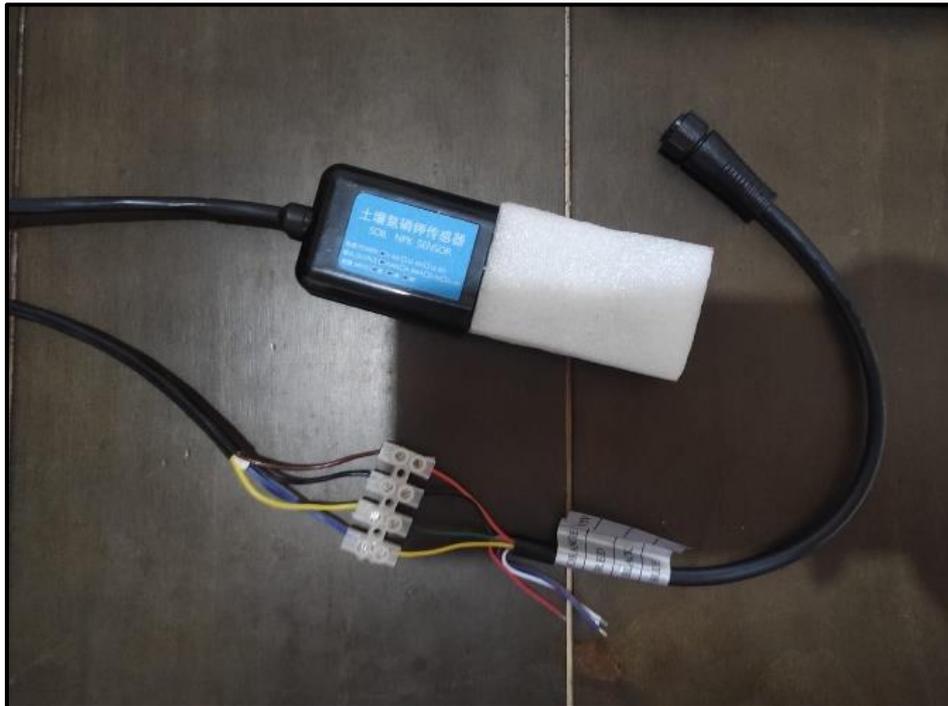


Ilustración 21-3: Conexión sensor NPK a conector M12.

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

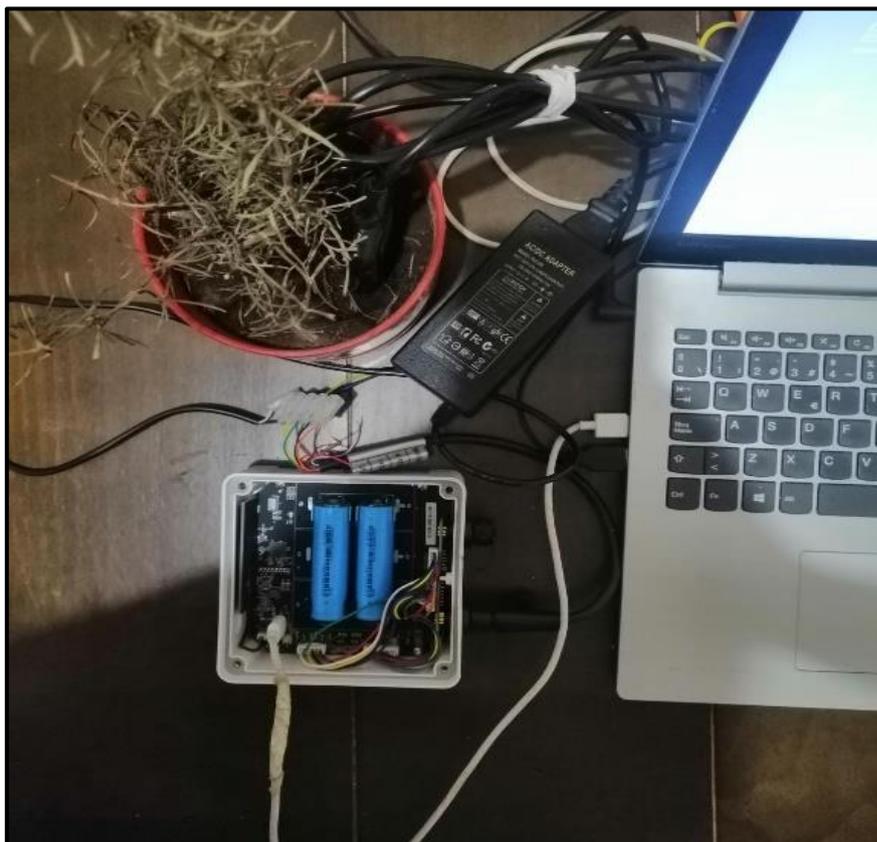


Ilustración 22-3: Conexión USB del LoRa al PC.

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

En el Toolbox de la Ilustración 23-3, se observa el estado del controlador LoRa. En este software se han realizado algunas configuraciones para la lectura del sensor NPK. Primero en “Ajustes de LoRaWAN” se han configurado los parámetros de transmisión en la red LoRaWAN, como se observa en la Ilustración 24-3.

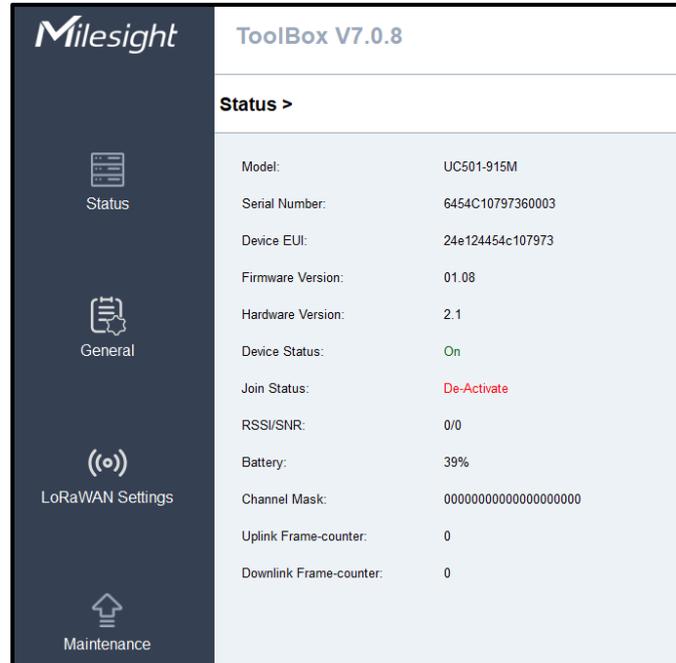


Ilustración 23-3: Parámetros del estado del controlador LoRa.

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

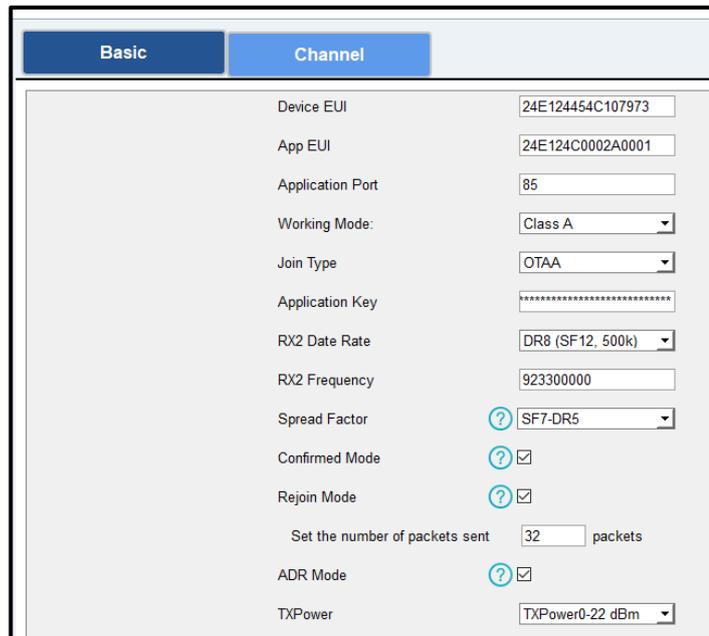
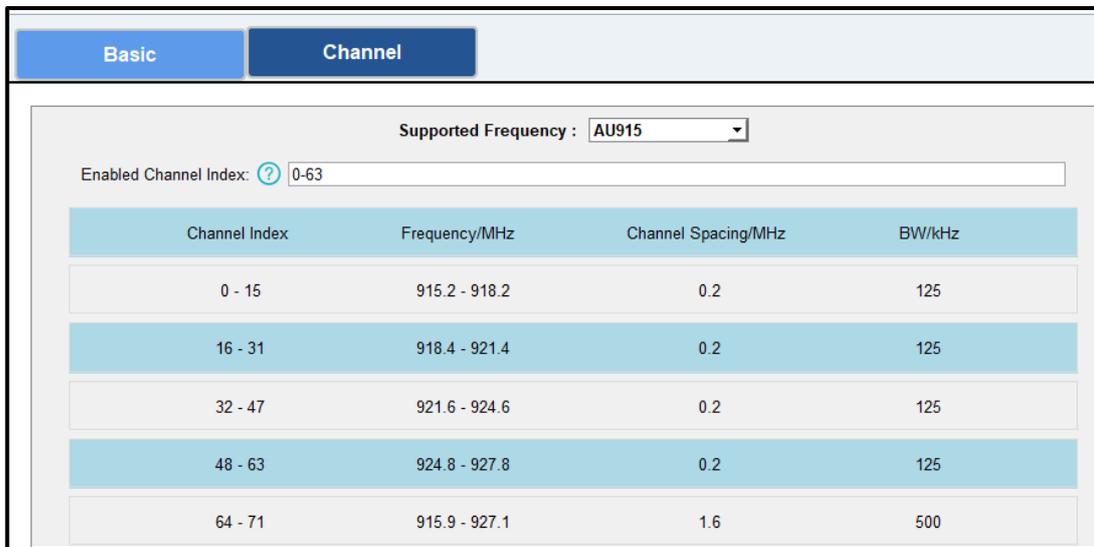


Ilustración 24-3: Ajuste LoRaWAN en el Toolbox.

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

Luego se ha configurado la frecuencia de LoRaWAN, en este se selecciona la frecuencia soportada y los canales para enviar enlaces ascendentes, como se observa en la Ilustración 25-3.



Supported Frequency : AU915

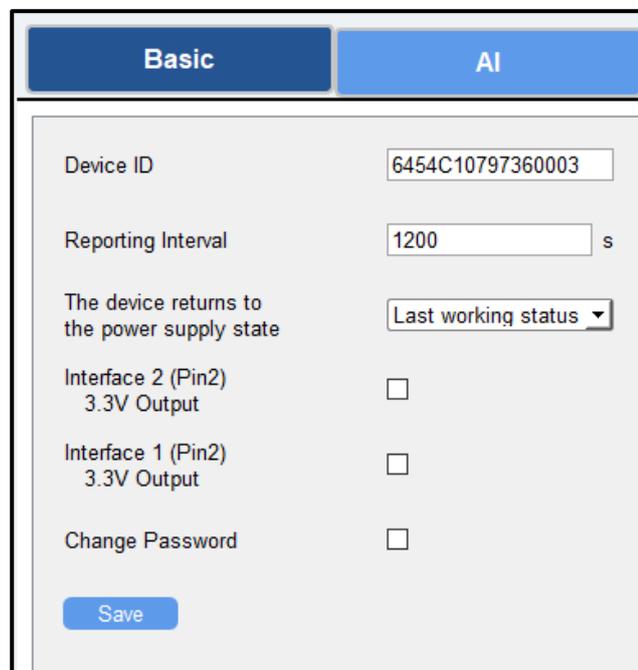
Enabled Channel Index: ? 0-63

Channel Index	Frequency/MHz	Channel Spacing/MHz	BW/kHz
0 - 15	915.2 - 918.2	0.2	125
16 - 31	918.4 - 921.4	0.2	125
32 - 47	921.6 - 924.6	0.2	125
48 - 63	924.8 - 927.8	0.2	125
64 - 71	915.9 - 927.1	1.6	500

Ilustración 25-3: Configuración de la frecuencia de LoRaWAN.

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

Para la configuración de la interfaz, en el icono de “General” se ha configurado diferentes parámetros que se observan en las siguientes ilustraciones.



Basic AI

Device ID: 6454C10797360003

Reporting Interval: 1200 s

The device returns to the power supply state: Last working status

Interface 2 (Pin2) 3.3V Output:

Interface 1 (Pin2) 3.3V Output:

Change Password:

Save

Ilustración 26-3: Configuración Básica para cambiar el intervalo de notificación.

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

General >

Basic AI **Serial**

Enable

Interface Type

Interface 2 (Pin1) 5/9/12V Output

Power Output Time Before Collect s

Baud Rate

Data Bit

Stop Bit

Parity

Execution Interval ms

Max Resp Time ms

Max Retry Times

Modbus RS485 bridge LoRaWAN

Ilustración 27-3: Configuración serial para habilitar el RS485 y ajustes del puerto serie.

Realizado por: Cazco K, Cazoria V, 2022.

General >

Basic AI **Serial** GPIO

Stop Bit

Parity

Execution Interval ms

Max Resp Time ms

Max Retry Times

Modbus RS485 bridge LoRaWAN

Channel Settings

Channel ID	Name	Slave ID	Address	Quantity	Type	Sign	Value	Fetch	
8	Nitrog	1	30	1	Holding Register(INT16)	<input checked="" type="checkbox"/>	21	Fetch	✖
9	Fosforo	1	31	1	Holding Register(INT16)	<input checked="" type="checkbox"/>	29	Fetch	✖
10	Potasio	1	32	1	Holding Register(INT16)	<input checked="" type="checkbox"/>	73	Fetch	✔ +

Save Up to 16 channels

Ilustración 28-3: Configuración de los canales a leer en el controlador LoRa.

Realizado por: Cazco K, Cazoria V, 2022.

3.10.3 Gateway Lora UG65

El Gateway UG65 es una pasarela robusta LoRaWAN de 8 canales para interiores, que admite la conexión con más de 2000 nodos, ya que adopta un chip Lora SX1302 y una CPU de cuatro núcleos de alto rendimiento. El UG65 tiene una línea de visión de hasta 15km para entornos rurales y de hasta 2km para entornos urbanizados, lo cual resulta ideal para oficinas y edificios inteligente con muchas aplicaciones de interior. (Milesight, 2022b: p.7)

Las capacidades de este UG65 es que enlaza dispositivos remotos en un entorno en que las tecnologías de comunicación están cambiando constantemente. Además, tiene un procesador industrial de cuatro núcleos ARM Cortex-A53 de 64 bits, el cual funciona hasta 1,5 Ghz con un bajo consumo de energía, y 8GB de eMMC disponibles para soportar más aplicaciones. Soporta una amplia temperatura de funcionamiento que va desde los -40°C a los 70°C.



Ilustración 29-3: Lora Gateway

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

3.10.3.1 Características y especificaciones del UG65

En la Tabla 9-3, se muestran algunas de las características y especificaciones del Gateway UG65

Tabla 9-3: Especificaciones es del Gateway UG65

Sistema de Hardware	
CPU	Cuatro núcleos a 1,5 GHz, ARM Cortex-A53 de 64 bits
Memoria	8 GB eMMC Flash, 512 MB DDR4 RAM
LoRaWAN	
Antena	Antena interna y totalmente integrada (Opcional: 1 × 50 Ω conector externo N-hembra)
Canal	8
Banda de frecuencias	CN470/IN865/EU868/RU864/US915/AU915/KR920/AS923-1&2&3& 4

Sensibilidad	-140dBm Sensibilidad @292bps
Potencia de salida	27dBm Max
Protocolo	V1.0 Clase A/Clase B/Clase C y V1.0.2 Clase A/Clase B/Clase C
Ethernet	
Puertos	1 × RJ-45 (compatible con PoE PD)
Capa física	10/100/1000 Base-T (IEEE 802.3)
Velocidad de datos	10/100/1000 Mbps (detección automática)
Interfaz	MDI/MDIX automático
Modo	Dúplex completo o semidúplex (detección automática)
Software	
Protocolos de red	PPPoE, SNMP v1/v2c/v3, TCP, UDP, DHCP, DDNS, HTTP, HTTPS, DNS, SNTP, Telnet, SSH, MQTT, etc.
Tunel VPN	DMVPN/IPsec/OpenVPN/PPTP/L2TP/GRE
Corta fuegos	ACL/DMZ/Port Mapping/MAC Bindin
Gestión	Web, CLI, SMS, marcación bajo demanda, DeviceHub, Milesight IoT Cloud, Yeastar Workplace Platform.
Aplicaciones	Python SDK, Node-RED.
Alimentación y consumo	
Alimentación	1. Conector DC Jack para alimentación de 9-24 VDC. 2. 1 × entrada PoE 802.3 af.
Consumo	Típico 2,9W, máximo 4,2W.
Medio ambiente	
Temperatura de funcionamiento	De -40°C a +70°C (de -40°F a +158°F) Rendimiento celular reducido por encima de 60°
Temperatura de almacenamiento	-40°C to +85°C (-40°F to +185°F)
Aislamiento Ethernet	1.5 kV RMS
Humedad relativa	0% a 95% (sin condensación) a 25°C/77°F

Fuente: (Milesight, 2022)

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022

3.10.3.2 Configuraciones y conexiones del Gateway

Para el acceso a la configuración del Lora Gateway, se conectó un cable ethernet del UG65 a la PC, donde se ingresa al navegador web y se coloca la IP predeterminada la cual se presenta en la hoja de datos del dispositivo IP:192.168.23.150, como se muestra en la Ilustración 30-3.

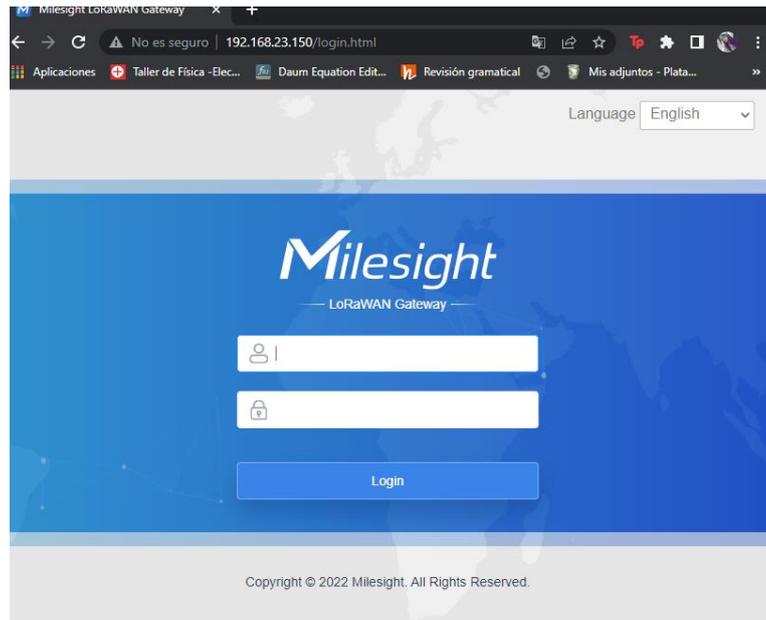


Ilustración 30-3: Gui de la web de Milesight para Gateway LoRaWAN.

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

Luego que se ha ingresado, se puede observar la información del sistema y realizar la respectiva configuración de la pasarela o Gateway.

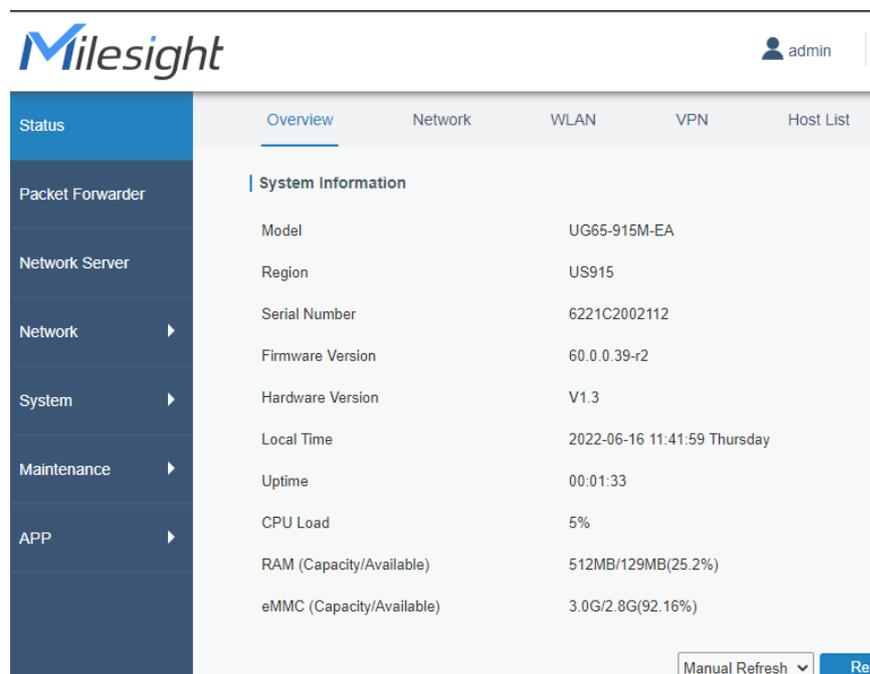


Ilustración 31-3: Resumen del estado del Gateway LoRaWAN.

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

La primera configuración que se necesita realizar es el cambio de dirección IP y el tipo de conexión que se va a tener como se visualiza en la Ilustración 32-3. En este caso se tiene una conexión estática debido que se lo va a conectar directo al Router.

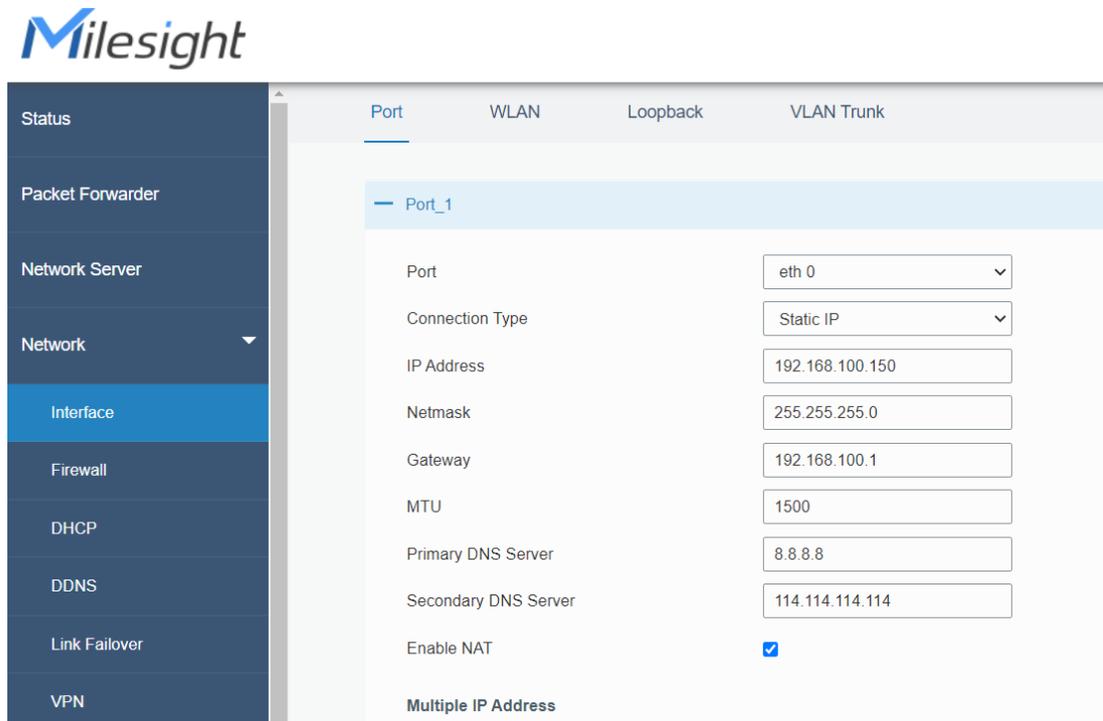


Ilustración 32-3: Configuración IP y tipo de conexión.

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

Se guarda los cambios y lo siguiente es confirmar si se ha realizado la configuración del IP de una manera correcta como se observa en la ilustración 33-3.



Ilustración 33-3: Estado y prueba de la dirección IP

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

La siguiente configuración son los radios para que se puedan conectar con los dispositivos que estén a su alrededor y que posean la misma frecuencia.

En la ilustración 34-4, se puede observar la configuración de la antena y del canal de los radios.

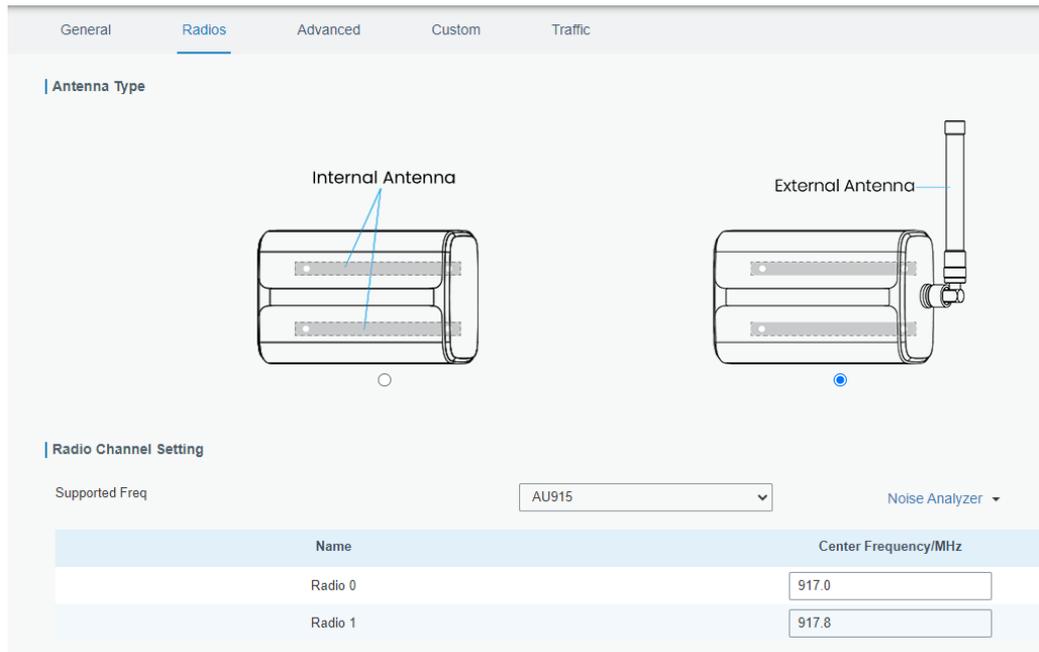


Ilustración 34-3: Configuración de los radios y antena.

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

Se configura el ancho de banda, la frecuencia, el radio y la velocidad de los datos tanto del canal de Lora como el canal FSK, habilitando las dos a su vez como se ve en la Ilustración 35-3.

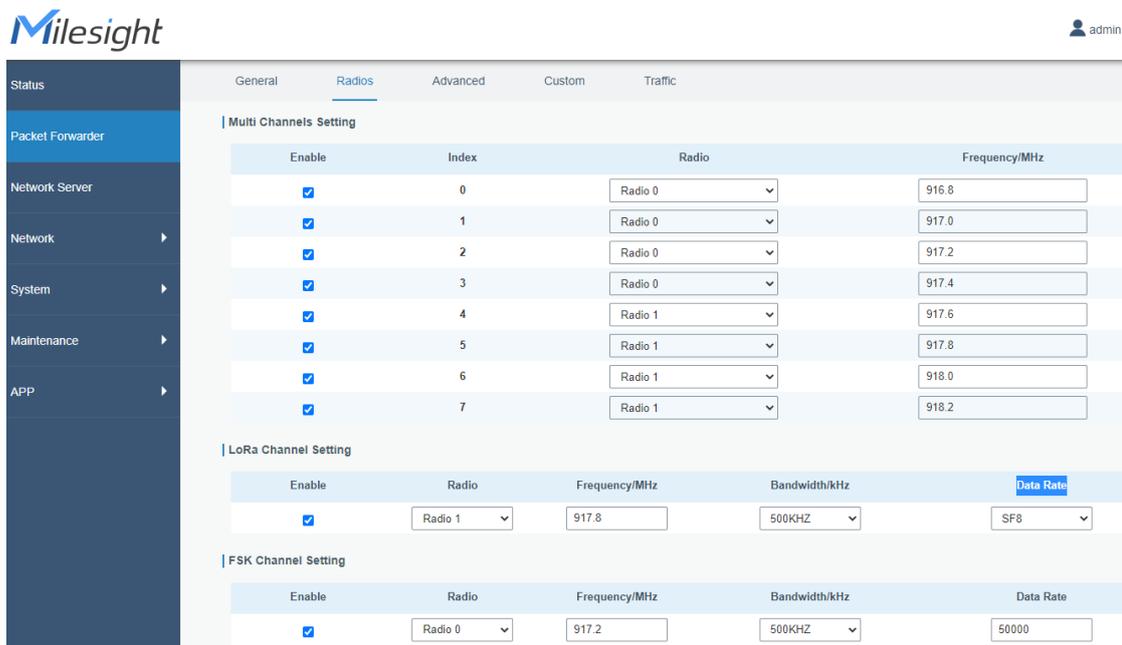


Ilustración 35-3: Configuración de los canales.

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

En la Ilustración 36-3, se observa la frecuencia para el radio 0 y para el radio 1, con una frecuencia de 915 MHz.

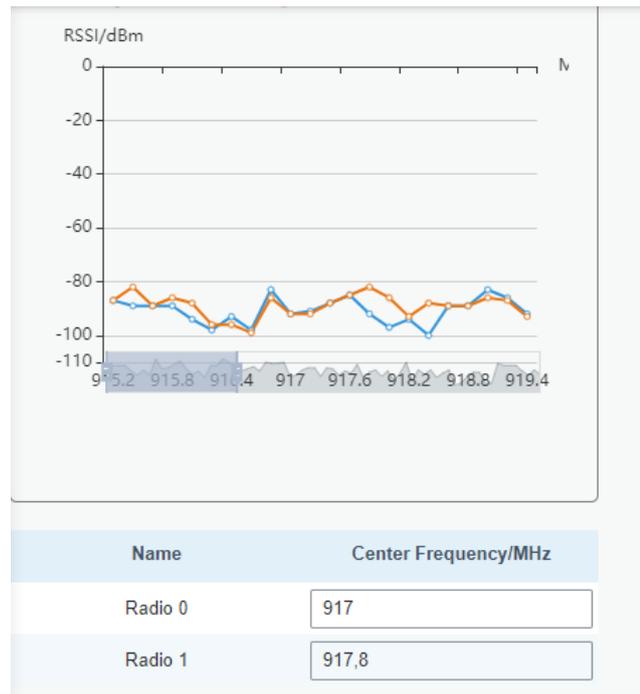


Ilustración 36-3: Gráfica de las frecuencias de los radios en el Gateway LoRaWAN.

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

Seguidamente se debe configurar los datos del sistema dependiendo de las necesidades, en este caso en la Ilustración 37-3, se habilita los servicios http y https y se configura los certificados necesarios.

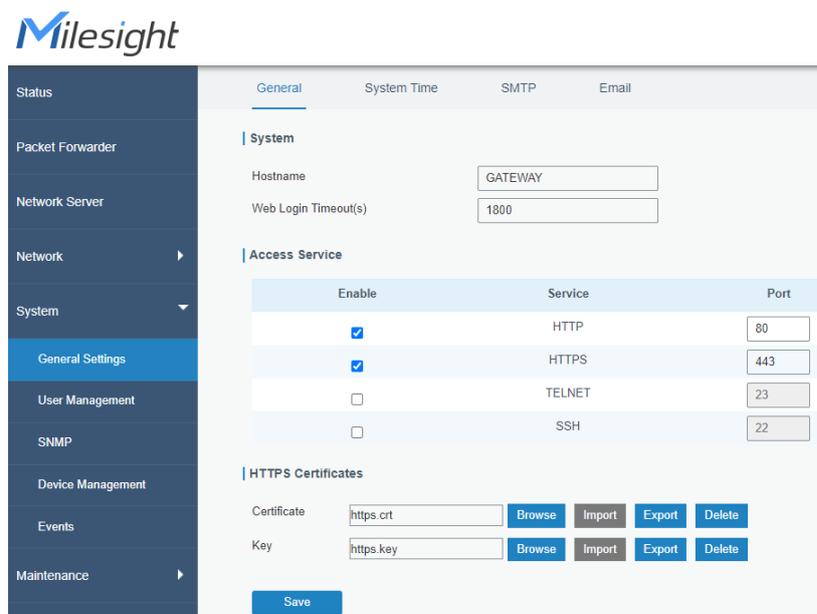


Ilustración 37-3: Configuración general del sistema.

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

Seguidamente se configura el sistema de tiempo, este puede tener diferentes opciones ya sea sincronizando con el equipo, por un servidor o de manera manual. En este caso se configura de la manera que se muestra en la Ilustración 38-3, debido a que es la misma zona horaria y en las opciones no existe en la lista el Ecuador.

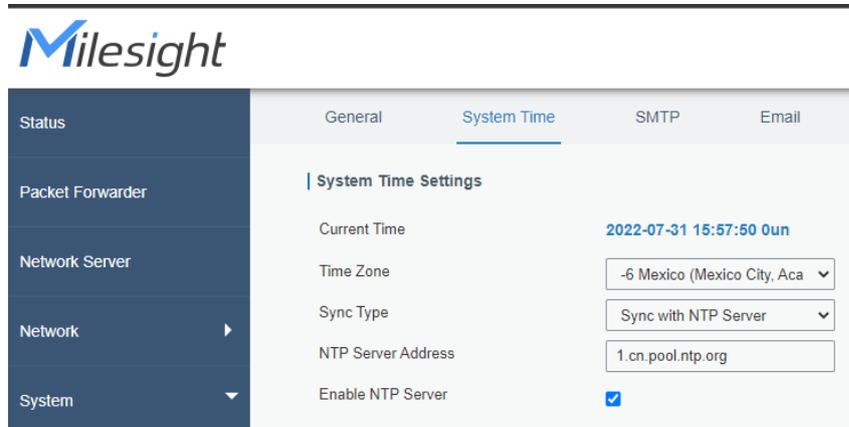


Ilustración 38-3: Configuración de la hora del sistema.

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

Seguidamente se hace la configuración del servidor de manera general habilitando el Milesight Iot Cloud, además la configuración del plan de canales global como se muestra en la Ilustración 39-3.

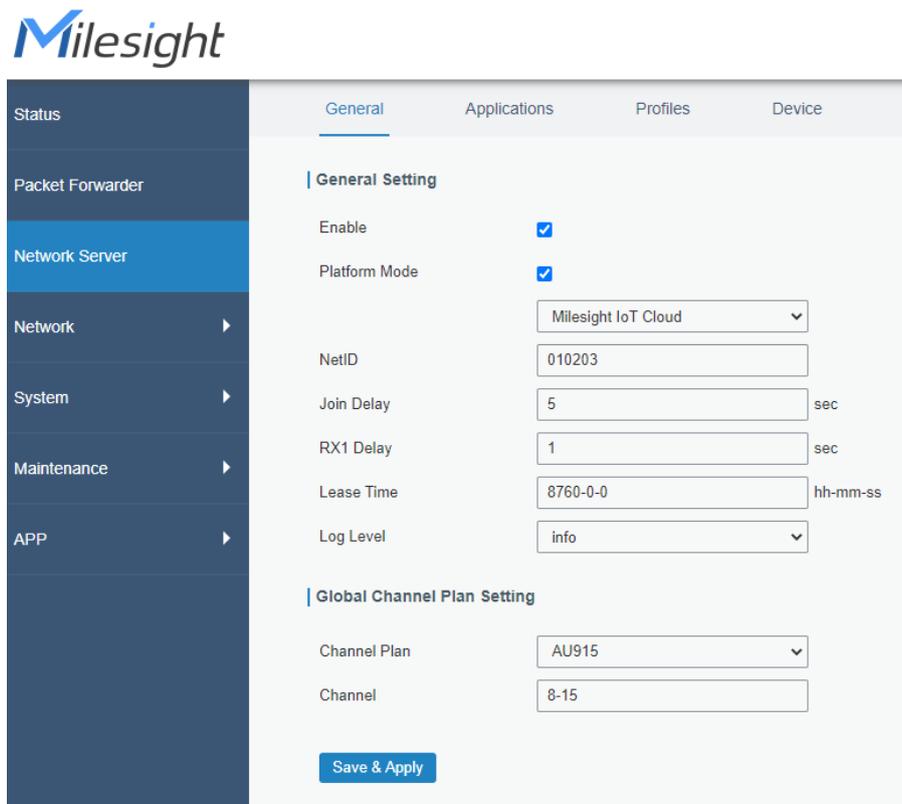


Ilustración 39-3: Configuración general del servidor.

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

Una vez que se añade esta configuración se puede acceder a Iot Cloud y en esta aplicación configurar los dispositivos que se requieren conectar al Gateway. Cuando se conectan los dispositivos correctamente se puede visualizar los dispositivos en la configuración del Gateway como se observa en la Ilustración 40-3.

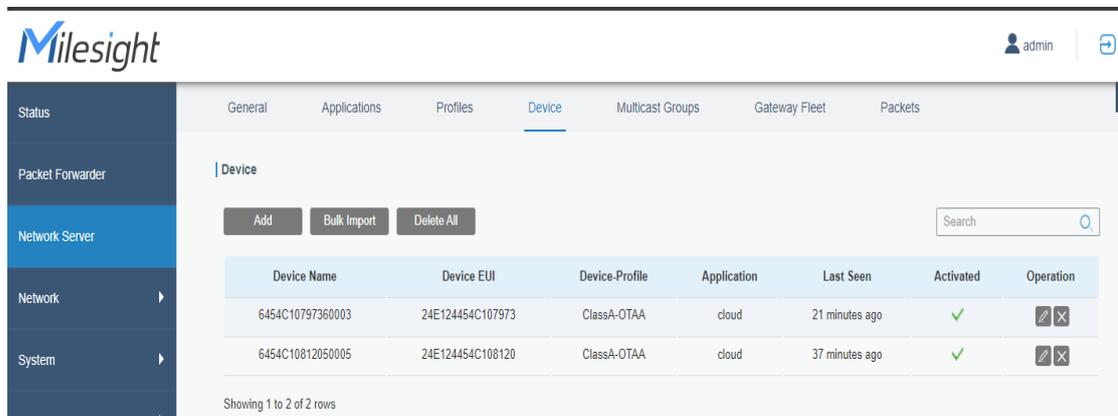


Ilustración 40-3: Dispositivos conectados

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

Se puede visualizar los perfiles que han sido añadidos correspondientemente a los dispositivos que se han conectado por medio del IoT Cloud, se observa en la Ilustración 41-3.

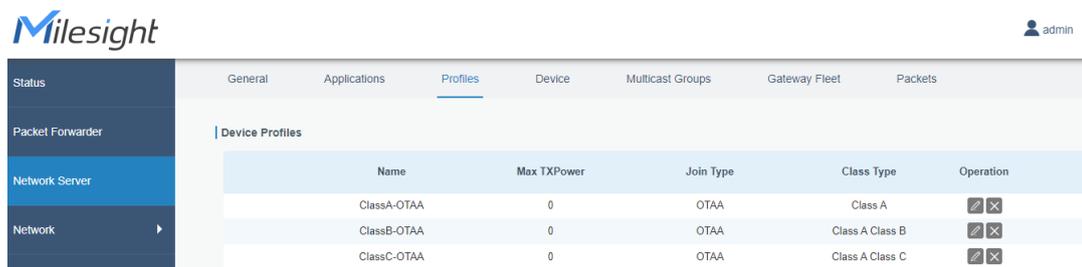


Ilustración 41-3: Perfiles de los datos

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

En el Gateway se puede también visualizar los paquetes que se transmiten a través de él, la fecha, la hora y el EUI del dispositivo que se puede observar en la Ilustración 42-3.

The screenshot shows the 'Network Server' section of the Milesight interface. It features a 'Clear' button and a search bar. Below is a table with 11 columns: Device EU/Group, Gateway ID, Frequency, Datarate, RSSI/SNR, Size, Fcnt, Type, Time, and Details. The table contains 10 rows of data, each representing a network event with various parameters like frequency, data rate, and signal strength.

Device EU/Group	Gateway ID	Frequency	Datarate	RSSI/SNR	Size	Fcnt	Type	Time	Details
24E124454C107973	24E124FFFEF540F6	925100000	SF8BW500	-	0	286	DnUnc	2022-07-31 15:48:42-05:00	!
24E124454C107973	24E124FFFEF540F6	917400000	SF8BW125	-73/14.0	21	293	UpUnc	2022-07-31 15:48:41-05:00	!
24E124454C108120	24E124FFFEF540F6	923300000	SF7BW500	-	0	313	DnUnc	2022-07-31 15:32:49-05:00	!
24E124454C108120	24E124FFFEF540F6	916800000	SF7BW125	-85/13.5	18	1193	UpUnc	2022-07-31 15:32:49-05:00	!
24E124454C107973	24E124FFFEF540F6	926300000	SF8BW500	-	0	285	DnUnc	2022-07-31 14:48:42-05:00	!
24E124454C107973	24E124FFFEF540F6	917800000	SF8BW125	-73/10.8	18	292	UpUnc	2022-07-31 14:48:41-05:00	!
24E124454C108120	24E124FFFEF540F6	926900000	SF7BW500	-	0	312	DnUnc	2022-07-31 14:32:50-05:00	!
24E124454C108120	24E124FFFEF540F6	918000000	SF7BW125	-89/13.5	18	1192	UpUnc	2022-07-31 14:32:50-05:00	!
24E124454C107973	24E124FFFEF540F6	924500000	SF8BW500	-	0	284	DnUnc	2022-07-31 13:48:42-05:00	!

Ilustración 42-3: Tráfico de datos.

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

Otra de las conexiones necesarias es el SMTP, el mismo que se necesita configurar para el envío de correos electrónicos, en este se configuró los datos que se muestran en la Ilustración 43-3.

The screenshot shows the 'SMTP Client Settings' page in the Milesight interface. The page has tabs for 'General', 'System Time', 'SMTP', and 'Email', with 'SMTP' selected. The settings include: 'Enable' (checked), 'Email Address' (katalexa2014@gmail.com), 'Password' (masked with dots), 'SMTP Server Address' (smtp.gmail.com), 'Port' (465), and 'Enable TLS' (checked). There are 'Save' and 'Test' buttons at the bottom.

Ilustración 43-3: Configuración SMTP

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

Una de las configuraciones adicionales es la que muestra en la Ilustración 44-3, que es la configuración del correo electrónico al que llegará la información del Gateway.

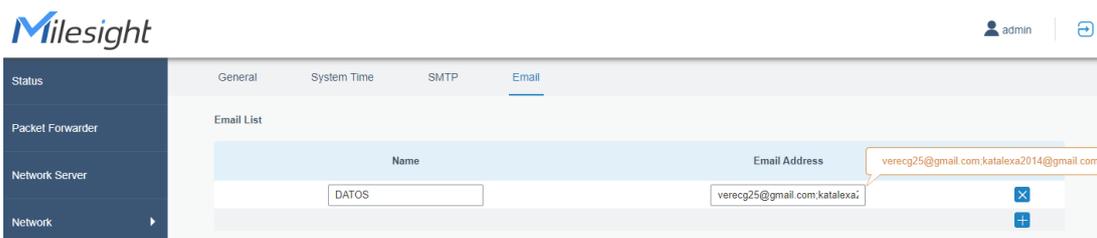


Ilustración 44-3: Configuración del correo electrónico.

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

Los datos que se pueden configurar en los eventos se ven reflejados cuando se envían los correos electrónicos dependiendo de lo que se haya habilitado como se puede ver en la Ilustración 45-3.

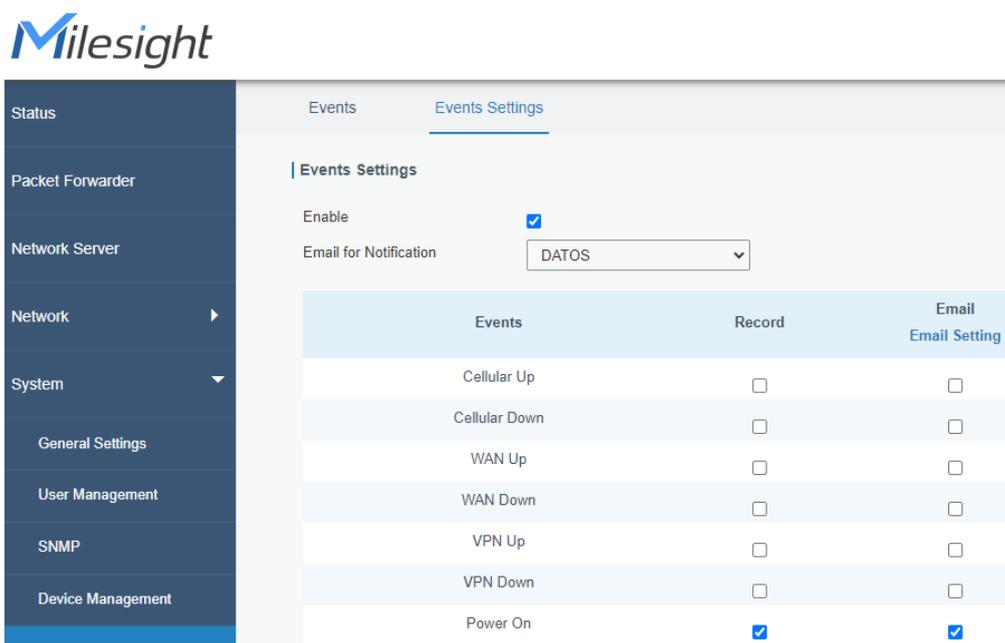


Ilustración 45-3: Configuración de los eventos en el sistema

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

3.11 Diseño del algoritmo Machine Learning

Dentro de Machine Learning existen un sinnúmero de posibilidades para emplear controles, es necesario evaluar y seleccionar un algoritmo que ayude a cumplir tanto los parámetros fundamentales como el objetivo principal de la emisión de alarmas en caso de que el suelo necesite fertilizantes dependiendo de los valores de los nutrientes leídos.

En este caso se empleará un control de lógica difusa ya que nos permite trabajar con información no precisa, es decir que una variable no se define con valor si no en un rango de valores, ya sean valores de entrada o de salida.

3.11.1 Definición de los parámetros

En el suelo existen diferentes elementos que pueden ser parte del crecimiento correcto de la planta, sin embargo, existen nutrientes más importantes que otros ya que son conocidos como macronutrientes, es decir que la planta depende más de ellos que de otros.

Los parámetros para tomar en cuenta son el Nitrógeno, el Fósforo y el Potasio que en rangos que han sido definidos por estudios del suelo pueden ser deficientes, normales o encontrarse en exceso. Estos parámetros se muestran en la Tabla 10-3 a continuación y se han tomado del Anexo A.

Tabla 10-3: Datos estándares de los nutrientes

Cantidad	Nitrógeno	Fósforo	Potasio
Déficit	< 186	< 15	< 284
Estándar	186 - 196	15 - 25	284 - 294
Exceso	> 196	> 25	> 294

Fuente: (Milesight, 2021)

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022

3.11.2 Implementación del algoritmo

Para la implementación del algoritmo hay que recalcar que para aplicar control o lógica difusos se toma en cuenta variables lingüísticas además de funciones de membresía, esto permite crear reglas que dependan de la entrada y obtener una salida en el rango deseado, comúnmente se lo hace de 0 a 1 y con los factores definidos.

Este algoritmo se lo realiza de dos diferentes formas, software Matlab y Java debido a que se implementa la programación de Java en Node Red, lo cual nos permite la configuración del Gateway de manera instantánea creando un bloque de función.

Se creo dos controles difusos el primero para las recomendaciones de fertilizantes y el segundo para saber la fertilizar del suelo en el primer caso se pueden crear tres controles difusos diferentes o crear uno solo con tres entradas y tres salidas debido a que las entradas van a ser (“Nitrógeno”, “Fósforo” y “Potasio”) y las salidas serán tres (“Salida_N”, “Salida_P” y “Salida_K”). En el segundo caso se mantienen las mismas entradas, pero se tiene una sola salida como se puede observar a continuación. Las funciones de membresía que se utilizarán van a ser definidas por los datos presentados en la Tabla 11-3 y 12-3 por lo que en este caso tenemos funciones triangulares

(trimf) debido a que un solo valor es el óptimo y se presenta a continuación en la Ilustración 46-3 y 47-3.

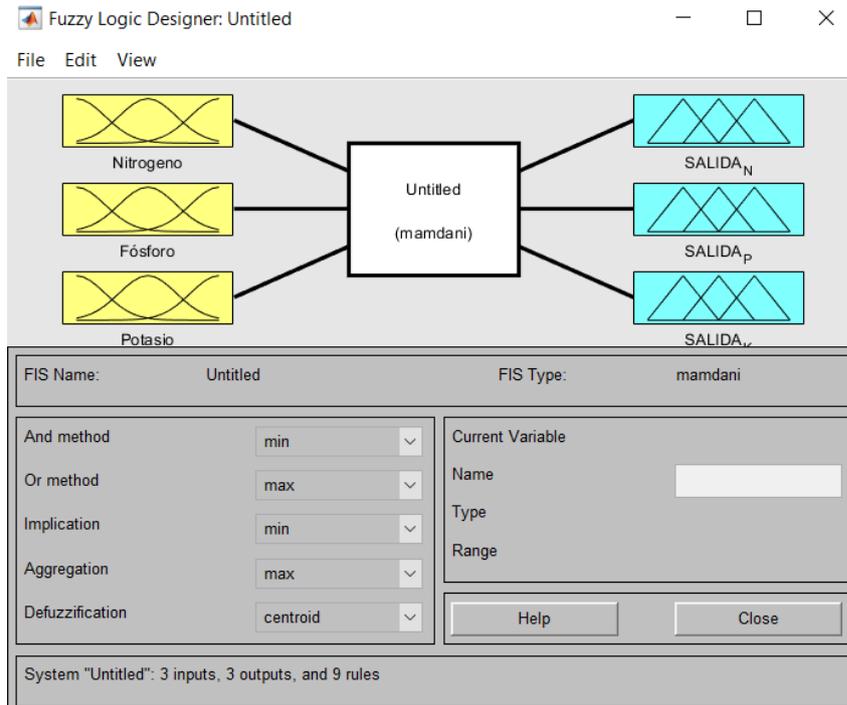


Ilustración 46-3: Algoritmo implementado mediante FuzzyLogic ToolBox en MATLAB

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

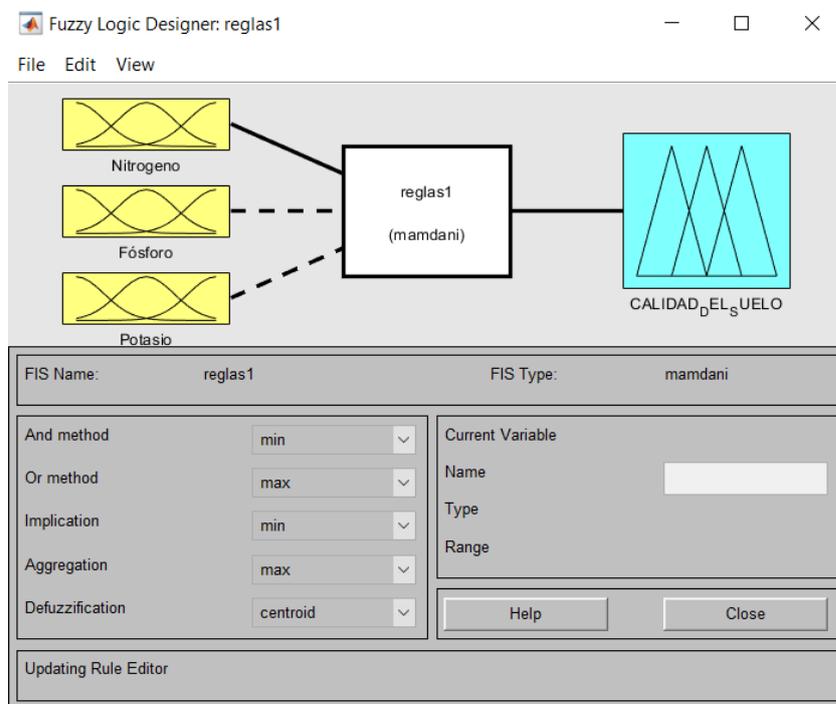


Ilustración 47-3: Algoritmo implementado mediante FuzzyLogic ToolBox en MATLAB

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

Las variables lingüísticas de cada función se pueden observar en la Tabla 11-3 y 12-3 a continuación.

Tabla 11-3: Variables Lingüísticas 1

Función	Variable Lingüística
Nitrógeno	Baja_N
	Normal_N
	Alta_N
Fósforo	Baja_P
	Normal_P
	Alta_P
Potasio	Baja_K
	Normal_K
	Alta_K
Salida_N	Déficit_N
	Estándar_N
	Exceso_N
Salida_P	Déficit_P
	Estándar_P
	Exceso_P
Salida_K	Déficit_K
	Estándar_K
	Exceso_K

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

Tabla 12-3: Datos estándares de los nutrientes

Función	Variable Lingüística
Nitrógeno	Baja_N
	Normal_N
	Alta_N
Fósforo	Baja_P
	Normal_P
	Alta_P
Potasio	Baja_K
	Normal_K
	Alta_K
Salida	Tratamiento
	Poco Fértil
	Fértil
	Exceso de nutrientes

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022

3.11.2.1 Tool box Matlab

Primero se definen las variables para cada una de las funciones como se puede observar en la Ilustración 48-3 y 49-3.

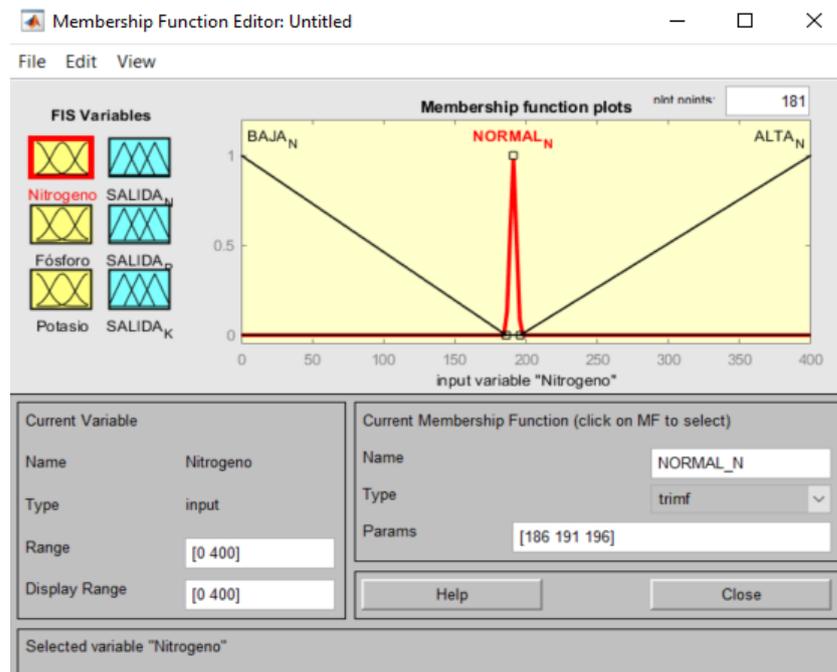


Ilustración 48-3: Definición de variables lingüísticas para cada función.

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

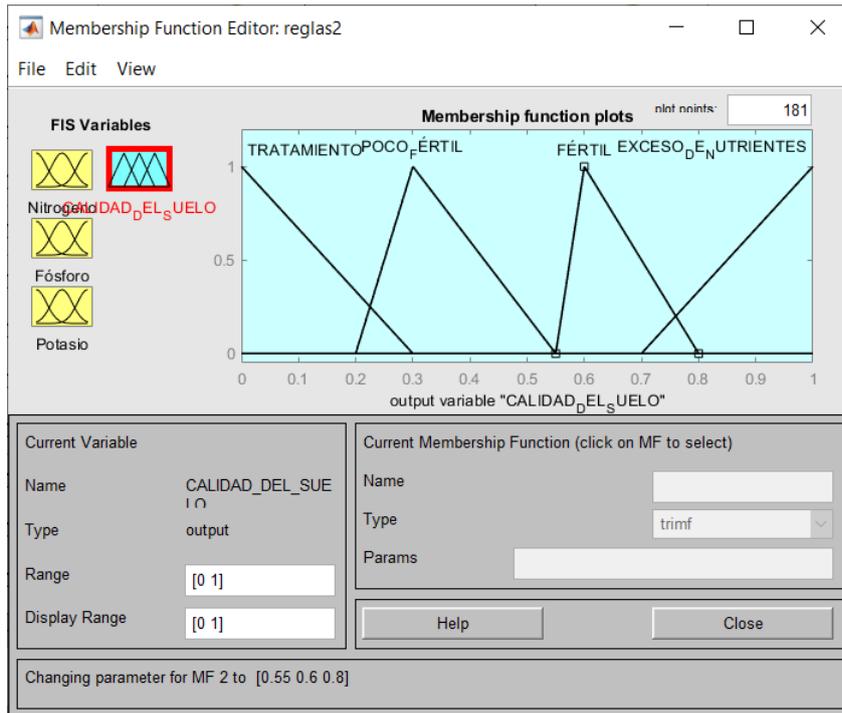


Ilustración 49-3: Definición de variables lingüísticas para cada función.

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

Como segundo paso es la definición de las reglas que dependen de la entrada y van a darnos una salida adecuada como se puede visualizar en la Ilustración 50-3 y 51-3.

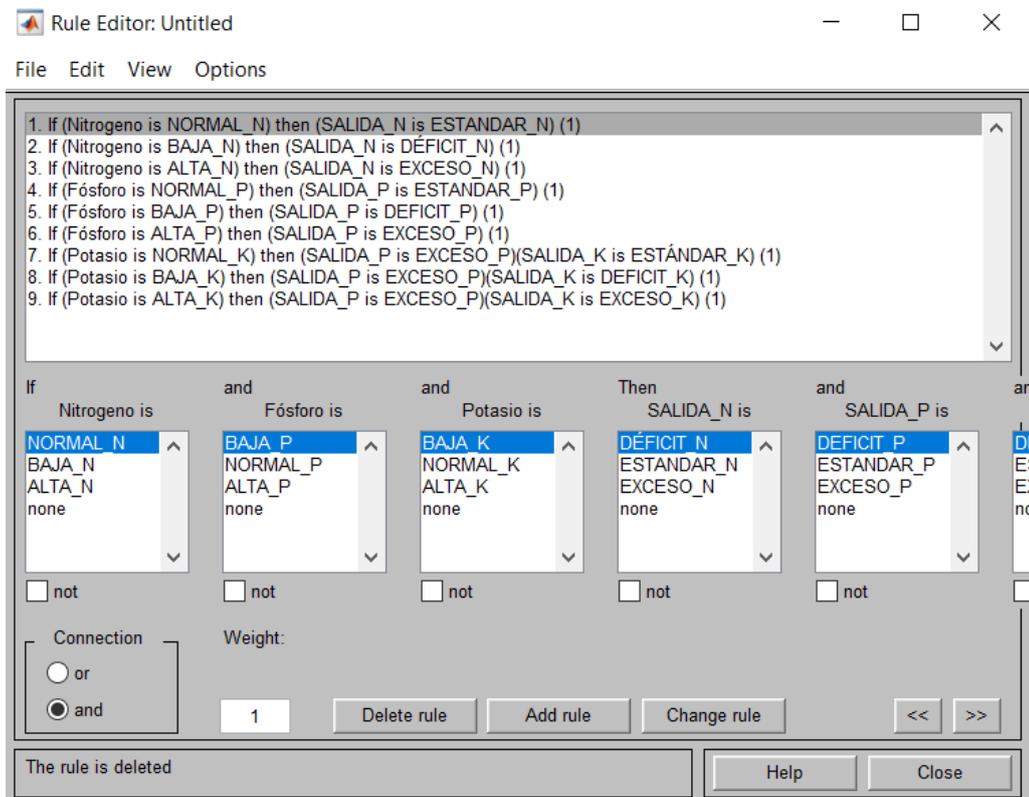


Ilustración 50-3: Definición de reglas 1

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

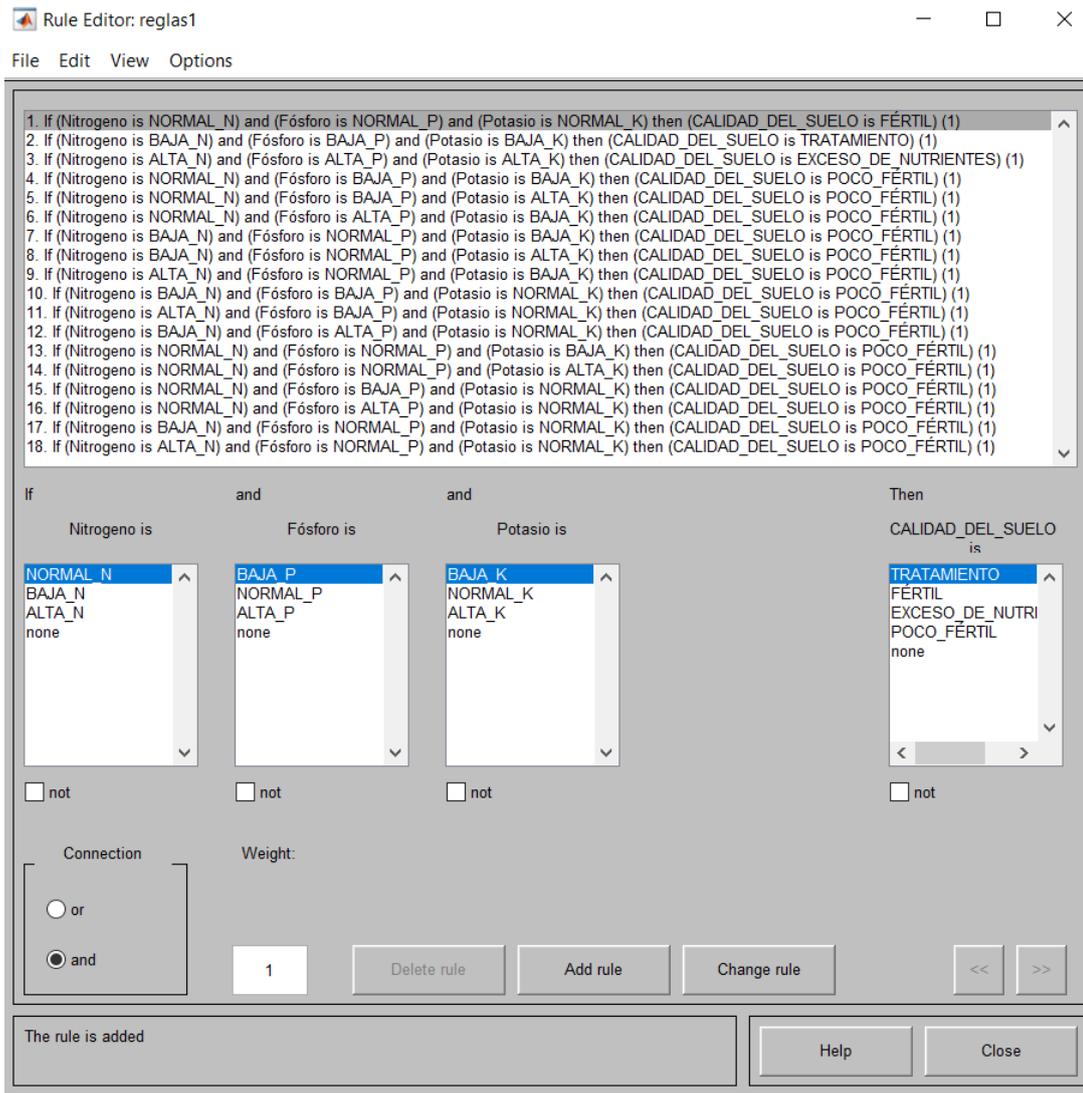


Ilustración 51-3: Definición de reglas 2

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

Las gráficas generadas por los parámetros definidos en el ToolBox se detallan en el Anexo B.

3.11.2.2 Ventana de comandos Matlab

Se implementó el control difuso por medio de la ventana de comandos, lo cual nos ayudó con la comprobación del algoritmo antes diseñado.

```

1 -   fis = newfis('Nitrogeno');
2 -   fis = addvar(fis,'input','Nitrogeno',[0 400]);
3 -   fis = addmf(fis,'input',1,'BAJA_N','trimf',[0 0 186]);
4 -   fis = addmf(fis,'input',1,'NORMAL_N','trimf',[186 191 196]);
5 -   fis = addmf(fis,'input',1,'ALTA_N','trimf',[196 400 400]);
6 -   fis = addvar(fis,'output','SALIDA_N',[0 1]);
7 -   fis = addmf(fis,'output',1,'DÉFICIT_N','trimf',[0 0 0.4]);
8 -   fis = addmf(fis,'output',1,'ESTANDAR_N','trimf',[0.3 0.5 0.7]);
9 -   fis = addmf(fis,'output',1,'EXCESO_N','trimf',[0.6 1 1]);
10 -  ruleList = [1 1 1 1;
11 -             2 2 1 1;
12 -             3 3 1 1];
13 -  fis = addrule(fis,ruleList);
14 -  inputs = [100 ;
15 -           191;
16 -           300];
17 -  evalfis(inputs,fis)
18 -  showfis(fis)
19 -  figure(1)
20 -  plotfis(fis)
21 -  figure(2)
22 -  plotmf(fis,'input',1)
23 -  figure(3)
24 -  plotmf(fis,'output',1)

```

Ilustración 52-3: Programación del algoritmo Fuzzy del nutriente Nitrógeno

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

La programación completa y los resultados se pueden visualizar en el Anexo C.

3.12 Diseño del Dashboard

El diseño del Dashboard para la Smart grid, se ha realizado con los siguientes softwares.

3.12.1 *Milesight IoT Cloud*

Milesight IoT Cloud permite a los usuarios monitorear y controlar activos remotos en un tablero intuitivo, además de permitir activar la recepción, el informe, el intercambio, la transferencia, entre otros, con lo cual se tiene flexibilidad para administrar los dispositivos que se han conectado ya que Milesight IoT Cloud convierte los datos en información procesable y proporcionando un servicio de IoT conveniente. (Xiamen Milesight IoT, 2020a: p.2)

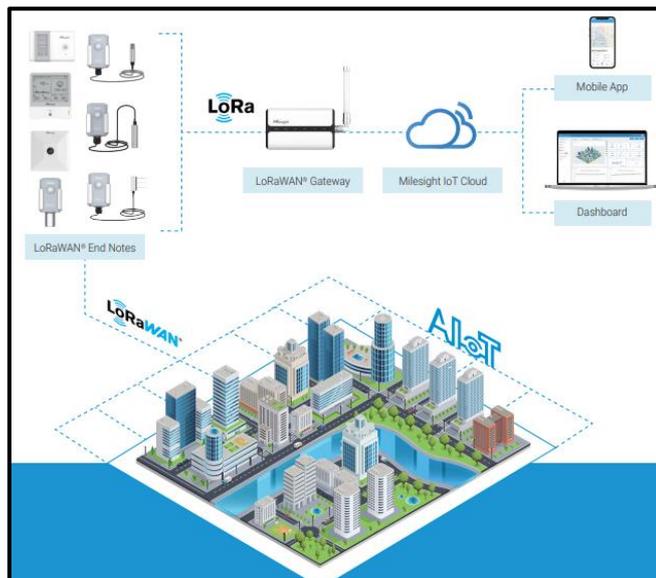


Ilustración 53-3: Conexión de los dispositivos Lora a la nube.

Fuente: (Xiamen Milesight IoT, 2020)

En Milesight IoT Cloud se crea el Dashboard el cual es una interfaz de fácil uso donde los clientes o administradores pueden monitorear e interactuar con los dispositivos que están conectados a través de gráficos y herramientas. (Xiamen Milesight IoT, 2020b: p.4)

En Milesight IoT Cloud se añaden el Gateway y los dispositivos de los controladores Lora, para luego configurar cada uno de estos, como se observa en las Ilustraciones.

face Settings	Maintenance	Log
* Name: <input type="text" value="D1"/>		
* Application Key: <input type="text" value="5572404c696e6b4c6f52613230313823"/>		
LoRaWAN Class ⓘ: <input type="text" value="classA"/>		
Class A: Downlink communications (configuration changes) from the Cloud at any other time will have to wait until the next scheduled uplink from devices.		
Description: <input type="text"/>		
* Reporting Interval ⓘ: <input type="text" value="20"/> min		
Device Offline Alarm: <input checked="" type="checkbox"/>		

Ilustración 54-3: Configuraciones básicas del controlador Lora 1.

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

Channel ID	Channel Name	Type	Sign	Raw Data	Formula	Value	Unit	Alarm Threshold	Operation
8	NITROGENO	REG_HOLD_INT16	<input checked="" type="checkbox"/>	HEX:0e00 DEC:14		14	gr	≤ 191 ≥ 197	
9	FÓSFORO	REG_HOLD_INT16	<input checked="" type="checkbox"/>	HEX:1e00 DEC:30		30	gr	≤ 20 ≥ 26	
10	POTASIO	REG_HOLD_INT16	<input checked="" type="checkbox"/>	HEX:4b00 DEC:75		75	gr	≤ 289 ≥ 295	

[Add](#)

Ilustración 55-3: Configuración de la interfaz del controlador Lora 1.

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

Basic Settings
 Interface Settings
 Maintenance
 Log

* Name:

* Application Key:

LoRaWAN Class: Class A: Downlink communications (configuration changes) from the Cloud at any other time will have to wait until the next scheduled uplink from devices.

Description:

* Reporting Interval: min

Device Offline Alarm:

Threshold Alarm:

Ilustración 56-3: Configuración del dispositivo controlador Lora 2.

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

Channel ID	Channel Name	Type	Sign	Raw Data	Formula	Value	Unit	Alarm Threshold	Operation
8	NITRÓGENO	REG_HOLD_INT16	<input checked="" type="checkbox"/>	HEX:0e00 DEC:14		14	gr	≤ 186 ≥ 197	
9	FÓSFORO	REG_HOLD_INT16	<input checked="" type="checkbox"/>	HEX:2700 DEC:39		39	gr	≤ 15 ≥ 26	
10	POTASIO	REG_HOLD_INT16	<input checked="" type="checkbox"/>	HEX:6100 DEC:97		97	gr	≤ 284 ≥ 394	

[Add](#)

Ilustración 57-3: Configuración de la interfaz del controlador Lora 2.

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022

En la interfaz trigger se permite a los usuarios personalizar múltiples combinaciones de condiciones y disparadores, brinda a los usuarios opciones para activar advertencias, con lo cual se tiene un monitoreo preventivo.(Xiamen Milesight IoT, 2020c: p.7)

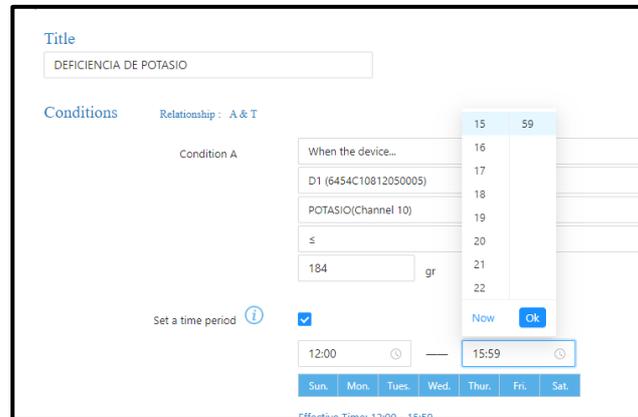


Ilustración 58-3: Configuración de alarmas para el déficit de Nitrógeno.

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022

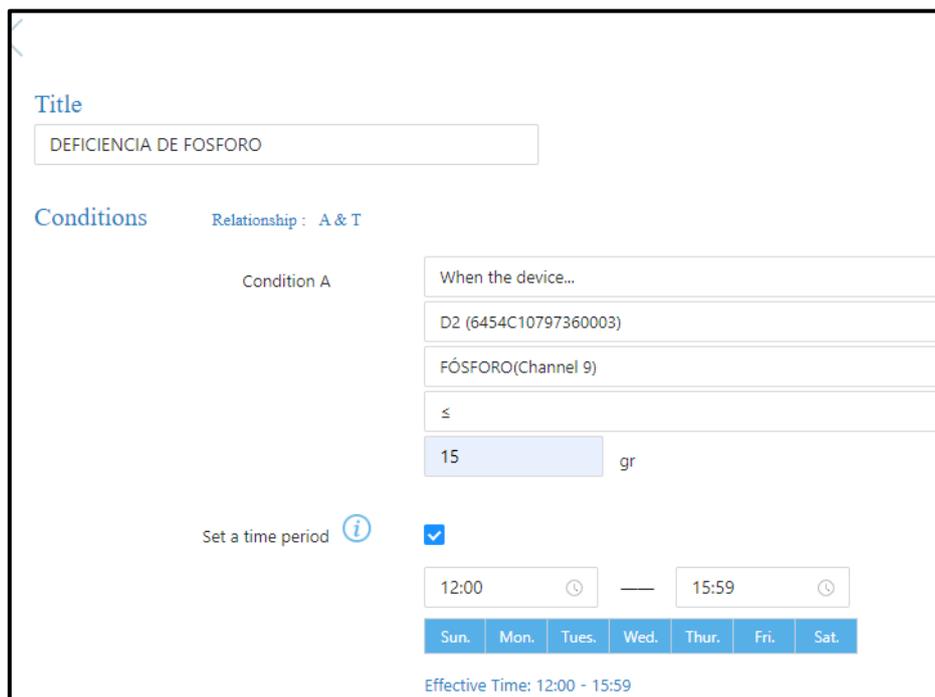


Ilustración 59-3: Configuración de alarmas para el déficit de Fósforo.

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022

Title

DEFICIENCIA DE POTASIO D2

Conditions Relationship : A & T

Condition A

When the device...

D2 (6454C10797360003)

POTASIO(Channel 10)

≤

284 gr

Set a time period ⓘ

12:00 — 15:59

Sun. Mon. Tues. Wed. Thur. Fri. Sat.

Effective Time: 12:00 - 15:59

Ilustración 60-3: Configuración de alarmas para el déficit de Potasio.

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022

ID	Title	Enable	Operation
1	DEFICIENCIA DE NITRÓGENO D1	<input checked="" type="checkbox"/>	 
2	DEFICIENCIA DE FOSFORO D1	<input checked="" type="checkbox"/>	 
3	DEFICIENCIA DE POTASIO D1	<input checked="" type="checkbox"/>	 
4	DEFICIENCIA DE NITROGENO D2	<input checked="" type="checkbox"/>	 
5	DEFICIENCIA DE FOSFORO D2	<input checked="" type="checkbox"/>	 

Ilustración 61-3: Alarmas configuradas en la interfaz de trigger.

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022

Para el Dashboard, se añadió la lista de dispositivos con sus diferentes canales con lecturas de los nutrientes del suelo, como son potasio, nitrógeno y fósforo, así como el estado de la batería de cada uno de los dispositivos y diferentes gráficas.

Add New Widget [X]

System Widget **Device List**

Search [Q]

Battery

POTASIO(Channel 10)

NITRÓGENO(Channel 8)

FÓSFORO(Channel 9)

Battery

Others

Others

Others

D2
6454C10797360003

D1
6454C10812050005

Ilustración 62-3: Configuración del Dispositivo 1 en el Dashboard.

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022



Ilustración 63-3: Configuración del Dispositivo 2 en el Dashboard.

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022

3.12.2 Node Red

Con el editor de flujo basado en navegador de Node-RED, se facilita la interconexión de flujos utilizando la amplia gama de nodos de la paleta. Además, en la función se puede programar en JavaScript dentro del editor utilizando el editor de texto enriquecido.

Para la programación en Node-RED, se requiere de una entrada lora conectada a un filtro donde se escogerá el controlador Lora del cual se recogerá los datos del sensor NPK. Por ello, se ha escogido un filtro para cada uno de los dispositivos. (OpenJS, 2022b)

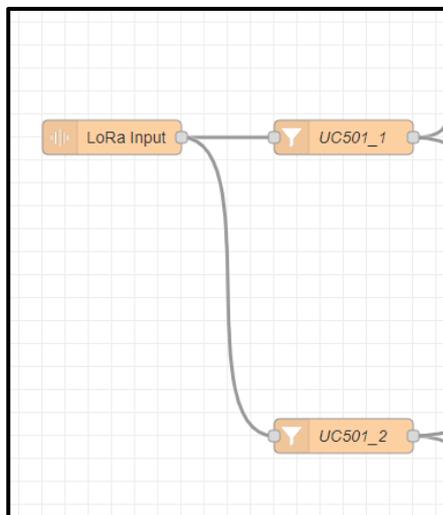


Ilustración 64-3: Gráfica de la programación en Node-RED.

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

Luego, para decodificar estos datos se usó una función para cada uno de los controladores con la siguiente programación:

```

1- function Decoder(bytes, port) {
2   var decoded = {};
3- for (i = 0; i < bytes.length; ) {
4     var channel_id = bytes[i++];
5     var channel_type = bytes[i++];
6
7     // BATTERY
8-    if (channel_id === 0x01 && channel_type === 0x75) {
9      decoded.battery = bytes[i];
10     i += 1;
11-   }
12-   else if (channel_id === 0xFF && channel_type === 0x0E) {
13
14     var modbus_chn_id = bytes[i+1]-6;
15     var package_type = bytes[i+2];
16     var data_type = package_type & 7;
17     var data_length = package_type >> 3;
18     var chn = 'chn' + modbus_chn_id;
19-    switch (data_type) {
20      case 0:
21        decoded[chn] = bytes[i] ? "on" : "off";
22        i += 1;
23        break;

```

Ilustración 65-3: Programación en JavaScript en una función de Node-RED parte 1.

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

```

23     break;
24     case 1:
25       decoded[chn] = bytes[i];
26       i += 1;
27       break;
28     case 2:
29     case 3:
30       decoded[chn] = readUInt16LE(bytes.slice(i, i + 2));
31       i += 2;
32       break;
33   }
34 }
35 }
36 return decoded;
37 }
38 function readUInt16LE(bytes) {
39   var value = (bytes[1] << 8) + bytes[0];
40   return (value & 0xFFFF);
41 }
42 function readInt16LE(bytes) {
43   var ref = readUInt16LE(bytes);
44   return (ref > 0x7FFF) ? ref - 0x10000 : ref;
45 }
46 function readFloatLE(bytes) {
47   // JavaScript bitwise operators yield a 32 bits integer, not a float.
48   // Assume LSB (least significant byte first).
49   var bits = bytes[3] << 24 | bytes[2] << 16 | bytes[1] << 8 | bytes[0];
50   var sign = (bits >>> 31 === 0) ? 1.0 : -1.0;
51   var e = bits >>> 23 & 0xff;
52   var m = (e === 0) ? (bits & 0x7fffff) << 1 : (bits & 0x7fffff) | 0x800000;
53   var f = sign * m * Math.pow(2, e - 150);
54   return f;
55 }
56
57 var buffer = Buffer.from(msg.payload, 'base64');
58 var aa = Decoder(buffer)
59 msg.payload =aa;
60 msg.buffer =buffer;
61 return msg;

```

Ilustración 66-3: Programación en JavaScript en una función de Node-RED parte 2

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

Se agregó una programación por nodos para cada controlador con cada uno de los nutrientes registrados.

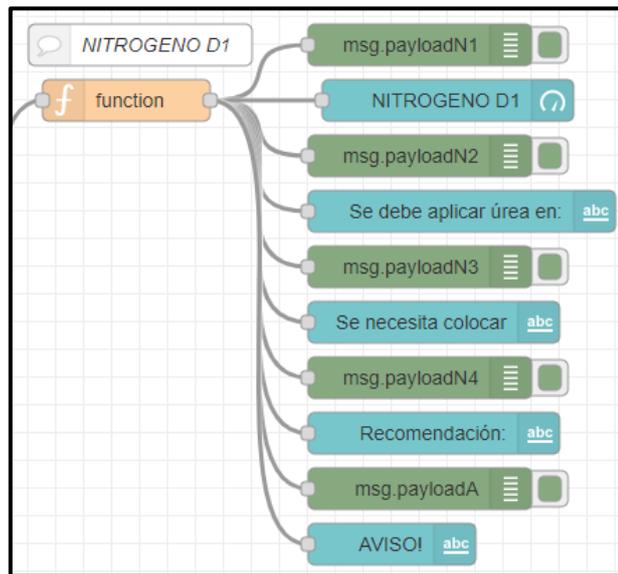


Ilustración 67-3: Programación en Node-RED para nitrógeno.

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

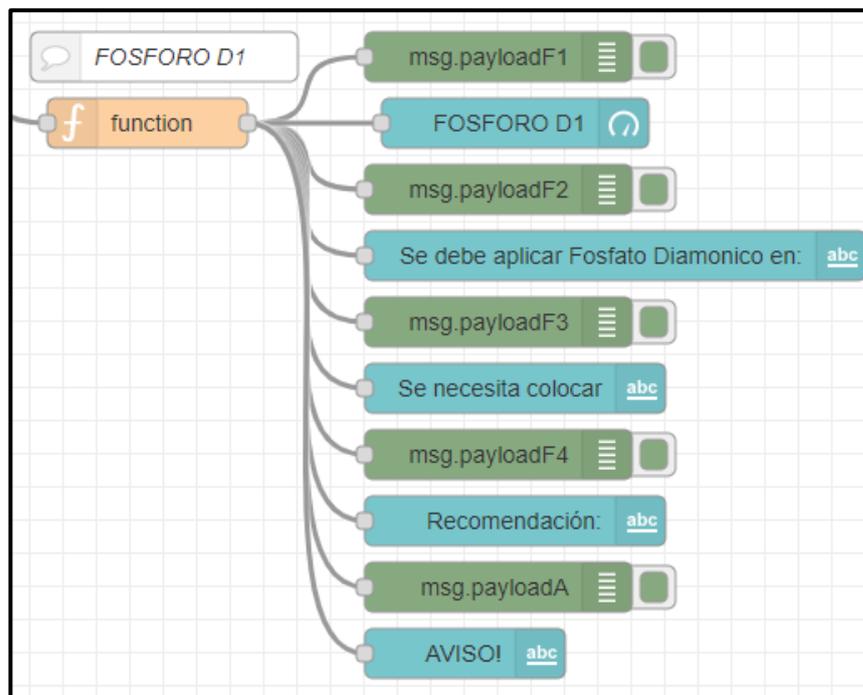


Ilustración 68-3: Programación en Node-RED para fósforo.

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

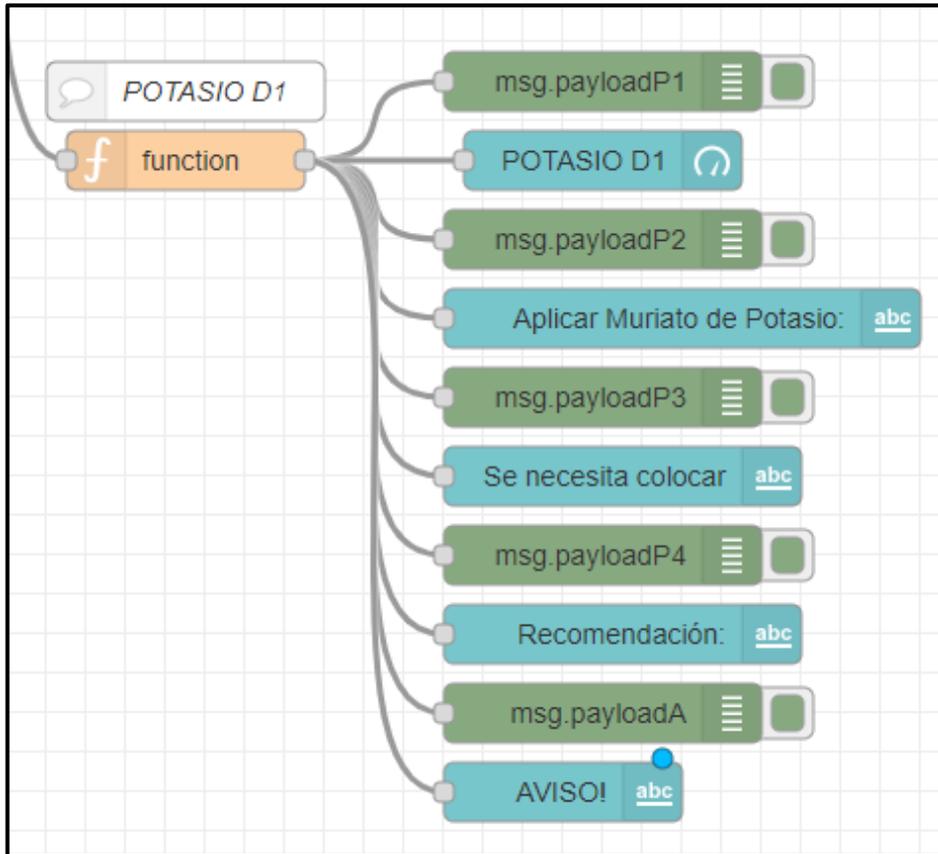


Ilustración 69-3: Programación en Node-RED para potasio.

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

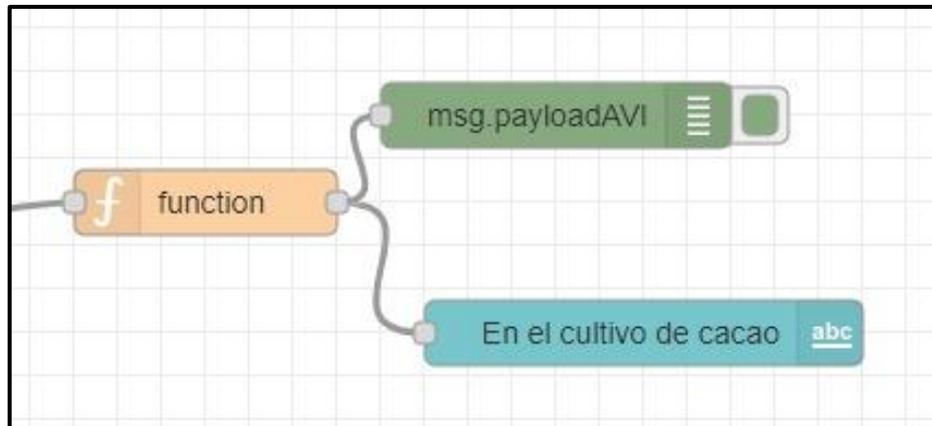


Ilustración 70-3: Programación en Node-RED para la determinación de fertilidad del suelo.

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

Dentro de cada una de las funciones, la programación en JavaScript es la siguiente:

```

1 msg.payloadN1=msg.payload.chn8;
2 var t;
3 var q;
4 var x;
5 if (msg.payloadN1<186)
6 {
7     t=(191-msg.payloadN1);
8     q=t*0.242;
9     A="¡La cantidad de nutriente esta en DÉFICIT!";
10 }
11 else if (msg.payloadN1>196) {
12     t=0;
13     q=0;
14     x= "Sembrar plantas como el maíz para aprovechar";
15     A="¡La cantidad de nutrienes esta en EXCESO! No e";
16 }
17 else {
18     t=0;
19     q=0;
20     A="¡La cantidad de nutrienes es ESTÁNDAR!";
21 }
22
23 msg.payloadN2=t;
24 msg.payloadN3=q;
25 msg.payloadN4=x;
26 msg.payloadA=A;
27 return msg;
28

```

Ilustración 71-3: Programación dentro de la función para Nitrógeno

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

```

1 msg.payloadF1=msg.payload.chn9;
2 var t;
3 var q;
4 var x;
5 if (msg.payloadF1<15)
6 {
7     t=(20-msg.payloadF1);
8     q=t*0.242;
9     x="Los fertilizantes de fosfato natural que s";
10    A="¡La cantidad de nutriente esta en DÉFICIT!";
11 }
12 else if (msg.payloadF1>25) {
13     t=0;
14     q=0;
15     x= "Sembrar plantas como el maíz para aprovechar";
16     A="¡La cantidad de nutriente esta en EXCESO! Si";
17 }
18 else {
19     t=0;
20     q=0;
21     A="¡La cantidad de nutrienes es ESTÁNDAR!";
22 }
23 msg.payloadF2=t;
24 msg.payloadF3=q;
25 msg.payloadF4=x;
26 msg.payloadA=A;
27 return msg;

```

Ilustración 72-3: Programación dentro de la función para Fosforo.

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

```

1 msg.payloadP1=msg.payload.chn10;
2 var t;
3 var q;
4 var x;
5 if (msg.payloadP1<284)
6 {
7     t=(289-msg.payloadP1);
8     q=t*0.242;
9     A=";La cantidad de nutriente esta en DÉFICIT!";
10 } else if (msg.payloadP1>294) {
11     t=0;
12     q=0;
13     x= "Sembrar plantas como el maíz para aprovechar";
14     A=";La cantidad de nutriente esta en EXCESO! La a";
15 }
16 else {
17     t=0;
18     q=0;
19     A=";La cantidad de nutrien es ESTÁNDAR!";
20 }
21 msg.payloadP2=t;
22 msg.payloadP3=q;
23 msg.payloadP4=x;
24 msg.payloadA=A;
25 return msg;

```

Ilustración 73-3: Programación dentro de la función para potasio.

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

```

1 msg.payload.chn8;
2 msg.payload.chn9;
3 msg.payload.chn10;
4 if (msg.payload.chn8<186)
5 {
6     if ( msg.payload.chn9<15)
7     {if (msg.payload.chn10<284){
8         A="El suelo necesita tratamiento para ser fértil";
9     }}
10 }
11 else if (msg.payload.chn8>196)
12 {
13     if ( msg.payload.chn9>25)
14     {if (msg.payload.chn10>294)
15         {A="El suelo tiene un exceso de nutrientes";}}
16 }
17 else if ( msg.payload.chn8>186)
18 {
19     if ( msg.payload.chn8<196){
20         if ( msg.payload.chn9>15){
21             if ( msg.payload.chn9<25){
22                 if ( msg.payload.chn10>284){
23                     if ( msg.payload.chn10<294)
24                     {
25                         A="El suelo es fértil!";
26                     }
27 }

```

Ilustración 74-3: Programación dentro de la función para la determinación de fertilidad del suelo.

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

Se agregó de la librería de nodos dos salidas de correo electrónico, donde se enviarán los datos del primer controlador y del segundo controlador, respectivamente.

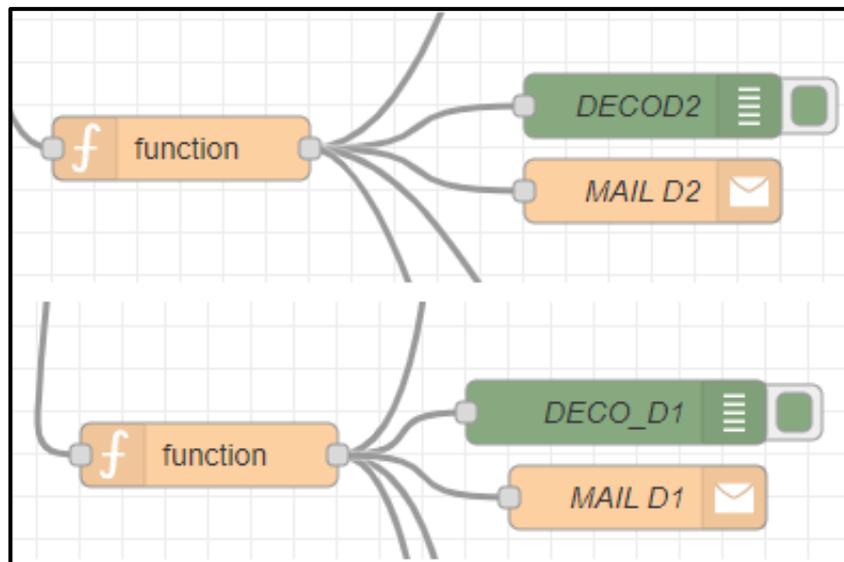


Ilustración 75-3: Salida de correo electrónico para el Controlador D1 y el Controlador D2 en Node-red.

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

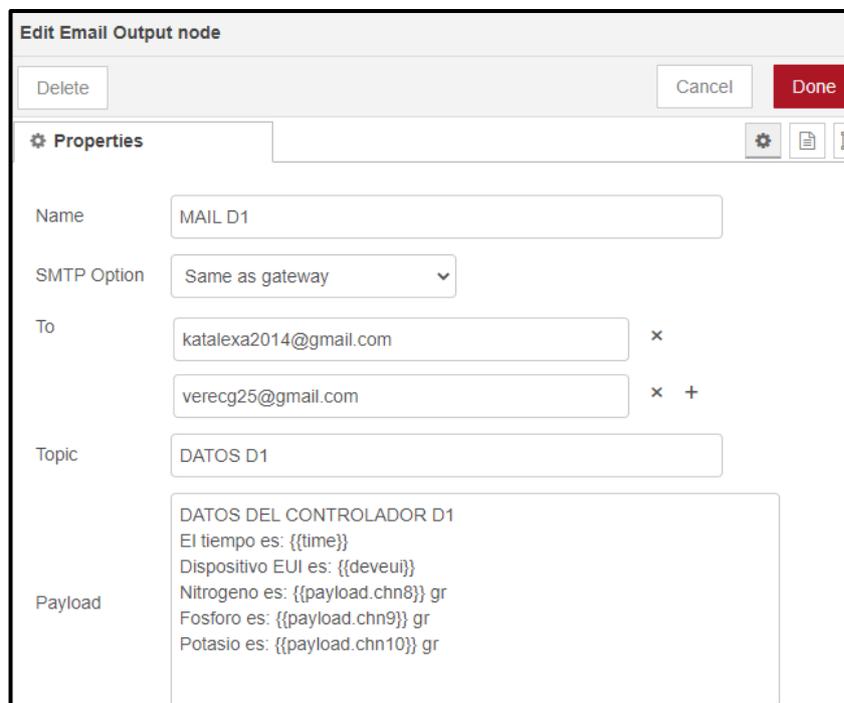


Ilustración 76-3: Configuración dentro del nodo de salida de correo electrónico en Node-red.

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

3.13 Aplicaciones adicionales

3.13.1 The things Stack

The Things Stack es un servidor de red Lora WAN este puede ser por MQTT Broker o como un servidor web. Además, se encarga de gestionar de forma segura las aplicaciones, los dispositivos finales y las puertas de enlace. En este caso lo utilizamos de dos maneras como una puerta de enlace y como un servidor web. Para configurar la aplicación se debe primero acceder a una cuenta en The Things Stack y en esta se muestra dos opciones, aplicaciones y Gateway que son los dispositivos finales que se pueden añadir esto se muestra en la Ilustración 77-3.

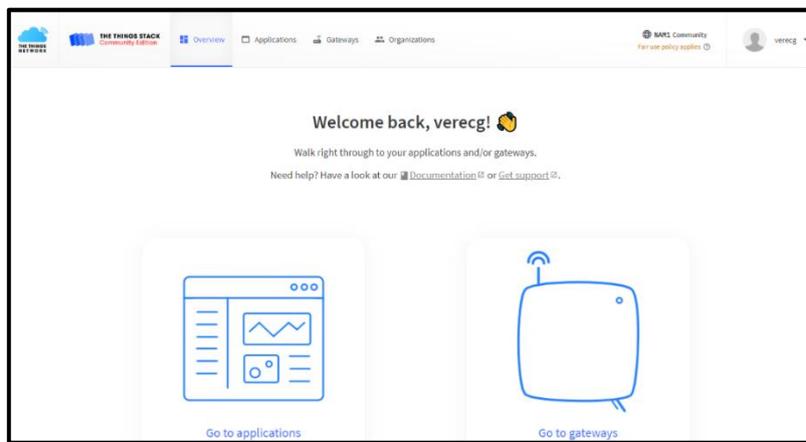


Ilustración 77-3: Entorno The Things Stack

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

Una vez en esta plataforma se agrega un Gateway en la cual se coloca la información como el EUI, nombre entre otros aspectos que se visualizan en la Ilustración 78-3

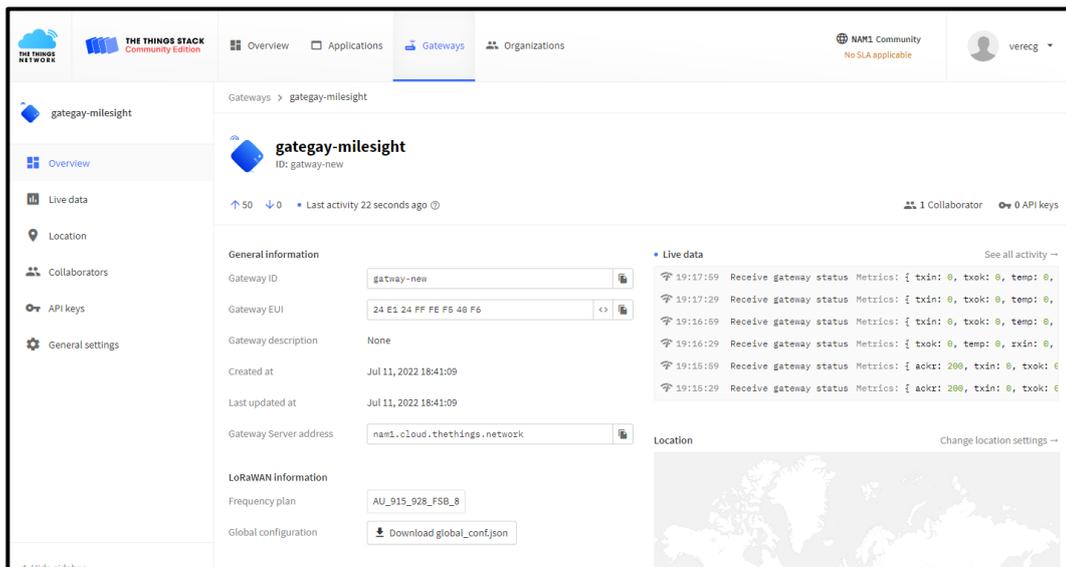
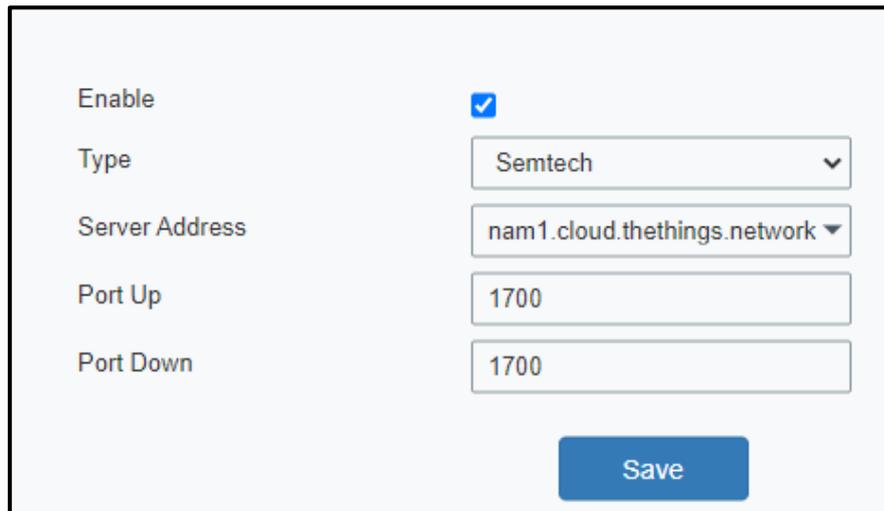


Ilustración 78-3: Conexión con el Gateway

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

Para que exista una conexión con esta plataforma se necesita realizar una configuración en el Gateway la misma que se muestra a continuación en la Ilustración 79-3.



Enable

Type Semtech

Server Address nam1.cloud.thethings.network

Port Up 1700

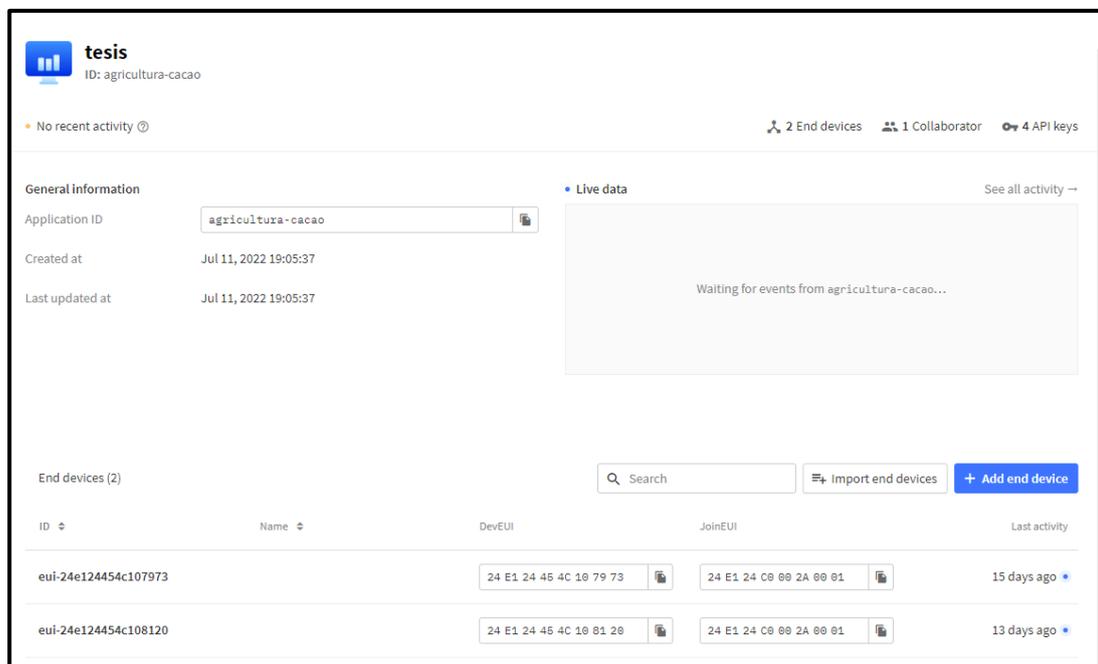
Port Down 1700

Save

Ilustración 79-3: Agregación The Thing Stack

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

De la misma manera se realiza la agregación manual de los dispositivos finales como son los controladores Lora en esta ocasión se realiza mediante la creación de una aplicación y en esta se puede agregar varios dispositivos.



tesis
ID: agricultura-cacao

No recent activity

2 End devices 1 Collaborator 4 API keys

General information

Application ID agricultura-cacao

Created at Jul 11, 2022 19:05:37

Last updated at Jul 11, 2022 19:05:37

Live data

Waiting for events from agricultura-cacao...

End devices (2)

Search Import end devices Add end device

ID	Name	DevEUI	JoinEUI	Last activity
eui-24e124454c107973		24 E1 24 45 4C 10 79 73	24 E1 24 C8 08 2A 00 01	15 days ago
eui-24e124454c108120		24 E1 24 45 4C 10 81 20	24 E1 24 C8 08 2A 00 01	13 days ago

Ilustración 80-3: Agregación de los dos dispositivos finales.

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

Con la creación de la aplicación se puede crear un api key que se muestra en la Ilustración 81-3 y la misma que nos permitirá el acceso a un protocolo MQTT el cual se puede corroborar en el MQTT Explorer como se muestra en la Ilustración 82-3.



Edit API key

Key ID *

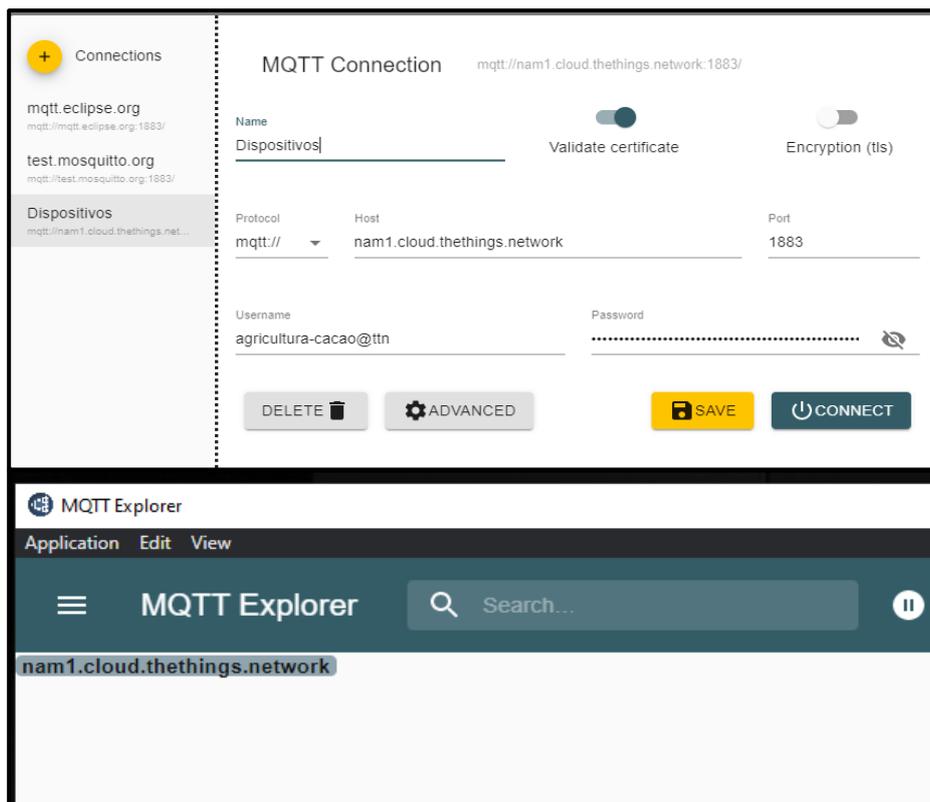
YQLY5DRNAXHDUN7ECFTJZROBCCHHJNV4QN3ZLHY

Name

mqtt-password-key-1657757372882

Ilustración 81-3: Creación del API key

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.



MQTT Connection mqtt://nam1.cloud.thethings.network:1883/

Name Validate certificate Encryption (tls)

Dispositivos

Protocol	Host	Port
mqtt://	nam1.cloud.thethings.network	1883

Username: agricultura-cacao@ttn Password: [REDACTED]

DELETE ADVANCED SAVE CONNECT

MQTT Explorer

Application Edit View

MQTT Explorer Search...

nam1.cloud.thethings.network

Ilustración 82-3: MQTT Explorer

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

3.13.2 Device Hub

Para que se pueda acceder remotamente a la configuración del Gateway es necesario acceder a una plataforma adicional como es el Device-Hub, este se obtiene accediendo a la página web de Device-Hub y con las credenciales que se obtiene por el equipo se puede ingresar y añadir el Lora Gateway, en este se podrá observar si está conectado o desconectado este dispositivo, como se presenta en la Ilustración 83-3

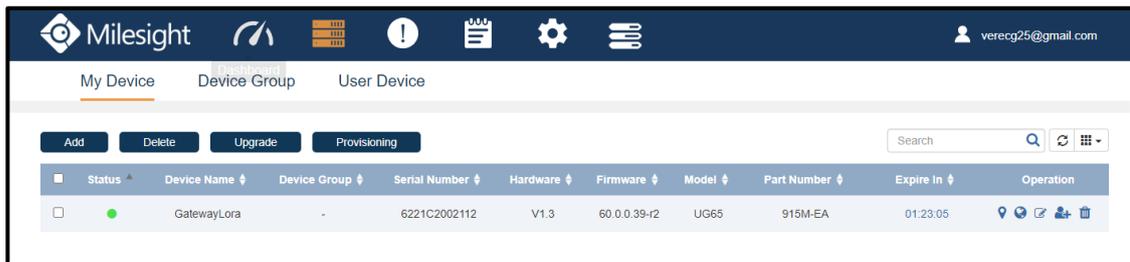


Ilustración 83-3: Device - Hub

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

Para que la aplicación establezca contacto con el dispositivo es necesario realizar una configuración adicional como se muestra en la Ilustración 84-3.

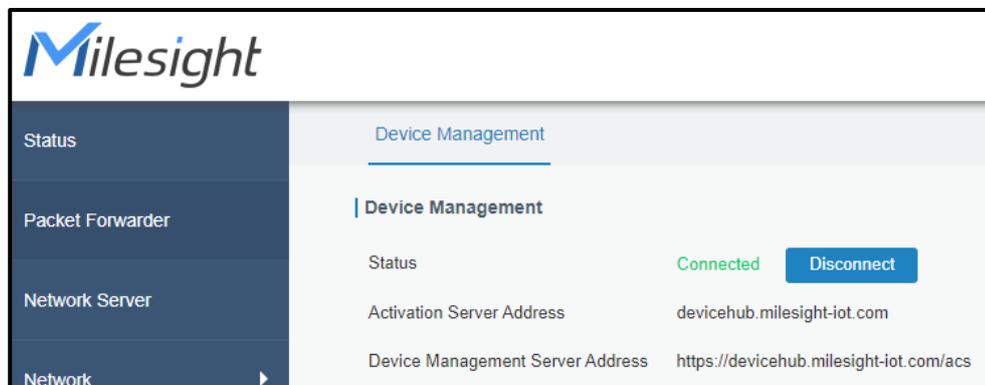


Ilustración 84-3: Configuración de Device – Hub.

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

Una vez que se haya establecido conexión para acceder a la configuración se necesita crear un enlace por medio de esta aplicación, la misma que permite configurar la duración de este enlace desde 30 minutos hasta 24 horas.

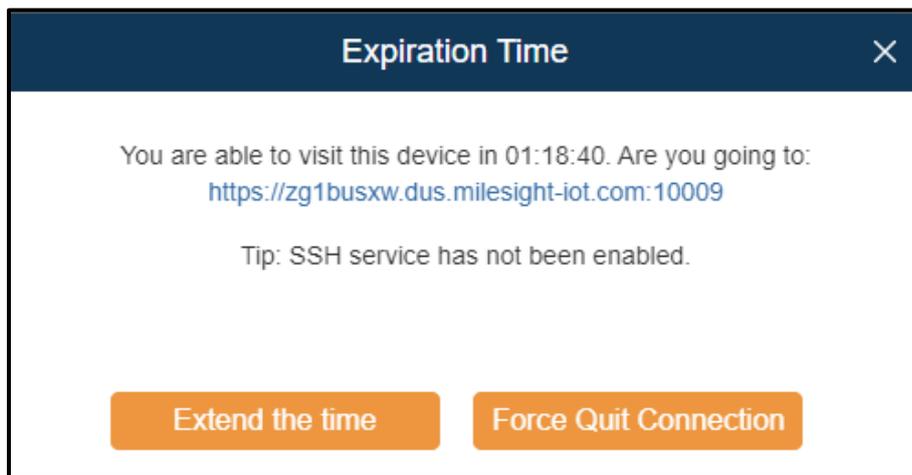


Ilustración 85-3: Generación del link para acceder a la configuración del Gateway.

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

CAPÍTULO IV

4 MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Se realizaron diferentes pruebas para la interpretación de los resultados, mismos que se detallaran a continuación.

4.1 Comprobación del envío de datos por etapas

4.1.1 *Análisis del sensor NPK con el software Modbus Poll*

Las pruebas que se realizaron con este software son las siguientes:

La primera prueba se realizó con tierra de la región sierra, donde se obtuvo resultados de 20mg/kg de nitrógeno, 27mg/kg de fosforo y 67mg/kg de potasio tal como se muestra en la Ilustración 1-4.

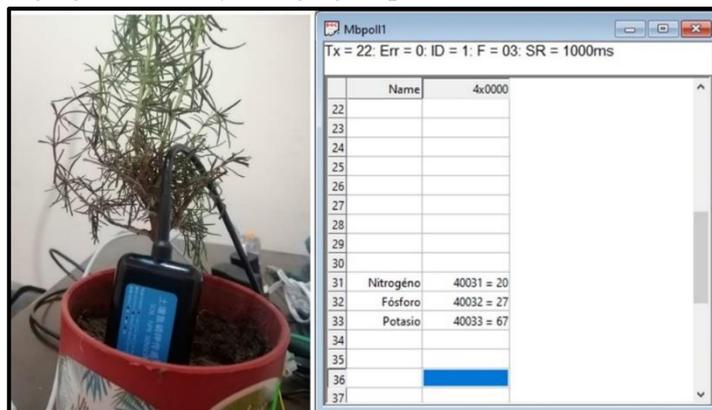


Ilustración 1-4: Prueba en tierra de la región sierra en una planta de romero.

Fuente: Cazco K, Cazorla V, 2022.

La segunda prueba se ha realizó con tierra de la región amazónica, donde se obtuvo los resultados que se muestra en la Ilustración 2-4.

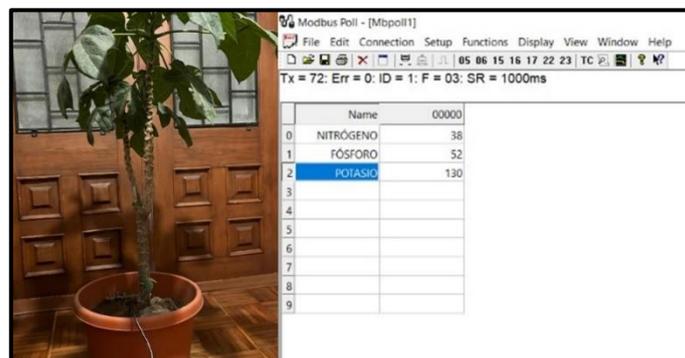


Ilustración 2-4: Prueba 2 en una planta de babaco.

Fuente: Cazco K, Cazorla V, 2022.

4.5.1.1. Análisis del sensor NPK sobre la tierra de la plantación de cacao.

La tercera prueba se realizó en unas muestras de tierra de la región amazónica con un suelo arcilloso, en donde se obtuvieron los siguientes resultados:

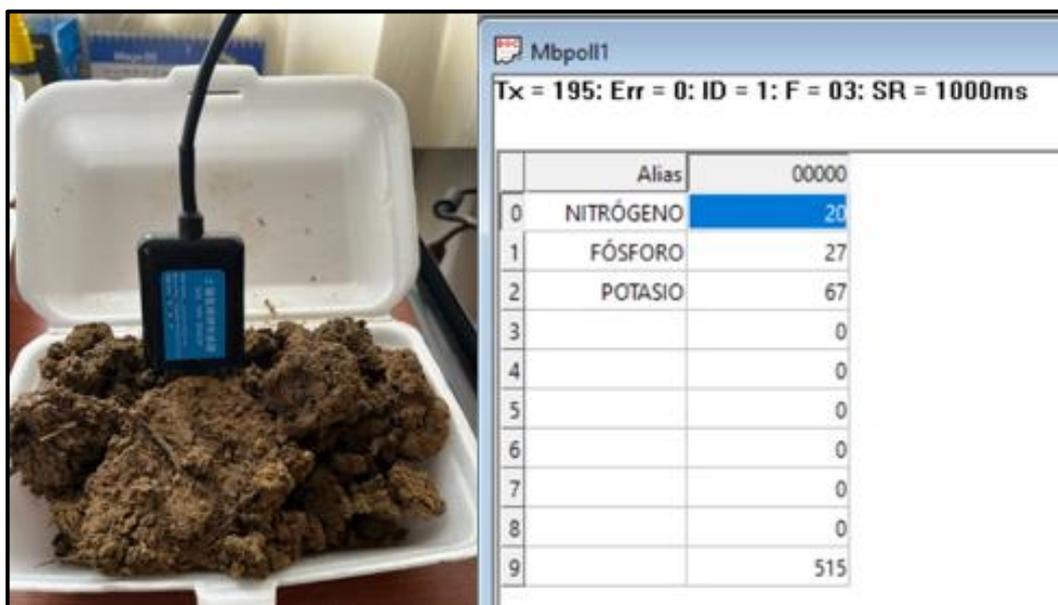


Ilustración 3-4: Primera muestra de suelo arcilloso de la plantación de cacao.

Fuente: Cazco K, Cazorla V, 2022.

La cuarta prueba se realizó en una segunda muestra tomada de la plantación de cacao en la región amazónica, donde se obtuvieron los siguientes resultados:

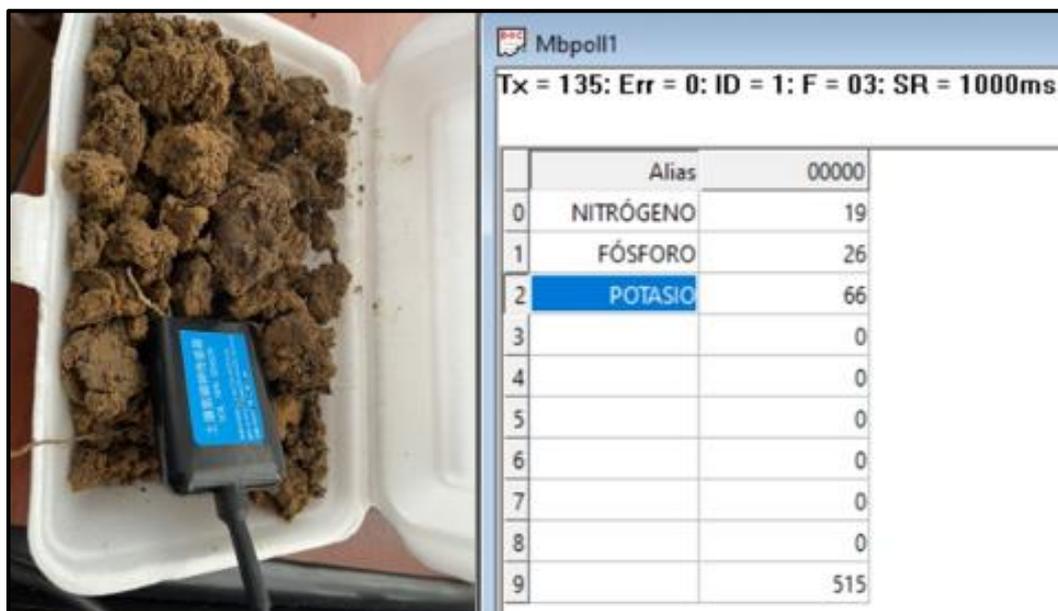


Ilustración 4-4: Segunda muestra de suelo arcilloso de la plantación de cacao

Fuente: Cazco K, Cazorla V, 2022.

4.1.2 Análisis del sensor NPK con el Toolbox del controlador Lora

En el ToolBox del controlador Lora, al configurar los diferentes parámetros y canales que usará el sensor NPK, se obtuvo los siguientes resultados:

Channel ID	Name	Slave ID	Address	Quantity	Type	Sign	Value
8	Nitrogeno	1	30	1	Holding Register(INT16)	☑	22
9	Fosforo	1	31	1	Holding Register(INT16)	☑	30
10	Potasio	1	32	1	Holding Register(INT16)	☑	74

Ilustración 5-4: Prueba del sensor NPK conectado al módulo del controlador Lora.

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

4.1.3 Controlador – Gateway

Para el envío de datos del controlador al Gateway se emplea la Comunicación Lora WAN la misma que es inalámbrica, esto se puede comprobar en la Ilustración 6-4, que es el tráfico de los datos que está recibiendo de los controladores, sabiendo los EUI de cada uno se corrobora que la información está siendo enviada correctamente.

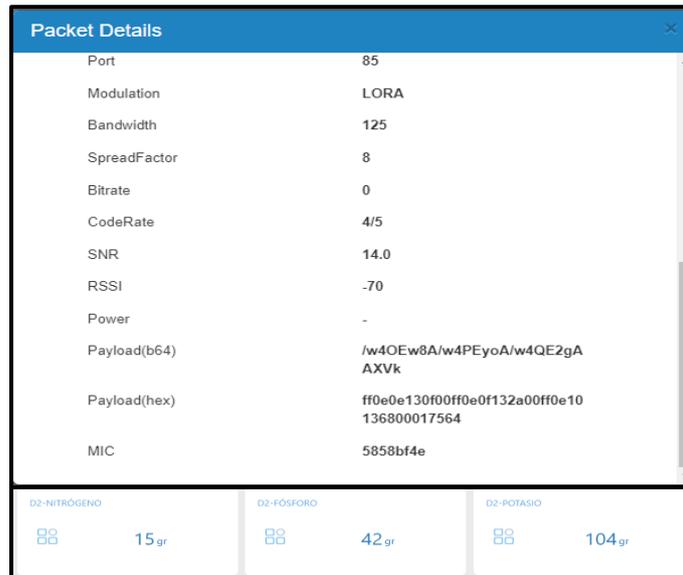
Device EUI/Group	Gateway ID	Frequency	Datarate	RSSI/SNR	Size	Fcnt	Type	Time	Details
24E124454C107973	24E124FFFEF540F6	927500000	SF8BW500	-	0	291	DnlUnc	2022-07-31 20:48:44-95:00	!
24E124454C107973	24E124FFFEF540F6	918200000	SF8BW125	-70/14.0	21	298	UpUnc	2022-07-31 20:48:43-95:00	!
24E124454C108120	24E124FFFEF540F6	926300000	SF7BW500	-	0	318	DnlUnc	2022-07-31 20:48:43-95:00	!

Ilustración 6-4: Envío de datos del controlador al Gateway

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

4.1.4 Gateway – iot cloud

Una vez recibidos los datos en el Gateway se puede enviar los datos a las diferentes plataformas deseadas, en este caso tenemos IoT Cloud que se puede confirmar que los datos que se presentan en el Gateway en lenguaje hexadecimal y lenguaje base64 son los mismos que se presentan en el Dashboard del IoT Cloud y se puede visualizar en la Ilustración 7-4.



Packet Details	
Port	85
Modulation	LORA
Bandwidth	125
SpreadFactor	8
Bitrate	0
CodeRate	4/5
SNR	14.0
RSSI	-70
Power	-
Payload(b64)	/w4OEw8A/w4PEyoA/w4QE2gA AXVk
Payload(hex)	ff0e0e130f00ff0e0f132a00ff0e10 136800017564
MIC	5858bf4e

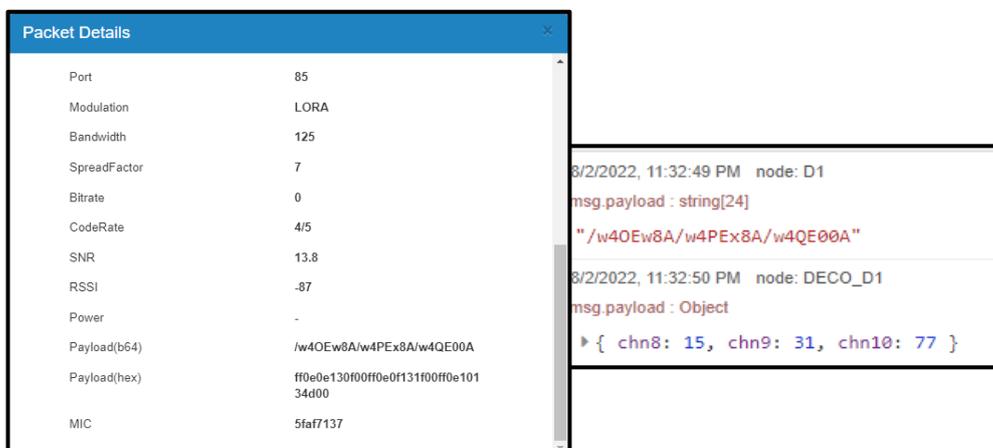
D2-NITRÓGENO	D2-FÓSFORO	D2-POTASIO
15 gr	42 gr	104 gr

Ilustración 7-4: Envío de datos del Gateway a IoT Cloud

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

4.1.5 Gateway – node red

Otra de las plataformas que el Gateway nos permite utilizar es Node-red y en esta se pueden corroborar los datos que se envían por medio de una configuración y se puede visualizar a continuación en la Ilustración 8-4.



Packet Details	
Port	85
Modulation	LORA
Bandwidth	125
SpreadFactor	7
Bitrate	0
CodeRate	4/5
SNR	13.8
RSSI	-87
Power	-
Payload(b64)	/w4OEw8A/w4PEx8A/w4QE00A
Payload(hex)	ff0e0e130f00ff0e0f131f00ff0e101 34d00
MIC	5faf7137


```
8/2/2022, 11:32:49 PM node: D1  
msg.payload : string[24]  
"/w4OEw8A/w4PEx8A/w4QE00A"  
8/2/2022, 11:32:50 PM node: DECO_D1  
msg.payload : Object  
▶ { chn8: 15, chn9: 31, chn10: 77 }
```

Ilustración 8-4: Envío de datos con Node-red

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

4.1.6 Análisis de datos en el Gateway

Para realizar el correcto análisis de los datos que están llegando al Gateway y del correcto funcionamiento se puede comprobar de diferentes maneras como se muestra a continuación:

4.1.6.1 Tráfico de datos

En la Ilustración 43-3 se puede observar el tráfico de datos, en la cual se visualiza los dos dispositivos con sus respectivos EUI que les diferencian unos de otros, además datos de hora y fecha específicos que ayudan a controlar que son datos en tiempo real.

4.1.6.2 Device Hub

Para comprobar que el Gateway está en funcionamiento se puede acceder a esta plataforma en la cual se observa si el Gateway está conectado o desconectado en tiempo real, lo que se puede observar en la Ilustración 79-3.

4.1.6.3 Pin

Otra de las opciones que presenta el Gateway es acceder a internet por lo que para corroborar esta funcionalidad se tiene una opción de realizar ping que se muestra en la Ilustración 9-4.

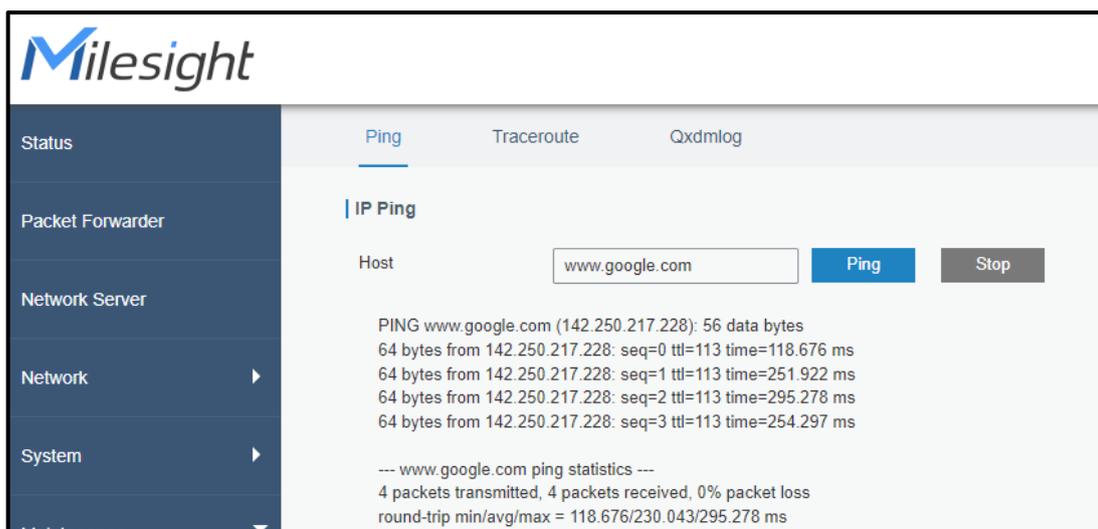


Ilustración 9-4: Prueba de funcionamiento de internet

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

4.2 Pruebas de ubicación del sensor

Para la ubicación del sensor se cavó fosas a diferentes alturas como se observa en la Ilustración 10-4, para de esta manera se pueda determinar la altura correcta a la que están las primeras raíces de la planta donde se puede recolectar un valor más específico.

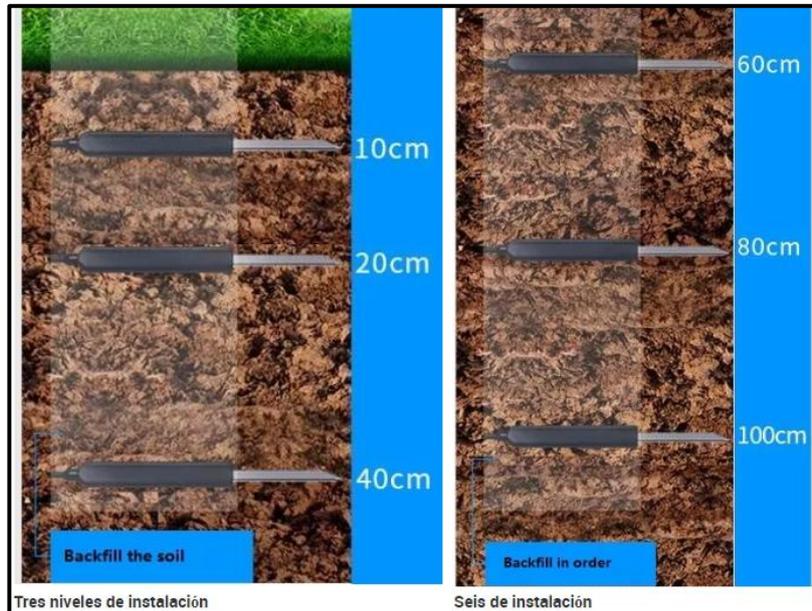


Ilustración 10-4: Niveles de instalación del sensor NPK.

Fuente: Alibaba,2022

Primero se cavo una fosa a 25cm de la base del suelo como se observa en la Ilustración 11-4, y para la visualización de los datos se usó directamente la aplicación Toolbox del controlador Lora.



Ilustración 11-4: Ubicación del sensor NPK a 25cm.

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

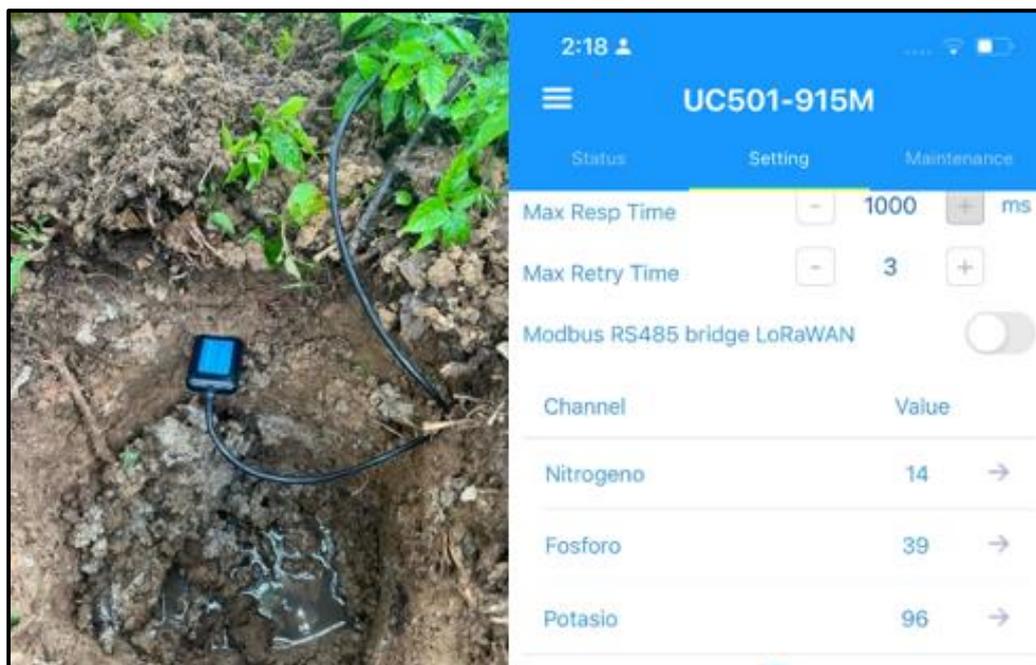


Ilustración 12-4: Ubicación del primer sensor NPK a 15cm y los datos recolectados en el controlador Lora.

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

Finalmente se cavo una fosa a 15cm de la base del suelo donde están las primeras raíces, y los valores censados ya se mantuvieron normales en el Toolbox del controlador Lora.

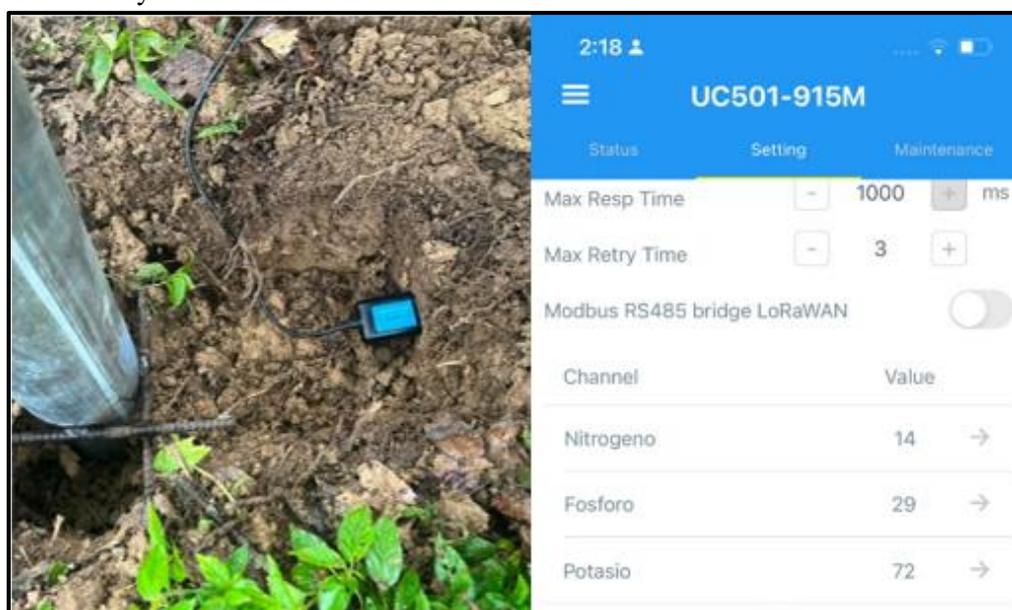


Ilustración 13-4: Ubicación del segundo sensor NPK a 15cm y los datos recolectados en el controlador Lora.

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

Entonces los sensores se ubicaron a 15cm de la base del suelo, ya que a esta profundidad los valores ya se mantienen constantes.

4.3 Análisis de muestras recolectadas en laboratorio

Con las muestras recolectadas en la plantación de cacao se realizó un análisis de laboratorio, del cual se obtuvieron los siguientes resultados:

Determinaciones	Unidades	*Métodos de análisis	Suelo 1	Suelo 2
Nitrógeno Total	mg/Kg	Digestión Micro Kjeldhal: colorimétrico	19.65	19.24
Fosforo Total	mg/Kg	Digestión ácida: colorimétrico	26.76	26.52

Ilustración 14-4: Análisis químico de dos muestras de suelo arcilloso.

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

Para observar el análisis completo, ver el Anexo D.

4.3.1 Cálculo de error y pérdidas

Al comparar los datos obtenidos en la Ilustración 3-4 y la Ilustración 4-4, con el análisis de laboratorio como se observa en la Tabla 14-4, se obtiene un porcentaje de error.

Tabla 1-4: Comparación de datos recolectados por el sensor y el análisis de laboratorio del suelo arcilloso.

	Sensor NPK		Análisis de laboratorio		Error	
	Nitrógeno	Fósforo	Nitrógeno	Fósforo	Nitrógeno	Fósforo
Muestra 1	20	27	19.65	26.76	-1.75%	-0.88%
Muestra 2	19	26	19.24	26.52	1.26%	1.96%

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

Se observa que existe un error mínimo de +/-2% en los valores medidos por el sensor en comparación con los valores que se han analizado en el laboratorio, esto también puede variar de acuerdo con las condiciones ambientales en que se realizaron estos análisis.

4.3.1.1 Prueba de normalidad

Otra de las pruebas realizadas es con la utilización de la estadística inferencial a través de la prueba de normalidad por Kolmogórov-Smirnov y Shapiro-Wilk. (Zenaida Hernández Martín, 2012a: p.73)

Se tomaron 20 muestras leídas por los sensores durante 20 días las mismas que se procedieron a analizar con la prueba mencionada anteriormente y se muestra a continuación. Para poder declarar el valor de significancia hay que tener en cuenta que según el estadístico de Shapiro-Wilk debe ser de 0.01 para el aseguramiento de calidad.

$\alpha = 0.01$

Tabla 2-4: Prueba de normalidad realizada en el software SPSS

Tests of Normality ^a							
VARIABLE	Kolmogorov-Smirnov ^b			Shapiro-Wilk			
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.	
DATO	ND1	.303	5	.149	.818	5	.112
	ND2	.329	5	.081	.765	5	.041
	PD1	.309	5	.133	.801	5	.082
	PD2	.253	8	.139	.844	8	.083

a. There are no valid cases for DATO when VARIABLE = .000. Statistics cannot be computed for this level.

b. Lilliefors Significance Correction

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

Según el estadístico de Shapiro-Wilk la probabilidad de 0.112 del nitrógeno, 0.082 de fósforo del dispositivo 1, 0.041 del nitrógeno, 0.083 de fósforo del dispositivo 2 son mayores al nivel de significancia de 0.01 que determina el aseguramiento de calidad.

4.3.1.2 Prueba T

Una prueba de hipótesis es una afirmación o conjetura que se lanza sobre un parámetro poblacional; su objetivo en un nivel de significancia o error es demostrar por medio de resultados muestrales, si existe suficiente evidencia o no que apoye la hipótesis. (Zenaida Hernández Martín, 2012b: p.83)

ND1

$\mu = 19.65$

$\mu \neq 19.65$

Tabla 3-4: Prueba T ND1

One-Sample Test						
Test Value = 1						
	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
					Lower	Upper
DATO	4.515	4	.011	18.800	7.24	30.36

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

ND2

$\mu = 19.24$

$\mu \neq 19.24$

Tabla 4-4: Prueba T ND2

One-Sample Test						
				Test Value = 0	95% Confidence Interval of the Difference	
	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Lower	Upper
DATO	3.807	4	.019	18.400	4.98	31.82

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

PD1

$\mu = 26.76$

$\mu \neq 26.76$

Tabla 5-4: Prueba T PD1

One-Sample Test						
				Test Value = 0	95% Confidence Interval of the Difference	
	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Lower	Upper
DATO	3.981	4	.016	27.600	8.35	46.85

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

PD2

$\mu = 26.52$

$\mu \neq 26.52$

Tabla 6-4: Prueba T PD2

One-Sample Test						
				Test Value = 0	95% Confidence Interval of the Difference	
	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Lower	Upper
DATO	3.855	4	.018	28.400	7.95	48.85

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

4.4 Pruebas en la nube

Para la visualización de los datos en la nube se realizaron Dashboard en los siguientes softwares.

4.9.1. Cloud

En Milesight IoT Cloud una vez que se han agregado los dispositivos se puede observar en la Ilustración 15-4, el estado de cada dispositivo junto al estado de interfaz, es decir el valor en gramos de cada nutriente que detectan los sensores, en este caso se está mostrando una alarma que esta activada de acuerdo con las configuraciones mostradas anteriormente. Por ejemplo, la flecha hacia abajo alado del valor del nitrógeno indica un déficit en el mismo al igual que el potasio, y la flecha hacia arriba alado del valor del fósforo indica un exceso.

Status	Name	Interface Status	Update Time
<input type="checkbox"/>	D2 6454C10797360003	14gr NITRÓGENO ↓ 29gr FÓSFORO ↑ 72gr POTASIO ↓	15 minutes ago
<input type="checkbox"/>	D1 6454C10812050005	29gr NITRÓGENO ↓ 40gr FÓSFORO ↑ 100gr POTASIO ↓	31 minutes ago

Ilustración 15-4: Visualización de datos de los nutrientes en los dispositivos Lora.

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

Status	Name	Associated Devices (Joined /Not Joined /Failed)	Last Updated
<input checked="" type="checkbox"/>	Gateway 6221C2002112	2 / 0 / 0 Detail	38 minutes ago

Ilustración 16-4: Estado del Gateway en Milesight IoT Cloud.

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

En la Ilustración 17-4, se observa el Dashboard de “Home” creado en Milesight IoT Cloud, con los dispositivos lora, una gráfica circular de alarmas, la hora y una lista de las alarmas que se han generado.

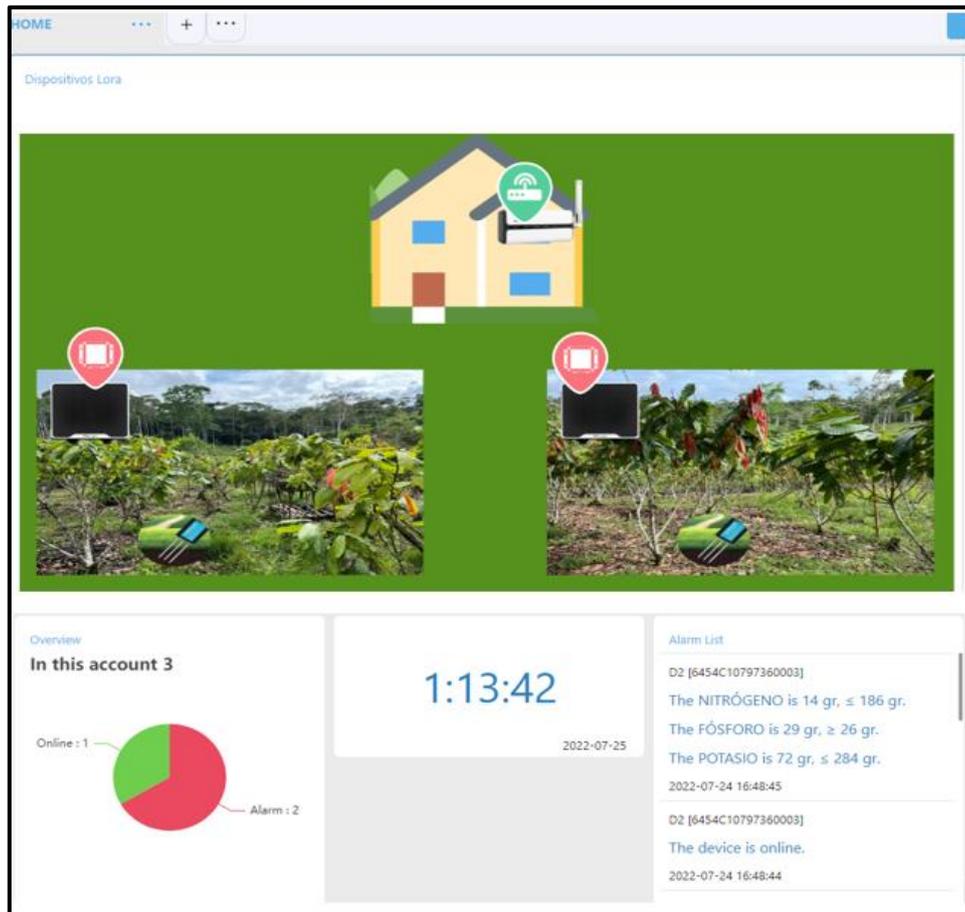


Ilustración 17-4: Dashboard “Home” de los dispositivos en Milesight IoT Cloud.

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

Al presionar en cada icono se observa las especificaciones de este, en este caso al presionar sobre los controladores Lora se tiene los valores de los nutrientes en el suelo.

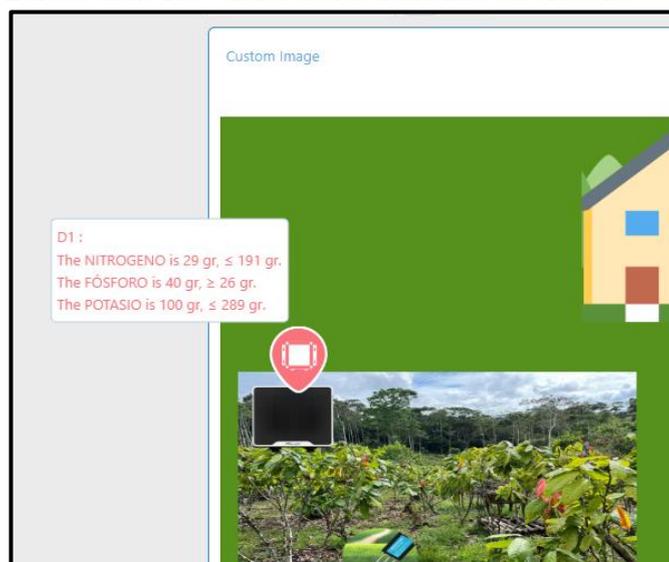


Ilustración 18-4: Visualización de los datos en el dispositivo 1 en el Dashboard Milesight IoT Cloud.

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

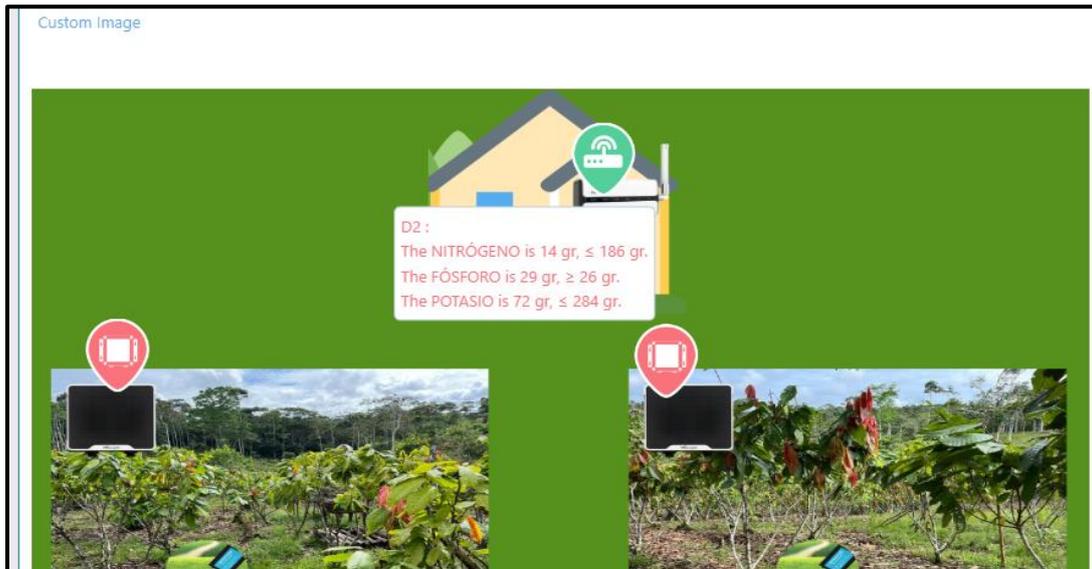


Ilustración 19-4: Visualización de los datos en el dispositivo 2 en el Dashboard Milesight IoT Cloud.

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

En el segundo Dashboard de “Dispositivos”, se ha colocado la hora, el estado de carga de la batería, el valor de cada nutriente en el suelo y una gráfica de cada nutriente que registra los valores leídos en 24 horas, esto para los dos controladores Lora.

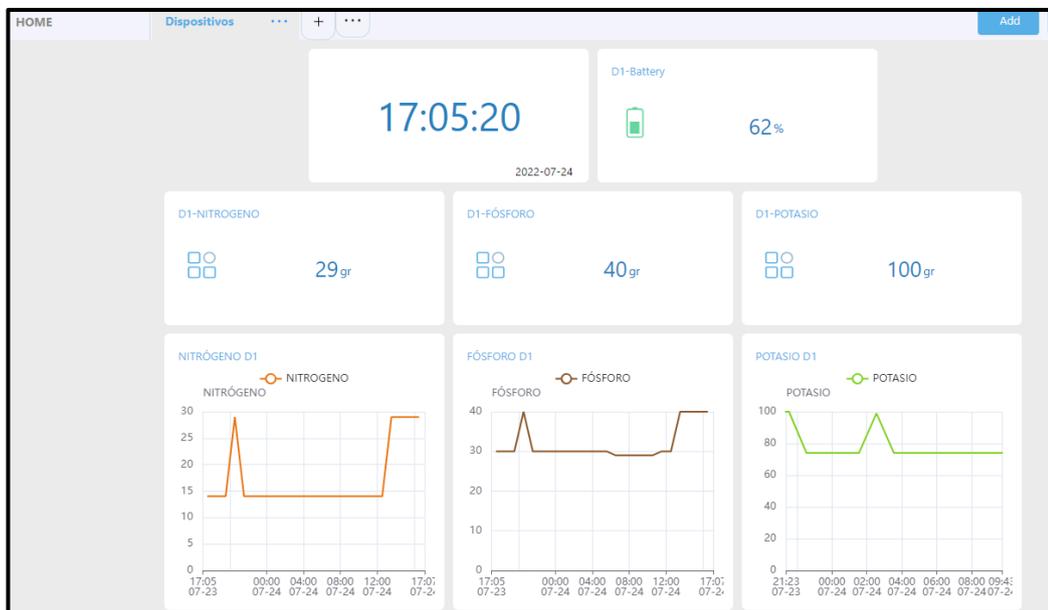


Ilustración 20-4: Dashboard con los datos registrados en el Controlador Lora 1.

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

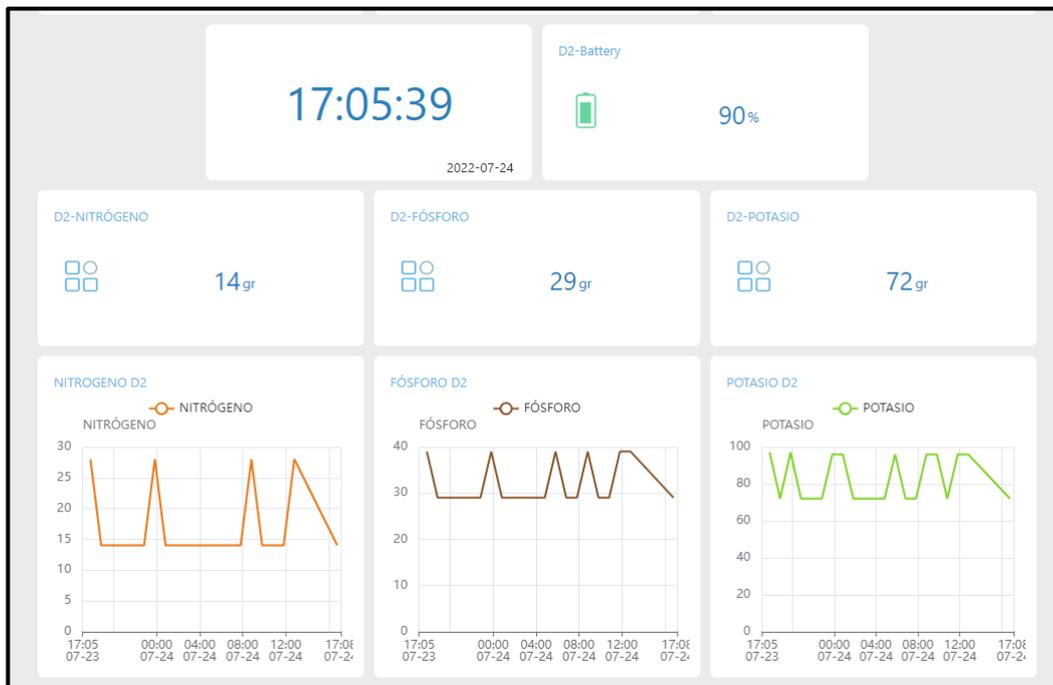


Ilustración 21-4: Dashboard con los datos registrados en el Controlador Lora 2.

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

En el centro de eventos, se puede observar el informe de alarmas, como son él envió de datos de acuerdo con las configuraciones establecidas, al igual que el estado de los dispositivos que puede ser online u offline. En este segmento los usuarios pueden verificar y exportar informes de alarma, registro de activación y registros de diferentes períodos. Con estos informes se realiza un seguimiento del estado de los dispositivos que están conectados.(Xiamen Milesight IoT, 2020d: p. 9)

Status	Time	Name	Readings
Unread	2022-07-24 17:32:49	DEFICIENCIA DE NITRÓGENO D1	Condition A: D1 (6454C10812050005)'s NITROGENO is 29 gr, ≤ 186 gr. Time Range: 00:00 - 23:59 (UTC-5), every day.
Unread	2022-07-24 16:48:45	D2 6454C10797360003	The NITRÓGENO is 14 gr, ≤ 186 gr. The FÓSFORO is 29 gr, ≥ 26 gr. The POTASIO is 72 gr, ≤ 284 gr.
Unread	2022-07-24 16:48:44	D2 6454C10797360003	The device is online.
Read	2022-07-24 16:32:50	DEFICIENCIA DE NITRÓGENO D1	Condition A: D1 (6454C10812050005)'s NITROGENO is 29 gr, ≤ 186 gr. Time Range: 00:00 - 23:59 (UTC-5), every day.

Ilustración 22-4: Informe de alarmas en Milesight IoT Cloud.

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

Una de las ventajas que posee Iot Cloud es que aparte de exponer una alarma directa a la aplicación, emite un correo electrónico con el cual esta anexada la cuenta como se muestra en la ilustración 23-4 y la Ilustración 24-4.



Ilustración 23-4: Informe de alarmas del primer controlador lora, al gmail por medio de Milesight IoT Cloud.

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

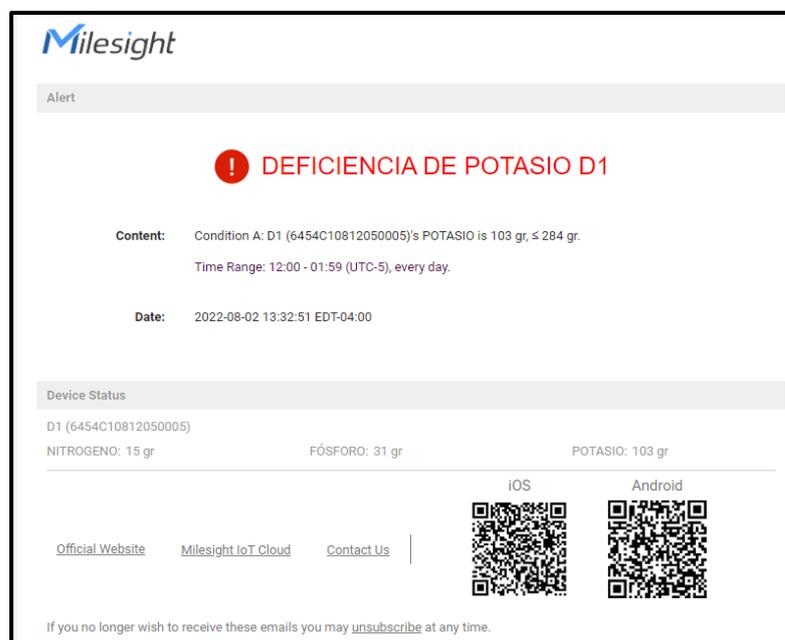


Ilustración 24-4: Informe de alarmas del segundo controlador lora, al gmail por medio de Milesight IoT Cloud.

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

4.4.1 Node-RED

En el Dashboard de Node-RED, se visualiza el valor en gramos de cada uno de los nutrientes en los dispositivos lora presentes en el suelo del cultivo de cacao, al igual que la cantidad recomendada de fertilizante para cada planta y para las 110 plantas que se encuentran en el terreno en una extensión de 1000m² . Además, se muestra una recomendación cuando los valores medidos sobrepasen la cantidad recomendada, y un aviso para cuando exista un déficit, un estándar o un exceso de cada uno de los nutrientes.

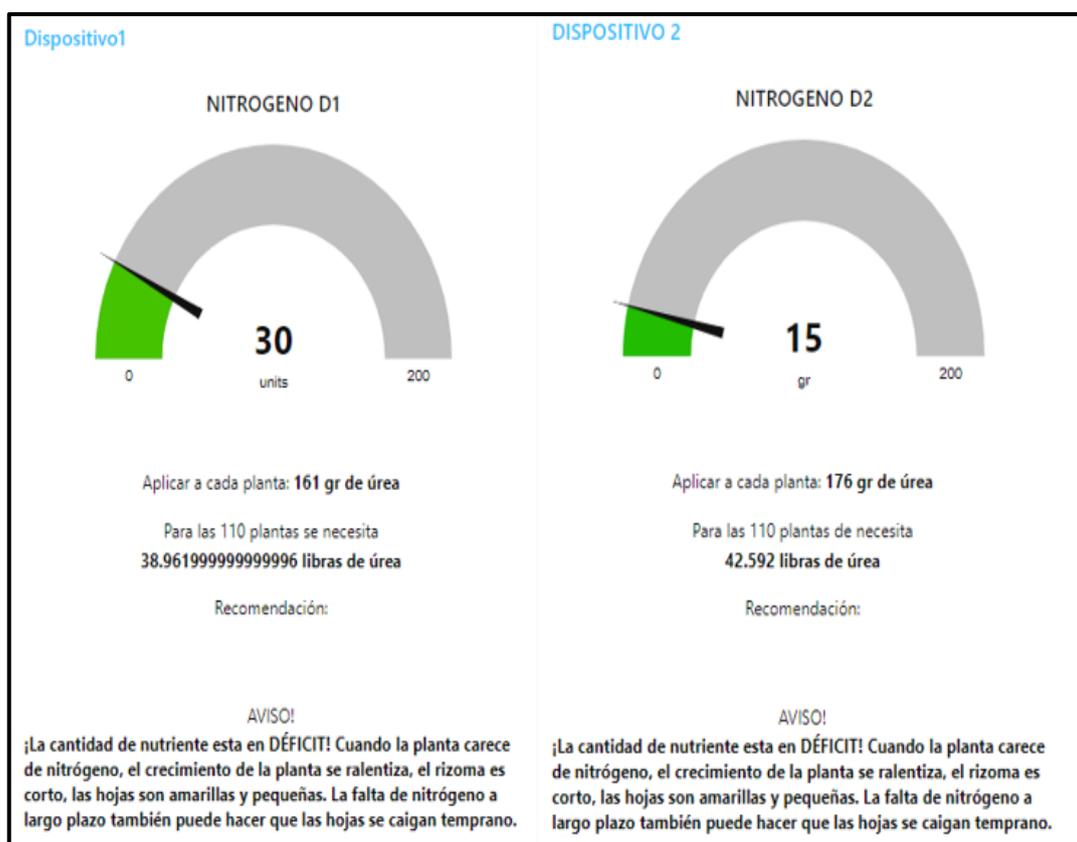


Ilustración 25-4: Valor del nitrógeno del Dispositivo 1 y Dispositivo 2, en el Dashboard de Node-red.

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

Valor del nitrógeno del Dispositivo 1 y Dispositivo 2, en el Dashboard de Node-red.

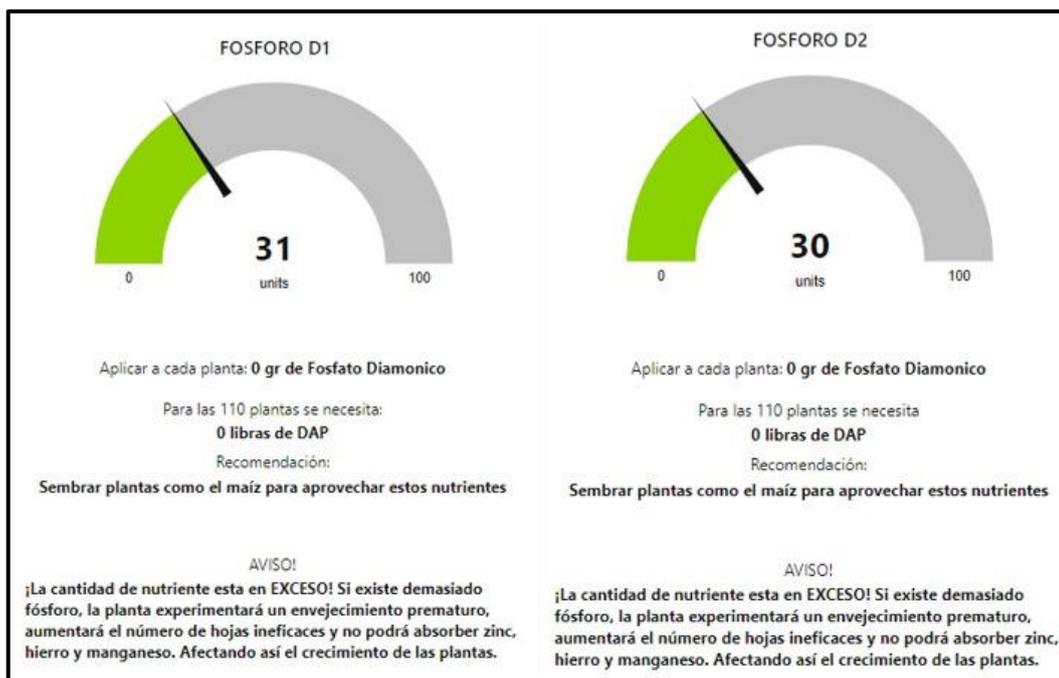


Ilustración 26-4: Valor del fosforo del Dispositivo 1 y Dispositivo 2, en el Dashboard de Node-red.

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

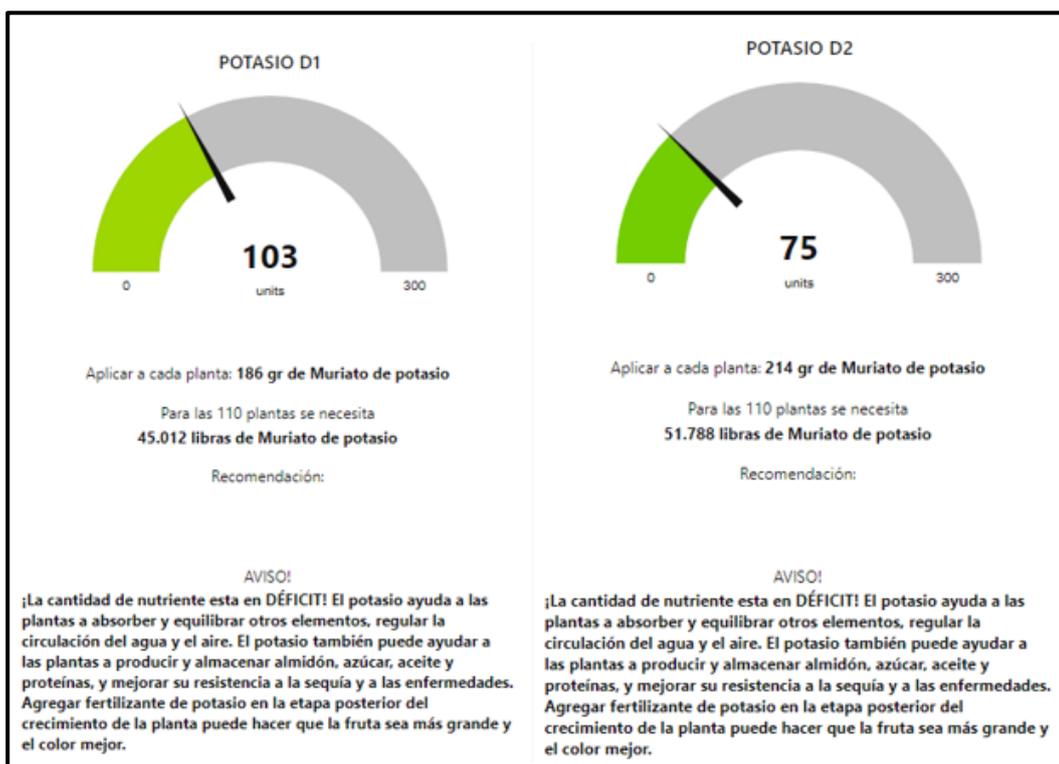


Ilustración 27-4: Valor del potasio del Dispositivo 1 y Dispositivo 2, en el Dashboard de Node-red.

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.



Ilustración 28-4: Determinación de la fertilidad del suelo en el Dispositivo 1 y 2, en el Dashboard de Node-red.

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

Al correo se envían los datos de los controladores, con los valores de los nutrientes y las recomendaciones, como se observa en la Ilustración 29-4 para el primer controlador Lora y la Ilustración 30-4 para el segundo controlador Lora.

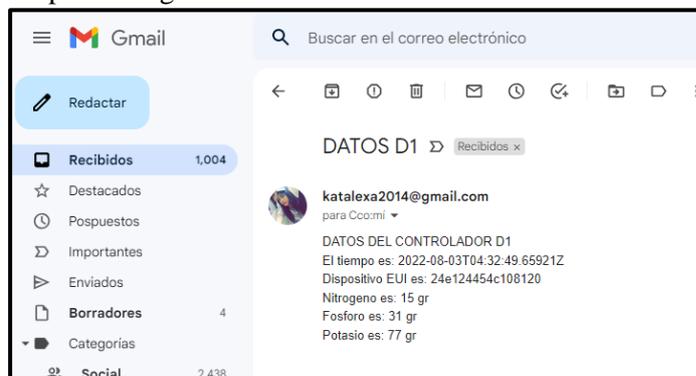


Ilustración 29-4: Envío de datos del primer controlador lora, al gmail a través de node red.

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

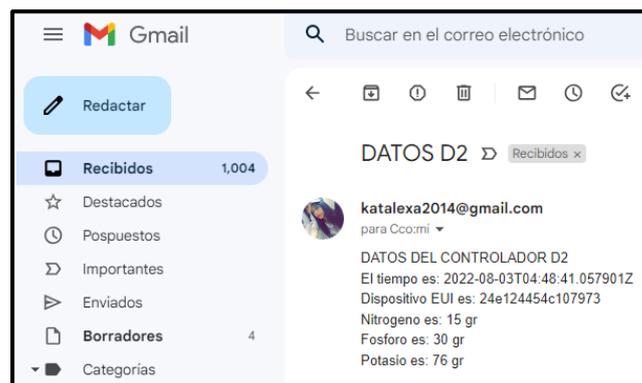


Ilustración 30-4: Envío de datos al gmail del segundo controlador lora, a través de node red.

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

4.5 Pruebas de Machine Learning

En el diseño del algoritmo se han obtenido los siguientes resultados:

4.5.1 Matlab

En esta sección se muestra los resultados de la programación realizada en el software de Matlab utilizando dos de sus herramientas conocidas.

4.5.1.1 Toolbox

Se obtiene una pantalla de resultados dependiendo del valor que le demos a la entrada de cada una de nuestras variables como se puede observar en la Ilustración 50-3 y 51-3.

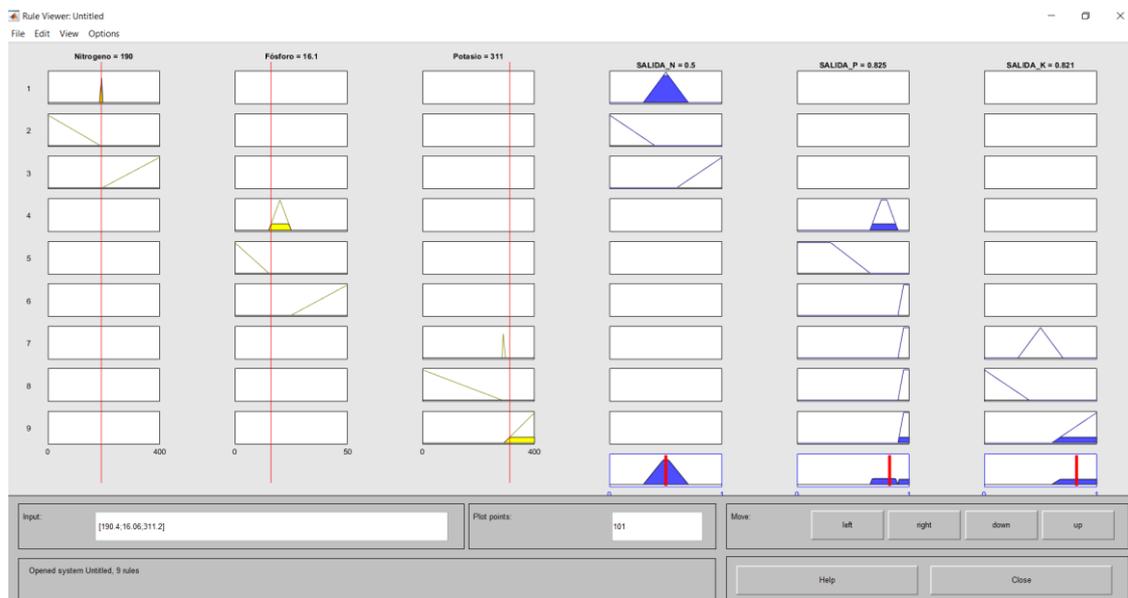


Ilustración 31-4: Pantalla de resultados (Rules 1)

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.



Ilustración 32-4: Pantalla de resultados (Rules 2)

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

4.5.1.2 Ventana de comandos

Con el algoritmo diseñado en Matlab se observa en la Ilustración 33-4, las entradas de nitrógeno, fósforo y potasio, con sus respectivas salidas.

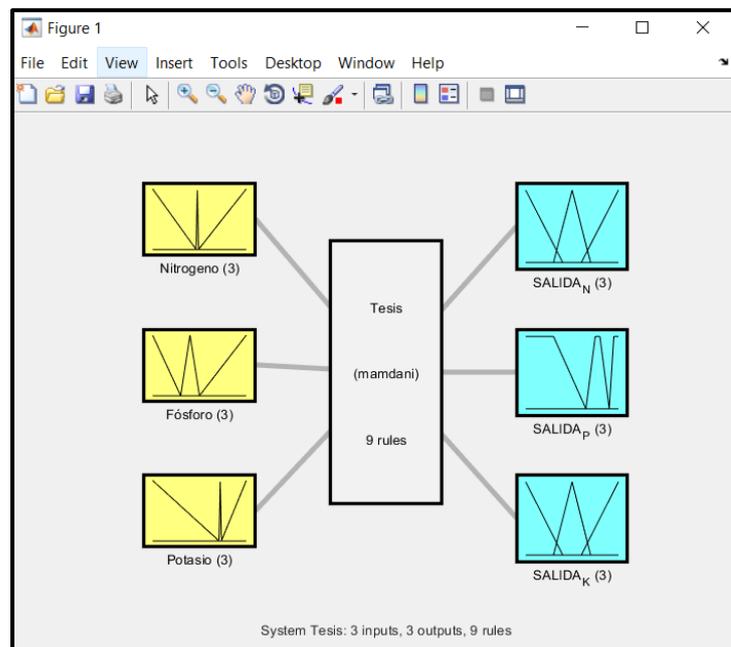


Ilustración 33-4: Entradas y salidas en un sistema Fuzzy.

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

Luego, en la Ilustración 34-4 se observa las funciones de entrada y de salida del nitrógeno, donde al ingresar valores de entrada que simulan los valores sensados, este nos da como respuesta los valores en los que estaría dentro de la gráfica de salida, ya sea en déficit, estándar o exceso.

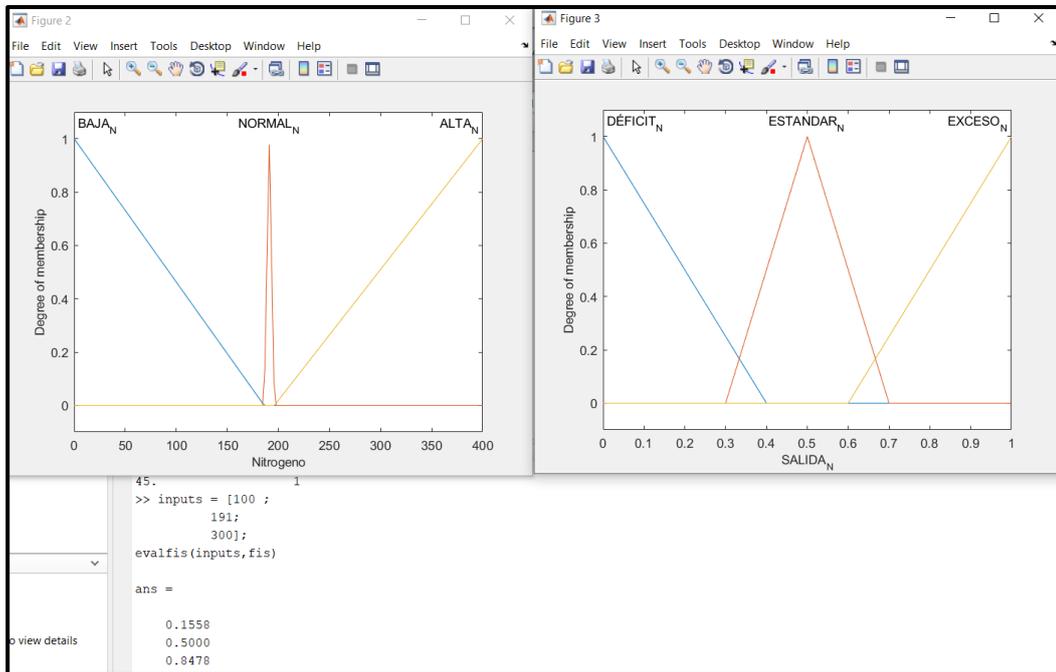


Ilustración 34-4: Gráficas de entrada y salida del algoritmo en Matlab

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

4.5.2 Node red

En la Ilustración 35-4 se observa las recomendaciones generadas por Node Red dependiendo de los valores sensados.

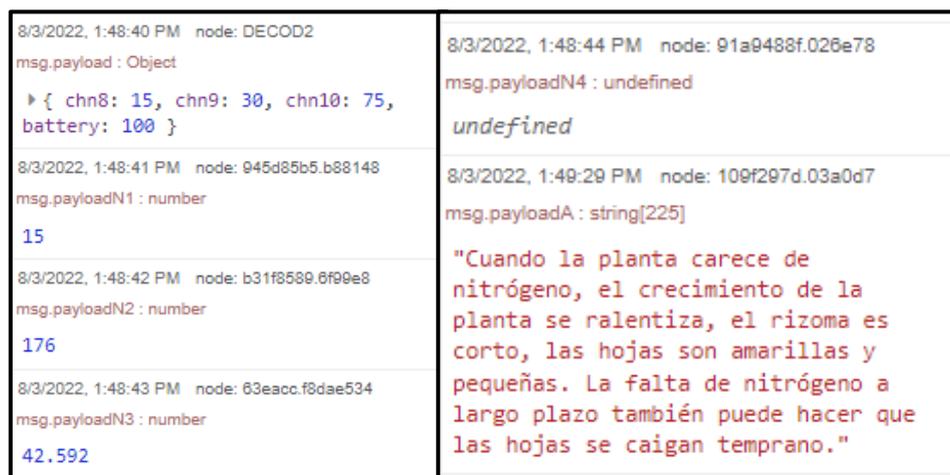


Ilustración 35-4: Recomendaciones de node-red generados por los valores sensados

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

4.6 Validación del sistema de recolección de datos

4.6.1 Validación de nutrientes

Para evaluar los resultados de las recomendaciones del sistema de monitoreo de nutrientes en el suelo se comparó los datos recolectados y enviados a la nube en IoT Cloud con los datos emitidos en el Dashboard de Node Red e ingresando los datos de manera manual en los algoritmos implementados en el Toolbox y la ventana de comandos de Matlab.

En primera instancia la herramienta “Fuzzy Logic” permite modificar los valores de las entradas para obtener diferentes rangos en su única salida, es por esto por lo que primeramente se analiza los valores recolectados en la nube para posteriormente ingresar este valor en el algoritmo de Matlab y comprobar la validez de las recomendaciones que se reflejan en el dashboard de Node Red.

En las Ilustraciones 36-4 y 37-4 se observa que las recomendaciones mostradas en el dashboard de Node Red concuerdan con los análisis realizados en el Toolbox de Matlab.



Ilustración 36-4: Lectura del sensor y recomendaciones en el dashboard de Node Red

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

En la Ilustración 36-4 se observa que el valor del nitrógeno tiene un déficit, así también el valor del fósforo tiene un exceso y el valor de potasio tiene un déficit mismo que se observan en el Anexo E.

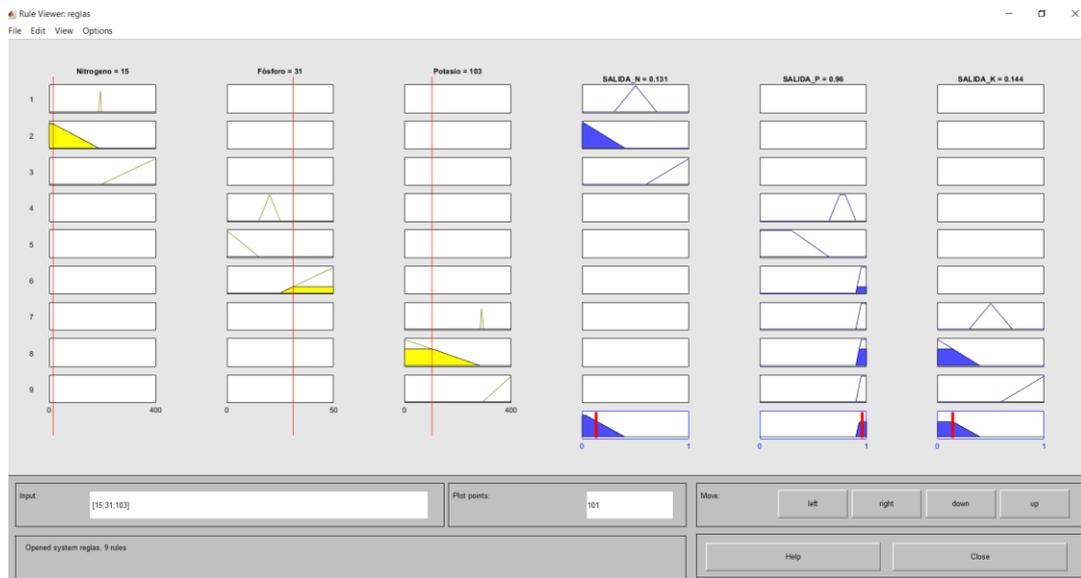


Ilustración 37-4: Respuestas en Toolbox Matlab Reglas 1

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

De la misma manera trabaja el algoritmo implementado en la ventana de comando de Matlab, ya que nos ayuda a corroborar que los resultados obtenidos en el Toolbox de Matlab son correctos, como se puede visualizar en las Ilustraciones 37-4 y 38-4.

```

Command Window

ruleList = [1 1 1 1;
            2 2 1 1;
            3 3 1 1];
fis = addrule(fis,ruleList);
>> inputs = [15] ;
>> evalfis(inputs,fis)

ans =

    0.1310
    
```

Ilustración 38-4: Respuesta por medio de la ventana de comando de Matlab.

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

Una vez que los datos han sido procesados por medio del algoritmo de Machine Learning se sabe que existen tres valores de salida de cada una de las entradas este resultado depende de los datos que el sensor emite, ya que cada uno cuenta con un rango específico. Podemos observar en la Ilustración 38-4 que los datos emitidos en el command windows indican un punto en la gráfica de

salida generada por el algoritmo, el cuál puede pertenecer al rango de una de las tres funciones definiendo de esta manera si el valor está en déficit, estándar o exceso.

Una forma de verificar que los datos leídos por el sensor mediante el software ModbusPoll son los correctos es por medio de un análisis químico de laboratorio, donde se hizo una comparación de los resultados, obteniendo un porcentaje de error mínimo.

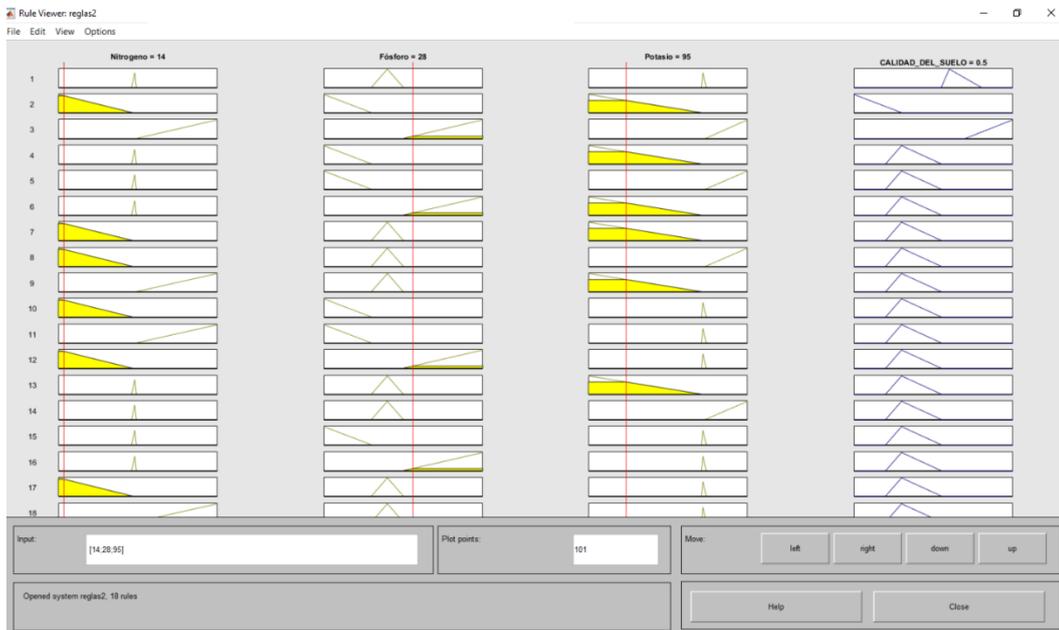


Ilustración 39-4: Dashboard de la fertilidad del suelo en Node Red

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

4.6.2 Validación de la fertilidad del suelo

En base a los datos obtenidos en los dashboard se realizó una comparación entre el nivel de fertilidad del suelo mostrado en Node red y la programación de un control difuso en Matlab.



Ilustración 40-4: Respuestas en Toolbox Matlab Reglas 2

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

4.7 Elementos utilizados

Los elementos que se han utilizado en este proyecto se detallan a continuación:

Tabla 7-4: Elementos utilizados en la Smart grid de un cultivo de cacao.

CÓDIGO	DETALLE
FCC ID: 2ACCJB120	Router Inalámbrico Claro
SERIAL: 6221C2002112	Gateway Milesight
SERIAL: 6454C10812050005	Controlador Lora 1 - Milesight
SERIAL: 6454C10497360003	Controlador Lora 2 - Milesight
RS-NPK-N01-TR	Sensor NPK 1
RS-NPK-N01-TR	Sensor NPK 2

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

4.8 Análisis de costos

El análisis de costos se observa en la Tabla 3-4.

Tabla 8-4: Elementos utilizados en la Smart grid de un cultivo de cacao.

CANTIDAD	ELEMENTOS	Valor Unitario	Valor Final
2	Sensor NPK	\$ 60	\$ 120
2	Adaptador- convertidor de energía 12V	\$ 6	\$6
2	Controlador Lora	\$ 150	\$ 300
1	Gateway UG65	\$ 200	\$ 200
1	Router Claro	\$149	\$149
2	Convertidor USB a RS-485	\$ 4	\$ 8
1	Estructura	\$ 80	\$ 80
2	Viajes	\$ 200	\$ 400
		Total	\$ 1263

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

CONCLUSIONES

- El Sistema de Monitoreo resulta del diseño de un Smart grid para el control de los nutrientes en el suelo de cultivos de cacao en tiempo real. Este sistema cuenta con sensores NPK que miden la concentración de Nitrógeno, Fósforo y Potasio. Los sensores se conectan a controladores Lora mediante una conexión RS-485 y a su vez por medio de una tecnología Lora existe comunicación con el Lora Gateway UG-65 que permite el acceso al Internet.
- Se implementó un control Machine Learning por medio de lógica difusa que permite generar recomendaciones que hacen referencia a los fertilizantes que se utilizan para corregir los niveles de nutrientes que posee el suelo agrícola.
- La comunicación entre el controlador Lora y el Lora Gateway UG-65 muestran una respuesta rápida, eficaz y correcta al momento de enviar un dato del sensor NPK ubicado en la plantación de cacao.
- Para que el sistema sea una red inteligente autónoma se hizo uso de la tecnología Lora WAN, la misma que permite la conexión de dispositivos hacia la red haciendo uso del IoT para poder visualizar los datos en un Dashboard por medio de un enlace web en Milesight IoT Cloud y recibir correos electrónicos.
- Se determinó que el sistema de monitoreo está trabajando de manera adecuada realizando diversas pruebas, empezando con el correcto uso del sensor, se corroboró que los valores mostrados directamente en la computadora por medio del software Modbus Poll, el dashboard de node red y la simulación del algoritmo de Matlab, tienen una media similar de los valores obtenidos en el análisis de laboratorio con un error menor al 2%.
- Se realizó una prueba estadística de normalidad en la que se determinó que en el dispositivo 1 la probabilidad de nitrógeno es de 0.149 y del fósforo es de 0.133, mientras que en el dispositivo 2 la probabilidad del nitrógeno es de 0.081 y del fósforo es de 0.139 valores que están sobre el nivel de significancia que es de 0.01 para el aseguramiento de calidad, con lo cual se concluye que los datos siguen una distribución normal.
- Se realizó una prueba estadística T student la cual dio como resultado en el dispositivo 1 para el nitrógeno una probabilidad de 0.011 y para el fósforo 0.016, de la misma manera en el dispositivo 2 se tiene que el nitrógeno posee una probabilidad de 0.019 y el fósforo de 0.018, valores que son mayores al nivel de significancia de 0.01, concluyendo que no se rechaza la hipótesis nula para cada uno de los nutrientes.
- Con los datos y recomendaciones visualizadas tanto el IoT cloud y Node-red se determina que en el suelo de la parcela experimental donde se encuentra el dispositivo 1 se registra un déficit de Nitrógeno con un valor de 30 por lo que necesita fertilización de urea, un déficit de potasio con un valor de 103 por lo que se necesita una fertilización de Muriato de Potasio y un exceso

de Fósforo con valor de 31 por lo que se debe considerar sembrar una planta que aproveche este nutriente, de la misma manera en el dispositivo 2 se registra un déficit de Nitrógeno con un valor de 15 por lo que necesita fertilización de urea, un déficit de potasio con un valor de 75 por lo que se necesita una fertilización de Muriato de Potasio y un exceso de Fósforo con valor de 30 por lo que se debe considerar sembrar una planta que aproveche este nutriente.

RECOMENDACIONES

- Para la conexión RS-485 entre el sensor NPK y el controlador Lora es recomendable tener a la mano las tablas de especificación para caracterizar los hilos de los dispositivos para así evitar problemas en la lectura de información.
- Se recomienda realizar pruebas de comunicación del sensor NPK mediante el software ModbusPoll, de esta manera se observa que existe una correcta recolección de los datos de manera directa en una computadora.
- Para tener un acceso remoto a la configuración del Gateway se recomienda activar la cuenta en Device-Hub, lo cual se debe realizar por medio de un correo electrónico hacia la compañía de Milesight.
- Para la conexión de dispositivos a Node Red es recomendable conocer si estos tienen una conexión directa con Milesight o si se necesita de un bloque de función con un algoritmo que nos permita la decodificación de los datos.
- Es recomendable conocer las variables lingüísticas a emplear cuando se va a trabajar con lógica difusa, debido a que de esta información depende que la salida sea la correcta.

BIBLIOGRAFÍA

ABBASI, M., KHORASANIAN, S. y YAGHMAEE, M.H. “Low-Power Wide Area Network (LPWAN) for Smart grid: An in-depth study on LoRaWAN”. *IEEE 5th Conference on Knowledge Based Engineering and Innovation, KBEI 2019*, (2019), pp. 22-29. DOI 10.1109/KBEI.2019.8735089.

AGCO. *Data Collection*. [blog]. 2005. [Consulta:23 Julio 2022]. Disponible en: <http://www.fieldstar.com/agco/FieldStar/FieldStarUK/System/>.

ANECACAO. “Sector Exportador De Cacao”. *Anecacao*, (2019), pp.2-8.

BASTIDA, A. “Evolución y Situación Actual de la Agricultura Protegida en México”. *Memorias, sexto congreso internacional de investigación de ciencias básicas y agronómicas*, (2017), pp. 281-294.

BRAVO VELÁSQUEZ, E. *La biodiversidad en el Ecuador*. Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca Ecuador: Universitaria Abya-Yala, 2014. ISBN 9789978101681, pp. 1-147.

CAPOTE, L. “Instrumentos de medición y verificación”. *Revista digital para profesionales de la enseñanza*, vol. 1, no. 12 (2011), pp. 1-19.

CARDENAS, J. FERTILIZANTES Y MÉTODOS DE APLICACIÓN EDÁFICA EN EL CULTIVO DE CACAO (*Theobroma cacao*) (Trabajo de Titulación). Universidad Agraria del Ecuador. Facultad de Ciencias Agrarias, Ingeniería Agronómica. La Troncal Provincia Del Cañar-Ecuador. 2020. pp. 1-65.

CARDONA-ZAPATA, M.E., PABÓN-RÚA, D. y LÓPEZ-RÍOS, S.Y. “Concepciones sobre los sistemas de adquisición de datos en el trabajo de laboratorio en Física”. *Revista Científica*, vol. 40, no. 1 (2021), pp. 74-88. ISSN 0124-2253. DOI 10.14483/23448350.16295.

CEPAL. “Diagnóstico de la Cadena Productiva del Cacao en el Ecuador”. *Resumen elaborado por la Secretaría Técnica del Comité Interinstitucional para el cambio de la matriz productiva - Vicepresidencia del Ecuador*, (2015), (Ecuador) pp. 1-10.

CHANG, Y.C., HUANG, T.W. y HUANG, N.F. “A Machine Learning Based Smart Irrigation System with LoRa P2P Networks”. *2019 20th Asia-Pacific Network Operations and Management Symposium: Management in a Cyber-Physical World APNOMS 2019*, (2019), pp. 1-4. DOI 10.23919/APNOMS.2019.8893034.

DILAS JIMÉNEZ JOSUÉ OTONIEL. “Producción y exportación del cacao ecuatoriano y el potencial del cacao fino de aroma cocoa”. *Qantu Yachay* [en línea], 2022, vol. 2, pp. 8-15.

[Consulta: 26 abril 2022]. DOI: 10.54942/qantuyachay.v2i1.17. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/360208143>.

EIC GROUP. *Sensores de nitrógeno/fósforo/potasio del suelo (salida RS485)*. [eiccontrols]. 2021. [Consulta: 24 junio 2022]. Disponible en: <https://eiccontrols.com/es/inicio/480-sensores-de-nitrogeno-fosforo-y-potasio-del-suelo-salida-4-20ma.html>.

ELIAS, N., YAHYA, N.M. y SING, E.H. “Numerical analysis of fuzzy logic temperature and humidity control system in pharmaceutical warehouse using MATLAB fuzzy toolbox”. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*, vol. 0, no. 9789811087875 (2018), pp. 623-629. ISSN 21954364. DOI 10.1007/978-981-10-8788-2_56.

FERNÁNDEZ, C.C. *MANUAL BÁSICO DE MATLAB*, 2009, pp. 1-62.

FERTISA. “Cacao completo para el cultivo de cacao”. *Portafolio cacao*, (2020), pp. 1-12.

FLORIDA - FRIENDLY, “Mejores prácticas de manejo”. *Fertilizantes*, (2016), (Estados Unidos de América) pp. 1-33.

GARZÓN, B. y RINCÓN, M. Diseño e implementación de un prototipo de estación meteorológica para la medición de variables ambientales. (Trabajo de Titulación). Universidad Distrital Francisco José De Caldas, Facultad de Ingeniería, Ingeniería Eléctrica. Bogotá, Colombia. 2017. pp. 1-80.

GAVADE, L.C. y BHOI, A. “N , P , K Detection & Control for Agriculture Applications using PIC Controller”. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, vol. 6, no. 04 (2017), pp. 638-641.

GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO DE LA PROVINCIA DE ORELLANA. *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial de la provincia de orellana 2015-2019*. Ecuador: Angewandte Chemie International Edition, 2019, pp. 10-330.

GUERRERO, A.L. y SUPERVISADO. “Producción y Comercialización de Cacao Fino de Aroma en el Ecuador - Año 2012-2014”. *Intendencia Zonal 7*, no. 8 (2017), (Ecuador) pp. 1-33.

GUERRERO, R. “Manual técnico. Propiedades Generales de los Fertilizantes”. *Journal of Chemical Information and Modeling*, vol. 53, (2013), (Colombia) pp. 1689-1699. ISSN 1098-6596.

HERNÁNDEZ, S. y LÓPEZ, J. Estudio en detalle de LoRaWAN Comparación con otras tecnologías LPWAN considerando diferentes patrones de tráfico [en línea] (Trabajo de Titulación). (Maestría) Universidad Oberta de Catalunya, Facultad de Ingeniería, Ingeniería en Telecomunicaciones. España. 2020. pp. 1-89. [Consulta: 12 mayo 2022]. Disponible en: <http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/bitstream/10609/106369/7/shernandezc6TFM0120memo>

[ria.pdf](#).

HERRERO, I.Q., LÓPEZ, Y.R., HERNÁNDEZ, P. y FREIRE, E. “La aplicación de la Agricultura de Precisión: su impacto social”. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias* [en línea], 2006, vol. 15, (no. 3), pp. 42-44. [Consulta: 20 abril 2022]. ISSN 1010-2760. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93215309>.

JXCT. *Soil NPK Sensor User Manual*. [en línea]. 2020, pp. 1-13. [Consulta: 8 mayo 2022]. Disponible en: www.jxct-iot.com.

LEON VILLAMAR, F., CALDERON SALAZAR, J. y MAYORGA QUINTEROS, E. “Estrategias para el cultivo, comercialización y exportación del cacao fino de aroma en Ecuador / Strategies for cultivation, marketing and export of aroma fine cocoa in Ecuador”. *Ciencia Unemi*, vol. 9, no. 18 (2016), (Ecuador) pp. 45-55. ISSN 1390-4272. DOI 10.29076/issn.2528-7737vol9iss18.2016pp45-55p.

MANTOVANI, E., MARÇAL DE QUEIROZ, D. y PINTO, F. de A. de C. *Agricultura de Precisión: Integrando Conocimientos para una Agricultura Moderna y Sustentable*. Uruguay: PROCISUR/IICA, 2006. ISBN 92-9039-741-1, pp.10-246.

MENA, P. *La biodiversidad Ecuador*. Ecuador, 2018, pp. 1-16.

MILESIGHT. *LoRaWAN Controller UC50x Series User Guide*. [en línea]. vol. 2.0. 2021. pp. 1-25. [Consulta: 18 junio 2022]. Disponible en: <https://www.milesight-iot.com>.

MILESIGHT. *Semi-industrial LoRaWAN ® Gateway UG65 User Guide*. 2022. ISBN 8659250230, pp.1-121.

MILESIGHT IOT. *LoRaWAN ® Controller UC50x Series - Datasheet*. [en línea], vol. 2.0. 2021. pp. 1-3. [Consulta: 29 mayo 2022]. Disponible en: <https://www.milesight-iot.com>.

MINISTERIO DEL AMBIENTE. “La iniciativa ITT-Yasuní”. *Ecologistas en Acción*, 2011, pp. 1-16.

MONTOYA, E.A.Q., COLORADO, S.F.J., MUÑOZ, W.Y.C. y GOLONDRINO, G.E.C. “Propuesta de una Arquitectura para Agricultura de Precisión Soportada en IoT”. *RISTI - Revista Iberica de Sistemas e Tecnologias de Informacao*, no. 24 (2017), pp. 39-56. ISSN 16469895. DOI 10.17013/risti.24.39-56.

MUÑOZ, C. *CÓMO ELABORAR Y ASESORAR UNA INVESTIGACIÓN DE TESIS* [en línea]. Segunda Edición. México: PEARSON EDUCACIÓN, 2011. [Consulta: 3 Junio 2022]. ISBN 9786073204569. Disponible en: <http://www.pearsoneducacion.net/>.

OpenJS, Fundación. *Node-RED*. [blog]. 2022. [Consulta: 23 julio 2022]. Disponible en: <https://nodered.org>.

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN. *Los fertilizantes y su uso*. Roma: FAO, 2002. ISBN 9253044144, pp. 3-87.

PÁEZ, L. y ESPINOZA, F. “Ecuador Tierra del cacao”. *Ecuador Tierra del Cacao*, (2015). pp. 1-9. ISBN: 978-9978-369-575.

PAULA NIKOLE VELASTEGUI. Investigación del cacao de Santo Domingo de los Tsáchilas para sus múltiples usos en la gastronomía (Trabajo de Titulación). Universidad San Francisco de Quito, Licenciado en Arte Culinario. Quito-Ecuador. 2019. pp. 1-81.

REINOSO, M. y ZABALA, V. Análisis costo-beneficio de la aplicación de la agricultura de precisión caso cacao [en línea] (Trabajo de Titulación). PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR, Facultad de Economía, Economista. Quito-Ecuador. 2012. pp. 1-83. [Consulta: 6 abril 2022]. Disponible en: <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/6814/7.36.001211.pdf?sequence=4&isAllowed=y>.

REKA, S.S. y DRAGICEVIC, T. “Future effectual role of energy delivery: A comprehensive review of Internet of Things and smart grid”. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 91, (2018), (India) pp. 90-108. ISSN 18790690. DOI 10.1016/j.rser.2018.03.089.

ROBLEDO-ARRATIA, L. “La historia de la agricultura y los cultivos transgénicos”. *Cienciorama*, (2015), (México) pp.1-11.

SAMPIERI, R.H., COLLADO, C.F. y LUCIO, P.B. *METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN*. Cuarta Edición. México: McGraw-Hill Interamericana, 2006. ISBN 9701057538, pp. 1-839.

SARKER, V.K., QUERALTA, J.P., GIA, T.N., TENHUNEN, H. y WESTERLUND, T. “A survey on LoRa for IoT: Integrating edge computing”. *2019 4th International Conference on Fog and Mobile Edge Computing, FMEC 2019*, (2019), (Finlandia) pp. 295-300. DOI 10.1109/FMEC.2019.8795313.

SHANDONG RENKE CONTROL TECHNOLOGY CO., L. *RS-NPK-N01-TR Soil nitrogen, phosphorus, potassium three-in-one fertility sensor user's Guide*, China: 2021. vol. 1, pp. 1-13.

SISTEMA GENERAL DE REGALÍAS. “Agricultura de precisión”. *CEDAIT*, vol. 28, (2021), (Antioquia) pp. 1-5.

WITTE SOFTWARE. *Modbus Poll User manual*. [en línea]. 2014. vol. 6.0, pp. 2-39. [Consulta: 18 marzo 2022]. Disponible en: <http://www.modbustools.com/>.

WUELLINS ET AL. *La Cadena de Valor del Cacao en América Latina y El Caribe*. Quito-Ecuador: INIAP, 2019. ISBN 9789942364654, pp. 3-104.

XIAMEN MILESIGHT IOT. *Milesight IoT Cloud Build Solution with Milesight IoT Cloud*. [en línea]. Fujian-China: Milesight, 2020. pp. 1-12. [Consulta: 20 julio 2022]. Disponible en: <http://www.milesight-iot.com/>.

YAO, X. y LIU, Y. *Machine learning. Search Methodologies: Introductory Tutorials in Optimization and Decision Support Techniques*. Second Edition. Estados Unidos: Springer-US, 2014. ISBN 9781461469407, pp. 477-518.

ZENaida HERNÁNDEZ MARTÍN. *Métodos de análisis de datos*. España: Universidad de La Rioja, Servicio de Publicaciones, 2012. ISBN 9788461575794, pp.7-176.

ANEXOS

ANEXO A: REQUERIMIENTOS

REQUERIMIENTO DE NUTRIENTES EN LA PLANTA DE CACAO

Fertilización del Cacao				
Una hectárea tiene 10 000m ² , aplicando el sistema de plantación de 3*3 se emplean 1,111 plantas.				
Establecimiento.				
Cacao <i>Theobroma cacao</i>				
Nutrientes	Requerimiento establecimiento	Gramos/Anual/planta	Gramos/ 1 mes	Gramos/4 meses
Nitrógeno	135	120	10	40
Fosforo	14	10	0,83	3,32
Potasio	156	140	11,67	46,68
Magnesio	47	40	3,33	13,32
Calcio	113	100	8,33	33,32
El pH optimo estimado es de 5 a 7.				
Nutrición = $\frac{\text{requerimiento del elemento}}{\text{cantidad de plantas}}$				
Nutrición = $\frac{135 N}{1111 \text{ plantas}} = 0,12Kg/planta=120 \text{ gr}$				
Nutrición = $\frac{14 P}{1111 \text{ plantas}} = \frac{0,0126Kg}{planta} = 10 \text{ gr}$				
Nutrición = $\frac{156 K}{1111 \text{ plantas}} = \frac{0,14Kg}{planta} = 140 \text{ gr}$				
Nutrición = $\frac{113 Ca}{1111 \text{ plantas}} = \frac{0,10Kg}{planta} = 100 \text{ gr}$				
Nutrición = $\frac{47 Mg}{1111 \text{ plantas}} = 0,04 \frac{Kg}{planta} = 40 \text{ gr}$				
Inicio de producción				
Cacao <i>Theobroma cacao</i>				
Nutrientes	Requerimiento Inicio de producción	Gramos/Anual	Gramos/ 1 mes	Gramos/4 meses
Nitrógeno	212	191	15,92	63,68
Fosforo	23	20	1,67	0,42
Potasio	321	289	24,08	96,32
Magnesio	71	64	5,3	21,2
Calcio	140	121	10,08	40,32
Bibliografía				
<ul style="list-style-type: none"> Leiva, E. (2013). Aspectos para la nutrición del cacao <i>Theobroma cacao</i> L. <i>Biblioteca Digital. Repositorio Institucional UN</i>, 53(9), 1689–1699. http://bdigital.unal.edu.co/50450/ Barreuzeta-Unda, S. (2019). Propiedades de algunos suelos cultivados con cacao en la provincia El Oro, Ecuador. <i>CienciaUAT</i>, 14(1), 155. https://doi.org/10.29059/cienciauat.v14i1.1210 				

Realizado por: Ing. Chipantiza, 2022.

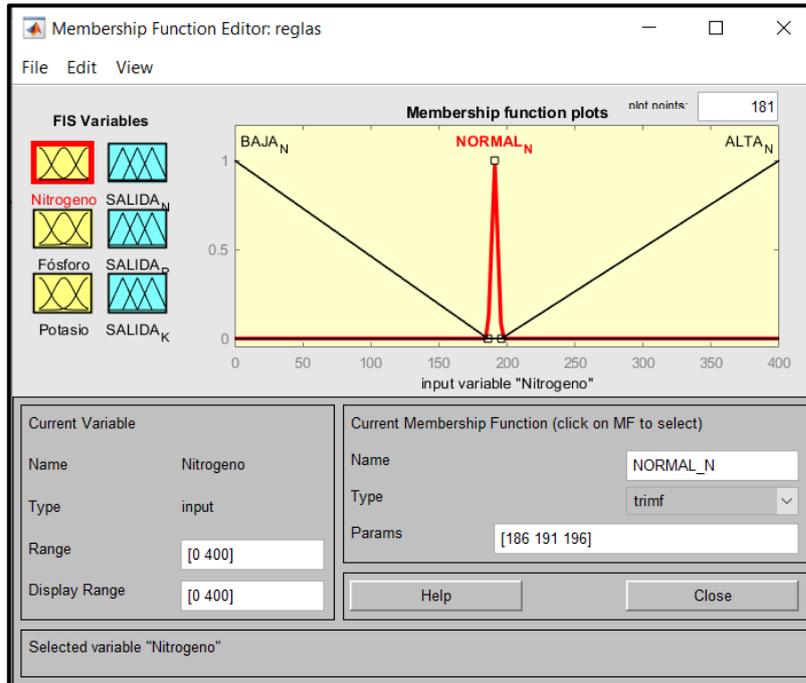
REQUERIMIENTO DE FERTILIZANTES

NITRATO DE AMONIO	NITRATO DE AMONIO (QUINTAL)	5	Unidad	35	Valor en dinero: 175	196	Fertilizante edáfico NPK 34-0-0 (34% en nitrógeno)	NITROGENO
MURIATO DE POTASIO	MURIATO DE POTASIO (FERTILIZANTE - QUINTAL)	5	Unidad	35	175	196	Fertilizante edáfico NPK 0-0-60	POTASIO
UREA	NITRÓGENO	5	UNIDAD	5	40	200	FERTILIZANTE 46 % NITROGENO	NITRGENO 46%
DAP	FOSFATO DIAMONICO	5	UNIDAD	5	40	200	FERTILIZANTE	FOSFATO 46 %

Realizado por: Ing. Chipantiza, 2022.

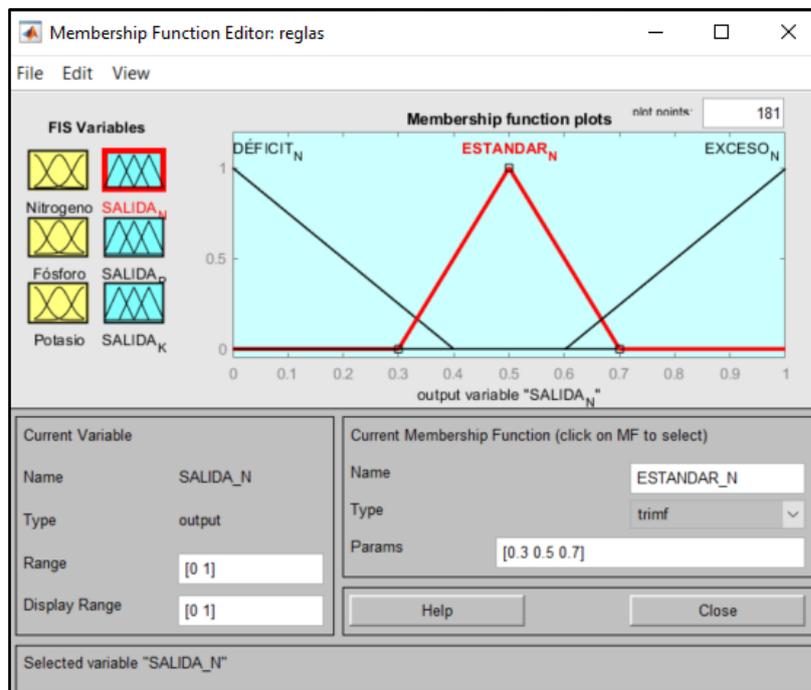
ANEXO B: GRÁFICAS DETALLADAS DEL TOOLBOX

ENTRADA NITRÓGENO



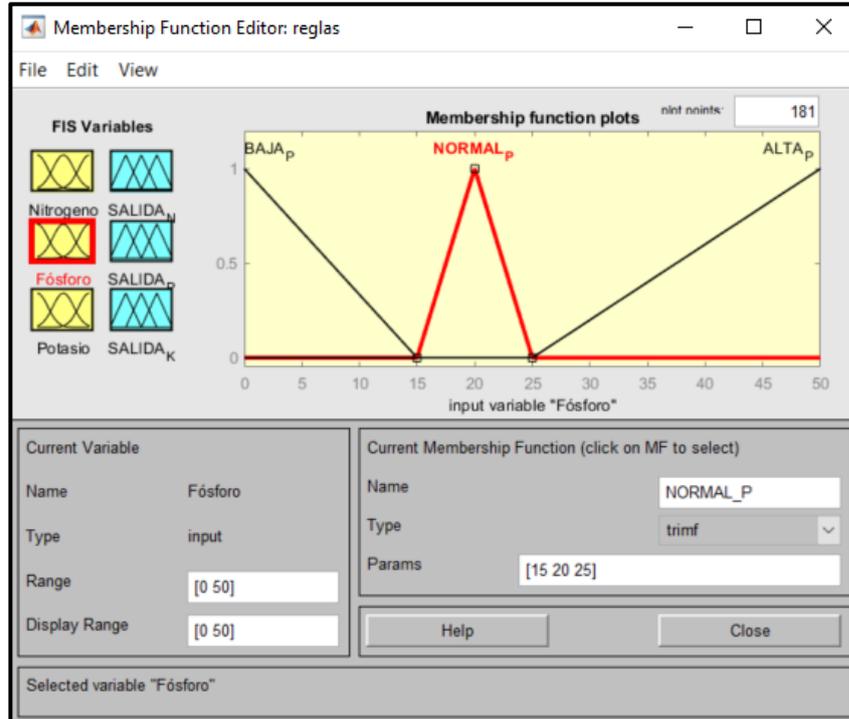
Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

SALIDA NITRÓGENO



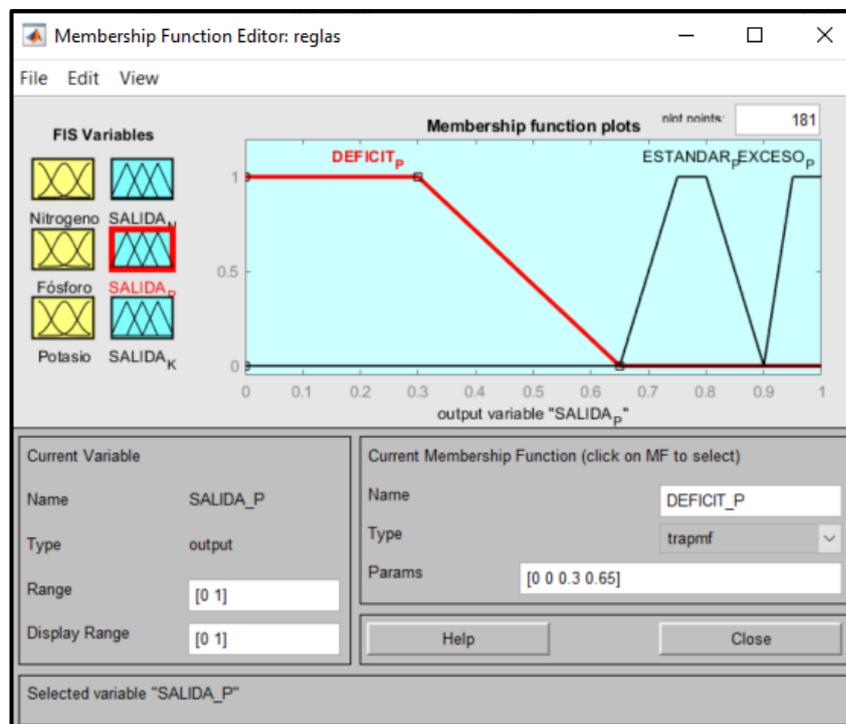
Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

ENTRADA FÓSFORO



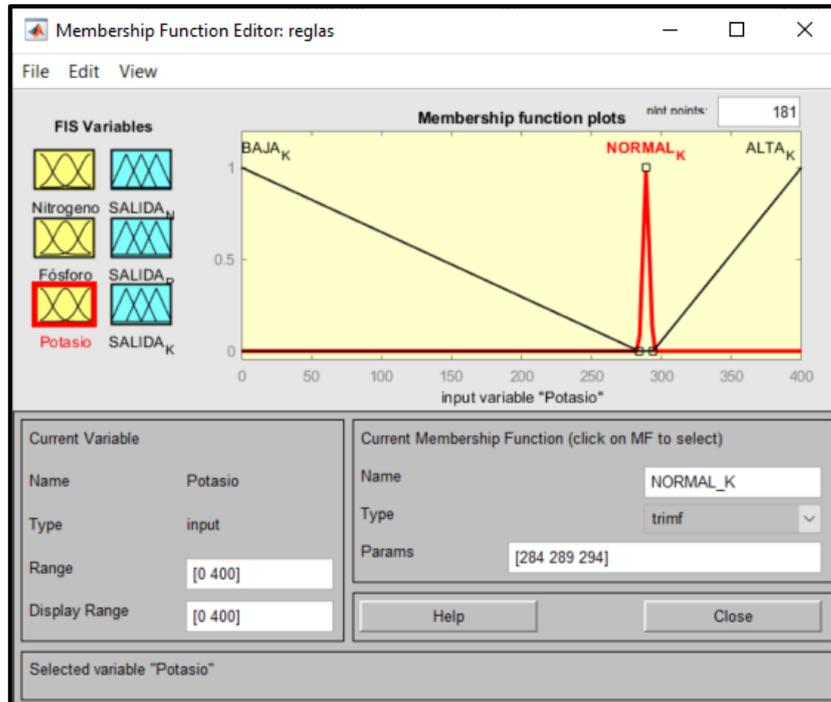
Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

SALIDA FÓSFORO



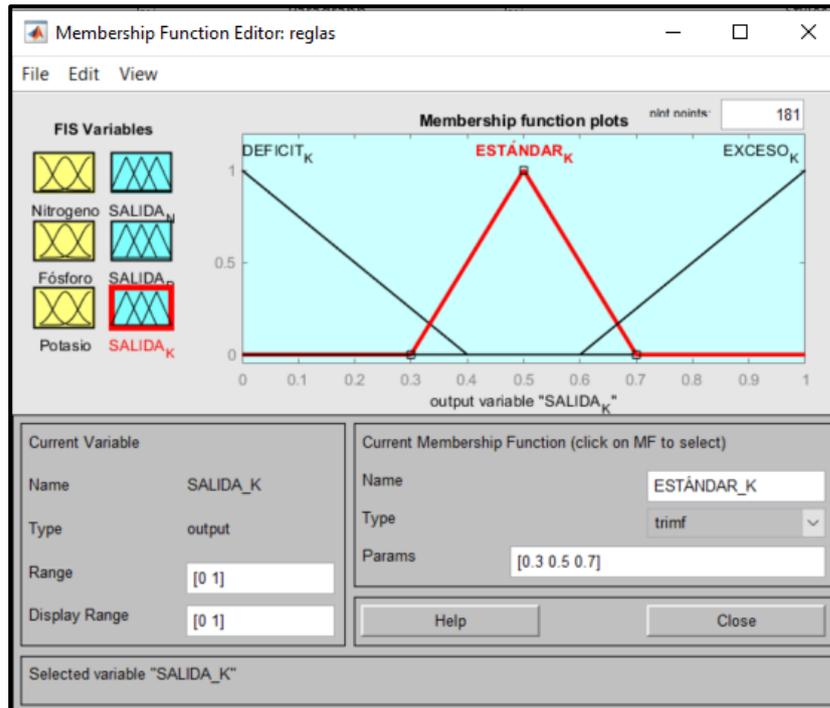
Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

ENTRADA POTASIO



Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

SALIDA POTASIO



Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

ANEXO C: ALGORITMO MACHINE LEARNING – VENTANA DE COMANDO NITRÓGENO

```
Editor - D:\Downloads\DVCG\ESPOCH\Tesis\Matlab\FUZZY_NITROGENO.m
FUZZY_COMPLETO.m x FUZZY_NITROGENO.m x FUZZY_FOSFORO.m x FUZZY_POTASIO.m
1 -   fis = newfis('Nitrogeno');
2 -   fis = addvar(fis,'input','Nitrogeno',[0 400]);
3 -   fis = addmf(fis,'input',1,'BAJA_N','trimf',[0 0 186]);
4 -   fis = addmf(fis,'input',1,'NORMAL_N','trimf',[186 191 196]);
5 -   fis = addmf(fis,'input',1,'ALTA_N','trimf',[196 400 400]);
6 -   fis = addvar(fis,'output','SALIDA_N',[0 1]);
7 -   fis = addmf(fis,'output',1,'DÉFICIT_N','trimf',[0 0 0.4]);
8 -   fis = addmf(fis,'output',1,'ESTANDAR_N','trimf',[0.3 0.5 0.7]);
9 -   fis = addmf(fis,'output',1,'EXCESO_N','trimf',[0.6 1 1]);
10 -  ruleList = [1 1 1 1;
11 -              2 2 1 1;
12 -              3 3 1 1];
13 -  fis = addrule(fis,ruleList);
14 -  inputs = [100 ;|
15 -            191;
16 -            300];
17 -  evalfis(inputs,fis)
18 -  showfis(fis)
19 -  figure(1)
20 -  plotfis(fis)
21 -  figure(2)
22 -  plotmf(fis,'input',1)
23 -  figure(3)
24 -  plotmf(fis,'output',1)
```

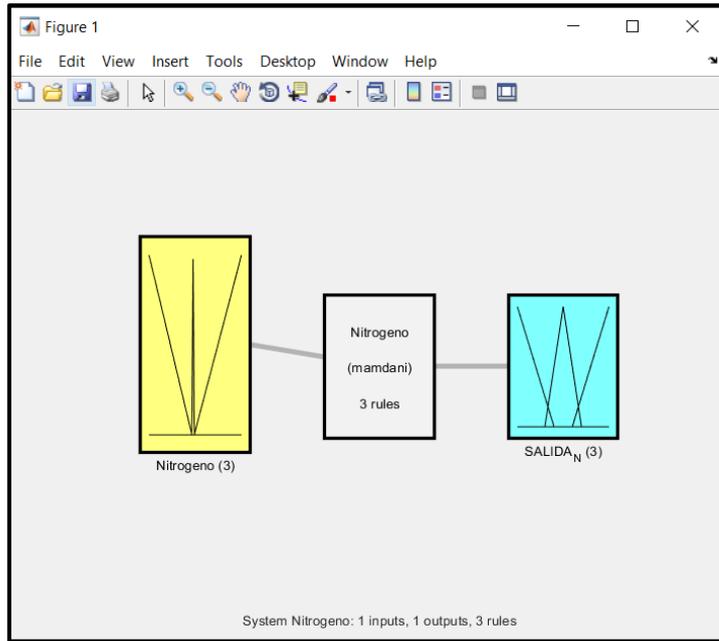
Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

```
Command Window
>> inputs = [100 ;
             191;
             300];
evalfis(inputs,fis)

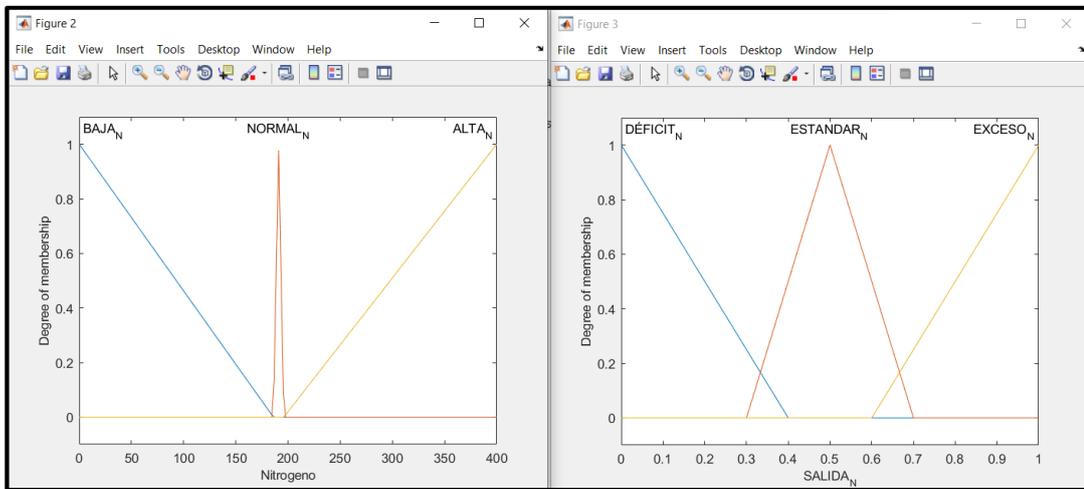
ans =

    0.1558
    0.5000
    0.8478
```

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.



Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.



Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

FÓSFORO

```
Editor - D:\Downloads\DVCG\ESPOCH\Tesis\Matlab\FUZZY_FOSFORO.m
FUZZY_COMPLETO.m x FUZZY_NITROGENO.m x FUZZY_FOSFORO.m x FUZZY_POTASIO.m x +
1 -   fis = newfis('Fósforo');
2 -   fis = addvar(fis,'input','Fósforo',[0 50]);
3 -   fis = addmf(fis,'input',1,'BAJA_P','trimf',[0 0 15]);
4 -   fis = addmf(fis,'input',1,'NORMAL_P','trimf',[15 20 25]);
5 -   fis = addmf(fis,'input',1,'ALTA_P','trimf',[25 50 50]);
6 -   fis = addvar(fis,'output','SALIDA_P',[0 1]);
7 -   fis = addmf(fis,'output',1,'DÉFICIT_P','trapmf',[0 0 0.3 0.65]);
8 -   fis = addmf(fis,'output',1,'ESTANDAR_P','trapmf',[0.65 0.75 0.8 0.9]);
9 -   fis = addmf(fis,'output',1,'EXCESO_P','trapmf',[0.9 0.95 1 1]);
10 -  ruleList = [1 1 1 1;
11 -             2 2 1 1;
12 -             3 3 1 1];
13 -  fis = addrule(fis,ruleList);
14 -  inputs = [10 ;
15 -           15;
16 -           30];
17 -  evalfis(inputs,fis)
18 -  showfis(fis)
19 -  figure(1)
20 -  plotfis(fis)
21 -  figure(2)
22 -  plotmf(fis,'input',1)
23 -  figure(3)
24 -  plotmf(fis,'output',1)
25
```

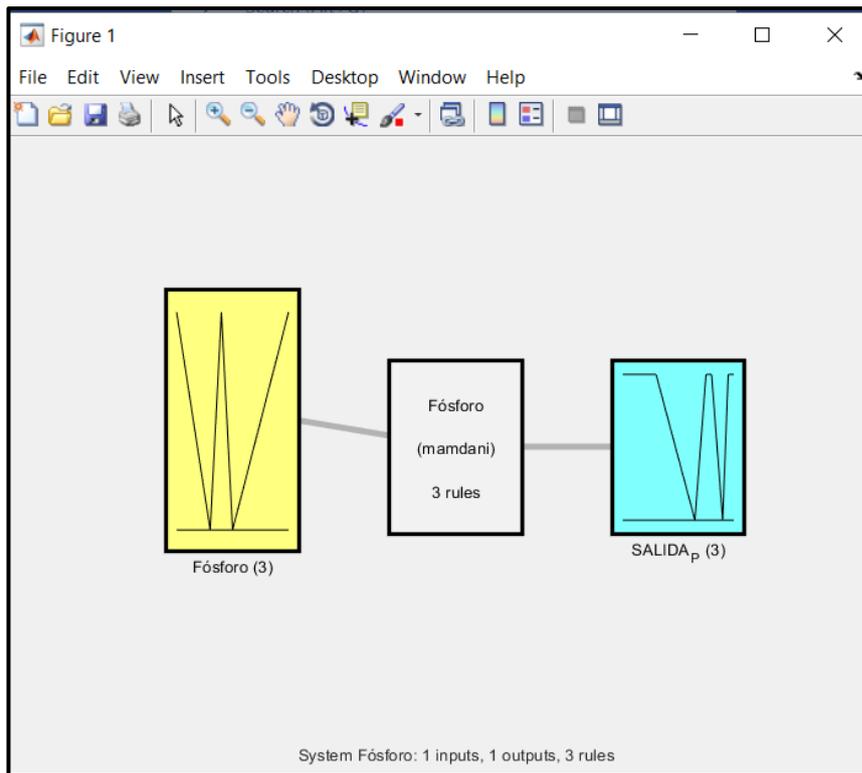
Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

```
>> inputs = [10 ;
             15;
             30];
evalfis(inputs,fis)
Warning: No rules fired f
> In throwWarning (line 1
   In evalfis (line 93)

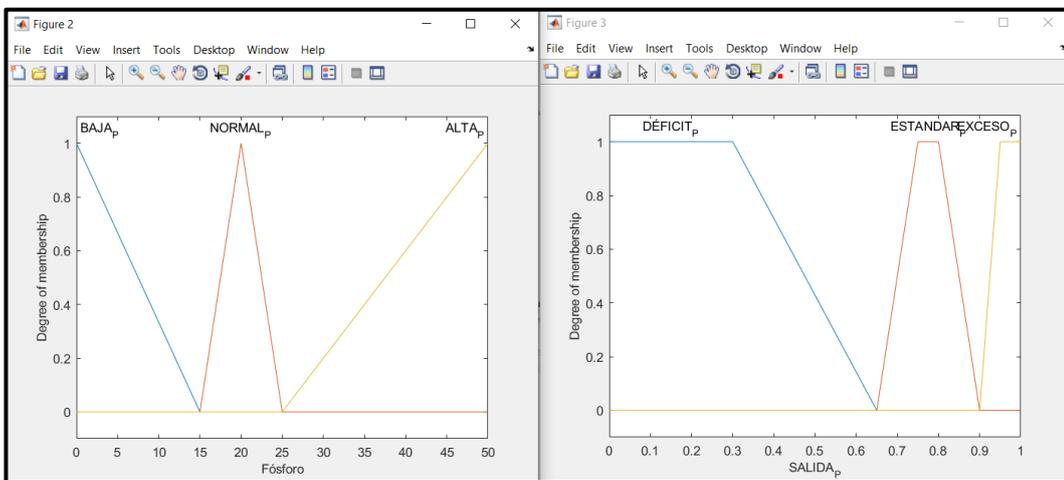
ans =

    0.2942
    0.5000
    0.9550
```

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.



Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.



Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

POTASIO

```
Editor - D:\Downloads\DVCG\ESPOCH\Tesis\Matlab\FUZZY_POTASIO.m
FUZZY_COMPLETO.m x FUZZY_NITROGENO.m x FUZZY_FOSFORO.m x FUZZY_POTASIO.m x
1 -   fis = newfis('Potasio');
2 -   fis = addvar(fis,'input','Potasio',[0 400]);
3 -   fis = addmf(fis,'input',1,'BAJA_K','trimf',[0 0 284]);
4 -   fis = addmf(fis,'input',1,'NORMAL_K','trimf',[284 289 294]);
5 -   fis = addmf(fis,'input',1,'ALTA_K','trimf',[294 400 400]);
6 -   fis = addvar(fis,'output','SALIDA_K',[0 1]);
7 -   fis = addmf(fis,'output',1,'DÉFICIT_K','trimf',[0 0 0.4]);
8 -   fis = addmf(fis,'output',1,'ESTANDAR_K','trimf',[0.3 0.5 0.7]);
9 -   fis = addmf(fis,'output',1,'EXCESO_K','trimf',[0.6 1 1]);
10 -  ruleList = [1 1 1 1;
11 -             2 2 1 1;
12 -             3 3 1 1];
13 -  fis = addrule(fis,ruleList);
14 -  inputs = [100 ;
15 -           289;
16 -           320];
17 -  evalfis(inputs,fis)
18 -  showfis(fis)
19 -  figure(1)
20 -  plotfis(fis)
21 -  figure(2)
22 -  plotmf(fis,'input',1)
23 -  figure(3)
24 -  plotmf(fis,'output',1)
25
```

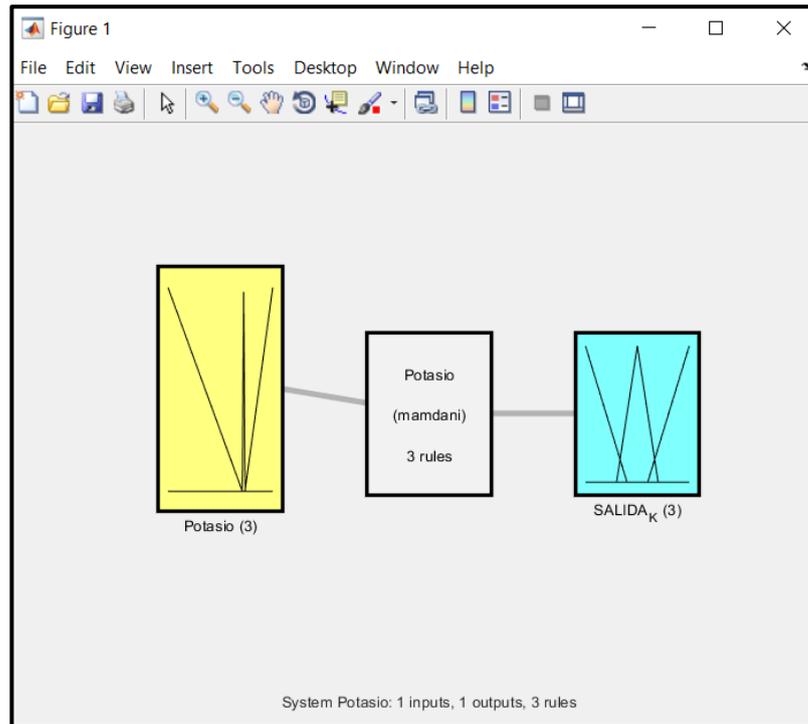
Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

```
Command Window
>> inputs = [100 ;
             289;
             320];
evalfis(inputs,fis)

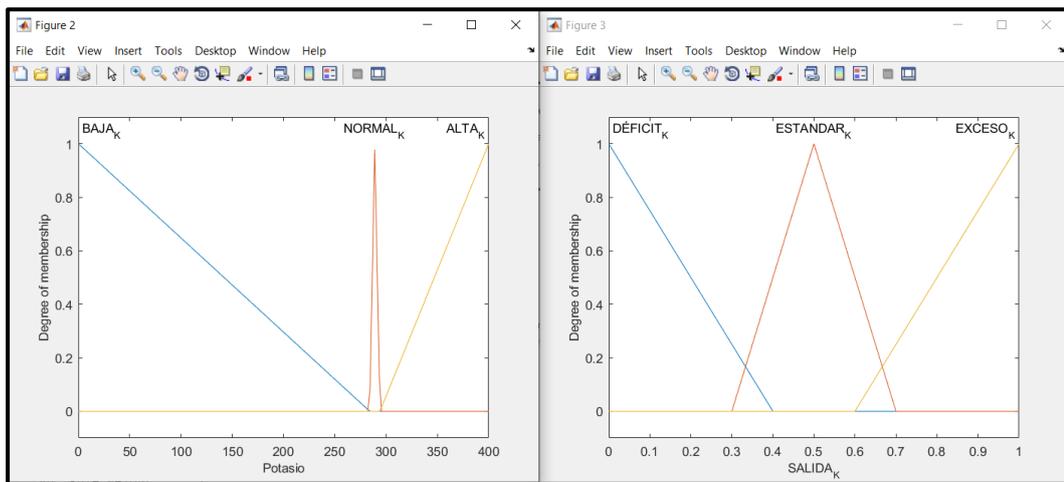
ans =

    0.1429
    0.5000
    0.8259
```

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.



Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.



Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

ANEXO D: ANÁLISIS QUÍMICO DEL LABORATORIO


saqmie
LABORATORIO DE SERVICIOS ANALÍTICOS
QUÍMICOS Y MICROBIOS EN AGUA Y ALIMENTOS

INFORME DE ANÁLISIS

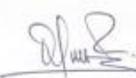
Fecha: 18 de julio del 2022
Análisis solicitado por: Srta. Verence Cazorla
Tipo de muestras: Suelo
Localidad: Cantón El Coca Provincia Orellana

Análisis Químico

Determinaciones	Unidades	*Métodos de análisis	Suelo 1	Suelo 2
Nitrógeno Total	mg/Kg	Digestión Micro Kjelhdal colorimétrico	19.65	19.24
Fosforo Total	mg/Kg	Digestión ácida colorimétrico	26.76	26.52

Observaciones:

Atentamente,





SAQMIE
Servicio de Análisis
Químico y Microbiológico
Dra. Gina Álvarez
Telf. 2 924 322 // Cel. 0998580374

Dra. Gina Álvarez R.
RESPONSABLE TECNICO LABORATORIO
Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada.


LABORATORIO DE SERVICIOS ANALÍTICOS
QUÍMICOS Y MICROBIOS EN AGUA Y ALIMENTOS


Avenida 9 de Octubre # 12 y Madrid
Contactanos: 0998580374 032 942 322
Saqmie Laboratorio
Riobamba - Ecuador

Realizado por: Álvarez, G, 2022.

ANEXO E: RECOMENDACIONES EN EL DASHBOARD DE NODE RED FÓSFORO



Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

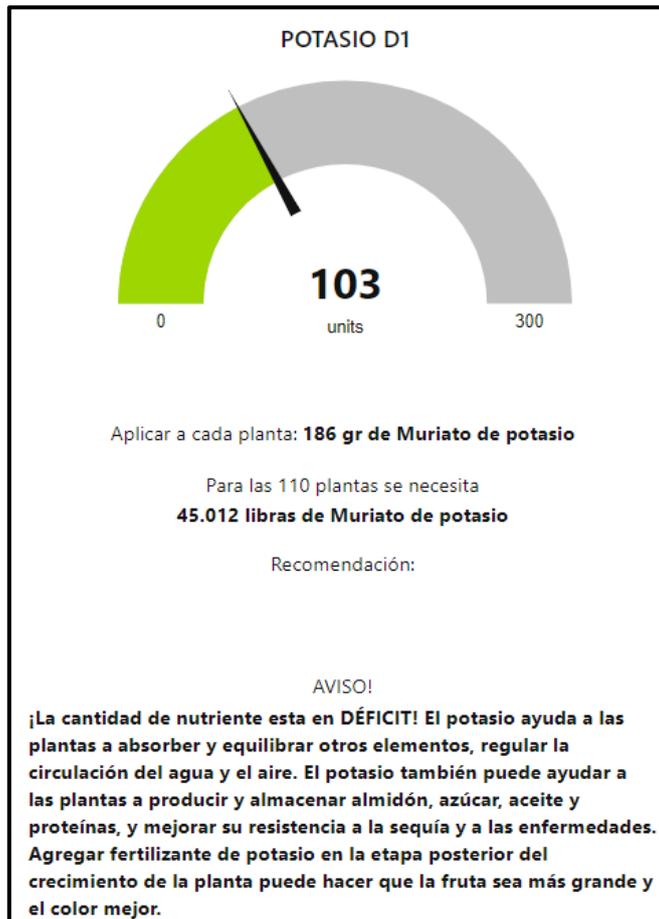
```
Command Window
fis = addrule(fis,ruleList);
>> inputs = [31];
>> evalfis(inputs,fis)

ans =

fx 0.9558
```

Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

POTASIO



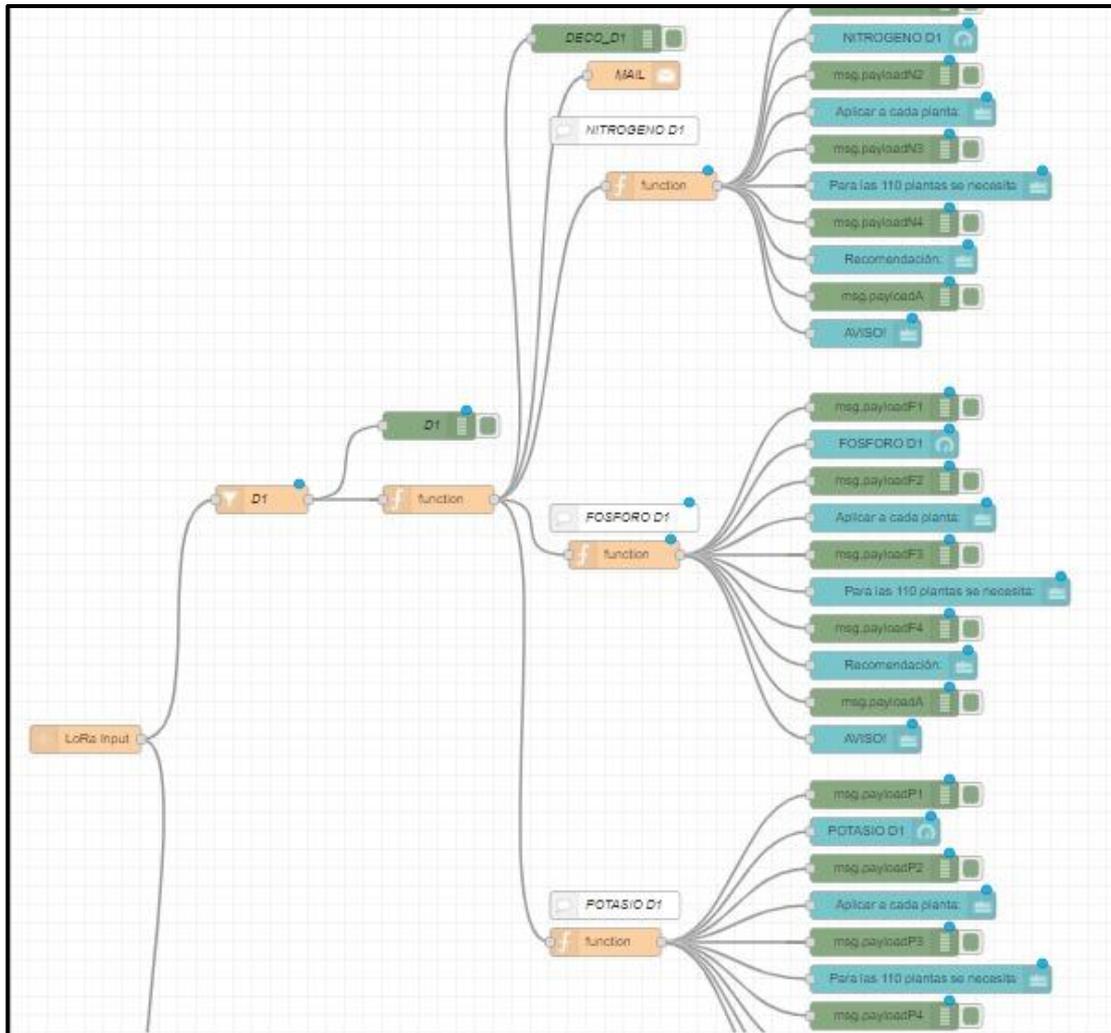
Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

```
Command Window  
fis = addrule(fis,ruleList);  
>> inputs = [103];  
>> evalfis(inputs,fis)  
  
ans =  
  
fx 0.1435
```

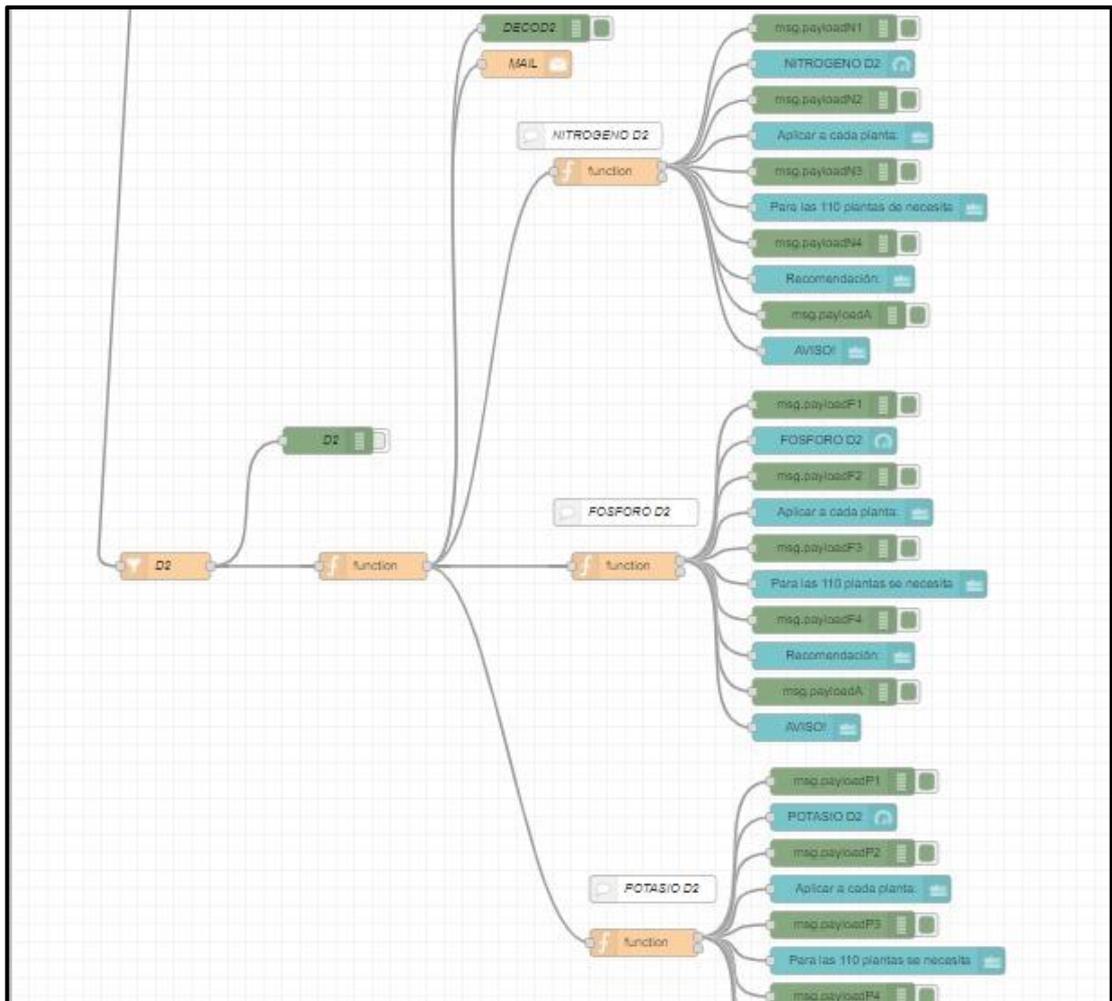
Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

ANEXO F: PROGRAMACIÓN POR NODOS

NODE RED



Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.



Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

**ANEXO G: IMPLEMENTACIÓN
PRUEBAS EN LA FINCA LA BELLEZA**



Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.



Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.



Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.



Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

INSTALACIÓN DE LOS NODOS



Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.



Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.



Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.



Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.



Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.



Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

UBICACIÓN DE LA PARCELA EXPERIMENTAL



Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.



Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.



Realizado por: Cazco K, Cazorla V, 2022.

ANEXO H: ACTA ENTREGA Y RECEPCIÓN



ACTA ENTREGA RECEPCION

Por medio del presente documento, la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, a través del Proyecto de Investigación **“Implementación de una plataforma informática de Alertas Tempranas Fitosanitarias Agrícolas en los cantones Loreto, Joya de los Sachas y Francisco de Orellana”**, deja constancia de la **Instalación y puesta en marcha del Sistema de Monitoreo de Nutrientes del Suelo** presentes en cultivos de Cacao desarrollada dentro del Trabajo de Titulación **“DESARROLLO DE UN SISTEMA DE MONITOREO PARA LA DETERMINACIÓN DE NUTRIENTES DEL SUELO PRESENTES EN CULTIVOS DE CACAO BASADO EN SMART GRID Y MACHINE LEARNING”** por las Señoritas **Dayana Verenice Cazorla García** y **Katherine Alexandra Cazo Arguello**, Estudiantes de la Carrera de Electrónica y Automatización de la Facultad de Informática y Electrónica. El sistema se encuentra instalado en la Finca del **Sr. Patricio Granda** ubicada en el **kilómetro 14 de la vía Los Zorros, Parroquia La Belleza, Cantón Coca, Provincia de Orellana**

Se deja constancia que los equipos instalados se encuentran funcionando y se solicita su resguardo para garantizar su correcto funcionamiento.

En constancia de lo actuado, las partes firman en unidad de acto en tres ejemplares

ESPOCH



Firmado: esPOCH@esPOCH.edu.ec
**PAUL XAVIER
PAGUAY SOXO**

Ing. Paúl Paguay Msc.
**Director Proyecto de Investigación
Director - Sede Orellana**



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO**

**DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS DEL
APRENDIZAJE**



UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS
REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 28 / 10 / 2022

INFORMACIÓN DE LOS AUTORES	
Nombres – Apellidos: Katherine Alexandra Cazco Arguello Dayana Verenice Cazorla García	
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL	
Facultad: Informática y Electrónica	
Carrera: Electrónica y Automatización	
Título a optar: Ingeniera en Electrónica y Automatización	
f. Analista de Biblioteca responsable: Ing. Fernanda Arévalo M.	