



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

**DISEÑO DE UNA RED DE SENSORES SECTORIZADA PARA EL
MONITOREO REMOTO DE NUTRIENTES, HUMEDAD Y TEMPERATURA
EN CULTIVOS DE VEGETALES Y TUBÉRCULOS A TRAVÉS DE
TECNOLOGÍAS LPWAN**

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCION DEL TITULO DE
INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES**

AUTOR: ANTHONY MICHAEL RODRÍGUEZ POZO

DIRECTOR: MSC. LUIS EDILBERTO SUÁREZ ZAMBRANO

IBARRA-ECUADOR

2023



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1725032302		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Rodriguez Pozo Anthony Michael		
DIRECCIÓN:	Camilo Ponce 656 José Tobar y Tobar		
EMAIL:	amrodriguezp@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	-	TELÉFONO MÓVIL:	0998984262

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	DISEÑO DE UNA RED DE SENSORES SECTORIZADA PARA EL MONITOREO REMOTO DE NUTRIENTES, HUMEDAD Y TEMPERATURA EN CULTIVOS DE VEGETALES Y TUBÉRCULOS A TRAVÉS DE TECNOLOGÍAS LPWAN
AUTOR (ES):	Rodriguez Pozo Anthony Michael
FECHA DE APROBACIÓN: DD/MM/AAAA	17/10/2023
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero en Telecomunicaciones
ASESOR /DIRECTOR:	MSc. Luis Suárez

2. CONSTANCIAS

El autor (es) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es original y que es (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 17 días del mes de octubre de 2023

EL AUTOR:

(Firma).....




UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CERTIFICACIÓN:

MAGÍSTER LUIS SUÁREZ, DIRECTOR DEL PRESENTE TRABAJO DE TITULACIÓN CERTIFICA:

Que el presente trabajo de Titulación DISEÑO DE UNA RED DE SENSORES SECTORIZADA PARA EL MONITOREO REMOTO DE NUTRIENTES, HUMEDAD Y TEMPERATURA EN CULTIVOS DE VEGETALES Y TUBÉRCULOS A TRAVÉS DE TECNOLOGÍAS LPWAN, ha sido desarrollado por el señor Rodríguez Pozo Anthony Michael bajo mi supervisión.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad.

MSc. Luis Suárez Zambrano
DIRECTOR



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por brindarme la vida, salud, sabiduría y mi familia que con ello pude cumplir una etapa de mi vida profesional

Agradezco a mi madre Ximena Pozo por su inquebrantable apoyo y amor incondicional a lo largo de mi trayecto en la realización de esta tesis donde Tus palabras de aliento han sido mi motivación y tu presencia reconfortante ha sido mi refugio en momentos de desafío.

A mis tíos Myriam Pozo y Gonzalo Yáñez que han confiado plenamente en mi crecimiento profesional y que me han brindado el techo en el que viví durante mi estadía en la ciudad de Ibarra apoyándome como un hijo propio de ellos en todo aspecto.

A Moni que ante cualquier dificultad que se me presentó me apoyo incondicionalmente y motivó a cumplir cada meta que se me presentaba semestre a semestre y nunca dudo de mis habilidades como persona, estudiante y profesional siendo un motivante principal en mi vida.

A mis amigos Andrés, Tefa, Roberth, Alex, Carlos y Joha quienes fueron mis acompañantes, amigos y hermanos que me han brindado las mejores experiencias en una ciudad donde empecé una vida nueva y comprendí que la amistad no se trata de cantidad sino de calidad y ellos fueron la calidad de persona que alegro toda mi experiencia personal y estudiantil.

Hago una mención especial a mis docentes MSc. Luis Suárez, MSc. Jaime Michilena y Msc. Carlos Vásquez quienes considero son mi ejemplo de profesional que deseo llegar a ser, agradezco su tiempo que me han sabido brindar para ser mi guía en el desarrollo de este trabajo de titulación y que gracias a sus consejos, guías y conocimientos pude terminar mi carrera de pregrado.

Finalmente, agradezco a la Universidad Técnica del Norte y al Instituto Nacional Mejía que fueron las casonas educativas en las que me forme donde se me inculco el conocimiento y los valores que me conformaron como un profesional ético y responsable.

Anthony Michael Rodriguez Pozo



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

DEDICATORIA

La culminación de mi carrera universitaria en ingeniería en telecomunicaciones no podría haber sido una realidad si no fuese por cada una de las personas que estuvieron presentes durante el camino y han confiado en mí hasta llegar a cumplir tan anhelada meta, es por lo que dedico toda esta trayectoria a esas personas que hicieron de mí la persona y el tipo de profesional que soy.

A mi madre y hermano que han sido el motivo principal para esforzarme y creer que lo que se quiere con ansias se puede llegar a cumplir con dedicación y disciplina, haciéndome fiel creyente que el amor en familia es el mejor motivante para continuar día a día.

A mis abuelitos que con su humildad me han sabido guiar por un buen camino siendo un claro ejemplo en mi vida para poder ser un profesional que aporte al desarrollo de la sociedad.

Y a una estrella fija en el firmamento del cielo amarillo y azul que siempre estará sobre mi camino.

Con cariño y afecto les dedico esta meta cumplida.

Anthony Michael Rodríguez Pozo

Resumen

El presente trabajo de titulación describe el diseño e implementación de una red de sensores sectorizada mediante tecnologías LPWAN en terreno superiores a los 500 metros cuadrados para el monitoreo remoto de condiciones climáticas del sector como humedad y temperatura, así como, los niveles de nitrógeno que se presenta en un cultivo de tubérculos como es la papa.

El desarrollo de este trabajo se la realizo con base en la metodología en cascada en la que cumpliendo las etapas se desarrolló el estudio del arte correspondiente a la etapa de análisis permitiéndose así conocer los requerimientos que sugiere el terreno de aplicación y la planta monitorizada para establecer umbrales que determinen que el cultivo presenta problemas, con este análisis se realiza el diseño e implementación de la red de sensores que consiste en la selección del hardware según los parámetros monitorizados establecidos por los Stakeholders y con ello construir el sistema embebido que permite obtener, enviar, procesar, almacenar y mostrar los datos hacia el usuario final.

Posteriormente, se cumplen las etapas de pruebas e implantación en el que se verificó que los nodos sensores se encuentren obteniendo los datos y enviándolos mediante tecnología LoRa bajo la frecuencia de 915 MHz y sean enviados hacia el Gateway, el cual, clasifica y envía los datos hacia la plataforma de visualización mediante Ethernet y con ello mostrarlos al usuario mediante un dashboard y al ser cumplido estas pruebas se concreta la etapa de implantación en el que los nodos sensores son implementados en el terreno de aplicación para verificar su comportamiento en la zona de aplicación para posteriormente realizar un mantenimiento

o control del funcionamiento de los sensores, ya que por estar expuestos a la intemperie requieren de atención constante.

Finalmente, con el monitoreo constante de las condiciones climáticas y el nitrógeno en cuestión se obtiene los resultados en la mejora tanto de altitud como de robustes en el aumento de hojas de la planta del tubérculo al igual que un fortalecimiento de la raíz, considerando que el monitoreo se lo realiza en las etapas de crecimiento y tuberización de la planta al cumplir con las recomendaciones emitidas por la red de sensores mediante las alarmas establecidas en los parámetros de configuración.

Abstract

This degree project describes the design and implementation of a sectorized sensor network using LPWAN (Low-Power Wide-Area Network) technologies on terrain larger than 500 square meters. The purpose is to enable remote monitoring of climatic conditions, including humidity and temperature, as well as nitrogen levels in tuber crops such as potatoes.

The development of this work was carried out based on the cascade methodology in which the study of the art corresponding to the analysis stage was developed, thus allowing to know the requirements suggested by the application terrain and the monitored plant to establish thresholds that determine that the crop presents problems, with this analysis the design and implementation of the sensor network is carried out, which consists of the selection of the hardware according to the monitored parameters established by the Stakeholders and with this build the embedded system that allows to obtain, send, process, store and display the data to the end user.

Subsequently, the testing and implementation stages are fulfilled in which it was verified that the sensor nodes are obtaining data and sending them through LoRa technology under the frequency of 915 MHz and are sent to the gateway, which classifies and sends the data to the visualization platform via ethernet and thus show them to the user through a dashboard, Once these tests are completed, the implementation stage is completed, in which the sensor nodes are implemented in the application field to verify their behavior in the application area and subsequently perform maintenance or control of the operation of the sensors, since they are exposed to the elements and therefore require constant attention.

Ultimately, through continuous monitoring of climatic conditions and nitrogen levels, we achieved improvements in crop altitude, robustness, leaf growth, and root strengthening. This monitoring occurred throughout the growth and tuberization stages of the plant, with the sensor network issuing alarms based on configured parameters to guide our actions.

INDICE DE CONTENIDOS

1. CAPÍTULO I. ANTECEDENTES.....	1
1.1. TEMA.....	1
1.2. OBJETIVOS.....	1
1.2.1. <i>Objetivo General</i>	1
1.2.2. <i>Objetivos Específicos</i>	1
1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.4. ALCANCE.....	3
1.5. JUSTIFICACIÓN.....	6
2. CAPÍTULO II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	8
2.1. VEGETALES.....	8
2.2. TUBÉRCULOS.....	9
2.2.1. <i>Variables influyentes en el cultivo de papas</i>	10
2.3. AGRICULTURA DE PRECISIÓN.....	16
2.3.1. <i>Beneficios de la agricultura de precisión</i>	18
2.4. INTERNET DE LAS COSAS.....	18
2.4.1. <i>Características</i>	18
2.4.2. <i>Arquitectura IoT</i>	20
2.5. RED DE SENSORES INALÁMBRICOS.....	21
2.5.1. <i>Características de la WSN</i>	21
2.5.2. <i>Arquitectura de una WSN</i>	22
2.5.3. <i>Topología de red</i>	26
2.6. TECNOLOGÍAS LPWAN.....	29
2.6.1. <i>LoRaWAN</i>	30
3. CAPITULO III. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN.....	36
3.1. METODOLOGÍA DE DISEÑO.....	36
3.2. ANÁLISIS.....	38
3.2.1. <i>Situación Actual</i>	38
3.2.2. <i>Selección del Cultivo</i>	40
3.2.3. <i>Propósito y descripción general del sistema</i>	41
3.2.4. <i>Análisis de los requerimientos</i>	42
3.3. DISEÑO DEL SISTEMA EMBEBIDO.....	48
3.3.1. <i>Arquitectura del sistema</i>	48
3.3.2. <i>Diagrama de bloques del sistema</i>	50
3.3.3. <i>Selección Hardware y Software para el Sistema</i>	52
3.3.4. <i>Enlace inalámbrico con tecnología LoRaWAN</i>	65
3.3.5. <i>Construcción del Sistema Embebido</i>	71
3.3.6. <i>Programación de los Nodos Sensores</i>	77
3.3.7. <i>Programación del Gateway</i>	81
3.4. ENVÍO Y RECEPCIÓN DE DATOS MEDIANTE TECNOLOGÍA LoRA.....	90
3.4.1. <i>Tiempo en el aire de la transmisión</i>	91
3.4.2. <i>Análisis espectral de la transmisión LoRa</i>	95
3.5. CONFIGURACIÓN PLATAFORMA TAGOIO.....	97
3.6. VALIDACIÓN DE CUENTA DE USUARIOS.....	117
3.7. VISUALIZACIÓN DE DATOS DASHBOARD TAGOIO.....	119
3.8. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA.....	122
4. CAPÍTULO IV. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO.....	130

4.1.	ANÁLISIS DE LECTURA DE DATOS.....	131
4.2.	ANÁLISIS DE TRANSMISIÓN MEDIANTE TECNOLOGÍA LORA.....	131
4.3.	CAPTURA DE PAQUETES MEDIANTE WIRESHARK	132
4.3.1.	<i>Captura de paquetes – protocolo HTTP.....</i>	<i>133</i>
4.3.2.	<i>Captura de paquetes - protocolo IPV4.....</i>	<i>133</i>
4.4.	MONITOREO REMOTO DEL CULTIVO.....	134
4.5.	COMPARATIVA ENTRE INSPECCIÓN MANUAL Y AUTOMATIZADA.....	135
4.6.	ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO	137
CONCLUSIONES		139
RECOMENDACIONES		140
TRABAJOS FUTUROS.....		141
REFERENCIAS		141
ANEXOS		149
	ANEXO 1. DATASHEET ARDUINO UNO.....	149
	ANEXO 2. DATASHEET ARDUINO MEGA	150
	ANEXO 3. DATASHEET SHIELD ETHERNET	151
	ANEXO 4. DATASHEET DRAGINO LoRa SHIELD	152
	ANEXO 5. DATASHEET SENSOR DHT11	153
	ANEXO 6. DATASHEET SENSOR DE HUMEDAD CAPACITIVO.....	154
	ANEXO 7. DATASHEET SENSOR NPK.....	155
	ANEXO 8. DATASHEET MÓDULO RS485	156
	ANEXO 9. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA – INICIO FASE DE TUBERIZACIÓN	157
	ANEXO 10. MONITOREO DE DATOS – FASE DE TUBERIZACIÓN	157
	ANEXO 11. RECEPCIÓN DE DATOS A TAGOÍO.....	158
	ANEXO 12. ANÁLISIS ESPECTRAL TRANSMISIÓN DE DATOS	158
	ANEXO 13. DASHBOARD - ZONA ALTA	159
	ANEXO 14. DASHBOARD - ZONA MEDIA	159
	ANEXO 15. DASHBOARD - ZONA BAJA.....	160
	ANEXO 16. REPOSITORIO GITHUB – PROGRAMACIÓN PROYECTO	160

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	<i>Tubérculo (Papas).....</i>	<i>10</i>
Figura 2.	<i>Etapas del cultivo de papas</i>	<i>11</i>
Figura 3.	<i>Consecuencias por el exceso de agua</i>	<i>12</i>
Figura 4.	<i>Riego por aspersión</i>	<i>12</i>
Figura 5.	<i>Riego por gravedad.....</i>	<i>13</i>
Figura 6.	<i>Triángulo textural de USDA</i>	<i>14</i>
Figura 7.	<i>Fases de la agricultura de precisión.....</i>	<i>17</i>
Figura 8.	<i>Arquitectura de red</i>	<i>22</i>
Figura 9.	<i>Elementos de un Nodo Sensor.....</i>	<i>23</i>
Figura 10.	<i>Topología Estrella.....</i>	<i>27</i>
Figura 11.	<i>Topología en Malla</i>	<i>28</i>
Figura 12.	<i>Topología híbrido estrella-malla</i>	<i>29</i>
Figura 13.	<i>Alcance Tecnologías IoT.....</i>	<i>29</i>

Figura 14. <i>Arquitectura de red LoRaWAN</i>	31
Figura 15. <i>Pila Tecnología LoRaWAN</i>	32
Figura 16. <i>Elementos de formato de mensaje LoRa</i>	35
Figura 17. <i>Diagrama modelo en cascada</i>	37
Figura 18. <i>Área Terreno de Aplicación</i>	39
Figura 19. <i>Vista Aérea de la Zona de Monitoreo y la Zona de Servicios</i>	40
Figura 20. <i>Diagrama General Sistema Embebido</i>	42
Figura 21. <i>Arquitectura del Sistema</i>	49
Figura 22. <i>Diagrama de bloques del sistema</i>	51
Figura 23. <i>Microcontrolador Arduino Uno</i>	53
Figura 24. <i>Sensor de temperatura DHT11</i>	55
Figura 25. <i>Sensor SEN-HS-CAP</i>	56
Figura 26. <i>Sensor NPK</i>	57
Figura 27. <i>Shield LoRa Arduino</i>	59
Figura 28. <i>IDE Arduino</i>	61
Figura 29. <i>Arduino Mega</i>	63
Figura 30. <i>Enlace inalámbrico Zona M-1 - Zona Servidores</i>	69
Figura 31. <i>Enlace inalámbrico Zona M-2 - Zona Servidores</i>	69
Figura 32. <i>Enlace inalámbrico Zona M-3 - Zona Servidores</i>	70
Figura 33. <i>Simulación Google Earth</i>	70
Figura 34. <i>Diseño Nodo Sensor</i>	71
Figura 35. <i>Diseño Gateway</i>	72
Figura 36. <i>Diseño de carcasa 3D</i>	73
Figura 37. <i>Carcasa en acrílico</i>	73
Figura 38. <i>Lectura de Temperatura</i>	74
Figura 39. <i>Lectura de humedad en tierra seca</i>	75
Figura 40. <i>Lectura de humedad con suficiente agua</i>	75
Figura 41. <i>Lectura de humedad con exceso de agua</i>	76
Figura 42. <i>Lectura de nitrógeno</i>	77
Figura 43. <i>Librerías utilizadas - Nodo Sensor</i>	78
Figura 44. <i>Parámetros de configuración Dragino Shield LoRa - Nodo Sensor</i> 78	
Figura 45. <i>Definición de pines y sensores - Nodo Sensor</i>	79
Figura 46. <i>Arreglo de tiempos de transmisión - Nodo Sensor</i>	79
Figura 47. <i>Configuraciones iniciales void Setup - Nodo Sensor</i>	80
Figura 48. <i>Función Loop - Nodo Sensor</i>	81
Figura 49. <i>Librerías Arduino Mega - Gateway</i>	82
Figura 50. <i>Variables globales Arduino Mega - Gateway</i>	82
Figura 51. <i>Función Setup Arduino Mega - Gateway</i>	83
Figura 52. <i>Función Loop Procesamiento del Paquete LoRa - Gateway</i>	84
Figura 53. <i>Procesamiento de variables Arduino Mega - Gateway</i>	84
Figura 54. <i>Declaración de librerías Arduino Uno - Gateway</i>	85
Figura 55. <i>Configuración Ethernet Arduino Uno - Gateway</i>	85
Figura 56. <i>Parámetros de conectividad TagoIO - Gateway</i>	86
Figura 57. <i>Declaraciones variables globales Arduino Uno - Gateway</i>	86

Figura 58. <i>Función Setup Arduino Uno - Gateway</i>	87
Figura 59. <i>Método Recepción de Datos Arduino Uno - Gateway</i>	88
Figura 60. <i>Método Envío de Datos Formato JSON - Gateway</i>	89
Figura 61. <i>Datos en formato JSON</i>	89
Figura 62. <i>Creación y realización de petición HTTP Arduino Uno - Gateway</i>	90
Figura 63. <i>Frecuencia de transmisión de datos mediante tecnología LoRa</i>	91
Figura 64. <i>Calculadora LoRa del ToA</i>	95
Figura 65. <i>Analizador de espectros Keysight N9322C</i>	96
Figura 66. <i>Espectro de la señal LoRa</i>	97
Figura 67. <i>Interfaz principal TagoIO</i>	98
Figura 68. <i>Selección del dispositivo TagoIO</i>	98
Figura 69. <i>Creación del dispositivo en TagoIO</i>	99
Figura 70. <i>Creación Token TagoIO</i>	99
Figura 71. <i>Información del Token TagoIO</i>	100
Figura 72. <i>Token de conectividad en Arduino Uno</i>	100
Figura 73. <i>Conexión física hacia Internet</i>	101
Figura 74. <i>Mensaje envío de datos exitoso</i>	101
Figura 75. <i>Live Inspector TagoIO</i>	102
Figura 76. <i>Base de datos TagoIO</i>	103
Figura 77. <i>Sección Dashboards TagoIO</i>	103
Figura 78. <i>Parámetros de configuración Dashboard TagoIO</i>	104
Figura 79. <i>Widgets utilizados para el Dashboard</i>	105
Figura 80. <i>Parámetros de configuración Widget Line</i>	105
Figura 81. <i>Parámetros de configuración widget "Solid" y "VU Meter"</i>	106
Figura 82. <i>Configuraciones de variables widget heatmap</i>	106
Figura 83. <i>Configuración de intensidad de color heatmap</i>	107
Figura 84. <i>Configuraciones coordenadas fijas heatmap</i>	108
Figura 85. <i>Configuraciones iniciales herramienta run TagoIO</i>	109
Figura 86. <i>Personalización interfaz gráfica</i>	109
Figura 87. <i>Configuración interfaz registro de usuario</i>	110
Figura 88. <i>Interfaz inicio de sesión</i>	111
Figura 89. <i>Parámetros de seguridad habilitados</i>	112
Figura 90. <i>Función internacionalización</i>	112
Figura 91. <i>Configuración de correos electrónicos</i>	113
Figura 92. <i>Validación de las configuraciones realizadas en run</i>	114
Figura 93. <i>Gestión de usuarios en la plataforma</i>	114
Figura 94. <i>Configuración de usuarios individuales</i>	115
Figura 95. <i>Políticas para el acceso a la información de monitoreo</i>	115
Figura 96. <i>Permisos para el acceso al Dashboard</i>	116
Figura 97. <i>Condiciones y acciones para alertas hacia el usuario final</i>	117
Figura 98. <i>Correo de confirmación del correo electrónico</i>	118
Figura 99. <i>Correo análisis de la solicitud de registro</i>	118
Figura 100. <i>Correo activación de la cuenta</i>	119
Figura 101. <i>Interfaz Registro de usuario</i>	120

Figura 102. <i>Interfaz inicio de sesión</i>	120
Figura 103. <i>Interfaz del dashboard</i>	121
Figura 104. <i>Nodos sensores</i>	122
Figura 105. <i>Puerta de Enlace</i>	123
Figura 106. <i>Ubicación de los nodos</i>	124
Figura 107. <i>Implementación nodos sensores y gateway</i>	125
Figura 108. <i>Ubicación sensor temperatura</i>	125
Figura 109. <i>Ubicación sensor humedad y nitrógeno</i>	126
Figura 110. <i>Envío y recepción de datos en la zona de aplicación</i>	132
Figura 111. <i>Captura de paquetes HTTP</i>	133
Figura 112. <i>Captura de paquetes IPV4</i>	134
Figura 113. <i>Dashboard visible al usuario final</i>	135
Figura 114. <i>Terreno etapa de tuberización</i>	136
Figura 115. <i>Comparación Altura de Planta Monitorizada vs Sin Monitorización</i> ..	136

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Tipos de vegetales</i>	9
Tabla 2. <i>Rango de temperaturas aceptables en el cultivo de papas</i>	15
Tabla 3. <i>Rango de altitud requerida por variedad de papa</i>	16
Tabla 4. <i>Arquitectura IoT</i>	20
Tabla 5. <i>Especificaciones Técnicas LPWAN</i>	30
Tabla 6. <i>LoRaWAN Canales, Frecuencias & Sub-bandas</i>	32
Tabla 7. <i>Especificaciones Factor de Dispersión</i>	34
Tabla 8. <i>Tipo de tubérculos</i>	41
Tabla 9. <i>Lista de participantes en el proyecto</i>	43
Tabla 10. <i>Nomenclatura de requerimientos</i>	44
Tabla 11. <i>Requerimientos de Stakeholders</i>	44
Tabla 12. <i>Requerimientos Funcionales del Sistema</i>	45
Tabla 13. <i>Requerimientos de Arquitectura</i>	47
Tabla 14. <i>Selección de microcontrolador para zona de monitorización</i>	53
Tabla 15. <i>Selección de sensor de temperatura para zona de monitorización</i> ...	54
Tabla 16. <i>Selección de sensor de humedad para zona de monitorización</i>	55
Tabla 17. <i>Selección Tecnología LPWAN</i>	58
Tabla 18. <i>Consumo eléctrico zona de monitorización</i>	59
Tabla 19. <i>Selección de microordenador</i>	62
Tabla 20. <i>Selección de Plataforma Web</i>	64
Tabla 21. <i>Pérdidas de propagación en los enlaces inalámbricos</i>	67
Tabla 22. <i>Librerías utilizadas - Nodo Sensor</i>	77
Tabla 23. <i>Librerías Arduino Uno - Gateway</i>	85
Tabla 24. <i>Parámetros de conexión TagoIO - Gateway</i>	86
Tabla 25. <i>Parámetros en la transmisión de datos mediante LoRa</i>	91
Tabla 26. <i>Parámetros Analizador de Espectros</i>	96

Tabla 27. <i>Parámetros de seguridad para la creación de cuentas de usuario</i>	111
Tabla 28. <i>Horarios de monitoreo</i>	126
Tabla 29. <i>Clasificación Porcentaje de Humedad</i>	127
Tabla 30. <i>Clasificación valor nitrógeno</i>	128
Tabla 31. <i>Clasificación valor temperatura</i>	128
Tabla 32. <i>Decisión de emisión de alarma</i>	129
Tabla 33. <i>Parámetros paquetes IPV4</i>	134
Tabla 34. <i>Costos de hardware</i>	137
Tabla 35. <i>Costo software</i>	138

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Factor de dispersión	33
Ecuación 2. Consumo de la batería	60
Ecuación 3. Resultado Consumo de la batería	60
Ecuación 4. Tiempo de la batería	60
Ecuación 5. Modelo Hata zonas urbana	66
Ecuación 6. Factor de corrección de la altura de la antena.....	66
Ecuación 7. Modelo Hata zonas rurales	66
Ecuación 8. Tiempo de símbolo paquete LoRa.....	92
Ecuación 9. Tiempo del preámbulo	92
Ecuación 10. Longitud de los símbolos paquete LoRa	92
Ecuación 11. Tiempo de la carga útil	94
Ecuación 12. Tiempo del paquete en el aire	94

1. Capítulo I. Antecedentes

1.1. Tema

“Diseño De Una Red De Sensores Sectorizada Para El Monitoreo Remoto De Nutrientes, Humedad Y Temperatura En Cultivos De Vegetales Y Tubérculos A Través De Tecnologías LPWAN.”

1.2. Objetivos

1.2.1. *Objetivo General*

Diseñar una red de sensores sectorizada, con base en tecnologías LPWAN aplicado a la agricultura de precisión, que permita el monitoreo remoto de los niveles de nitrógeno, temperatura y humedad en el suelo de los cultivos de vegetales y tubérculos

1.2.2. *Objetivos Específicos*

- Estudiar las fases de siembra y crecimiento de los vegetales y tubérculos con base a los factores de nitrógeno, temperatura y humedad.
- Realizar un análisis en la zona de aplicabilidad definiendo los requerimientos técnicos a usarse para el sistema de monitoreo en extensiones de terreno mayores a $500 m^2$.
- Implementar una red de sensores sectorizada que permita el monitoreo de los niveles de nitrógeno, humedad y temperatura
- Validar la red de sensores sectorizada desarrollada a partir de pruebas de funcionamiento en terrenos mayores a $500 m^2$

1.2.3. Planteamiento del problema

A nivel local existe una gran demanda en la actividad agrícola con alrededor de 2 millones de la población ecuatoriana que se dedica a esta actividad según informa (Notimérica, 2020), los cultivos a grande escala (terrenos mayores a 500 m^2) requiere de diversos nutrientes químicos como de nutrientes naturales siendo el nutriente químico con mayor uso en un 82% que el nutriente natural con un 18% para el desarrollo productivo de los alimentos; En el área de vegetales y tubérculos existe demanda significativa en el uso continuó del nitrógeno que es el nutriente químico principal en el cultivo de este tipo de alimentos, por lo que el uso excesivo o escasos de este elemento ha generado problemáticas en estas plantas al presentar bacterias que neutralizan el crecimiento y desarrollo vegetal generando perdida parcial o en algunos casos total del producto, esta enfermedad de la planta es únicamente visible cuando se encuentra en su etapa de crecimiento y por lo tanto en la etapa de siembra que es la etapa donde inicialmente interactúa este químico no se conoce el rango de valores adecuados para el desarrollo de un cultivo agrícola.

De igual manera el agua como la temperatura son factores que interactúan directamente con el químico y el terreno agrícola donde en la actualidad el riego de agua no consta con una distribución adecuada en cada zona presentando sectores con mayor y menor humedad generando la neutralización del químico desperdiciando de esta manera tanto el recurso hídrico considerando que según (Banco Mundial, 2017) En promedio, en la agricultura se ocupa el 70 % del agua que se extrae en el mundo, y las actividades agrícolas representan una proporción aún mayor del "uso consuntivo del agua" debido a la evapotranspiración de los cultivos.

En la parroquia Espejo, el cantón San Isidro es uno de los cantones que se dedica al sector agrícola, esencialmente al cultivo de vegetales y tubérculos en extensiones de terreno medidos en hectáreas, al ser considerablemente grande dichos terrenos, la distribución de nitrógeno y agua en la etapas del cultivo no es uniforme y adecuada para el eficiente crecimiento y desarrollo vegetal de las plantas generando un baja producción de alimentos considerando la extensión que dispone el terreno, además que la temperatura influye directamente en la salud de la planta, esto debido a la ausencia de un sistema que permita monitorear el nitrógeno en la tierra, la humedad del suelo y la temperatura en el ambiente a la par con la finalidad de mantener el equilibrio y la estabilidad de estos recursos informando a los agricultores de estas inconsistencias en el terreno para ser solventadas con antelación antes del proceso de crecimiento de la planta, ya que en esta etapa es donde se denota el problema por exceso o ausencia de nitrógeno en la etapa de siembra y por lo tanto el tratamiento de la planta tenga más complejidad que la etapa inicial.

Es por tal motivo que se plantea llevar a cabo un sistema de monitorización sectorizada en los terrenos de gran extensión los cuales muestren los niveles de nitrógeno, humedad del suelo y temperatura del ambiente proporcionando información relevante a los agricultores del estado del suelo y la reacción que pueda tener el nitrógeno en el cultivo permitiéndoles de esta manera tomar decisiones con respecto al estado del nitrógeno del suelo y de esta manera equilibrar los niveles del químico y permitir el correcto desarrollo de la planta desde su estado de siembra.

1.3. Alcance

El estudio, desarrollo y ejecución del proyecto se llevará a cabo de forma lineal como lo describe la metodología en cascada descrita por Winston W. Royce que consta de 5 fases continuas:

En la fase de análisis se llevará a cabo el estudio de la zona de aplicabilidad donde interactúa el nitrógeno químico en conjunto con la humedad y temperatura del terreno debido a que son factores que influyen directamente en el desarrollo de las plantas y por tal motivo, se pretende estudiar y analizar el comportamiento de estos recursos, determinando si la distribución en el terreno es la adecuada para un tipo de cultivo.

Por tal motivo, con base a estos recursos implementados en la siembra de tubérculos y vegetales, se realizará un estudio de los sensores e infraestructura requerida en estos tipos de terrenos (terrenos mayores a $500m^2$), el cual, dependiendo el área geográfica se hará uso de una tecnología LPWAN que permitirá conectar los diferentes nodos que se encontrarán monitorizando constantemente las variables del nitrógeno, humedad y temperatura de forma sectorizada en cada punto estratégico donde se hayan ubicados los sensores.

La etapa de diseño se basará en una arquitectura de red LPWAN que consiste en una topología de estrella conformada por los sensores o nodos y puertas de enlace, las puertas de enlace son las encargadas de enviar los datos hacia un servidor de red para su procesamiento y visualización de los datos censados.

La topología estará conformada por sensores de humedad, temperatura y nutrientes químicos, los cuales, estarán conectados de forma alámbrica al microprocesador ESP8266 que será encargado de recopilar y transmitir los datos obtenidos por los sensores a estos microprocesadores se los denominará microprocesadores secundarios, considerando que al ser una red de sensores sectorizada, la topología tendrá diferentes microprocesadores debido a la cantidad de sensores que tendrá la red para cumplir con la sectorización y por tal motivo evitar sobrecargar de procesamiento un solo microprocesador. Los microprocesadores secundarios se comunicarán a través de una tecnología LPWAN hacia un microprocesador primario que recopilará los datos de los

diferentes ESP8266 secundarios y los subirá a un servidor de red para ser procesados y visualizados por el usuario a través de un dispositivo móvil.

La implementación de esta red de sensores sectorizada se basará en construir la topología en topología estrella considerando que se debe estudiar los diferentes sensores existentes en el mercado para garantizar un correcto funcionamiento de la red. La topología se encuentra constituida de 4 nodos sensores, 3 sensores por nodo, 1 nodo central, 1 servidor de red y 1 aplicación web. Para construir la topología y garantizar la obtención de los datos de cada uno de los sensores, los nodos sensores transmitirán los datos obtenidos hacia el nodo central, el cual, es el encargado de recopilar los datos de toda la red y retransmitirlos hacia un servidor de red para su procesamiento con la finalidad de visualizar mediante mapas de calor en una plataforma web la distribución de nitrógeno, humedad y temperatura, dando a conocer que sectores se encuentran dentro de los niveles aceptables para el tratamiento del cultivo en zonas específicas evitando así el desperdicio de los recursos o la mala práctica en cuanto a la neutralización del nitrógeno que influye en el desarrollo de la planta. Además, se considera una reducción en el consumo de agua con respecto al riego ya que se conocerá a la par el porcentaje de humedad que presenta el terreno.

Al conocer los niveles de nitrógeno, humedad y temperatura que presentará un sector específico se podrá mostrar una serie de recomendaciones en la aplicación web, lo cual, a través del procesamiento de los datos se mostrará al usuario un mapa de calor que indique los niveles de nitrógeno, humedad y temperatura ambiente en cada uno de los sectores que disponga un nodo sensor mostrando la ubicación que está expuesta por este recurso y que tratamiento debe llevarse a cabo para el correcto crecimiento de la planta.

La verificación de la red de sensores sectorizada estará sujeta a pruebas y análisis de datos obtenidos por la red de sensores, verificando si los niveles de nitrógeno, humedad

y temperatura son visibles de forma sectorizada y correctas dentro del mapa de calor que estará alojada en la aplicación web, así como también se mostrará una serie de recomendaciones según el nivel de nitrógeno, humedad y temperatura que presente el mapa. En caso de presentar un fallo en el funcionamiento de este, se procederá a realizar ajustes necesarios para un correcto desenvolvimiento de la red de sensores sectorizada.

Finalmente, la fase de mantenimiento consiste en la monitorización de cada uno de los factores que conforma el sistema como sensores, microprocesadores, servidor de red y aplicación web en el que al ser tecnologías LPWAN el principal objetivo es mantener la red de sensores funcionando durante un lapso prolongado de tiempo, por lo cual, se cumplirá revisiones técnicas constantes al sistema en general.

1.4. Justificación

El internet de las cosas en el área de la agricultura de precisión permite llevar a cabo actividades agrícolas con mejor precisión a través del uso de sensores inalámbricos que permiten obtener datos sobre las variables que están presentes en esta actividad, automatizando actividades que son llevadas a cabo manualmente por agricultores o especialistas en esta área de acción, optimizando el uso de recursos humanos y materiales. Además, La agricultura de precisión, IoT y telemetría son algunas de las tecnologías utilizadas actualmente para garantizar el buen desarrollo de un cultivo. Estas técnicas han venido teniendo un crecimiento exponencial en los últimos años dentro del campo de la agricultura según lo afirma (Ferrández-Pastor et al., 2016)

De acuerdo con (Cadena Lema, 2020) El Plan Nacional del Buen Vivir del año 2017 al 2021 plantea la Revolución del Conocimiento, la cual propone la innovación, ciencia y tecnología, como base para el cambio de la matriz de producción. El uso de estas soluciones enfocadas a la agricultura de precisión a través de redes de sensores en el sector agrícola permitirá garantizar el correcto desarrollo de los tubérculos y vegetales

sembrados en terrenos que tengan una cobertura mayor a los 500 m^2 , monitorizando constantemente los niveles de nitrógeno, humedad del suelo y temperatura ambiente, mostrando en el sector específico anomalías que presente el terreno, siendo requerido el uso de nuevas tecnologías para el constante desarrollo en el área de la agricultura mejorando la calidad de productos que se brinda en la parte alta de la zona norte del país.

En el área de la agricultura los riesgos presentes son impredecibles e irreversibles en su totalidad, ya que existen riesgos de producción, generalmente, por la presencia de plagas que se generan a raíz de bajas temperaturas o ausencia de nutrientes químicos que fortalecen el desarrollo de la planta, generando una pérdida económica debido a la inversión llevada a cabo previamente a su venta. Así lo afirma (INCyTU, 2018) que la agricultura de precisión produce mayores ganancias comparada con la agricultura convencional al reducir los gastos asociados a la irrigación, control de plagas y fertilización. La rentabilidad de este sistema agrícola depende principalmente de los grados de variación del suelo y la producción

2. Capítulo II. Fundamentación Teórica

El presente capítulo tiene como finalidad detallar definiciones, conceptos, características y especificaciones técnicas de los elementos que participan en una red de sensores inalámbricos enfocada en el área de la agricultura de precisión. Se conocerá los factores que intervienen en el desarrollo de cultivos de tubérculos y vegetales como son nutrientes químicos y factores naturales (humedad del suelo y temperatura ambiente). Así como las diferentes tecnologías LPWAN que permitirán la conectividad entre los nodos sensores hacia un nodo central, detallando las propiedades técnicas de la tecnología que se encuentre idónea para el desarrollo de esta investigación como son protocolos de comunicación, arquitectura, topología, velocidades de transmisión, canales, capacidad de los canales y estructuras de los paquetes. Finalmente se estudiará el hardware y software comprendido en el sistema embebido para el cumplimiento de la red de sensores inalámbricos.

2.1. Vegetales

El área de cultivo de vegetales engloba a todas las plantas alimenticias para el consumo humano dependiendo el contexto, es decir que los vegetales se pueden dividir según la Tabla 1 por lo que de acuerdo con (Fundación Global Nature, 2018) “El cultivo de verduras incluye una gran variedad de cultivos, por lo que los métodos de cultivo varían significativamente entre ellos.” Es decir, que cada tipo de cultivo tiene su tratamiento especial y condiciones de cultivo para tener el mayor rendimiento posible de un producto agrícola.

Tabla 1.
Tipos de vegetales

Vegetales	Descripción	Ejemplo
Bulbos	Es la parte que se encuentra entre la raíz y el tallo que son usados como reserva de alimento y agua para las plantas	Remolacha, Cebolla, Ajo
Raíces	Es el órgano en el que la planta absorbe nutrientes que resulta de gran valor alimenticio en muchas especies	Zanahoria, Nabo, Rábano
Tubérculos	Es generado en las raíces de algunas plantas, son reservas de sustancias con el mayor aporte de hidratos de carbono entre las plantas	Papa, Boniato, Batata
Tallos	El tallo es la parte de la planta que le da estructura y sostiene las hojas, flores y frutos	Apios, Espárragos
Hojas	La hoja es la parte más visible y reconocida de la planta y es un excelente nutriente para los seres vivos	Lechuga, Acelga, Espinaca
Frutos	Es el órgano que se forma a partir de la flor y es de gran importancia en los productos vegetales	Tomate, Pepino, Aguacate
Semillas	Es la parte de la planta que se encuentra en el interior del fruto que permite dar lugar a una nueva planta	Habas, Arveja, Chía

Nota. Tomado de: Qué son los vegetales por (Acosta, 2021), Ecología verde ([HTTP://www.ecologiaverde.com/que-son-los-vegetales-3177.html](http://www.ecologiaverde.com/que-son-los-vegetales-3177.html))

2.2. Tubérculos

El cultivo de tubérculos especialmente la papa (Véase la Figura 1), en la cual, se centrará esta investigación de la familia de la Solanáceas, es la hortaliza con mayor demanda de cultivos en la parte de la cordillera de los andes en América del Sur. Al tener una de las mayores demandas a nivel mundial se requiere de diversas técnicas que permitan el desarrollo adecuado de la planta que está influida por la temperatura, nitrógeno, altura, tipo de suelo, humedad entre otros parámetros que dependen netamente del tipo de tubérculo que se adapte a las condiciones del terreno de aplicación.

Figura 1.
Tubérculo (Papas)



Nota. Tomado de: Principios agronómicos en el cultivo de la papa por (Misión Yara, n.d.), YARA Knowledge grows ([HTTP://www.yara.com.pe/nutricion-vegetal/papa/principios-agronomicos-en-el-cultivo-de-la-papa/](http://www.yara.com.pe/nutricion-vegetal/papa/principios-agronomicos-en-el-cultivo-de-la-papa/))

2.2.1. Variables influyentes en el cultivo de papas

En una zona de cultivo interactúan diferentes variables que afectan directamente al desarrollo de la planta dependiendo su zona y tipo de cultivo que se está llevando a cabo, es por lo que, en la presente investigación se detallan las variables a considerar dentro de un cultivo de tubérculos y vegetales como lo son el nitrógeno presente en el abono químico, humedad del suelo y temperatura ambiente.

2.2.1.1. Nitrógeno

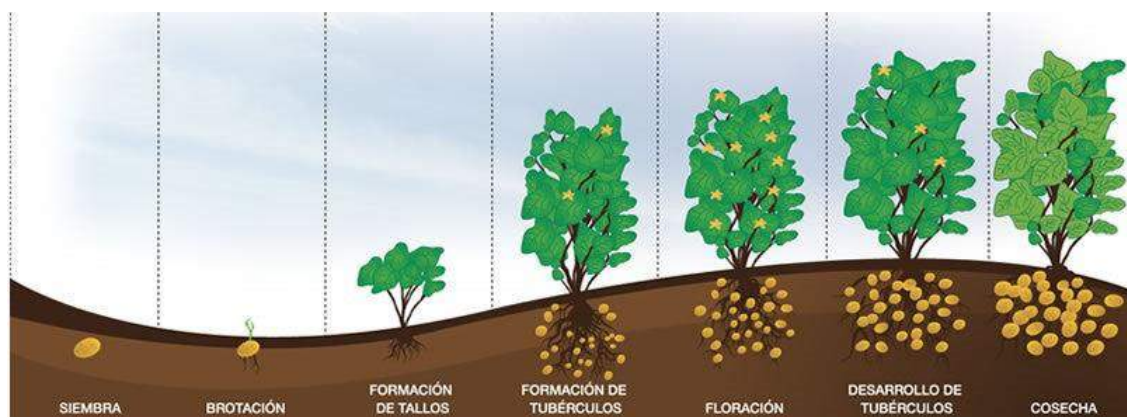
El nitrógeno es un elemento fundamental en el crecimiento y engrosamiento de los tubérculos en conjunto con el fósforo y el potasio que permiten producir aminoácidos y a su vez proteínas que conforman el ADN de los seres vivos. Este compuesto es fundamental para la producción agrícola mundial, pero también uno de los más difíciles de manejar ya que el exceso de nitrógeno de los fertilizantes se filtra al medio ambiente con consecuencias dañinas. (Orchardson, 2020). Es por tal motivo, que se recomienda hacer uso de tecnologías y técnicas agrícolas adecuadas para que la distribución y aplicación sea idónea para los cultivos evitando un retraso en la tuberización y un crecimiento excesiva en la zona aérea del tubérculo.

2.2.1.2. Humedad del suelo

Esta variable se basa en la cantidad de agua total que existe incluido el vapor de agua en un terreno específico, los niveles de humedad del suelo dependen de una serie de factores como son condiciones meteorológicas, tipos de suelo, zona de vegetación y tipos de cultivo que se encuentren presentes en una zona agrícola.

En el cultivo de papas el uso del recurso hídrico es fundamental para su producción, esencialmente en la etapa de estolonización y tuberización, es decir en la formación y engrosamiento de los tubérculos (véase la Figura 2) requiriendo de un drenaje adecuado que evite los estancamientos de agua en el terreno que produzca desarrollo de enfermedades

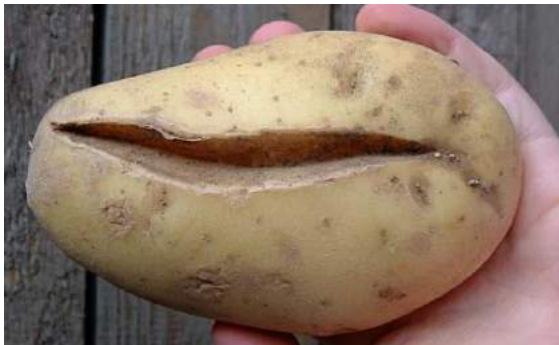
Figura 2.
Etapas del cultivo de papas



Nota. Adaptado de *Etapas fenológicas del cultivo de papa (Solanum tuberosum)*, por (Proain Tecnología Agrícola, 2020), PROAIN TECNOLOGÍA AGRÍCOLA ([HTTP://www.drought.gov/topics/soil-moisture](http://www.drought.gov/topics/soil-moisture))

2.2.1.3. Tipo de riego

El tipo de riego aplicado al cultivo de tubérculos depende del relieve del terreno entre los cuales los métodos de riego más usados en estos cultivos son riego por aspersión y riego por goteo. Estos cultivos requieren un riego frecuente para reducir la deformación de los tubérculos (Véase la Figura 3a) o la presencia de sarna en los tubérculos (Véase la Figura 3b)

Figura 3.*Consecuencias por el exceso de agua*a) *Deformación de la papa*b) *Sarna común*

Nota. Adaptado de *Principios agronómicos en el cultivo de la papa*, por (YARA, 2020), ([HTTP://www.yara.com.ec/nutricion-vegetal/papa/principios-agronomicos-en-el-cultivo-de-la-papa/](http://www.yara.com.ec/nutricion-vegetal/papa/principios-agronomicos-en-el-cultivo-de-la-papa/))

- **Riego por aspersión:** Este método se centra de aplicar agua de forma que lo hace la lluvia mediante chorros de agua pulverizada en gotas que son esparcidas por aspersores que se encuentran distribuidas por una red de tuberías en el terreno como se muestra en la Figura 4. Según (Agropinos, 2022) asegura que “Con este mecanismo es posible alcanzar eficiencias de aplicación entre 80 y 85 %”.

Figura 4.*Riego por aspersión*

Nota. Adaptado de *En la agricultura, los sistemas de riego son utilizados para un aprovechamiento óptimo del agua.*, por (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, 2018), ([Sistema de Riego Gobierno de México](#))

- **Riego por gravedad:** Este método de regío (Véase la Figura 5) tiene como objetivo distribuir el agua por los canales o surcos con una pendiente leve para evitar el desbordamiento del agua y exista infiltración en el suelo hasta saturar el canal lo cual presenta una eficiencia del 55% y no requiere de implementación energética.

Figura 5.
Riego por gravedad



Nota. Adaptado de *En la agricultura, los sistemas de riego son utilizados para un aprovechamiento óptimo del agua.*, por (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, 2018), ([Sistemas de riego gobierno de México](#))

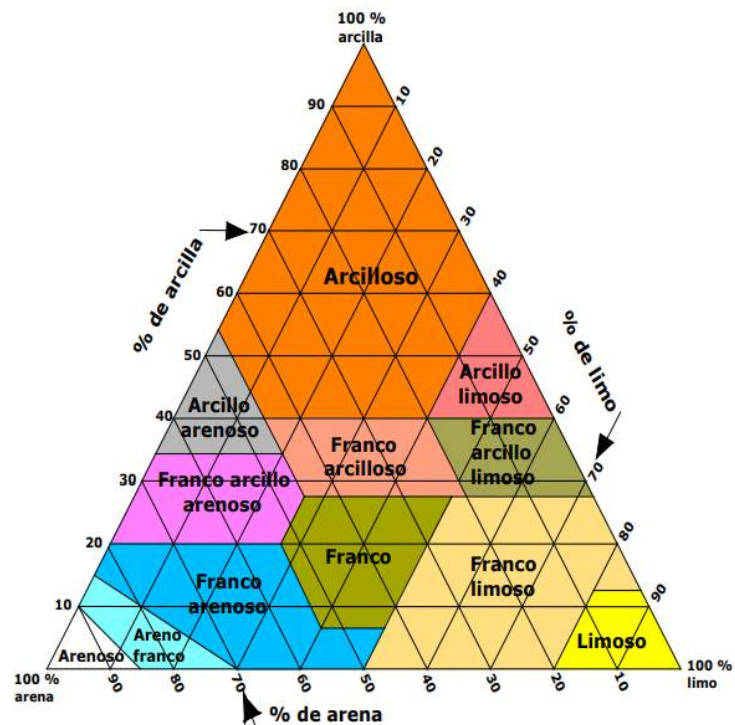
2.2.1.4. Tipo de suelo

El cultivo de tubérculos es implementado en la mayoría de los suelos que presentan gran cantidad de nutrientes y una estructura suelta para su preparación previo los 3 o 4 meses a la etapa de sembrío, (YARA, n.d.) asegura que “un suelo ideal para papas es de buena estructura, con buen drenaje para ventilación de las raíces y desarrollo de los tubérculos con un mínimo de infestación de enfermedades”.

(Maciej Serda et al., 2013) aseguran que “Los mejores suelos son los francos, franco-arenosos, franco-limosos y franco-arcillosos, con buen drenaje y ventilación, que además facilitan la cosecha” que están conformados por partículas de minerales que son clasificadas

de acuerdo con su tamaño: las de mayor grosor son denominadas arenas, las de mediano grosor son limos y finalmente las más pequeñas son arcillas. “En función de su composición los suelos poseen diferente capacidad de retención de humedad, que depende también del contenido de materia orgánica presente”. (Ciancaglini-Prosap, 2022) En la Figura 6 se muestra el triángulo de texturas que permite determinar qué tipo de suelo es dependiendo el porcentaje de textura que posee

Figura 6.
Triángulo textural de USDA



Nota. Adaptado de R- 001- *Guía para la determinación de textura de suelos por método Organoléptico*, por (Ciancaglini, n.d.)

2.2.1.5. Pendiente del terreno

La retención y captación del agua no depende únicamente del tipo de suelo ya que al aumentar el grado de la pendiente aumenta la erosión de los suelos y por lo tanto afecta el desarrollo de la papa, (Maciej Serda et al., 2013) recomienda que “para una buena

productividad el terreno debe de presentar de 0.0 a 4% de pendiente” ya que si superan este intervalo puede ocasionar una disminución en la producción de la papa.

2.2.1.6. Temperatura Ambiente

El factor de temperatura ambiente es de suma importancia en los diferentes cultivos ya que dependiendo de la planta se requiere de rangos de temperaturas específicas para el correcto desarrollo de éstas. La papa se encuentra considerada como termo periódica, es decir que requiere de variaciones de temperatura entre el día y la noche, las variaciones se deben de encontrar entre los 10°C como mínimo para evitar afectaciones en las etapas de crecimiento y tuberización. (de Dios Molina et al., 2004).

La temperatura ambiente que requiere la papa depende de la etapa fenológica en la que se encuentre cursando para un correcto desarrollo de la planta, la Tabla 2 muestra los rangos de temperatura ideal que deberá de tener las papas en cada etapa dentro del cultivo.

Tabla 2.
Rango de temperaturas aceptables en el cultivo de papas

Etapa	Temperatura
Dos semanas después de la siembra	13°C
Desarrollo Foliar	12 a 14°C
Elongación de tallos y floración	18°C
Formación de tubérculos	16 a 20°C

Nota. Tomado de: Manual para la producción de papas en la sierra y valles altos por (Rubio, 2000), Centro Nacional de Tecnología agropecuaria y Forestal

2.2.1.7. Altitud

Esencialmente el cultivo de papas depende de las condiciones de temperatura y la variedad de la papa, es decir que la altitud de siembra puede ir desde el nivel del mar hasta los 4000 msnm según lo asegura (Vignola et al., 2017). Sin embargo, según (Maciej Serda et al.,

2013) “la altitud ideal para un buen desarrollo se encuentra desde los 1,500 a 2,500 msnm, claro está que bajo estas condiciones se da la mejor producción de la papa”. En la Tabla 3 se describe las principales variedades de papa y la altitud que se recomienda para su cultivo.

Tabla 3.

Rango de altitud requerida por variedad de papa

Variedad de papas	Altitud recomendada
SUPERCHOLA	2800 – 3400 msnm
INIAP FRIPAPA	2800 – 3400 msnm
INIAP CECILIA	2600 – 3200 msnm
INIAP VICTORIA	2800 – 3400 msnm
INIAP GABRIELA	2800 – 3400 msnm
INIAP ESTELA	2800 – 3400 msnm
INIAP NATIVA	2800 – 3400 msnm
INIAP PUCA SHUNG	2900 – 3300 msnm
INIAP YANA SHUNGO	2900 – 3300 msnm

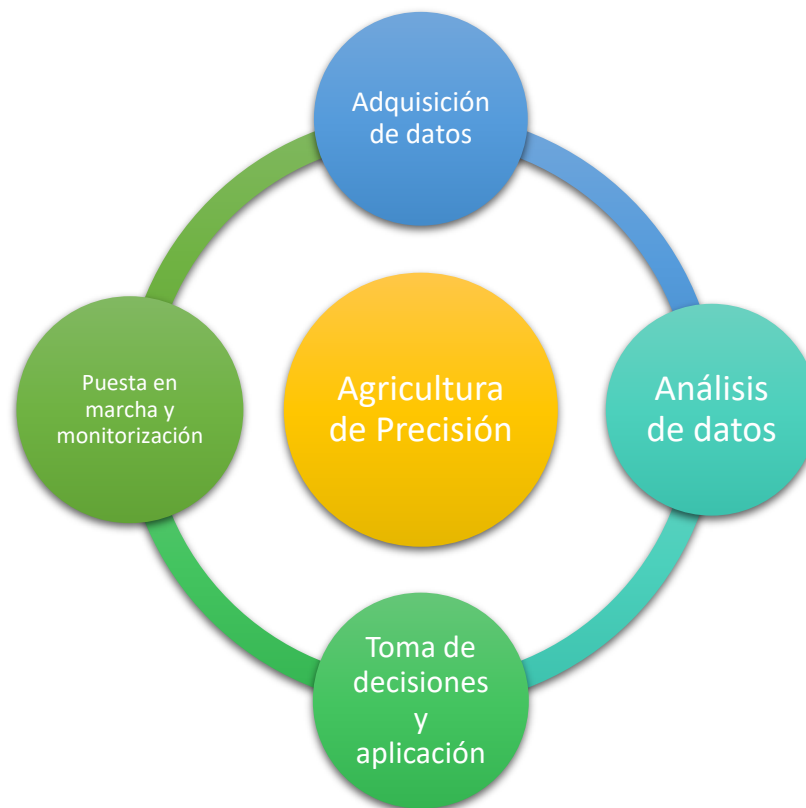
2.3. Agricultura de Precisión

La agricultura de precisión se basa en un conjunto de técnicas con base en tecnologías eléctricas, electrónicas, telecomunicaciones e informática, el cual, optimice el uso de insumos agrícolas manteniendo homogeneidad a través de una distribución requerida en zonas específicas en el tiempo adecuado, reduciendo de esta manera el impacto ambiental dentro de una producción agrícola.

La tecnología en la agricultura de precisión no consiste solamente en medir la variabilidad existente, sino también en la adopción de prácticas administrativas que se realicen en función de esa variabilidad (Chartuni et al., 2007). Es por tal motivo que, la agricultura de precisión tiene la posibilidad de identificar, cuantificar y mapear variables que interactúan en un agroecosistema, como consecuente, se implementan prácticas agrícolas con base en las tecnologías para la aplicación adecuada de insumos en un área geográfica precisa optimizando los recursos y mejorando el producto final.

La agricultura de precisión se basa en un proceso secuencial dividida en 4 etapas como se muestra en la Figura 7 para garantizar la alta eficiencia de la técnica implementada, mejorando el propio ciclo del cultivo según lo afirman (AgroecologíaTornos, 2018)

Figura 7.
Fases de la agricultura de precisión



2.3.1. Beneficios de la agricultura de precisión

La agricultura de precisión se basa en la tecnología para satisfacer las necesidades de esta actividad como es el uso de sensores inalámbricos que dé a conocer las variabilidades que existen en la zona de cultivo y a través de ello llevar a cabo acciones que mejoren la rentabilidad tanto en producción como en gastos.

De acuerdo con (García & Flego, 2010) se expone los siguientes beneficios que brinda la agricultura de precisión:

- Gestión optimizada de las explotaciones
- Reducción de la aplicación de pesticidas y fertilizantes
- Menor impacto medioambiental
- Productos con mayor valor nutritivo
- Obtención de información más precisa y de trazabilidad, muy importante en las zonas con carencias de nitrógeno
- Reducción de combustibles en los tractores

2.4. Internet de las Cosas

El IoT (Internet de las Cosas) es una tecnología que se basa en la interconexión de datos y objetos que se encuentran en el entorno a través de internet, los cuales, a través de sensores, puertas de enlaces, tecnología inalámbrica y más componentes que permiten monitorizar, actuar y comunicar hacia los usuarios finales los comportamientos que se están dando dentro de la red. La aplicabilidad del IoT se encuentra en diversas áreas como son: educación, agricultura, transporte, domótica, manufacturación entre otros. Por lo general, el IoT resulta atractivo para personas que buscan la reducción de tiempos para aspectos de la vida cotidiana por medio de la utilización de tecnología. (Flores et al., 2021)

2.4.1. Características

El internet de las cosas presenta diversas características como es la conectividad, identidad, inteligencia, escalabilidad, dinámica, autoadaptación y seguridad para ser una solución adecuada con respecto a la agricultura de precisión. Estas se describen a continuación.

2.4.1.1. Conectividad

Es la capacidad que tienen los dispositivos IoT en comunicarse e intercambiar datos entre asó o hacia un lugar central con la finalidad de ser monitoreados y controlados por el administrador desde un lugar remoto

2.4.1.2. Identidad

Es una característica que permite reconocer a cada uno de los dispositivos IoT dentro de una red, esta identificación es única para poder acceder a un dispositivo y conocer el estado en el que se encuentre o acceder a los datos que este adquiriendo este.

2.4.1.3. Inteligencia

Los datos son adquiridos por los sensores de forma consecutiva. Sin embargo, se debe de interpretar adecuadamente para que esos datos sean información útil de un panorama brindado, por lo que la interpretación llevada a cabo por los dispositivos IoT describe la propiedad de la inteligencia

2.4.1.4. Escalabilidad

Esta propiedad tiende a poder soportar el incremento de la red IoT con la agregación de dispositivos sin que afecte el rendimiento de la red. Esto puede lograrse añadiendo más recursos de hardware o añadiendo capas de software adicionales a un sistema existente.(Rajiv, 2022)

2.4.1.5. Dinámica y autoadaptación

Los dispositivos IoT tienen la capacidad de adaptarse dinámicamente a las condiciones ya sea ambientales, climáticas, temporales entre otros que se encuentre expuesto el dispositivo para que la adquisición de datos siga siendo la adecuada para su interpretación.

2.4.1.6. Seguridad

La seguridad es el principal reto que se considera en una red IoT debido a que podría existir una posible pérdida de datos del usuario, ya que estos dispositivos se encuentran conectados a la red y podría representar un riesgo alto tener su información en sitios ilegales.

2.4.2. Arquitectura IoT

El funcionamiento de esta tecnología se lleva a cabo con base a una arquitectura estructurada de 4 capas descrita por (H. D. Ma, 2011) que se encuentra detallada en la Tabla 4.

Tabla 4.
Arquitectura IoT

# Capa	Capa IoT	Descripción
4	Capa de servicios de aplicación	Permite la visualización de la información tratada para acciones pertinentes Lleva a cabo el
3	Capa de integración de la información	procesamiento de los datos adquiridos por los sensores para convertirla en información utilizable
2	Capa de intercambio de datos	Se basa en la transmisión transparente, fiable y eficiente de los datos
1	Capa de detección de objetos	Consiste en la detección de objetos físicos y obtención de datos

Nota. Tomado de Internet of Things: Objectives and Scientific Challenges por (H.-D. Ma, 2011) Beijing University of Posts and Telecommunications

2.5. Red de Sensores Inalámbricos

En la actualidad, la necesidad de crear entornos inteligentes se ha visto involucrado por la computación ubicua o inteligencia ambiental, lo cual, se basa en la interacción entre el usuario y la máquina que tiene habilidades de adquisición de datos del entorno físico en el que se encuentre en conjunto con su estado actual para su procesamiento, comunicación y visualización de la información al usuario.

En esta área de inteligencia ambiental se encuentran las redes de sensores inalámbricas que como lo define (Sohraby et al., 2007) “Una red de sensores es una infraestructura compuesta por elementos de detección (medición), computación y comunicación que proporciona a un administrador la capacidad de instrumentar, observar y reaccionar ante eventos y fenómenos en un entorno determinado.” Sin embargo, existen ciertas limitaciones en cuanto a estos dispositivos que son denominados motas o nodos sensores como son su procesamiento, memoria, energía limitada, seguridad e integridad física ya que al encontrarse en ambientes exteriores comúnmente pueden encontrarse vulnerables a manipulaciones física, hurto entre otros.

2.5.1. Características de la WSN

Esta clase de redes son caracterizadas por su facilidad de instalación y despliegue que pueden ser ubicados de forma aleatorio o estratégicamente en una zona específica, por lo que, su aplicabilidad se encuentra en diversas áreas como es la agricultura, medicina, industria, medio ambiente, seguridad entre otros.

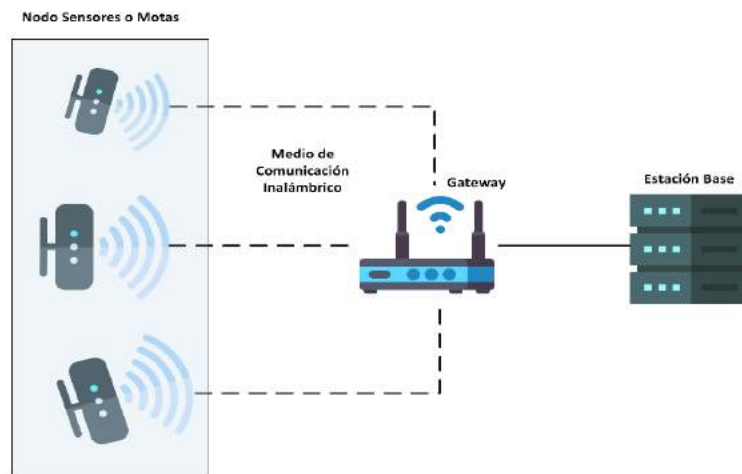
Una WSN puede ser constituida por cientos o miles de sensores donde debe de prevalecer el bajo costo de instalación, ser tolerante a fallas, usar protocolos que le permitan autoconfigurarse y limitar sus capacidades cómputo y memoria. De igual manera, estos dispositivos pueden convertirse en todo momento en emisor, receptor, ofrecer servicios de

encaminamiento entre nodos sin visión directa, así como registrar datos referentes a los sensores locales de cada nodo (Rodríguez et al., 2014)

2.5.2. Arquitectura de una WSN

La arquitectura de una red de sensores inalámbricos se basa en 4 elementos como se detalla en la Figura 8 los cuales son: nodos sensores o motas, puertas de enlace o Gateway, medio de comunicación y estación base. Dependiendo de la aplicabilidad de la WSN se necesitará de mayores o menores prestaciones tanto en hardware como en software de los elementos antes mencionados.

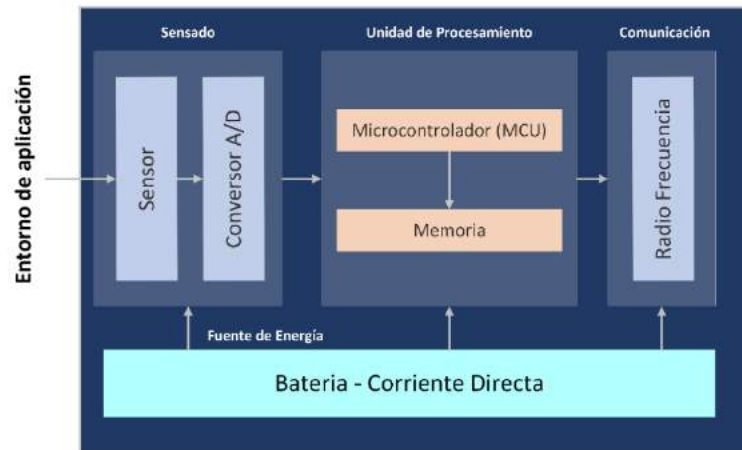
Figura 8.
Arquitectura de red



2.5.2.1. Nodos sensores o motas

Un nodo sensor es un dispositivo electrónico que posee procesamiento, memoria, sensores, módulo de comunicaciones inalámbricas y sistema de alimentación como se lo describe en el esquema de la Figura 9 que tiene como funcionalidad recolectar datos del entorno al que se encuentre expuesto, con la finalidad de brindar información hacia el usuario y se tomen decisiones con base en los datos obtenidos por los nodos sensores.

Figura 9.
Elementos de un Nodo Sensor



Estas acciones son cumplidas por el hardware y software que compone una mota ya que a través de un código de programación se controla toda acción que realice la estructura física de un nodo sensor.

2.5.2.1.1. Sensor

El nodo sensor puede estar conformado por uno o varios sensores que pueden captar las condiciones del entorno al que se encuentre expuesto, entre las variables comúnmente analizadas es la temperatura, humedad, luminosidad entre otras consideraciones ambientales.

Según (Zennaro, 2010) afirma lo siguiente:

Debido a las limitaciones de ancho de banda y potencia, los dispositivos admiten principalmente unidades de datos bajas con una potencia computacional y velocidad de detección limitada. Algunas aplicaciones requieren una detección multimodo, por lo que cada dispositivo puede tener varios sensores a bordo.

2.5.2.1.2. Conversor Análogo – Digital

Es el dispositivo electrónico que se encarga de convertir la señal analógica en señal digital para su procesamiento, se conoce como señal digital a una señal representada por unos

y ceros, este dispositivo recibe con valor de entrada el valor análogo presente en el entorno y devuelve una salida ya digitalizada

2.5.2.1.3. Microcontrolador

Es parte de la unidad de procesamiento y se encarga de las acciones que lleva a cabo el nodo sensor como es la adquisición y procesamiento de datos, comunicación con el Gateway u otras motas y administración eficiente del suministro de energía.

2.5.2.1.4. Memoria

De igual manera la memoria es parte de la unidad de procesamiento de la mota y almacena el programa con el que lleva a cabo las acciones el nodo sensor y los datos que este adquiere. Comúnmente la memoria se encuentra integrada al microcontrolador

2.5.2.1.5. Radiofrecuencia

La comunicación inalámbrica entre las diferentes motas o hacia un Gateway se la lleva a cabo a través de un módulo que permite la comunicación por radio frecuencia, la tecnología y frecuencia a la que estará trabajando la mota dependerá netamente del módulo implementado. Es decir que la comunicación podría ser a través de WI-FI, IEEE 802.15.4, bluetooth entre otras dependiendo la zona de aplicación, ya que algunas tecnologías son ideales en entornos urbanos, suburbanos y rurales.

2.5.2.1.6. Fuente de energía

Es la parte que alimenta eléctricamente todos los circuitos, módulos y sensores que dispone la mota. Los nodos pueden ser situados en una diversidad de entornos dentro de la zona urbana y rural sin fácil acceso por lo que el consumo bajo de energía juega un papel importante en estas aplicaciones. “Los nodos sensores suelen tener poco almacenamiento de energía, por

lo que los protocolos de red deben hacer hincapié en la conservación de la energía.” (Zennaro, 2010)

2.5.2.2. Gateway o Puerta de enlace

Una puerta de enlace o Gateway cumple con la función de preprocesar los datos que han sido recibidos por los nodos sensores y comunicar dichos datos hacia una nube o un servidor local para su procesamiento a través de un medio de mayor capacidad para el envío masivo de datos. Debido a esto, se requiere de un dispositivo robusto que permita diferentes tecnologías y protocolos de comunicación con la finalidad de reducir cargos en los dispositivos presentes en la red.

De acuerdo con (López, 2021) “El Gateway funciona como una interfaz entre diferentes protocolos de red por lo que el dispositivo ofrece cierto nivel de seguridad debido a que tiene la facultad de registrar eventos que sucedan entre la comunicación de las redes. “

2.5.2.3. Estación base

Los datos remitidos por el Gateway son almacenados y procesados en un dispositivo, computadora o sistema embebido, el procesamiento de los datos permitirá la visualización de estos, los cuales, pueden ser accedidos de forma remota o local para conocer el estado actual de la red de sensores inalámbricos o a su vez el estado de la red.

2.5.2.4. Medio de comunicación inalámbrico

Según la Figura 3 la comunicación entre los nodos sensores y la puerta de enlace o Gateway se lleva a cabo de forma inalámbrica mediante ondas de radio, es decir, que no hace uso de un medio de propagación físico para la transmisión y recepción de información.

“Una red de sensores inalámbricos dependiendo de la tecnología de comunicación puede usar frecuencias desde los 433 MHz hasta los 2.4 GHz” según lo afirma (Maroto

Cantillo, 2010), considerando que existe espacios del espectro radioeléctrico licenciado que requieren de un pago constante para su uso, donde la mayor ventaja es la baja demanda de uso y por tal razón menor ruido presente en las señales que en una señal de uso libre.

2.5.3. Topología de red

Una topología de red consta de topologías físicas y lógicas que permiten que diferentes entidades de la red se comuniquen entre sí conectando físicamente los elementos estructurales y de posicionamiento que facilite la gestión de la transmisión de datos.

La estructura física de una topología de red depende netamente de la aplicación a la que se usará una red de telecomunicaciones, en redes de sensores inalámbricos la topología es un elemento clave debido a que juega un papel importante en la optimización y reducción de recursos como retardos, interferencias, calidad de la comunicación, uso energético adecuado entre otros.

Un autor manifiesta que:

Las redes de sensores pueden desplegarse en zonas remotas, por lo que la probabilidad de fallo de los nodos y de pérdida de datos es muy común; por ello, una selección eficiente de la topología garantiza que los nodos vecinos estén a una distancia mínima y reduce la probabilidad de que se pierdan mensajes entre los sensores. (Sharma et al., 2013)

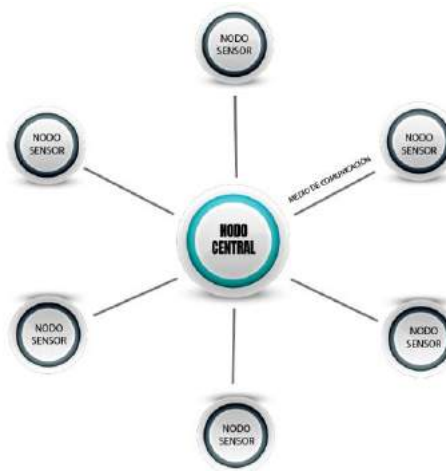
Las topologías usadas en la red de sensores inalámbricos son: Estrella, Malla y tecnología híbrida

2.5.3.1. Topología en Estrella

Comúnmente es la topología más aplicada en redes de sensores inalámbricos ya que cada nodo sensor se conecta de forma individual hacia un mismo nodo central o a su vez a una puerta de enlace a través de un solo salto manteniendo una comunicación directa entre nodo sensor y nodo central, así como se muestra en la Figura 10.

(Rosado, 2009) menciona que “En esta topología adquiere una importancia decisiva el nodo central que se encarga de controlar toda la comunicación, pues cualquier perturbación en el mismo conduce, generalmente, al fallo de la red completa.” Por lo que, la alta disponibilidad del nodo central es prioritaria para evitar la caída del enlace inalámbrico entre los nodos sensores.

Figura 10.
Topología Estrella

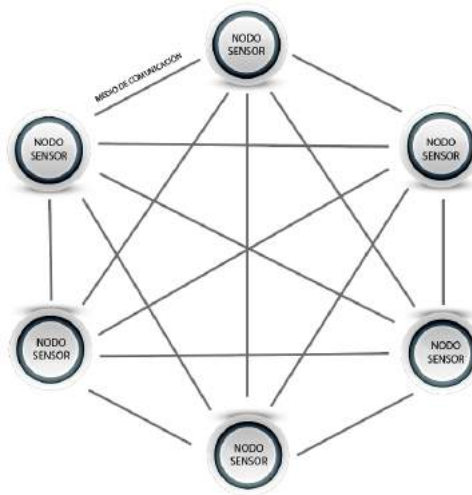


2.5.3.2. Topología en Malla

Esta topología es un sistema multisalto en el que cada nodo tiene la capacidad de transmitir y recibir datos de nodos vecinos, esto hace que exista diferentes caminos hacia un destino como muestra la Figura 11 aumentando la fiabilidad de la red, como consecuente es menos propensa que ocurran errores al no tener ningún punto único de falla. Sin embargo, “El

costo de la red puede aumentar en los casos en los que se implemente de forma alámbrica, la topología de red y las características de esta implican el uso de más recursos.” (Molina, n.d.)

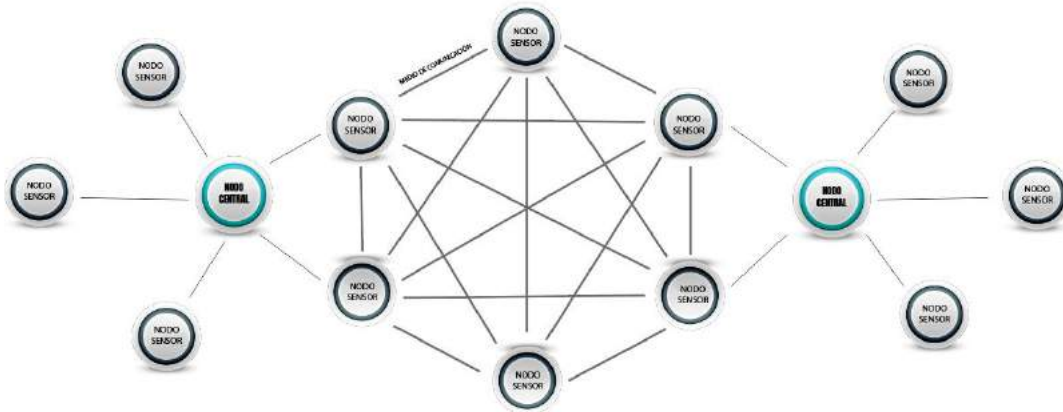
Figura 11.
Topología en Malla



2.5.3.3. Tecnología híbrida estrella-malla

Este tipo de tecnologías se basa en la mezcla de las topologías en estrella y malla como se muestra en la Figura 12 lo cual se caracterizan por tener una comunicación fiable debido a que no existen puntos únicos de falla, menor consumo de energía y la diversidad de caminos hacia un solo dispositivo siendo características esenciales de las topologías mencionadas anteriormente. Se debe considerar los precios de instalación y la complejidad de implementación será dependiendo de los tipos de topología que se vayan a usar en una solución de red de sensores inalámbricos.

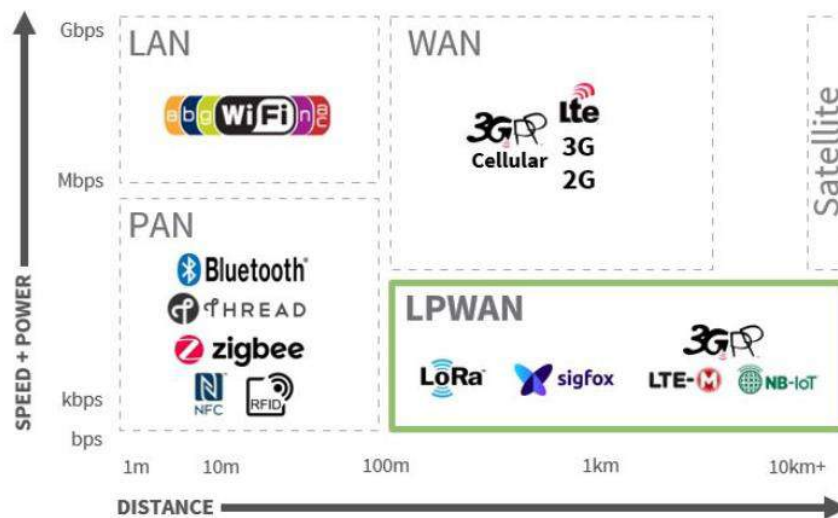
Figura 12.
Topología híbrido estrella-malla



2.6. Tecnologías LPWAN

Las tecnologías LPWAN (Low Power Wide Area Network) es una tecnología inalámbrica que brinda soporte a soluciones del IoT debido a las características que presenta como es su alta eficiencia energética, largo alcance de comunicación dependiendo la tecnología como se muestra en la Figura 13, en zonas rurales hasta una cobertura de 40km y hasta 5 km en zonas urbanas, así como el bajo costo de implementación permitiendo así ser una tecnología eficiente en esta área de aplicabilidad.

Figura 13.
Alcance Tecnologías IoT



Nota. Adaptado de *An introduction to wireless technologies in IoT- LPWAN*, por (Wang, 2020), ([HTTP://www.allion.com/iot-lpwan/](http://www.allion.com/iot-lpwan/))

Al usar tecnología inalámbrica estas tecnologías LPWAN se han desplegado a lo largo del espectro electromagnético haciendo uso de frecuencias con licencia como es NB-IoT o sin licencia como Sigfox, LoRa las cuales se diferencian por sus especificaciones técnicas que se detallan en la Tabla 5.

Tabla 5.
Especificaciones Técnicas LPWAN

Parámetros	LoRaWAN	Sigfox	NB-IoT
Licenciada/No Licenciada	No Licenciada	No Licenciada	Licenciada
Distancia Zona Urbana	5 km	10 km	1 km
Distancia Zona Rural	15 km (Línea de vista)	40 km	10 km
Tiempo de vida batería		<10 años	
Frecuencia	902-928 MHz (América) 863-870 MHz (Europa)	902 MHz (América) 868 MHz (Europa)	1850 – 1990 MHz (América) 1710 – 1880 MHz (Europa)
Número de canales	80 canales	360 canales + 40 canales reservados	
Ancho de banda del canal	125 - 500 KHz	100 Hz – 1.2 KHz	200 KHz
Velocidad máxima de transferencia	980 bps – 21.9 Kbps	100 bps – 600 bps	>250 Kbps
Modulación	CSS	DBPSK – GFSK	D: QPSK + OFDMA U: BPPS/QPSK + SC-FDMA
Estandarización	ETSI	LoRa-Alliance	3GPP
Inmunidad a la interferencia	Muy alta	Muy alta	Baja
Bidireccional	Full duplex	Half-duplex/limitado	Half-duplex

2.6.1. LoRaWAN

LoRa es una tecnología de capa física que modula las señales en la banda ISM sub-GHZ utilizando una técnica patentada de espectro ensanchado (Mekki et al., 2019). Como se

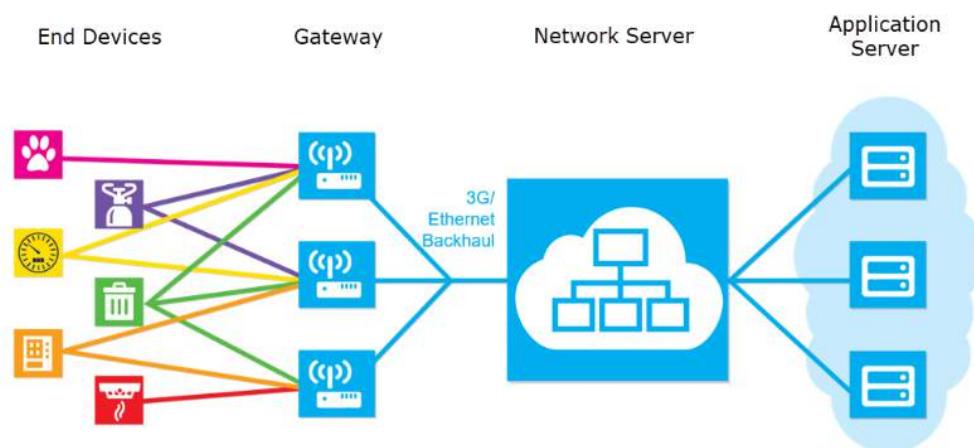
manifestaba en las especificaciones técnicas descritas en la Tabla 5 LoRa dispone de comunicación bidireccional que es proporcionada por la modulación de espectro ensanchado CSS que propaga una señal de banda estrecha en un ancho de banda de canal más amplio.

“El protocolo y arquitectura de red tienen influencia en la determinación de la vida útil de la batería del nodo, la capacidad de la red, la calidad de servicio, la seguridad y una variedad de aplicaciones atendidas por la red”. según lo afirma (Khutsoane et al., 2017).

2.6.1.1. Arquitectura de una red LoRaWAN

La arquitectura de red LoRaWAN consiste en 4 etapas como se muestra en la Figura 14, considerando la arquitectura IoT, la primera etapa se basa en los dispositivos finales que son encargados de recibir y transmitir los valores analógicos de un entorno es decir los sensores, la segunda etapa consiste en la puerta de enlace que es la encargada de recoger los datos transmitidos y transmitirlos hacia la red central por lo que es utilizado como pasarela que dispone de dos tecnologías de comunicación, en la etapa 3 se encuentra el servidor de red central que es el encargado de procesar y enviar los datos hacia otros servidores, finalmente la etapa 4 consiste en los servidores de aplicación que tienen como función almacenar, mostrar e interactuar con los datos adquiridos en la primera etapa.

Figura 14.
Arquitectura de red LoRaWAN

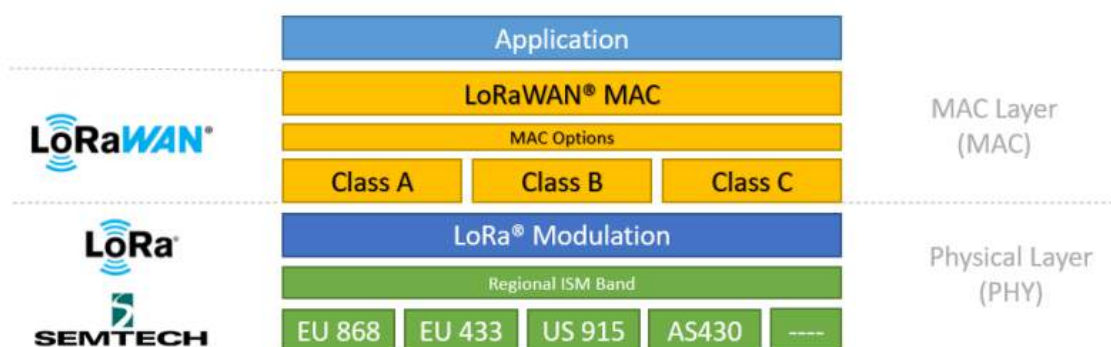


Nota. Adaptado de *Understanding the LoRaWAN® Architecture*, por (Koenen, 2019), ([HTTP://tech-journal.semtech.com/understanding-the-lorawan-architecture](http://tech-journal.semtech.com/understanding-the-lorawan-architecture))

“LoRaWAN es el protocolo de comunicación bidireccional, movilidad y localización estandarizados y mantenidos por LoRa Alliance”(SEMTECH, 2020) , mientras que LoRa es la capa física dentro de la pila de esta tecnología como se muestra en la Figura 15, en esta capa se lleva a cabo la modulación inalámbrica que es la encargada de realizar el enlace de comunicación a largo alcance.

Figura 15.

Pila Tecnología LoRaWAN



Nota. Adaptado de *LoRa® and LoRaWAN®: A Technical Overview*, por (Semtech, 2020), ([HTTP://lora-developers.semtech.com/uploads/documents/files/LoRa_and_LoRaWAN-A_Tech_Overview-Downloadable.pdf](http://lora-developers.semtech.com/uploads/documents/files/LoRa_and_LoRaWAN-A_Tech_Overview-Downloadable.pdf))

2.6.1.2. Canales de operación

La tecnología LoRaWAN trabaja en el rango de frecuencias desde los 902 MHz hasta los 915 MHz con 64 canales que van desde los 902.3 MHz que se incrementan cada 200 KHz hasta 914.9 MHz como se muestra en la Tabla 6. De igual manera, LoRaWAN presenta ocho canales adicionales de enlace ascendente de 500 KHz en incrementos de 1,6 MHz de 903 MHz a 914 MHz.

Tabla 6.

LoRaWAN Canales, Frecuencias & Sub-bandas

Banda Frecuencia	Rangos de Frecuencia (MHz)	Canales
------------------	----------------------------	---------

Sub-Bandas de Subida	Rangos de Frecuencia (MHz)	Canales
Total USA band	902.3 - 914.9	0-63
Sub-Band 1	902.3 - 903.7	0-7
Sub-Band 2	903.9 - 905.3	8-15
Sub-Band 3	905.5 - 906.9	16-23
Sub-Band 4	907.1 - 908.5	24-31
Sub-Band 5	908.7 - 910.1	32-39
Sub-Band 6	910.3 - 911.7	40-47
Sub-Band 7	911.9 - 913.3	48-55
Sub-Band 8	914.9 - 915.5	56-63

Nota. Tomado de *LoRaWAN USA frequencies, channels and sub-bands for IoT devices*, por (Barani, 2019) ([HTTP://www.baranidesign.com/faq-articles/2019/4/23/lorawan-usa-frequencies-channels-and-sub-bands-for-iot-devices](http://www.baranidesign.com/faq-articles/2019/4/23/lorawan-usa-frequencies-channels-and-sub-bands-for-iot-devices))

2.6.1.3. Factores de dispersión

Se conoce como factor de dispersión (SF) a la cantidad de código de dispersión que se aplique a una señal de datos antes de ser transmitida, cada trama de datos es transmitida con un factor de dispersión de los 6 factores de dispersión que dispone LoRaWAN (SF7 a SF12) que puede ser calculado mediante la ecuación (1)

$$SF = \log_2 R_c / R_s \quad (1)$$

Donde

R_c : Es la tasa de chip

R_s : Es la tasa de símbolo

Por tal motivo existe una compensación entre el factor de dispersión y el rango de comunicación, es decir que entre más lenta sea la comunicación mayor rango de alcance tendrá la transmisión, por lo tanto, entre mayor sea el factor de dispersión más largo podrá viajar la señal.

En la Tabla 7 se describe la tasa de transmisión y la relación de chip sobre símbolo que dispone cada uno de los factores de dispersión, los enlaces ascendentes usan factores de dispersión del 7 al 10 mientras que los enlaces descendentes hacen uso de los 6 factores de dispersión del 7 al 12

Tabla 7.
Especificaciones Factor de Dispersión

Factor de dispersión	Chips/Símbolo	Bit rate
SF7	128	5469 bps
SF8	256	3125 bps
SF9	512	1758 bps
SF10	1024	977 bps
SF11	2048	537 bps
SF12	4096	293 bps

Nota. Tomado de *LoRa Link-budget and Sensitivity Calculations*, por (Techplayon, 2017), ([HTTP://www.techplayon.com/lora-link-budget-sensitivity-calculations-example-explained/](http://www.techplayon.com/lora-link-budget-sensitivity-calculations-example-explained/))

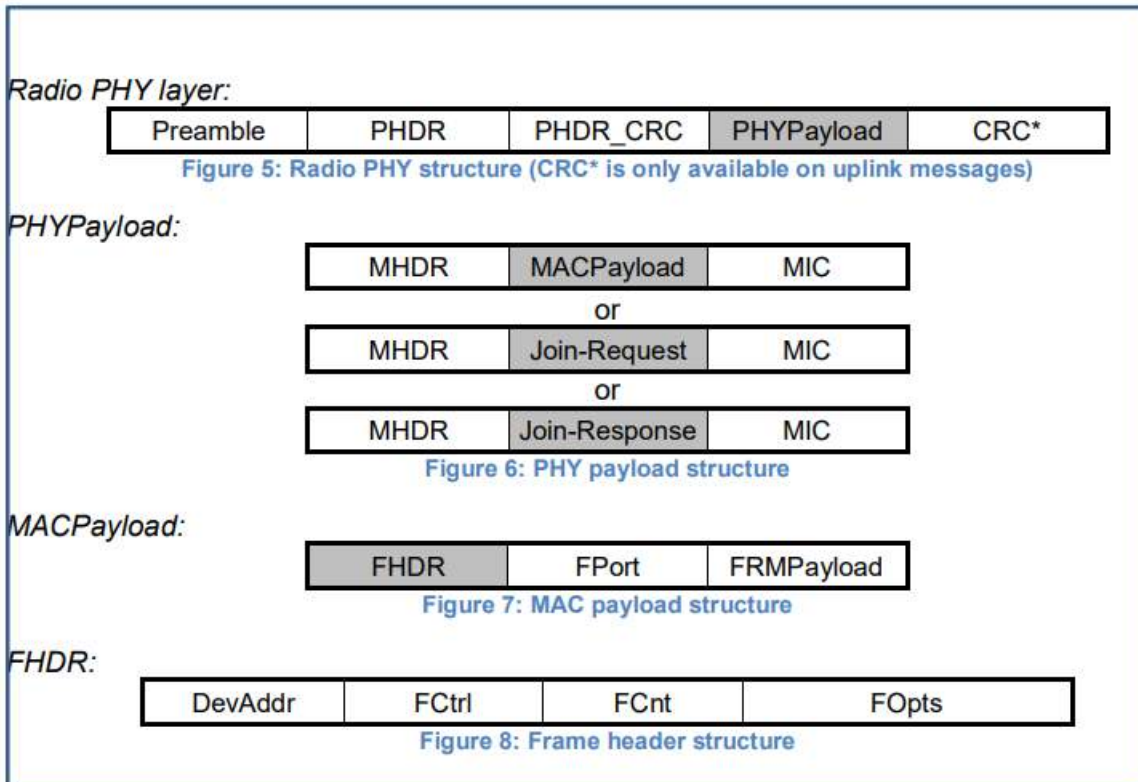
2.6.1.4.Formato de la trama LoRaWAN

La estructura de un paquete LoRa está conformado por los parámetros especificados en la Figura 16 donde los mensajes de enlace ascendente están conformados por un preámbulo, la cabecera de capa física, CRC de la cabecera, la carga útil de la capa física, así como un CRC al final del mensaje con la finalidad de proteger la integridad de los datos.

El preámbulo cumple la función de sincronizar y definir el esquema de modulación con el que se transmitirá el paquete con una duración de 12.25 tiempo símbolo TS. El encabezado de la capa física y CRC están codificados con una tasa de código confiable que permite al receptor desechar los paquetes con encabezados incorrectos.

Figura 16.

Elementos de formato de mensaje LoRa



Nota. Tomado de *LoRaWAN™ 1.0.3 Specification*, por (LoRa Alliance, 2018), ([HTTP://loralliance.org/wp-content/uploads/2020/11/lorawan1.0.3.pdf](http://loralliance.org/wp-content/uploads/2020/11/lorawan1.0.3.pdf))

En el parámetro de PHY Payload hace énfasis a la cabecera MAC, la cual, de acuerdo con (Noura et al., 2020) “especifica el tipo de mensaje y la versión de formato de trama principal que se relaciona con la capa LoRaWAN codificada”, en la carga MAC se encuentra información con respecto a la información del usuario, tipo de mensaje, el encabezado FHDR, el puerto de comunicación y la carga FRM.

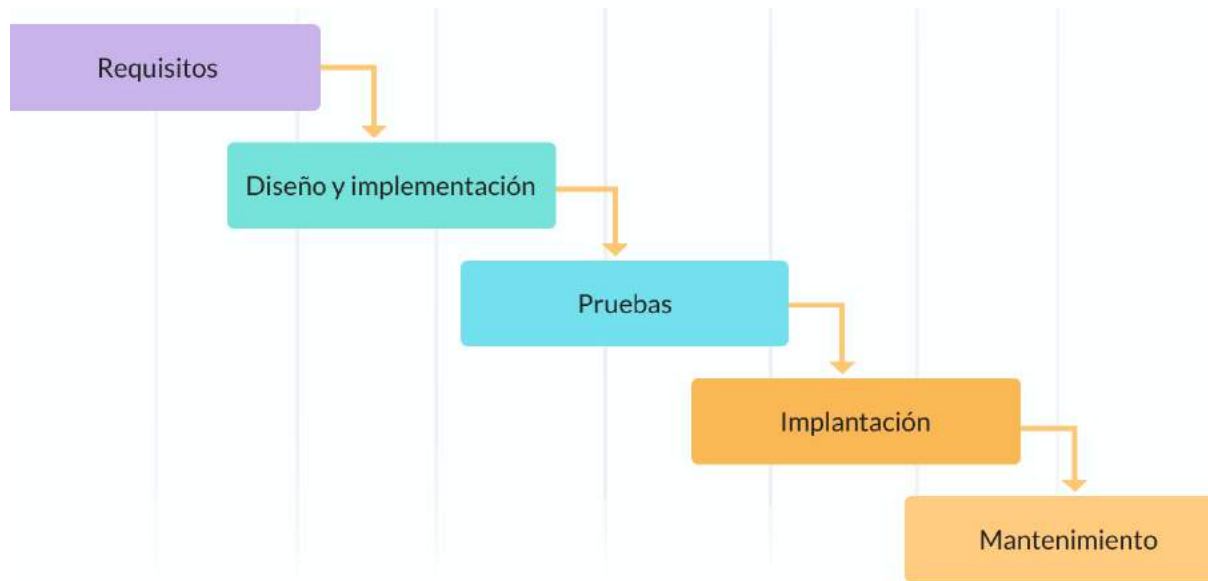
3. CAPITULO III. Diseño e Implementación

Este capítulo detalla la continuidad de los requisitos junto a la fase de diseño e implementación de la metodología en cascada que es implementada para el desarrollo de este proyecto. La fuente de los requerimientos se basa en el análisis de los stakeholders que permita cumplir las expectativas de los interesados o partes afectantes directa e indirectamente puesto que los stakeholders de acuerdo con (Oliveros et al., 2014) “desempeñan un papel clave en la elicitación, especificación y validación de los requerimientos”, Seguido de ello se realiza el análisis y estudio de la zona de aplicabilidad del proyecto para conocer que tecnologías de comunicación e implementación electrónica se requiere para cumplir con los objetivos planteados culminando con el diseño, implementación y verificación del sistema de monitoreo.

3.1. Metodología de diseño

El proyecto se desarrolla con base en la metodología en cascada, llamada así por el cumplimiento jerárquico que se debe de cumplir para la culminación del proyecto, es decir que el inicio de cada etapa debe de cumplir la finalización de la etapa previa y posteriormente la revisión de esta para continuar con el proceso metodológico, por lo que se debe considerar que los tiempos de desarrollo de cada etapa sean los adecuados incluyendo la etapa de pruebas por fase para tener un menor índice de fracaso.

En la Figura 17 se observa el diagrama al que está regido esta metodología, dependiendo el investigador lo puede mantener en cuatro o cinco etapas, en este proyecto se basará en un proceso de 5 etapas y con ello presentar ventajas como evitar problemas en la etapa de desarrollo ya que previamente se cumplió con las fases previas y evita incurrir en riesgos tanto económicos como técnicos, así como la fácil comprensión del desarrollo del proyecto en general.

Figura 17.*Diagrama modelo en cascada*

Nota. Tomado de *Modelo de cascada ('Waterfall'): qué es y cuándo conviene usarlo*, por (Stsepanets, 2023), ([HTTP://blog.ganttpro.com/es/metodologia-de-cascada/](http://blog.ganttpro.com/es/metodologia-de-cascada/))

Con base en la metodología en cascada el primer proceso es conocer los requisitos para desarrollar de un sistema de monitoreo sectorizado mediante una red de sensores en cultivos de vegetales y tubérculos, el cual, dependiendo el sector de implementación de los sensores se monitoreará individual, sectorizada y constantemente las condiciones ambientales y de nutrientes presentes en un terreno agrícola mejorando las etapas de desarrollo de un cultivo de tubérculos y vegetales. En la segunda etapa que corresponde al diseño e implementación, se propone el diseño de la red de sensores, la selección de: hardware, tecnologías de comunicación, software de programación y almacenamiento en bases de datos a utilizar y la implementación de este sistema de monitoreo para conocer el comportamiento del prototipo en cada una de las fases que serán explicadas en este capítulo, también se presenta una tercera etapa que consiste en realizar pruebas de funcionamiento de todos los elementos que forman parte del sistema de monitoreo para detectar posibles errores o garantizar de que la solución cumpla con el objetivo general propuesto en el presente trabajo. Una vez probados los

componentes y el prototipo en su conjunto se continua a la etapa de implantación, en el que el sistema de monitoreo sectorizado es puesto en marcha dentro de una zona agrícola que permita analizar las condiciones ambientales del ambiente y el suelo en conjunto con el nutriente químico mediante un plan de pruebas y el cumplimiento de requerimientos que son expuestos en el punto 3.2.3. Para finalizar con el desarrollo del proyecto con base en la metodología se debe cumplir tiempos de mantenimiento o soporte ya que al hacer uso de tecnologías LPWAN el funcionamiento está destinado a tener un tiempo de vida útil de entre 8 a 10 años por lo que el mantenimiento se lo realiza continuamente para garantizar este principio.

3.2.Análisis

Para establecer cada uno de los requerimientos que demanda una propuesta en cuanto a la agricultura de precisión es requerido realizar un análisis de campo donde se va a implementar cualquier solución, con la finalidad de conocer los posibles problemas, restricciones o condiciones que esta zona geográfica pueda presentar actualmente. Estos análisis se lo realizan mediante visitas de campo al lugar de implementación, reconocimiento del terreno y ubicación geográfica para determinar e indagar dichas condiciones que estarán presentes en el desarrollo del proyecto.

3.2.1. *Situación Actual*

En la actualidad, la actividad agrícola tradicional presenta diversidad de problema como es el retardo en el desarrollo de la planta, enfermedades, bajo crecimiento poblacional e incluso perdida parcial o total del producto final debido a la presencia de plagas, baja fertilización del suelo, exposición a variaciones de temperatura bruscos entre otras variables que no presentan una monitorización constante de estas, por lo que la agricultura de precisión es una de las soluciones óptimas para evitar los problemas expuestos anteriormente y a su vez mejorar la

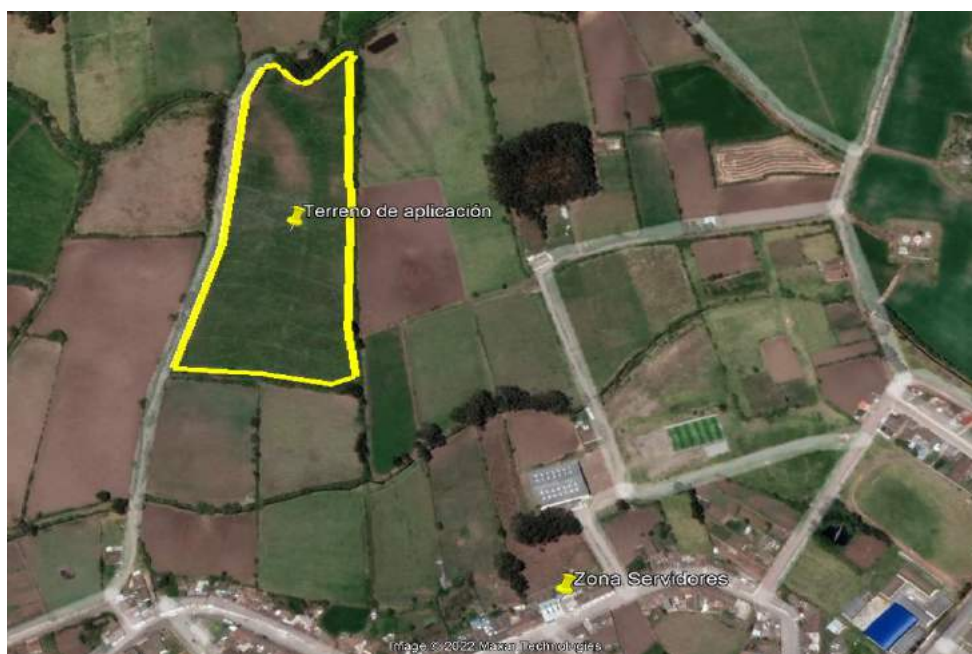
productividad y salud del producto final mediante la monitorización del entorno al que está expuesto una zona agrícola.

El sistema de monitoreo sectorizado se basa en los objetivos que persigue la agricultura de precisión para mejorar el rendimiento de los fertilizantes químicos, recursos hídricos y las variaciones de temperatura en el que estas variables están involucrados en cada una de las fases de desarrollo del producto y donde el agricultor le permite conocer estos datos de forma más precisa mediante la sectorización para llevar a cabo la resolución de posibles problemas que se puedan presentar dependiendo el sector vulnerable adoptando soluciones tecnológicas que han sido declarados como soluciones sostenibles a lo largo del tiempo.

El sistema de monitoreo se desarrolla en la parroquia de San Isidro perteneciente al cantón Espejo de la provincia del Carchi ubicado a 3142 m.s.n.m con una presencia de clima de entre los 5°C a 18°C, lo cual, es una de las provincias que produce la mayor cantidad de tubérculos a nivel nacional, el sistema será implementado en un terreno de 3 hectáreas como se muestra en la Figura 18.

Figura 18.

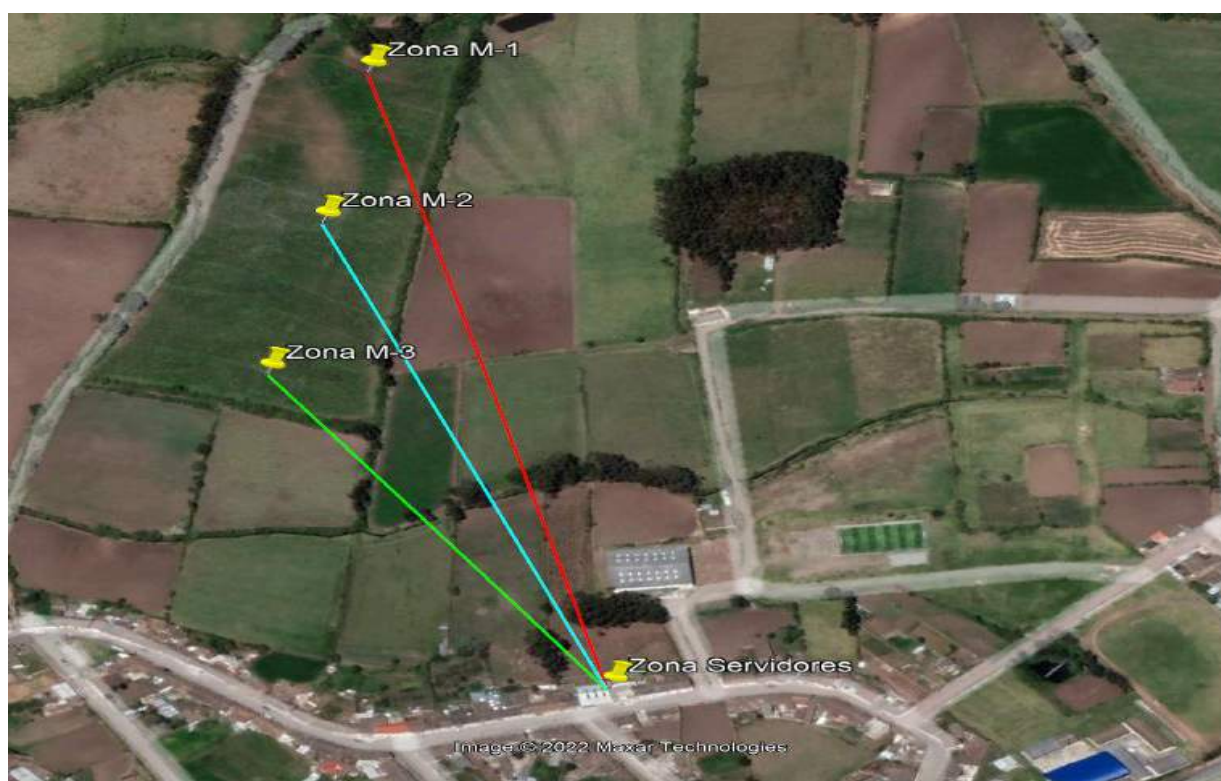
Área Terreno de Aplicación



La Figura 19 indica las zonas de interconexión establecido entre la zona de monitoreo que estará sectorizada definidas como Zona M-1 (Zona mayor altitud), Zona M-2 (Zona con altitud media) y Zona M-3 (Zona menor altitud) y el sitio donde estará ubicado los servidores denominado Zona Servidores para el procesamiento de los datos que han sido monitoreados por los nodos sensores. El enlace inalámbrico que se establece es de 504.19, 399.94, 304.3 metros respectivamente presentando línea de vista directa.

Figura 19.

Vista Aérea de la Zona de Monitoreo y la Zona de Servicios



3.2.2. Selección del Cultivo

El campo de los tubérculos perteneciente al área de los vegetales se divide en una gran variedad de ejemplares pertenecientes a una familia específica, lo que implica que sus condiciones de cultivo difieren una con otras como es el tiempo de cosecha, condiciones ambientales y nutrientes que poseen. Por lo expuesto anteriormente se detalla en la Tabla 8 algunos tipos de vegetales existentes en el mercado.

Tabla 8.
Tipo de tubérculos

Tubérculo	Familia	Altitud m.s.n.m.	Tiempo (Días)
Papa	solanáceas	2600 – 3600	80 – 115
Rábano	Brassicaceae	190	25
Zanahoria	Umbellifers	200	150
Yuca	Spurges	>1000	240 - 300
Jengibre	Ginger	800 – 1200	270 – 300
Remolacha	Amaranthaceae	>1200	90 - 120

Con base en los datos comparativos indicados en la Tabla 8, exclusivamente la columna que recomienda la altitud necesaria para un tipo de cultivo de tubérculo, se selecciona la papa, como caso de estudio debido a la ubicación geográfica en el que se implementará este sistema indicado en el punto 3.2.1 en el que cumple con la altitud especificada.

3.2.3. Propósito y descripción general del sistema

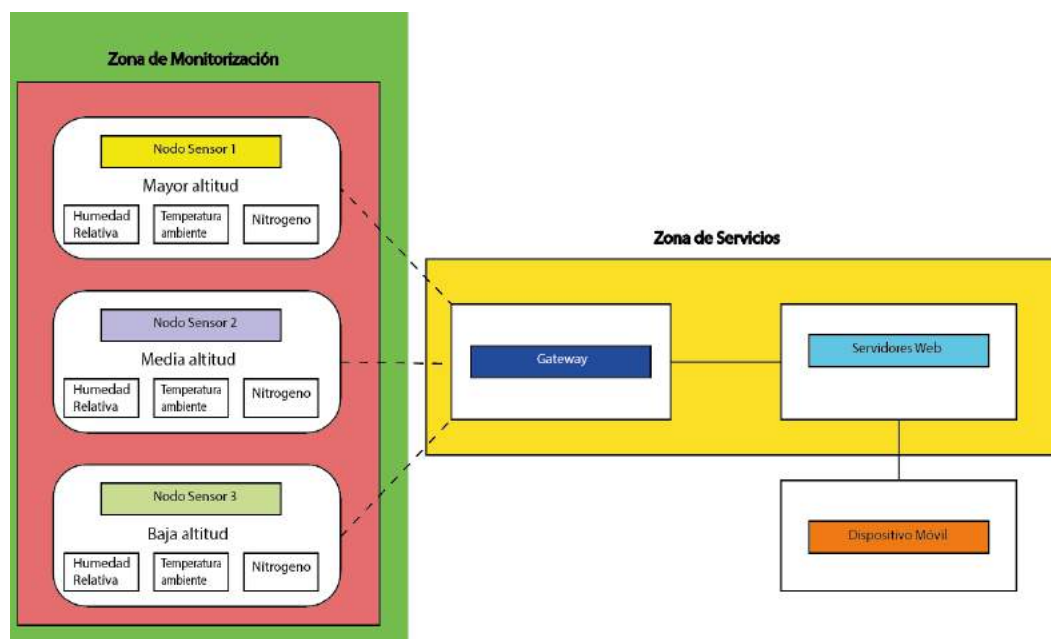
El objetivo de este sistema de monitorización se basa en establecer una red de sensores sectorizada que permita monitorear y visualizar la temperatura ambiente, humedad del suelo y nitrógeno del suelo en una zona de cultivo de tubérculos. Los parámetros que monitorea cada uno de los sensores serán mostrados al usuario mediante mapas de calor indicando los niveles que presenta cada uno de los sectores y las posibles recomendaciones en caso de presentar niveles inusuales de las variables.

La sectorización de los sensores de acuerdo con la recomendación del agricultor Gonzalo Yáñez se la realiza de acuerdo con la inclinación de un terreno agrícola, ya que por el método de riego por gravedad, la humedad del terreno será más baja en zonas de mayor altitud

con respecto a la inclinación del terreno y por tal motivo los nutrientes químicos reaccionan al nivel de humedad presente ya que estas variables están relacionadas entre sí en conjunto con las condiciones ambientales

En la Figura 20 se indica un diagrama general del sistema de monitorización sectorizada basada en el diagrama de bloques dividida en dos tipos de zonas: la zona de servicios donde se llevará a cabo el procesamiento de los datos y la zona de monitorización dividida por sectores conformada por los nodos sensores. La comunicación entre estas dos zonas se realizará de forma inalámbrica mediante tecnologías LPWAN que son tecnologías ideales para establecer enlaces a largas distancias con un consumo energético reducido.

Figura 20.
Diagrama General Sistema Embebido



3.2.4. Análisis de los requerimientos

En este apartado se especifican los requerimientos del sistema para que el funcionamiento de este sea el adecuado. Los requerimientos son determinados de acuerdo con los involucrados directos e indirectos del sistema para determinar que el sistema cumple con sus necesidades y funciona con base a lo que se especificó en los objetivos del proyecto.

3.2.4.1. Determinación de los Stakeholders

Los Stakeholders participan desde el inicio hasta el fin del proyecto ya que desempeñan una función específica en las partes del sistema con el objetivo de garantizar que la solución propuesta sea adecuada. Por tal razón se definen en la Tabla 9 los involucrados quienes guiarán y aportarán al desarrollo de este trabajo.

Tabla 9.

Lista de participantes en el proyecto

N°	Descripción
1	Agricultor Gonzalo Yáñez – Agricultor experimentado en tubérculos
2	Director del proyecto – Msc. Luis Suárez
3	Asesor – Msc. Jaime Michilena
4	Autor de la investigación – Sr. Michael Rodríguez

3.2.4.2. Requisitos del diseño

En este punto se especifica los requerimientos de Stakeholders, requerimientos del sistema y requerimientos de arquitectura o diseño con el objeto de tener como resultado un sistema funcional para la monitorización de las variables declaradas anteriormente y con ello presentar las mejoras a los agricultores de tubérculos que han existido en estos cultivos haciendo uso de un sistema de agricultura de precisión.

3.2.4.3. Nomenclatura de requerimientos

Se hace uso de reglas de nomenclatura debido a la extensión de una descripción en específico como es el caso de los requerimientos mencionados en el apartado anterior con la finalidad de mejorar la comprensión del lector. Por lo expuesto, en la Tabla 10 se indica las abreviaciones utilizadas de acuerdo con los requerimientos planteados.

Tabla 10.
Nomenclatura de requerimientos

Abreviaciones	Descripción
StSR	Requerimientos de Stakeholders
SySR	Requerimientos Funcionales del Sistema
SRSR	Requerimientos de Arquitectura

3.2.4.4. Requerimientos de Stakeholders

Los requisitos planteados en los requerimientos de Stakeholders se basa en los requisitos operacionales y de usuario expuestos en la Tabla 11, el cual, el sistema deberá de cumplir con cada uno de estos para determinar si el sistema es adecuado para este tipo de aplicaciones.

Tabla 11.
Requerimientos de Stakeholders

StSR				
Requerimientos de Stakeholders				
#	Requerimiento	Prioridad		
		Alta	Media	Baja
Requerimientos Operacionales				
StSR1	El sistema debe implementarse en un terreno que tenga pendiente	X		
StSR2	El sistema debe de sectorizar de acuerdo con la altitud de la pendiente del terreno	X		
StSR3	El sistema debe recolectar datos de las variables ambientales de cada uno de los nodos sensores	X		
StSR4	El sistema debe recolectar datos de las variables de nutrientes químicos específicamente nitrógeno	X		
StSR5	El sistema debe ser eficiente energéticamente		X	
StSR6	Uso de tecnologías inalámbricas	X		
StSR7	El nodo central debe recolectar y enviar la información a los servidores de los nodos sensores mediante internet	X		

StSR8	El sistema procesará los datos recolectados de forma sectorizada	X	
Requerimientos de Usuario			
StSR9	Monitoreo de datos del terreno de aplicación	X	
StSR10	El sistema debe de mostrar de forma sectorizada los valores de las variables ambientales y de nitrógeno	X	
StSR11	El sistema debe de indicar mediante mapas de calor los niveles bajo, medio y alto de las variables por sector		X
StSR12	La implementación debe de ser económicamente adecuada		X
StSR13	Los dispositivos de hardware deben de ser de fácil adquisición		X
StSR14	Fácil implementación y retiro de los equipos presentes en el terreno	X	

3.2.4.5. Requerimientos funcionales del sistema

Estos requerimientos hacen referencia a las funciones y comportamiento que tendrá la red de sensores inalámbrica sectorizada a su disposición. En la Tabla 12 se detalla dichos requisitos que permitirán garantizar la operatividad efectiva del sistema embebido para el monitoreo de tubérculos.

Tabla 12.
Requerimientos Funcionales del Sistema

SySR				
Requerimientos Funcionales del Sistema				
#	Requerimiento	Prioridad		
		Alta	Media	Baja
Requerimientos de uso				
SySR1	Disposición de botones de encendido, apagado y reinicio de nodos sensores en los nodos		X	
SySR2	El sistema debe de mostrar valores reales en tiempo real de las condiciones de temperatura ambiente, humedad del suelo y nitrógeno de forma sectorizada	X		
SySR3	Usar espectros de frecuencia no licenciados	X		

Requerimientos de Performance

SySR4	Los nodos sensores deben de mantener comunicación inalámbrica con el Gateway mediante tecnologías LPWAN	X	
SySR5	El envío de datos debe de ser constante al Gateway por los nodos sensores	X	
SySR6	El Gateway debe de receptar los datos enviados por los nodos sensores para enviarlos a una aplicación web donde se pueda visualizar los valores obtenidos por el nodo sensor	X	
SySR7	Emitir una alerta al usuario final con una serie de recomendaciones en caso de que los datos obtenidos de las variables (Temperatura ambiente, Humedad Relativa y Nitrógeno) sean anómalos	X	
SySR8	Menor número de paquetes perdidos en la transmisión	X	
Requerimientos de interfaces			
SySR9	El sistema embebido debe de presentar pines de entrada y salida para la recepción y transmisión de datos	X	
SySR10	Todos los sensores y módulos de transmisión deben de trabajar de forma síncrona para conformar un nodo sensor	X	
SySR11	El sistema embebido deberá de recolectar y mostrar datos de manera legible para el usuario final	X	
SySR12	La tecnología de comunicación inalámbrica debe de disponer con una frecuencia asignada por el ente regulador	X	
Requerimientos Físicos			
SySR13	Los nodos deben de tener un tamaño considerable para la manipulación en cuanto a instalación y retiro de la zona de cultivo		X
SySR14	Los nodos deben de tener propiedades impermeabilizada		X
SySR15	Los sensores y módulos deben de encontrarse en una ubicación estratégica para una mejor captura y transmisión de datos	X	

3.2.4.6. Requerimientos de Arquitectura

En este punto se detalla las partes que estarán conformadas por el sistema de monitoreo sectorizado con la finalidad de llevar a cabo una elección adecuada de los componentes de hardware y software para la construcción del sistema, en el cual, son enlistados en la Tabla 13 para levantar esta arquitectura de red.

Tabla 13.
Requerimientos de Arquitectura

SRSH				
Requerimientos de Arquitectura				
#	Requerimiento	Prioridad		
		Alta	Media	Baja
Requerimientos Lógicos				
SRSH1	Adaptación de sensores y módulos de transmisión en el ambiente de implementación		X	
SRSH2	El microcontrolador debe de contar con pines digitales para el uso de módulos LPWAN	X		
Requerimientos de Diseño				
SRSH3	Se debe de compactar los sensores y módulos de transmisión en un solo dispositivo	X		
SRSH4	Protección de equipos electrónicos a la exposición del ambiente exterior		X	
SRSH5	La topología red se debe basar en las características esenciales de tecnologías LPWAN		X	
Requerimientos de Hardware				
SRSH6	Comunicación inalámbrica estable entre los nodos sensores y el Gateway	X		
SRSH7	El microprocesador implementado en el controlador debe de procesar los datos adecuadamente	X		
SRSH8	Cobertura inalámbrica mayor a 100m	X		
SRSH9	El Gateway debe de disponer de interfaces de red para el envío de datos hacia una aplicación web	X		
SRSH10	Dispositivos que toleren la exposición a un ambiente externo		X	
SRSH11	Uso de una estación central para la adquisición y procesamiento de datos	X		
SRSH12	Los sensores y módulos de transmisión deben de ser compatibles con el microcontrolador	X		
SRSH13	El microcontrolador debe disponer de pines digitales / analógicos necesarios para la adquisición de variables mediante sensores			
SRSH14	El sensor debe de cumplir con un tiempo de vida útil mínimo de 6 meses		X	
Requerimientos de Software				
SRSH15	El IDE y le lenguaje de programación a usar debe de ser compatible con el microcontrolador	X		

SRSH16	Compatibilidad de librerías para el uso de sensores y módulos de transmisión y recepción de datos	X	
SRSH17	Compatibilidad entre el microcontralador y la aplicación web a utilizar para la visualización de datos	X	
SRSH18	Agente de envío de alerta con recomendaciones en cambios que presente la zona agrícola que afecte el cultivo		X
SRSH19	Los dispositivos y plataformas para usar serán open source		X
Requerimientos Eléctricos			
SRSH20	Los nodos sensores deben de trabajar con un voltaje mayor a 5v DC y presentar un bajo consumo energético	X	

3.3. Diseño del sistema embebido

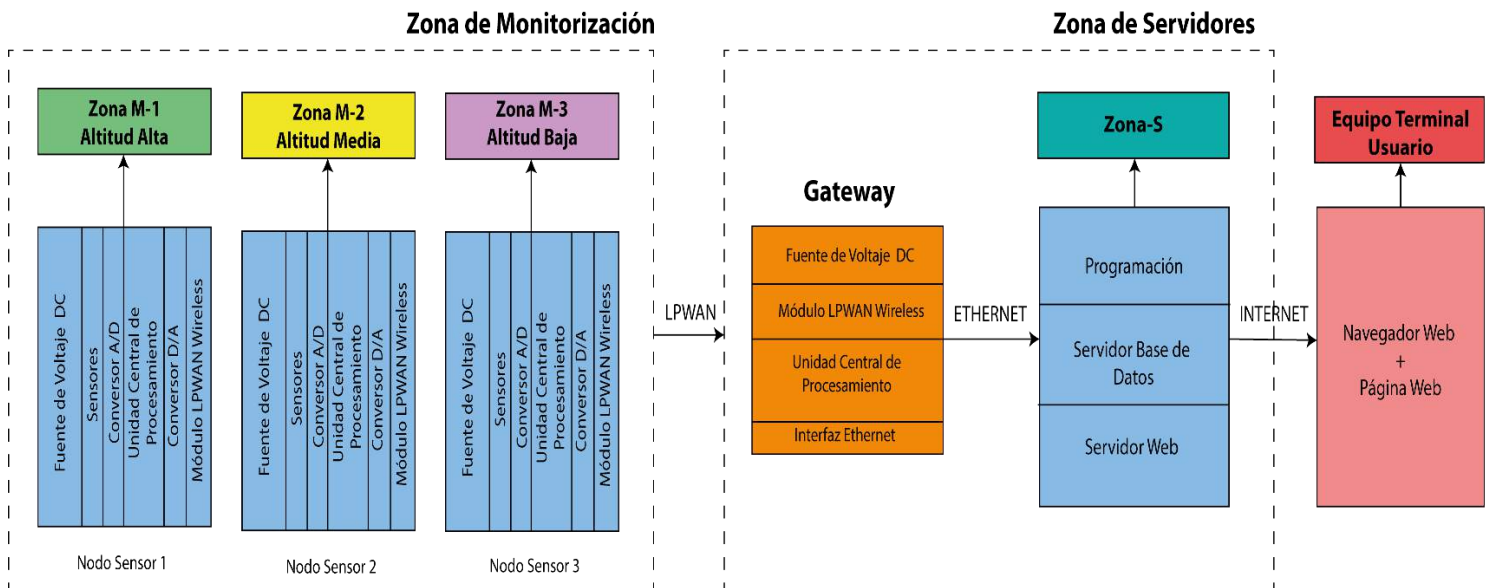
Al finalizar la etapa de análisis comprendido entre el capítulo 2 y 3 del presente trabajo en el que se determinó los diferentes requerimientos que necesita el sistema embebido para un correcto funcionamiento cubriendo la demanda que requieren los expertos en el área de agricultura. Posteriormente, se lleva a cabo la etapa de diseño del sistema embebido en el que se da a conocer el funcionamiento mediante la arquitectura de red a implementar junto a la elección de los dispositivos de hardware y sistemas de software para su posterior implementación y pruebas en el campo de aplicabilidad.

3.3.1. *Arquitectura del sistema*

En la Figura 21 se muestra la arquitectura del sistema que se va a implementar para la monitorización de temperatura ambiente, humedad del suelo y nitrógeno en un cultivo de tubérculos. En la arquitectura se presenta los detalles con los que tiene a disposición cada uno de los bloques en conjunto con su tecnología de comunicación. Esta arquitectura está basada de acuerdo con los análisis expuestos en la sección 3.2.1 en el que el sistema se divide en zonas de monitorización y en zonas de servidores para un manejo acorde de toda la arquitectura del sistema.

La topología de red se basa en una topología de tipo estrella como se define en el punto 2.5.3.1 de este escrito en el que los diferentes nodos sensores están conectados hacia un nodo central que será el encargado de procesar y subir los datos hacia una plataforma web.

Figura 21.
Arquitectura del Sistema



3.3.1.1. Nodo sensor o zona de monitorización

En este bloque se detalla cada uno de los elementos que dispondrán los nodos sensores como es la fuente de voltaje, sensores, módulos GPS, módulos de comunicación inalámbrico, los cuales, son elementos esenciales en el desarrollo de esta propuesta. Los nodos sensores tendrán la disponibilidad de ser móviles debido a que realizará la monitorización de forma sectorizada mediante el uso de coordenadas adquiridas por el módulo GPS.

3.3.1.2. Gateway

El bloque de Gateway presenta dos tipos de tecnologías ya que su función esencialmente se basa en la adquisición de datos de los nodos sensores para posteriormente a

ello enviarlos mediante ethernet hacia una plataforma web para la visualización de datos mediante mapas de calor y sectorización del monitoreo.

3.3.1.3. Zona de servicios

El bloque o zona de servicios es el encargado de procesar los datos que son obtenidos por el Gateway de los 3 nodos de sensores explicados en el punto 3.3.1.1, estos datos serán almacenados en una base de datos y enviados hacia un servidor web en el que el usuario final podrá acceder con la finalidad de observar en tiempo real las variables y los sectores que están siendo monitoreados para ser graficados mediante mapas de calor cada sector y nivel de variables. A esta información se la podrá acceder mediante el uso de internet.

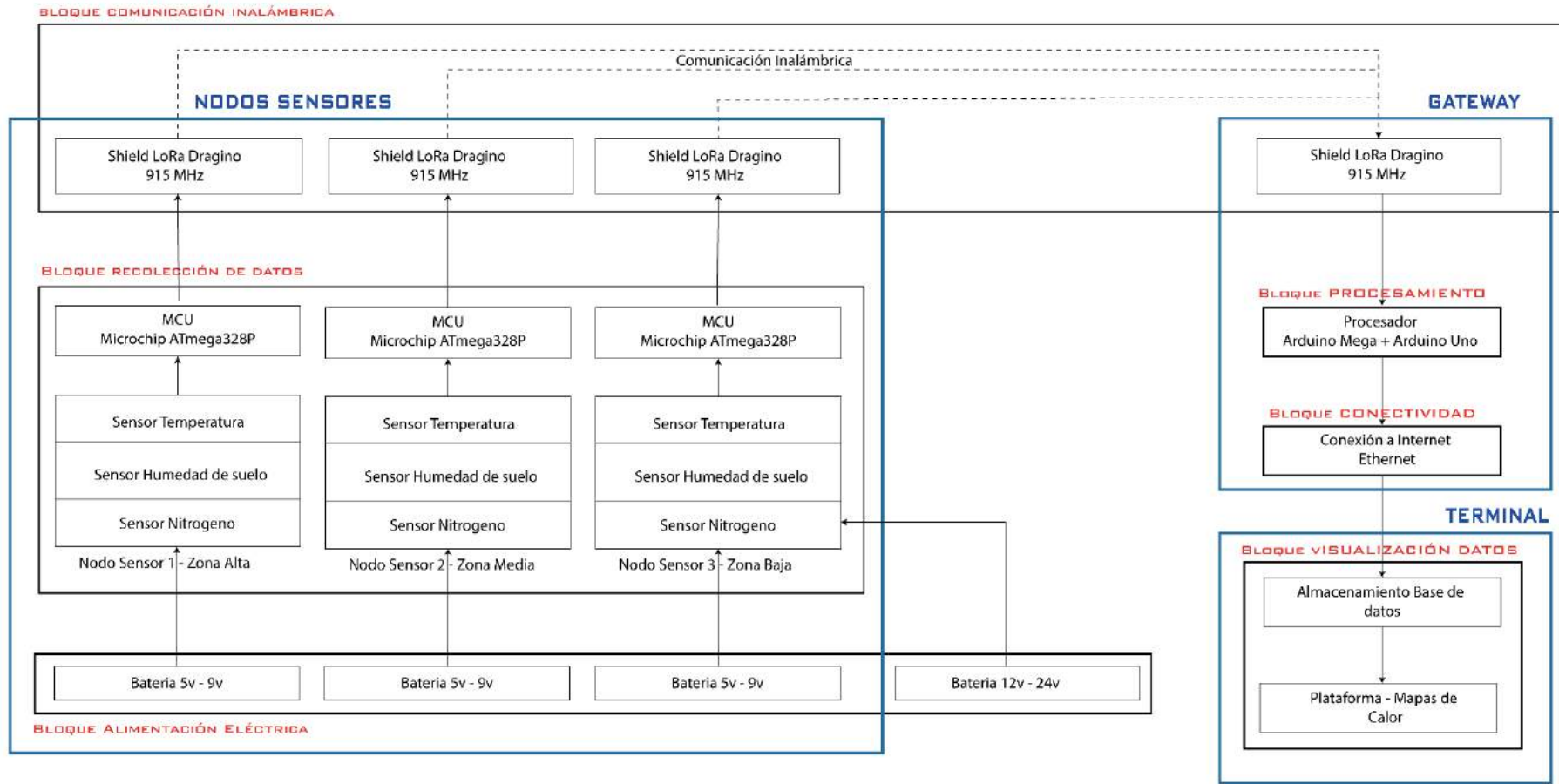
3.3.1.4. Equipo terminal del Usuario

Los datos que han sido procesados anteriormente por la zona de servicios estarán siendo alojados en una página web en el que mediante un equipo terminal ya sea smartphone, table, computadora personal o cualquier dispositivo móvil con acceso a internet podrá acceder para visualizar el comportamiento de las variables y que posibles problemas podría presentar el terreno de cultivo en caso de presentar datos anormales a los adecuados para este tipo de siembra.

3.3.2. *Diagrama de bloques del sistema*

La funcionalidad del presente sistema se basa en la Figura 22, en la que se detalla cada uno de los bloques que interactúan entre sí para mantener la funcionalidad idónea que permita monitorear, enviar y mostrar los datos de forma visual mediante mapas de calor al usuario permitiendo así aportar a la toma de decisiones que tomen los expertos del área agricultora.

Figura 22.
Diagrama de bloques del sistema



En este diagrama de bloques se especifica los sensores y módulos que estarán interactuando entre si con el entorno natural, la tecnología que permitirá la conectividad a largas distancias y la forma de visualización de los datos obtenidos por los nodos sensores sectorizando con respecto a la altitud del terreno.

3.3.3. Selección Hardware y Software para el Sistema

Con base en la arquitectura del sistema explicado en el punto 3.3.1 se lleva a cabo la elección del hardware y software que permitirá cumplir con el funcionamiento adecuado del sistema cubriendo los requerimientos especificados en la sección 3.2.4. La elección se realizará mediante tablas comparativas relacionando las funcionalidades que tiene a disposición el hardware o software y los requerimientos especificados, esta comparación tendrá valores de puntuación como es 1 y 0 (1: Si cumple y 0: No cumple) con el objetivo de seleccionar el equipo o programa con mayor puntuación.

3.3.3.1. Elección de hardware para la zona de monitorización.

La zona de monitorización esta aplicada en el terreno de aplicación, por lo que será la encargada de adquirir los valores de los sensores de humedad, temperatura y nitrógeno en conjunto con el posicionamiento GPS, por lo que para la funcionalidad de estos recursos se requiere de un microcontrolador y un módulo de transmisión LoRaWAN para lo que en esta sección se lleva a cabo la selección de cada uno de estos parámetros.

3.3.3.1.1. Selección de microcontrolador

Se realiza la elección del microcontrolador con base a los requerimientos definidos en el punto 3.2.4.6 teniendo tres alternativas como: ESP8266, Arduino Uno, Arduino Mega. La Tabla 14 indica las distintas alternativas que se pueden usar para el sistema.

Tabla 14.
Selección de microcontrolador para zona de monitorización

Hardware	Requerimientos							Valoración	
	StSR5	StSR11	SySR1	SySR9	SRSH2	SRSH7	SRSH13	SRSH20	Total
ESP 8266	1	1	1	1	1	1	0	1	7
Arduino Uno	1	1	1	1	1	1	1	1	8
Arduino Mega	0	1	1	1	1	1	1	0	6
Elección									

De acuerdo con los resultados emitidos por la Tabla 14 se concluye que: El microcontrolador Arduino Uno (véase la Figura 23) es el componente ideal para ser aplicado en la zona de monitorización debido a su accesibilidad en cuanto a la adquisición, portable de acuerdo con sus dimensiones (68.6 x 53.4 mm) y el bajo consumo energético (46mA) siendo ideal para el uso de tecnologías LPWAN.

Figura 23.
Microcontrolador Arduino Uno



Nota. Tomado de Arduino Uno, por (AV Electronics, 2022)
([HTTP://avelectronics.cc/producto/arduino-uno-r3/](http://avelectronics.cc/producto/arduino-uno-r3/))

3.3.3.1.2. Selección de sensores

Los nodos presentes en la zona de monitorización tienen a disposición 4 tipos de sensores, específicamente: Nitrógeno, humedad del suelo, temperatura ambiente y GPS, en el cual, mediante las características base de disponibilidad, accesibilidad de costos, fiabilidad, estabilidad y exposición a zonas externas se realizará el análisis comparativo de los diferentes dispositivos disponibles en el mercado.

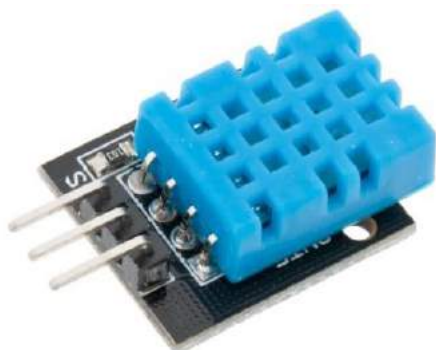
- **Sensor de temperatura**

La temperatura es variable dependiendo de la etapa de cultivo en el que se encuentra la papa, por tal motivo, se implemente un sensor de temperatura en el que se enlista tres tipos de sensores disponibles en el mercado como se muestra en la Tabla 15, en el que cada uno presenta criterios esenciales como es el tiempo de respuesta, alta fiabilidad y estabilidad a largo plazo.

Tabla 15.
Selección de sensor de temperatura para zona de monitorización

Hardware	Requerimientos						Valoración
	StSR11	StSR12	SySR11	SRSH1	SRSH12	SRSH20	Total
DHT11	1	1	1	1	1	1	6
LM35	1	1	0	1	1	1	5
DHT22	0	0	1	1	1	1	4
Elección	DHT11						

Con base en los resultados obtenidos en la Tabla 15 se concluyó que el dispositivo que se usará para la lectura de la temperatura ambiente será el sensor DHT 11 (véase la Figura 24) ya la lectura de datos la realiza de forma digital, es decir, es más preciso que el sensor LM35 y más accesible económicamente que el sensor DHT22.

Figura 24.*Sensor de temperatura DHT11*

Nota. Tomado de *DHT11 Sensor Temperatura y Humedad.* por (Novatronic, 2023), ([HTTP://novatronic.ec.com/index.php/product/dht11-sensor-temperatura-y-humedad/](http://novatronic.ec.com/index.php/product/dht11-sensor-temperatura-y-humedad/))

- **Sensor de humedad del suelo**

La inclinación del terreno de aplicabilidad presenta diferentes niveles de humedad dependiendo la altitud, es por tal motivo que para mantener niveles constantes en diferentes zonas se hace uso de un sensor de humedad del suelo, se enlistan 2 tipos de sensores (véase la Tabla 16) disponibles en el mercado con fácil acceso y características esenciales que difieren uno del otro.

Tabla 16.*Selección de sensor de humedad para zona de monitorización*

Hardware	Requerimientos							Valoración
	StSR11	StSR12	SySR11	SRSH1	SRSH12	SRSH14	SRSH20	Total
FC-28	1	1	1	1	1	0	0	5
SEN-HS-CAP	1	1	1	1	1	1	1	7
Elección	SEN-HS-CAP							

Los resultados emitidos por la Tabla 16 permiten deducir que el sensor ideal para este tipo de aplicaciones es el sensor SEN-HS-CAP (véase la Figura 25) debido esencialmente a su tiempo de vida útil (3 años min.) y el bajo consumo energético que este consume (5mA) con respecto al sensor FC-28

Figura 25.
Sensor SEN-HS-CAP



Nota. Tomado de *Sensor de Humedad Suelo Capacitivo Anticorrosivo*. por (UNIT Electronics, 2023), ([HTTP://uelectronics.com/producto/sensor-de-humedad-suelo-capacitivo-anticorrosivo/](http://uelectronics.com/producto/sensor-de-humedad-suelo-capacitivo-anticorrosivo/))

- **Sensor de Nitrógeno**

El nitrógeno es uno de los nutrientes químicos comúnmente presentes en los fertilizantes de suelo para mejorar la salud y tener mayor productividad en un cultivo de producción vegetal. Para determinar el nitrógeno del suelo se puede hacer uso de diferentes métodos como es la espectrometría. Sin embargo, la precisión de esta técnica es del 60% o 70%, por lo que, en el mercado actualmente para aumentar la precisión de muestreo de nitrógeno está disponible el sensor NPK (véase la Figura 26) caracterizándose por ser portátil, de alta precisión, de respuesta rápida y bajo costo.

Figura 26.
Sensor NPK



Nota. Tomado de *Sensor NPK de suelo.* por (Renke, 2022)
,([HTTP://www.renkeer.com/product/soil-npk-sensor/](http://www.renkeer.com/product/soil-npk-sensor/))

3.3.3.1.3. Selección tecnología inalámbrica

Los datos obtenidos por cada uno de los nodos sensores son transmitidos mediante un medio no físico, es decir que hace uso del espectro electromagnético para la transmisión de estos. Las tecnologías LPWAN es una de las principales soluciones en el campo de la agricultura de precisión

Esta tecnología se caracteriza por tener una alta eficiencia energética y cubrir largas distancias en cuanto a cobertura. En la actualidad, existen diversos tipos de tecnologías LPWAN por lo que se establece una comparativa entre 3 tipos de tecnologías como lo muestra en la Tabla 17.

Tabla 17.
Selección Tecnología LPWAN

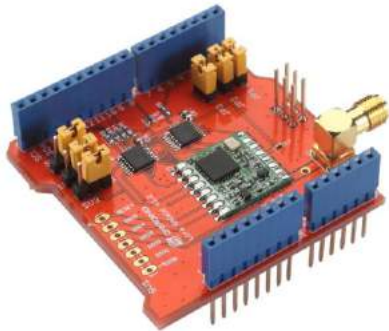
LPWAN	Requerimientos						Valoración
	StSR11	StSR12	SySR3	SySR11	SRS5	SRS8	Total
LoRaWAN	1	1	1	1	1	1	6
NB-IoT	0	0	0	1	1	1	3
Sigfox	1	0	1	1	1	1	5
Elección	LoRaWAN						

De acuerdo con los resultados obtenidos en la Tabla 17 se selecciona la tecnología LoRaWAN, esta tecnología trabaja a una frecuencia de 915 MHz en la región de América permitiendo alcances de hasta 15 km manteniendo una línea de vista optima dentro de una zona rural entre otras características esenciales expuestas en el punto 2.6.1

Para el uso de la tecnología LoRaWAN existen variedad de módulos y escudos que se encuentran preconfigurados la frecuencia central de trabajo, estas pueden variar dependiendo de fabricante.

En el desarrollo de este trabajo se hace uso del LoRa Shield (Véase la Figura 27) basado en SX1276/SX1278 desarrollado por Dragino basado en un escudo para Arduino que permite enviar datos a distancias extremadamente largas a velocidades bajas y una tasa de bits de hasta 300 Kbps siendo idónea para las aplicaciones de redes de sensores y agricultura de precisión.

Figura 27.
Shield LoRa Arduino



Nota. Tomado de *LoRa Shield*. por (Dragino, 2020),
([HTTP://wiki1.dragino.com/index.php/Lora_Shield](http://wiki1.dragino.com/index.php/Lora_Shield))

3.3.3.1.4. Selección fuente de alimentación

Los nodos sensores son dispositivos portátiles que estarán en constante movimiento por lo que en cuanto a temas de portabilidad se opta por hacer uso de baterías para brindar el consumo energético que requiera el sistema embebido, para ello se detalla el consumo energético en la Tabla 18 que considera el amperaje de los sensores, módulo GPS y Shield LoRa que permita conocer la batería requerida para esta aplicación.

Tabla 18.
Consumo eléctrico zona de monitorización

Elemento	En Funcionamiento	Modo Sleep
Arduino Uno	46mA	46 mA
Módulo LoRaWAN	10.3 mA	14.2 mA
DHT11	2.5 mA	-
SEN-HS-CAP	5 mA	-
NPK	500 μ A	-
GY-GPS6MV2	45 mA	-
TOTAL	108.8 mA	60.2 mA

El amperaje necesario para alimentar un nodo sensor de la zona de monitorización es de 108.8 mA de acuerdo con el consumo energético de dispositivos conectados al microcontrolador, la ecuación (2) permite obtener el consumo de la batería.

$$\text{Consumo} = \frac{(T_{cn} * I_{cn}) + (T_{cd} * I_{cd})}{T_{cn} + T_{cd}} \quad (2)$$

Donde:

T_{cn} : Tiempo de consumo en funcionamiento

I_{cn} : Intensidad de consumo de corriente en funcionamiento

T_{cd} : Tiempo de consumo modo sleep

I_{cd} : Intensidad de consumo de corriente en modo sleep

En cuanto a la implementación de este nodo se hará uso de los siguientes parámetros:

T_{cn} : 15 minutos = 900 segundos

I_{cn} : 108.8 mA

T_{cd} : 10 minutos = 600 segundos

I_{cd} : 60.2 mA

Con base a estos parámetros se reemplaza los valores en la ecuación (2) obteniendo así el consumo de energía de todo el nodo sensor en su entorno de aplicabilidad:

$$\text{Consumo} = \frac{(900 * 108.8) + (600 * 60.2)}{900 + 600} = 89.36 \text{ mA} \quad (3)$$

Con base al consumo energético obtenido que tendrá el nodo sensor se establece el voltaje y amperaje de la batería a utilizarse, preferencialmente se hace uso de baterías de litio debido a su durabilidad y pueden ser recargables con un voltaje de 7.4 V y 3000 mAh.

Mediante estos datos se obtiene el tiempo de duración de la batería dividiendo el consumo de corriente de la batería sobre el consumo de corriente del nodo sensor como se muestra en (4)

$$\text{Tiempo de la bateria} = \frac{3000 \text{ mA}}{89.36 \text{ mA}} = 33.57 \text{ horas} \quad (4)$$

3.3.3.2. Elección de software para la zona de monitorización

El microcontrolador Arduino posee su propio IDE de programación (véase la Figura 28) basado en lenguaje de programación C, el cual, posee la mayoría de las librerías compatibles con los sensores expuestos en la sección 3.3.3.1.2 al igual que el shield LoRa por lo que se hace uso de la IDE Arduino 1.8.19 para desarrollar el código de funcionamiento para el monitoreo y envío de datos de los nodos de monitorización.

Figura 28.
IDE Arduino



Nota. Tomado de *Overview of the Arduino IDE 1.* por (Arduino, 2021), ([HTTP://docs.arduino.cc/software/ide-v1/tutorials/Environment](http://docs.arduino.cc/software/ide-v1/tutorials/Environment))

3.3.3.3. Elección de hardware para la zona de servicios

La zona de servicios es la encargada de recibir los datos adquiridos por los nodos definidos en la zona de monitorización mediante tecnología LoRaWAN y procesarlos para el almacenamiento y visualización de los datos mediante mapas de calor e incluso gráficas estadísticas de forma sectorizada con la finalidad de que se encuentre disponible para el usuario los datos en tiempo real. Tanto la recepción como el procesamiento de datos requieren de un hardware y software por lo que en esta sección se lleva a cabo la selección de estos factores.

3.3.3.3.1. Selección de microordenador

Para seleccionar el microordenador se enlista tres dispositivos que cumplen con las características esenciales de este tipo de dispositivo que es la recepción y procesamiento de datos con la finalidad de realizar una comparativa que determine la solución más óptima dependiendo de los requerimientos establecidos en la sección 3.2.4

Tabla 19.
Selección de microordenador

Hardware	Requerimientos							Valoración
	StSR 7	StSR 11	StSR 12	SySR4	SySR6	SRS9	SRS19	Total
Arduino Mega	1	1	1	1	1	1	1	7
Intel Galielo	1	0	0	0	1	1	1	4
Rock Pi S	1	0	0	0	1	1	1	4
Elección	Arduino Mega							

En la Tabla 19 con base a los requerimientos se selecciona el microordenador Arduino Mega (Véase la Figura 29), el cual, es accesible económicamente, presenta compatibilidad con el uso de la tecnología LoRaWAN esencial en el desarrollo de este proyecto mediante un shield de LoRa (véase la Figura 27) que trabaja a 915 MHz, frecuencia asignada por la ARCOTEL para este tipo de tecnología.

Figura 29.
Arduino Mega



Nota. Tomado de *Arduino A000067*. por (Mouser Electronics, 2023), ([HTTP://www.pololu.com/product/2759](http://www.pololu.com/product/2759))

3.3.3.4. Elección de software para la zona de servicios

El software por implementarse deberá de cumplir con los requisitos establecidos en el punto 3.2.4 para establecer un funcionamiento sólido del sistema, ya que dicho software a su vez deberá de ser compatible con el microordenador y con cada una de las aplicaciones que se va a utilizar para el procesamiento, almacenamiento y visualización de los datos siendo esta sección el punto en establecer los softwares requeridos para el desarrollo de esta investigación.

3.3.3.4.1. Software procesamiento de datos

El procesamiento de los datos se basa en la recepción, clasificación y envío hacia la base de datos y plataforma de visualización mediante internet, actividad que realiza el microcontrolador seleccionado en la zona de servicios y este al contar con su propio entorno de programación ha sido seleccionado como el software de procesamiento de datos. Este entorno es Arduino IDE basado sobre el lenguaje de programación C como se observó en la Figura 28.

3.3.3.4.2. *Software Visualización de datos*

La visualización de los datos de acuerdo con el alcance del proyecto se la llevará a cabo mediante una plataforma web inclinada al área del internet de las cosas, para ello se procede a realizar la comparación entre 3 diferentes plataformas IOT que permiten almacenar y procesar los datos para que con base a los requerimientos especificados en el punto 3.2.4 se seleccione la plataforma ideal para esta aplicación.

Tabla 20.
Selección de Plataforma Web

LPWAN	Requerimientos						Valoración
	StSR10	StSR11	SySR2	SySR7	SRS17	SRS18	Total
Ubidots	0	0	1	1	1	1	4
TagoIO	1	1	1	1	1	1	6
ThingSpeak	1	0	1	1	1	1	5
Elección	TagoIO						

Con base en los resultados obtenidos en la Tabla 20 se determina que la plataforma web que cumple con todos los requerimientos especificados es TagoIO caracterizándose por su compatibilidad con el microcontrolador utilizado como puerta de enlace, la gestión de los datos en cuanto a su almacenamiento y visualización mediante mapas de calor.

3.3.3.4.3. *Software almacenamiento de datos*

El almacenamiento de datos se lo puede llevar en diferentes gestores de bases de datos, estos ya pueden ser SQL (Estructuradas) o NoSQL (No Estructuradas) diferenciándose en la forma en la que se almacena los datos por tablas o por documentos respectivamente. La base de datos utilizada en el presente proyecto consiste en una base de datos NoSQL

propietaria de la plataforma web seleccionada en el ítem anterior a este, manteniendo los datos vigentes en un lapso de un mes en el que cada variable almacena su valor actualizado conforme vayan llegando a la plataforma y pueden ser identificados mediante un ID único.

3.3.4. Enlace inalámbrico con tecnología LoRaWAN

Los enlaces inalámbricos de la presente investigación se caracterizan esencialmente por el alcance que le brinda la tecnología LoRaWAN al tener distancias superiores a los 300 metros como se especifica en la sección 3.2.1 estableciendo una comunicación punto multipunto (topología en estrella) entre los nodos sensores y el Gateway central.

Para establecer una comunicación inalámbrica en un entorno rural se debe de conocer las pérdidas que se pueden producir a lo largo de trayecto mediante modelos de propagación que permiten predecir este valor, uno de ellos es Okumura-Hata que presenta formulaciones para entornos urbanos, suburbanos y rurales considerando los factores que producen pérdidas en cada uno de estos entornos.

3.3.4.1. Cálculos de propagación Modelo Okumura-Hata

El modelo Okumura-Hata en zonas rurales predice las pérdidas que se presentan en un enlace inalámbrico considerando que en el trayecto no existan obstáculos que interfieran con la señal, este modelo es adecuado tanto para transmisiones punto a punto como de difusión en el que está restringido a ciertos límites mencionados a continuación como lo especifica (Deme et al., 2013)

- Rango frecuencia: 150 – 1500 MHz
- Altura del transmisor: 30 – 200 m
- Distancia enlace: 1 a 20 km
- Altura estación móvil: 1 a 10 m

La formulación básica que se establece en el modelo Hata para zonas urbanas se establece en (5), en la que a raíz de esta formulación se deriva el resultado que permitirá ser aplicado en la ecuación (6) que permite conocer la pérdida en zonas abiertas o rurales.

$$L_u = 69.55 + 26.16 \log f - 13.82 \log h_b - C_H + [44.9 - 6.55 \log h_b] \log d \quad (5)$$

Para ciudades pequeñas

$$C_H = 0.8 + (1.1 \log f - 0.7)h_m - 1.56 \log f \quad (6)$$

Donde:

L_u : Pérdidas de trayectoria en áreas urbanas. Unidad: decibelio (dB)

h_b : Altura de la antena de la estación base. Unidad: metro (m)

h_m : Altura de la antena de la estación móvil. Unidad: metro (m)

f : Frecuencia de transmisión. Unidad: megahercios (MHz)

C_H : factor de corrección de la altura de la antena

d : Distancia entre las estaciones base y móvil. Unidad: kilómetro (km).

El modelo Hata para calcular las pérdidas existentes en un área abierta o rural L_o como en el que se esta desarrollando la investigación obedece la siguiente formula con respecto a los términos especificados en la formulación general

$$L_o = L_u - 4.78(\log f)^2 + 18.33 \log f - 40.94 \quad (7)$$

Con base a estas expresiones matemáticas se procede a reemplazar las variables con las que se dispone para los 3 enlaces que presenta el sistema como se detalla en la Tabla 21.

Tabla 21.
Pérdidas de propagación en los enlaces inalámbricos

Datos	Cálculo de pérdida de propagación según el modelo Hata
<i>Factor de corrección de la altura de la antena</i>	$C_H = 0.8 + (1.1 \log 915 - 0.7)3 - 1.56 \log 915$ $C_H = 5.95$
<i>Enlace Inalámbrico 1</i> h_b : 3 m h_m : 3 m f : 915 MHz d : 0.504 km	$L_u = 69.55 + 26.16 \log(915) - 13.82 \log(3) - 5.95 + [44.9 - 6.55 \log(3)] \log(0.504)$ $L_u = 122.04 \text{ dB}$ $L_o = 122.04 - 4.78(\log 915)^2 + 18.33 \log 915 - 40.94$ $L_o = 93.46 \text{ dB}$
<i>Enlace Inalámbrico 2</i> h_b : 3 m h_m : 3 m f : 915 MHz d : 0.400 km	$L_u = 69.55 + 26.16 \log(915) - 13.82 \log(3) - 5.95 + [44.9 - 6.55 \log(3)] \log(0.400)$ $L_u = 117.85 \text{ dB}$ $L_o = 117.85 - 4.78(\log 915)^2 + 18.33 \log 915 - 40.94$ $L_o = 89.27 \text{ dB}$
<i>Enlace Inalámbrico 3</i> h_b : 3 m h_m : 3 m f : 915 MHz d : 0.304 km	$L_u = 69.55 + 26.16 \log(915) - 13.82 \log(3) - 5.95 + [44.9 - 6.55 \log(3)] \log(0.304)$ $L_u = 112.87 \text{ dB}$ $L_o = 112.87 - 4.78(\log 915)^2 + 18.33 \log 915 - 40.94$ $L_o = 84.29 \text{ dB}$

Los resultados obtenidos aplicando el modelo Okumura-Hata son validados con base a simulaciones realizada en el software Radio Mobile como se indica en el punto 3.3.4.2 en el que mediante las condiciones geográficas en el punto de aplicación y parámetros técnicos que posee el módulo de radio frecuencia se deduce que los enlaces a establecerse serán llevados a cabo con éxito, la diferencia de pérdida entre cada uno de los enlaces establecidos se debe a la distancia que existe entre los nodos y la estación base ya que al estar ubicados estratégicamente en un terreno que posee un área geográfica extensa permite sectorizar cumpliendo el objetivo clave de esta investigación.

3.3.4.2.Simulación de Enlace Inalámbrico

Mediante el software Radio Mobile se procede a simular los enlaces inalámbricos que serán establecidos en este proyecto, en el cual, bajo los parámetros de frecuencia, ganancia de la antena, altura de estas y tipo de red que se simula permitirá conocer la pérdida de propagación del enlace, zonas de Fresnel despejadas y si el enlace puede ser exitoso en dichas condiciones.

El valor de pérdida presente en el enlace entre la Zona de Monitoreo 1 y la Zona de Servicios mediante la ecuación establecida en (7) se obtiene un valor con base en el modelo Okumura-Hata de 93.46 dB, dicho valor puede ser comprobado mediante la simulación que se muestra en la Figura 30 corroborando el valor teórico y el simulado con una diferencia de 0.66 dB al tener una pérdida de 92.8 dB, como resultado de este se concluye que el enlace puede ser establecido correctamente sin presentar ningún tipo de problemáticas.

Figura 30.*Enlace inalámbrico Zona M-1 - Zona Servidores*

En cuanto al enlace entre la Zona de Monitoreo 2 y la Zona de servicios se obtuvo una pérdida teórica de 89.27 dB siendo una pérdida menor al valor que muestra en la simulación con 89.4 dB (véase la Figura 31). Sin embargo, este valor no interfiere en la funcionalidad del enlace establecido permitiendo así que sea exitoso al mantener una línea de vista directa entre los dos puntos.

Figura 31.*Enlace inalámbrico Zona M-2 - Zona Servidores*

En el enlace entre la zona de monitoreo 3 y la zona de servidores no se presenta una inclinación pronunciada en el establecimiento del enlace como se indicaba en las anteriores zonas de monitoreo por lo que la pérdida de propagación aumenta en un valor de 2.91 dB en comparación con el valor teórico. La pérdida de propagación es más alta al tener una de las zonas de Fresnel a pocos metros de la superficie como se muestra en la Figura 32.

Figura 32.

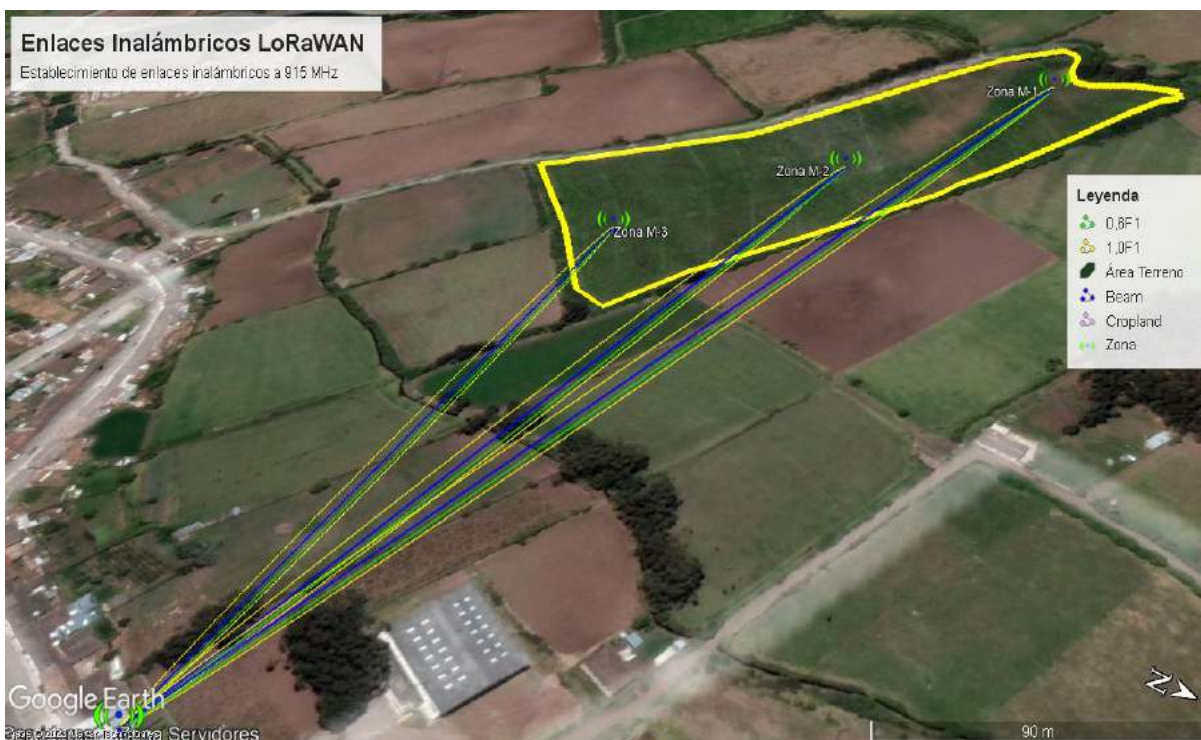
Enlace inalámbrico Zona M-3 - Zona Servidores



Google Earth permite extraer los enlaces inalámbricos generados en Radio Mobile como se indica en la Figura 33 con la finalidad de observar cómo se comportarían los enlaces en el entorno de aplicación ya que Radio Mobile no genera las posibles edificaciones u objetos que puedan generar interferencia en el enlace, como se muestra en la leyenda la línea de color azul indica el haz de luz por el que se propagaría la señal denotando que existe conexión entre los nodos y la estación base.

Figura 33.

Simulación Google Earth



3.3.5. Construcción del Sistema Embebido

El sistema embebido está conformado por tres nodos sensores y un dispositivo Gateway o de puerta de enlace como son conocidos en el área del internet de las cosas, en esta sección se detalla la infraestructura física en cuanto a la construcción de los nodos sensores y el Gateway.

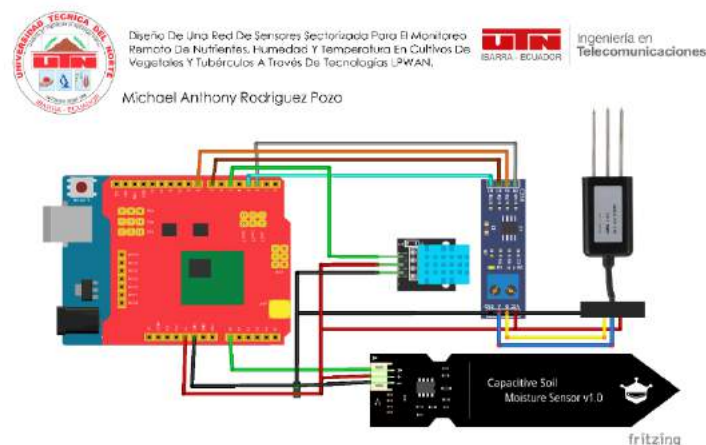
3.3.5.1. Prototipo Electrónico

El prototipado muestra los componentes de hardware que está disponible dentro de los tres nodos sensores y la puerta de enlace, los cuales, desempeñan las funciones de recolección de datos en la zona de aplicación, transmisión, recepción y procesamiento de datos para el envío hacia una plataforma IoT.

3.3.5.1.1. Diagrama Nodo Sensor

El nodo sensor (véase la Figura 34) consta de los sensores de nitrógeno, humedad y temperatura alimentados por una batería de litio que le brinda al nodo sensor autonomía energética y de esta manera realizar pruebas en el entorno externo. El Shield LoRa disponible en el diagrama lleva a cabo la transmisión de datos mediante la tecnología LoRa a una frecuencia de 915 MHz.

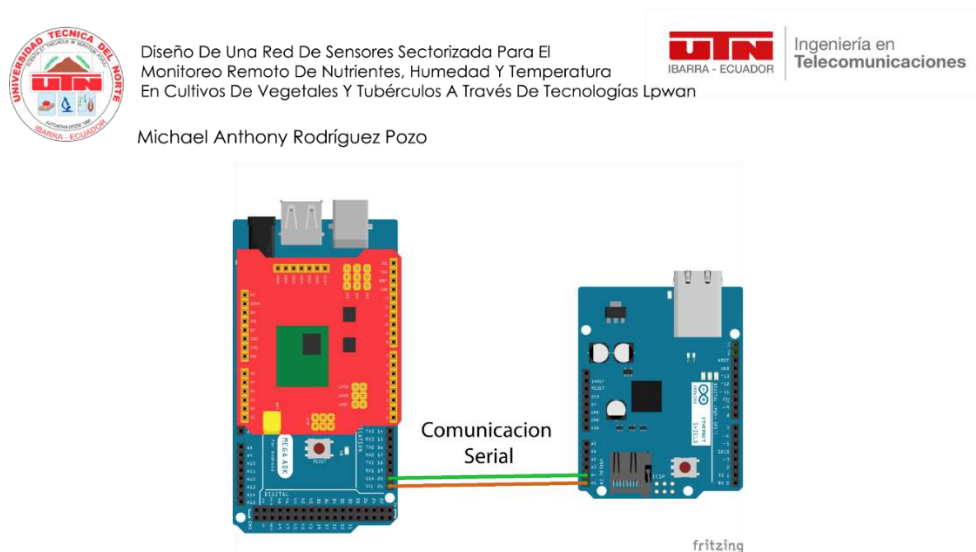
Figura 34.
Diseño Nodo Sensor



3.3.5.1.2. Diagrama Gateway

El Gateway o puerta de enlace (véase la Figura 35) se encuentra diseñado con base a dos tipos de Arduino (Arduino Mega y Arduino Uno), la funcionalidad principal del Arduino Mega se basa en la recepción de datos de los tres nodos sensores mediante LoRa en instantes de tiempo distintos con la finalidad de evitar solapamiento de paquetes entre los nodos, para posteriormente a ello clasificar los datos mediante un ID y enviar estos datos sobre el protocolo I2C para completar la subida de datos hacia al nube mediante un Shield Ethernet. Considere que para establecer la comunicación serial debe de realizar la conexión física entre los pines declarados como SDA y SCL.

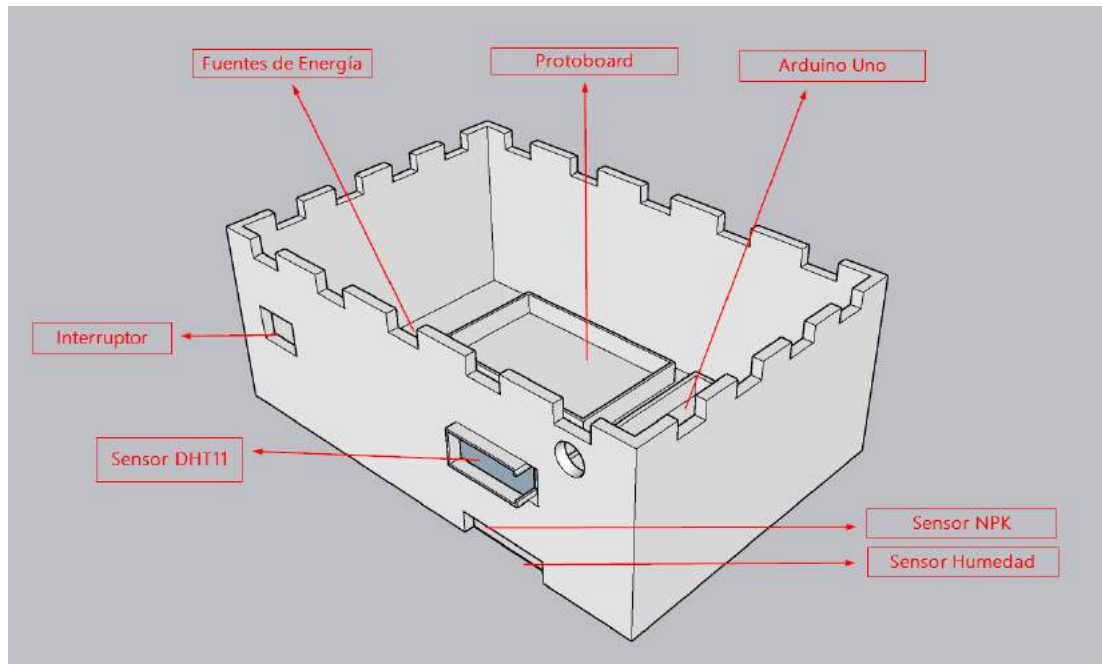
Figura 35.
Diseño Gateway



3.3.5.1.3. Diseño de carcasa para el prototipo

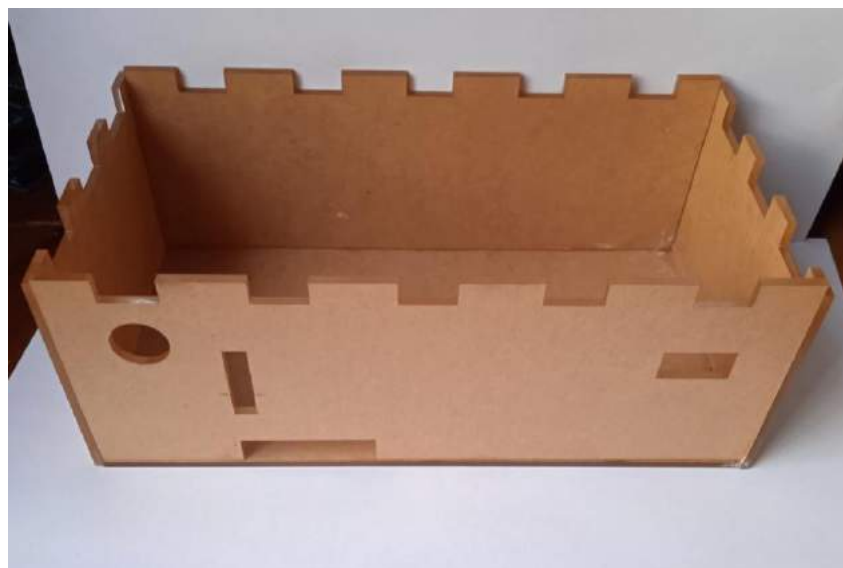
La carcasa ha sido diseñada considerando los espacios que requiere tanto el microprocesador como las fuentes de energía (12V y 9V) y los sensores de nitrógeno, humedad y temperatura como se muestra en la Figura 36.

Figura 36.
Diseño de carcasa 3D



La carcasa se encuentra diseñada con material acrílico (véase la Figura 37), esto debido a sus propiedades impermeables cumpliendo con los requerimientos especificados en la Tabla 12 que permiten mantener los nodos sensores a la intemperie con las protecciones necesarios garantizando la disponibilidad de los nodos en el momento que sean utilizados.

Figura 37.
Carcasa en acrílico



3.3.5.2. Lectura y validación de datos

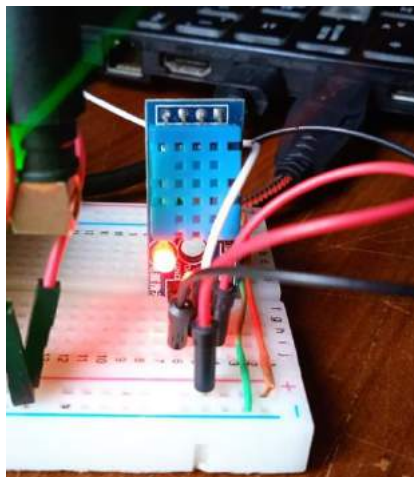
El proceso de lectura y validación de datos es fundamental en el desarrollo de aplicaciones en el área del Internet de las cosas ya que con ello se debe asegurar la integridad y la fidelidad de dichos valores, para ello se considera realizar diferentes pruebas de lectura a los sensores implementados en los nodos.

- **Sensor de temperatura DHT11**

El sensor recopila datos de forma digital debido a un termistor que posee en su interior (microcontrolador) que permite convertir las señales analógicas en datos digitales para garantizar la fiabilidad de los datos, el valor de la temperatura se mantiene variable entre más y menos 0.10 grados centígrados de acuerdo con la Figura 38 ya que la temperatura es una variable que no varía considerablemente y su valor varía a lo largo del día.

Figura 38.

Lectura de Temperatura



```
Datos enviados (Nodo 1): 20.40
Datos enviados (Nodo 1): 20.30
Datos enviados (Nodo 1): 20.40
Datos enviados (Nodo 1): 20.40
Datos enviados (Nodo 1): 20.50
Datos enviados (Nodo 1): 20.50
Datos enviados (Nodo 1): 20.50
Datos enviados (Nodo 1): 20.50
Datos enviados (Nodo 1): 20.60
Datos enviados (Nodo 1): 20.60
Datos enviados (Nodo 1): 20.60
Datos enviados (Nodo 1): 20.60
Datos enviados (Nodo 1): 20.70
```

Temperatura en
*C

- **Sensor de humedad capacitivo**

El sensor de humedad capacitivo trabaja bajo valores analógicos entre 250 y 600 siendo el valor más bajo el que representa su estado seco, por tal motivo se realiza un mapeo dentro de la programación para establecer una escala entre 0 y 100. La comprobación de

dicha escala se la realiza con base en dos tipos de prueba que consisten en exponer al sensor a suelos relativamente secos y que presente exceso de agua.

Al exponer el sensor a una muestra de suelo relativamente seco se puede observar en la Figura 39 los valores leídos inferiores al 10% de humedad, corroborando la fidelidad de dichos datos para su posterior envío.

Figura 39.
Lectura de humedad en tierra seca



```
Datos enviados (Nodo 1): 2.00,
Datos enviados (Nodo 1): 3.00,
Datos enviados (Nodo 1): 2.00,
Datos enviados (Nodo 1): 2.00,
Datos enviados (Nodo 1): 3.00,
Datos enviados (Nodo 1): 3.00,
Datos enviados (Nodo 1): 3.00,
Datos enviados (Nodo 1): 3.00,
Datos enviados (Nodo 1): 3.00,
Datos enviados (Nodo 1): 3.00,
Datos enviados (Nodo 1): 7.00,
```

→ % de Humedad

En caso de humedecer un poco más la tierra a condiciones ideales se indica el porcentaje de humedad que puede oscilar entre el 35% y el 60% como se indica en la siendo valores aceptables e ideales para un correcto desarrollo de la planta,

Figura 40.
Lectura de humedad con suficiente agua



```
Datos enviados (Nodo 1): 40.00,
Datos enviados (Nodo 1): 38.00,
Datos enviados (Nodo 1): 38.00,
Datos enviados (Nodo 1): 37.00,
Datos enviados (Nodo 1): 37.00,
Datos enviados (Nodo 1): 28.00,
Datos enviados (Nodo 1): 38.00,
Datos enviados (Nodo 1): 40.00,
Datos enviados (Nodo 1): 41.00,
Datos enviados (Nodo 1): 42.00,
Datos enviados (Nodo 1): 41.00,
Datos enviados (Nodo 1): 42.00,
```

→ % de humedad

En el caso de someter el sensor a tierra con exceso de agua se denota la lectura superior al 70% de humedad (véase la Figura 41) que se encuentra presente en el suelo, con ello se denota el correcto funcionamiento de este sensor considerando que el sensor no debe ser expuesto a profundidades superiores a las limitadas por este.

Figura 41.

Lectura de humedad con exceso de agua



```
Datos enviados (Nodo 1): 79.00,
Datos enviados (Nodo 1): 86.00,
Datos enviados (Nodo 1): 92.00,
Datos enviados (Nodo 1): 95.00,
Datos enviados (Nodo 1): 95.00,
Datos enviados (Nodo 1): 95.00,
Datos enviados (Nodo 1): 95.00,
Datos enviados (Nodo 1): 95.00,
Datos enviados (Nodo 1): 95.00,
Datos enviados (Nodo 1): 95.00,
Datos enviados (Nodo 1): 95.00,
Datos enviados (Nodo 1): 95.00,
```

% de
Humedad

- **Sensor de nitrógeno NPK**

El nitrógeno es uno de los nutrientes principales presentes en los cultivos por lo que, con base en el sensor y el módulo RS485 conectado a este se garantiza la calibración y fidelidad de los datos ya que dispone de un microcontrolador independiente para generar valores digitales, este sensor permite obtener valores de nitrógeno, fosforo y potasio que son elementos principales en el desarrollo de las plantas, en este caso solo se recibe los valores de nitrógeno como se indica en la Figura 42.

Figura 42.
Lectura de nitrógeno



3.3.6. Programación de los Nodos Sensores

Los nodos sensores son dispositivos desarrollados bajo el microcontrolador Arduino Uno por lo que su programación se realiza bajo este mismo entorno, al contar con dispositivos externos a este fabricante se requiere hacer uso de librerías externas que permitan el correcto funcionamiento de estos dispositivos en conjunto con el microcontrolador, los dispositivos que han requerido librerías externas están descritos en la Tabla 22 donde se describe el nombre de la librería, propietario y enlace de descarga.

Tabla 22.
Librerías utilizadas - Nodo Sensor

Librería	Propietario	Enlace de descarga
SPI.h	PaulStoffregen	HTTP://github.com/PaulStoffregen/SPI
LoRa.h	Sandeep Mistry	HTTP://github.com/sandeepmistry/arduino-LoRa
DHT.h	Adafruit	HTTP://github.com/adafruit/DHT-sensor-library

Estas librerías pueden ser incluidas en el IDE de Arduino desde el administrador de bibliotecas de este entorno o en su defecto se lo realizar agregando el archivo ZIP descargado

desde el enlace proporcionado en la Tabla 22. Al contar con las librerías instaladas correctamente en el software de programación se proceden agregarles en el programa en la zona superior de este como se muestra en la Figura 43

Figura 43.

Librerías utilizadas - Nodo Sensor

```
Node_1
1 #include <SPI.h>
2 #include <LoRa.h>
3 #include <DHT.h>
4
```

Al agregar las variables a utilizar se procede a establecer la configuración con la que trabajará el Dragino Shield LoRa, es decir los parámetros con los que se establecerá la comunicación entre los nodos sensores y el Gateway, estos parámetros son el ancho de banda. Factor de dispersión, la tasa de corrección de errores y los pines establecidos para la transmisión de los datos.

Figura 44.

Parámetros de configuración Dragino Shield LoRa - Nodo Sensor

```
5 // Configuración LoRa
6 #define LORA_SS_PIN 10
7 #define LORA_RST_PIN 9
8 #define LORA_DI0_PIN 2
9 #define LORA_BW 125E3 // Ancho de banda: 125 kHz
10 #define LORA_SF 7 // Factor de esparcimiento: 7
11 #define LORA_CR 5 // Tasa de corrección de errores: 4/5
```

Posteriormente se establece las variables y los pines que permitan adquirir y almacenar los valores de cada uno de los sensores que interactúan en el entorno, se establece el tipo de sensor a usar en el caso del sensor de temperatura del ambiente ya que la librería instalada permite trabajar con dos tipos de sensores DHT11 y DHT22. En el caso del sensor de humedad se establece dos umbrales que establecen el nivel máximo de humedad y el valor mínimo que se fijan en 600 y 250 respectivamente.

Figura 45.*Definición de pines y sensores - Nodo Sensor*

```

13 //-----SENSOR TEMPERATURA-----//
14 #define DHT_PIN 5
15 #define DHT_TYPE DHT11
16
17 DHT dht(DHT_PIN, DHT_TYPE);
18
19 //-----SENSOR HUMEDAD-----//
20 const int sensorHumedad = A0; //Se define el pin analógico para la lectura del sensor
21 const int humedadAire = 600; //Valor máximo obtenido en el aire
22 const int humedadAgua = 250; //Valor mínimo obtenido en el aire

```

Al contar con tres diferentes nodos sensores se debe de garantizar la transmisión de datos en instantes de tiempo diferentes por lo que se establece un arreglo con los tiempos establecidos de transmisión en conjunto con un ID de los nodos sensores con la diferencia de transmisión de 1 segundo con la finalidad de poder procesar adecuadamente los datos obtenidos como se muestra en la Figura 46.

Figura 46.*Arreglo de tiempos de transmisión - Nodo Sensor*

```

24 //-----ASIGNACIÓN DE TIEMPOS - EVITAR COLISIONES-----//
25 unsigned long transmissionIntervals[] = {5000, 6000, 7000}; // Intervalo de transmisión de cada nodo (en milisegundos)
26 unsigned long lastTransmissionTimes[] = {0, 0, 0};
27
28 int nodeId = 1; // ID del nodo sensor (puedes usar valores de 1 a 3 para cada nodo)

```

Al tener declarado estos parámetros para el uso de los sensores se procede a programar las configuraciones iniciales dentro del void setup() que son instrucciones ejecutadas una sola vez en la funcionalidad del nodo sensor (Véase la), en este parámetro se observa la inicialización del sensor DHT11 y el módulo LoRa con las configuraciones establecidas previamente en la Figura 44.

Figura 47.*Configuraciones iniciales void Setup - Nodo Sensor*

```

30 void setup() {
31   Serial.begin(9600);
32
33   // Inicialización del sensor DHT11
34   dht.begin();
35
36   // Inicialización del módulo LoRa
37   LoRa.setPins(LORA_SS_PIN, LORA_RST_PIN, LORA_DI0_PIN);
38   if (!LoRa.begin(915E6)) {
39     Serial.println("Error al iniciar el módulo LoRa");
40     while (true);
41   }
42
43   // Configuración de parámetros LoRa
44   LoRa.setSpreadingFactor(LORA_SF);
45   LoRa.setSignalBandwidth(LORA_BW);
46   LoRa.setCodingRate4(LORA_CR);
47 }

```

Dentro de la función “bucle” que dispone Arduino (véase la Figura 48) se ingresan las instrucciones que se desea que se repitan constantemente mientras el microcontrolador se encuentra encendido, en esta función se detalla las siguientes acciones

1. Obtener el tiempo en milisegundos desde que el microcontrolador este encendido para establecer tiempo fijos de transmisión de datos.
2. Condicionar el ID del nodo con el tiempo en el que se debe realizar la lectura y envío de datos para evitar colisiones
3. Leer las variables de temperatura, humedad y nitrógeno para el posterior mapeo de estos valores y obtener resultados en la escala de 1 a 100
4. Se genera el payload o la carga útil con base en la información referente del nodo sensor como es el ID y la lectura de los sensores
5. Se realiza el envío del payload generado y se imprime un mensaje que indica que los datos han sido enviados exitosamente

Figura 48.*Función Loop - Nodo Sensor*

```

49 void loop() {
50   unsigned long currentMillis = millis();
51
52   if (currentMillis - lastTransmissionTimes[nodeId - 1] >= transmissionIntervals[nodeId - 1]) {
53
54     //-----LECTURA DE DATOS DHT11-----//
55     // Leer temperatura del sensor DHT11
56     float temperature = dht.readTemperature();
57
58     if (isnan(temperature)) {
59       Serial.println("Error al leer los datos del sensor DHT11");
60       return;
61     }
62
63     //-----LECTURA DE DATOS SENSOR HUMEDAD-----//
64     // Almacenamos el valor del sensor en la variable humedad
65     float humedad = analogRead(sensorHumedad);
66     float porhumedad = map(humedad, humedadAire, humedadAgua, 0, 100);
67     if (porhumedad > 100) {
68       porhumedad = 100;
69     } else if (porhumedad < 0) {
70       porhumedad = 0;
71     }
72
73     // Envío de datos por LoRa
74     String payload = String(nodeId) + "," + String(temperature) + "," + String(porhumedad);
75     LoRa.beginPacket();
76     LoRa.print(payload);
77     LoRa.endPacket();
78
79     Serial.println("Datos enviados (Nodo " + String(nodeId) + "): " + payload);
80
81     // Actualizar el último momento de transmisión
82     lastTransmissionTimes[nodeId - 1] = currentMillis;
83   }
84
85 }

```

La programación realizada en los otros dos nodos sensores mantiene la misma lógica y los mismos parámetros de configuración que el nodo sensor anteriormente explicado exceptuando el ID que es único para cada nodo lo que permite ajustar el tiempo de transmisión dependiendo el ID que tenga ya que la diferencia de transmisión entre un nodo sensor y otro es de 1 segundo o 1000 milisegundos como se denota dentro de Arduino.

3.3.7. Programación del Gateway

El Gateway es el dispositivo que permite recibir los datos mediante una tecnología y transmitir los datos mediante otra tecnología ya sea para procesar los datos en la nube o en otro entorno de procesamiento, el Gateway usado en el presente proyecto consiste en dos microcontroladores conectados simultáneamente como se mostró en la Figura 35.

3.3.7.1. Programación Arduino Mega – Receptor de datos

El primer microcontrolador es el dispositivo Arduino Mega, el cual, dispone de dos librerías (véase la Figura 49) para la recepción de datos mediante a través de tecnología LoRa y envío de datos hacia el Arduino Uno mediante el protocolo de comunicación I2C que es un protocolo síncrono usado habitualmente para la comunicación entre dispositivos electrónicos.

Figura 49.

Librerías Arduino Mega - Gateway

```
1 #include <Wire.h>
2 #include <LoRa.h>
```

Para la recepción de datos mediante el Dragino Shield LoRa se debe de considerar los mismos parámetros de configuración establecidos en el nodo sensor como se indicaba en la Figura 44 ya que de esta manera se garantiza la disponibilidad y la conectividad entre el nodo sensor y el Gateway.

Posteriormente, se crean variables globales que permiten almacenar los valores de cada uno de los nodos sensores en variables independientes procesándoles de esta manera para su transmisión al Arduino UNO. Las variables generadas son de tipo flotantes como se muestra en la

Figura 50.

Variables globales Arduino Mega - Gateway

```
12 // Variables para almacenar los valores de temperatura y humedad
13 float temperature1, temperature2, temperature3;
14 float humidity1, humidity2, humidity3;
15 float nitrogeno1, nitrogeno2, nitrogeno3;
```

En la función inicial denominada void Setup() se procede a establecer el inicio del módulo Dragino Shield LoRa con las configuraciones iniciales establecidas en la Figura 44, además que se configura la inicialización de la comunicación mediante el protocolo I2C como se muestra en la Figura 51

Figura 51.

Función Setup Arduino Mega - Gateway

```

17 void setup() {
18   Serial.begin(9600);
19
20   // Inicialización del módulo LoRa
21   LoRa.setPins(LORA_SS_PIN, LORA_RST_PIN, LORA_DIO_PIN);
22   if (!LoRa.begin(915E6)) {
23     Serial.println("Error al iniciar el módulo LoRa");
24     while (true);
25   }
26
27   // Configuración de parámetros LoRa
28   LoRa.setSpreadingFactor(LORA_SF);
29   LoRa.setSignalBandwidth(LORA_BW);
30   LoRa.setCodingRate4(LORA_CR);
31
32   // Inicialización de la comunicación I2C
33   Wire.begin();
34 }

```

En la función Loop() del Arduino Mega (véase la) se establece las instrucciones que permite mantener en escucha el Arduino para la recepción del payload y posteriormente poderlo separar en variable independientes ya que al ser un solo paquete los datos de cada sensor vienen separados por una coma “,” y se realiza dicha separación a través de la separación de valores mediante las comas.

Figura 52.*Función Loop Procesamiento del Paquete LoRa - Gateway*

```

36 void loop() {
37   if (LoRa.parsePacket()) {
38     // Recepción de datos por LoRa
39     String payload = "";
40
41     while (LoRa.available()) {
42       payload += (char)LoRa.read();
43     }
44
45     Serial.println("Datos recibidos por LoRa: " + payload);
46
47     // Dividir el payload en partes independientes
48     int nodeId = payload.substring(0, payload.indexOf(",")).toInt();
49     payload = payload.substring(payload.indexOf(",") + 1);
50     float temp = payload.substring(0, payload.indexOf(",")).toFloat();
51     payload = payload.substring(payload.indexOf(",") + 1);
52     float hum = payload.toFloat();

```

Posteriormente, dependiendo el ID del nodo sensor que transmitió se almacenan los datos en sus variables correspondientes, esto se lo realiza mediante la función denominada Switch-case, al separar las variables se lleva a cabo el envío de estos valores al Arduino Uno haciendo uso de la comunicación serial establecida previamente.

Figura 53.*Procesamiento de variables Arduino Mega - Gateway*

```

54 // Almacenar los valores en variables independientes
55 switch (nodeId) {
56   case 1:
57     temperature1 = temp;
58     humidity1 = hum;
59     break;
60   case 2:
61     temperature2 = temp;
62     humidity2 = hum;
63     break;
64   case 3:
65     temperature3 = temp;
66     humidity3 = hum;
67     break;
68   default:
69     break;
70 }
71
72 // Envío de los valores por I2C
73 Wire.beginTransmission(8); // Dirección del Arduino receptor
74 Wire.write(nodeId); // Envío del ID del nodo
75 Wire.write(reinterpret_cast<byte*>(&temp), sizeof(temp)); // Envío de la temperatura
76 Wire.write(reinterpret_cast<byte*>(&hum), sizeof(hum)); // Envío de la humedad
77 Wire.endTransmission();
78 }
79 }

```

3.3.7.2. Programación Arduino Uno – Envío de datos a la Nube

El microcontrolador Arduino Uno dispone de un Shield Ethernet que le permite establecer una conexión hacia internet y por tal motivo subir los datos recibidos por I2C hacia una nube IoT. Para llevar a cabo la subida de datos hacia una plataforma se requiere de dos librerías adicionales a la que se usa para la recepción de datos por I2C, el detalle de las librerías se adjunta en la Tabla 23 **Error! Reference source not found.**, estas librerías son declarados al inicio de programa como se muestra en la

Tabla 23.
Librerías Arduino Uno - Gateway

Librería	Propietario	Enlace de descarga
Ethernet.h	Arduino	HTTP://github.com/arduino-libraries/Ethernet
HttpClient.h	Arduino	HTTP://github.com/arduino-libraries/ArduinoHttpClient

Figura 54. *Declaración de librerías Arduino Uno - Gateway*

```

1 #include <Wire.h>
2 #include <Ethernet.h>
3 #include <SPI.h>
4 #include <HttpClient.h>

```

Para llevar a cabo la conexión hacia internet se requiere de dos parámetros fundamentales como es la dirección MAC del dispositivo y su dirección IP, lo que con lleva establecer estos parámetros dentro del código de programación como se indica en la Figura 55.

Figura 55.
Configuración Ethernet Arduino Uno - Gateway

```

6 // Configuración Ethernet
7 byte mac[] = { 0xDE, 0xAD, 0xBE, 0xEF, 0xFE, 0xED }; // Dirección MAC del shield Ethernet
8 EthernetClient client;

```

Al configurar la conexión Ethernet se procede a establecer los parámetros de comunicación que permita subir los datos hacia la plataforma TagoIO, la conexión hacia la plataforma depende las entradas establecidas en la Tabla 24

Tabla 24.
Parámetros de conexión TagoIO - Gateway

Parámetro	Valor
Enlace del servidor	api.tago.io
Puerto de comunicación	80
Token del dispositivo	Token único

Estos parámetros deben de ser declarados entre comillas como se muestra en la Figura 56 y en la parte inicial del código antes del void setup() con la finalidad de establecer comunicación previamente antes de la recepción de datos y mostrar un error en caso de no tener acceso a la plataforma web.

Figura 56.
Parámetros de conectividad TagoIO - Gateway

```

10 // TagoIO
11 const char* server = "api.tago.io";           // Servidor de TagoIO
12 const int port = 80;                         // Puerto para la conexión HTTP
13 const char* deviceToken = "bla24dad-e102-42bc-9b43-c6fbc77b6839"; // Token del dispositivo en TagoIO

```

Se declara las variables globales (véase la Figura 57) a utilizar para la recepción de datos mediante el protocolo I2C y la publicación de datos hacia la nube IoT. Los valores son declarados con el tipo de dato flotante que abarca 1 decimal.

Figura 57.
Declaraciones variables globales Arduino Uno - Gateway

```

15 // Variables para almacenar los valores de temperatura y humedad de cada nodo
16 float temperature1, temperature2, temperature3;
17 float humidity1, humidity2, humidity3;
18 float nitrogeno1, nitrogeno2, nitrogeno3;

```

En el desarrollo de la función void setup() se inicializa la comunicación I2C para la recepción de datos además del Shield Ethernet y en su defecto se verifica que exista conexión a internet con la finalidad de evitar errores en la subida de información a la nube IoT como se indica en la Figura 58.

Figura 58. *Función Setup Arduino Uno - Gateway*

```
20 void setup() {
21   Serial.begin(9600);
22
23   // Inicialización de la comunicación I2C
24   Wire.begin(8); // Dirección del Arduino receptor
25   Wire.onReceive(receiveData);
26
27   // Inicialización del shield Ethernet
28   Ethernet.begin(mac);
29   delay(1000);
30
31   // Verificar la conexión a Internet
32   if (!checkInternetConnection()) {
33     Serial.println("Error de conexión a Internet");
34     while (true);
35   }
36 }
```

Se crea un método denominado recepción de datos “receiveData” que se muestra en la Figura 59, en el cual, permite la lectura de los datos remitidos por el Arduino Mega iniciando por el ID acompañado de los valores de los sensores que han sido monitoreados desde los nodos sensores, donde al leer estos bytes de datos se almacena en variables independientes dependiendo el ID para finalmente llamar a los métodos de envío de los datos a TagoIO.

Figura 59.*Método Recepción de Datos Arduino Uno - Gateway*

```

42 void receiveData(int byteCount) {
43   if (byteCount >= 6) {
44     byte nodeId = Wire.read();           // Lectura del ID del nodo
45     float temperature, humidity;
46
47     // Lectura de la temperatura
48     Wire.readBytes(reinterpret_cast<byte*>(&temperature), sizeof(temperature));
49
50     // Lectura de la humedad
51     Wire.readBytes(reinterpret_cast<byte*>(&humidity), sizeof(humidity));
52
53     // Almacenar los valores en variables independientes
54     switch (nodeId) {
55       case 1:
56         temperature1 = temperature;
57         humidity1 = humidity;
58         break;
59       case 2:
60         temperature2 = temperature;
61         humidity2 = humidity;
62         break;
63       case 3:
64         temperature3 = temperature;
65         humidity3 = humidity;
66         break;
67       default:
68         break;
69     }
70
71     // Imprimir los valores recibidos
72     Serial.print("Nodo: ");
73     Serial.println(nodeId);
74     Serial.print("Temperatura: ");
75     Serial.println(temperature);
76     Serial.print("Humedad: ");
77     Serial.println(humidity);
78
79     // Enviar los datos a TagoIO
80     sendTemperature1ToTagoIO();
81     sendHumidity1ToTagoIO();
82     sendTemperature2ToTagoIO();
83     sendHumidity2ToTagoIO();
84     sendTemperature3ToTagoIO();
85     sendHumidity3ToTagoIO();
86   }
87 }

```

Se determina un método de envío por cada variable leída por los nodos sensores, estos métodos cumplen la función de crear el archivo en formato JSON del nombre de la variable en conjunto con su valor censado, esto debido a que este formato es ligero y fácil de leer como de escribir por las plataformas IoT que son comúnmente utilizados. Este formato se basa en una estructura jerárquica similar a un árbol que conste del nombre del parámetro y el valor que se agrupan en llaves “{}” y separados por comas “,” como se observa en la Figura

61, para enviar los datos en este formato se programó en el IDE de Arduino la estructura del formato como se indica en la Figura 60.

Figura 60.

Método Envío de Datos Formato JSON - Gateway

```

95 void sendTemperature1ToTagoIO() {
96   String jsonData = String("{}" +
97     " \"variable\": " + " \"Temperatura1\" " + ", "
98     " \"value\": " + String(temperature1) +
99     "}";

```

Figura 61.

Datos en formato JSON

```

1  [
2  | {
3  |   "variable": "Humedad1",
4  |   "value": 22.4
5  | },
6  | {
7  |   "variable": "Temperatura1",
8  |   "value": 25
9  | },
10 | {
11 |   "variable": "Nitrogeno1",
12 |   "value": 27.7
13 | }
14 | ]

```

Al procesar los datos de las variables en el tipo de formato JSON se procede a enviar los datos hacia la plataforma en el que se realiza bajo las peticiones POST que dispone el protocolo HTTP, por lo que para llevar a cabo el envío se crea la solicitud con base a la URL conformada por los parámetros declarados en la Tabla 24 para posteriormente realizar la solicitud por cada una de las variables que han sido leídas, finalmente se realiza una espera de 15 segundos para el siguiente envío hacia la plataforma TagoIO descrito en la Figura 62.

Figura 62.*Creación y realización de petición HTTP Arduino Uno - Gateway*

```

149 void sendToTagoIO(String jsonData) {
150     // Crear la solicitud HTTP
151     String url = String("/data?token=") + String(deviceToken);
152     String contentType = "application/json";
153     String contentLength = String(jsonData.length());
154
155     // Realizar la solicitud HTTP POST a TagoIO
156     if (client.connect(server, port)) {
157         client.print("POST " + url + " HTTP/1.1\r\n");
158         client.print("Host: " + String(server) + "\r\n");
159         client.print("Content-Type: " + contentType + "\r\n");
160         client.print("Content-Length: " + contentLength + "\r\n");
161         client.print("Connection: close\r\n\r\n");
162         client.print(jsonData);
163         client.print("\r\n");
164
165         Serial.println("Datos enviados a TagoIO con éxito");
166     } else {
167         Serial.println("Error al conectar con TagoIO");
168     }
169
170     // Esperar antes de enviar nuevos datos a TagoIO
171     delay(15000);
172 }

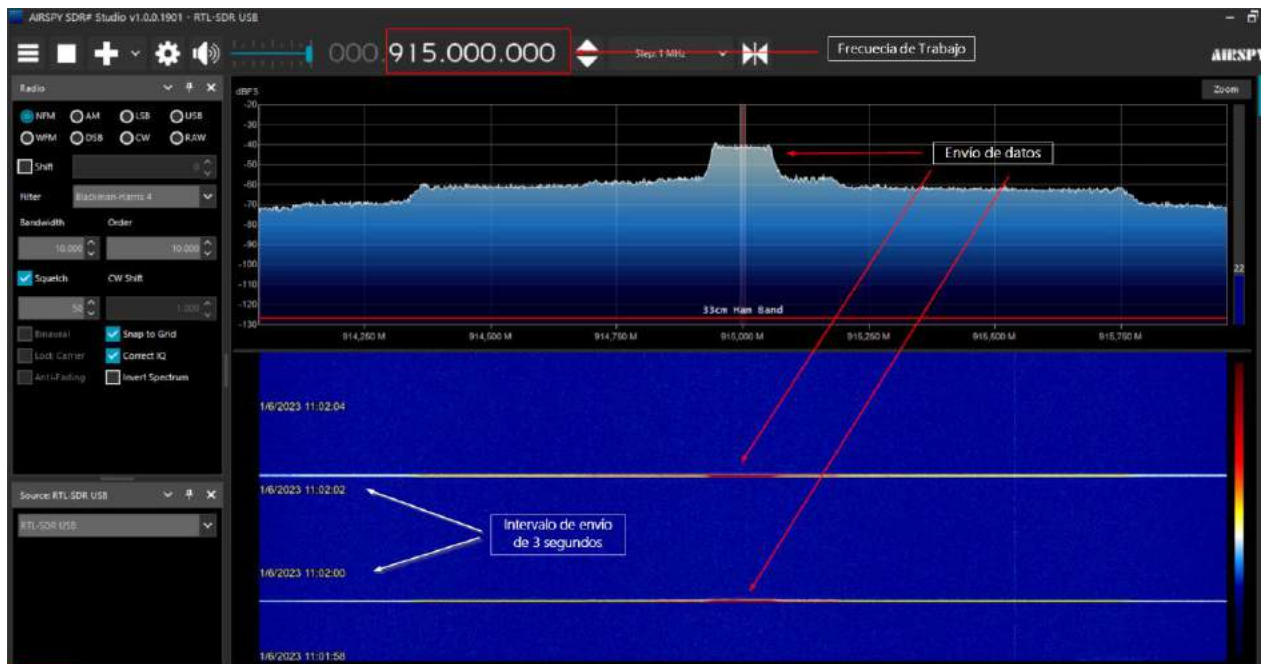
```

3.4. Envío y recepción de datos mediante tecnología LoRa

Al obtener los valores de cada uno de los sensores se procede con el envío de estos bajo la tecnología LoRa que trabaja sobre la frecuencia de 915 MHz que fue asignada por la FCC para América teniendo regulaciones específicas para uso de dispositivos de baja potencia y largo alcance, la verificación de frecuencia se la realiza haciendo uso de un dispositivo de radio definido por software conocido como RTL-SDR y el programa Aisrpy, en la Figura 63 se observa el intervalo de tiempo al que se envía cada uno de los paquetes en conjunto con la frecuencia de transmisión, potencia de transmisión del paquete en dBs y el ancho de banda de transmisión, estos valores se encuentran descritos en la

Figura 63.

Frecuencia de transmisión de datos mediante tecnología LoRa

**Tabla 25.**

Parámetros en la transmisión de datos mediante LoRa

Parámetro	Valor
Frecuencia de Tx	915 MHz
Ancho de Banda	125 kHz
Potencia	-40 dBFs
Tiempo de transmisión	5s-6s-7s
Factor de dispersión	SF7

3.4.1. Tiempo en el aire de la transmisión

El tiempo en el aire es el tiempo en el que se demora una señal en llegar hacia el receptor desde el momento en el que salió del transmisor, es decir el tiempo que está siendo usado un canal específico dependiendo de la frecuencia y ancho de banda que este siendo utilizado ya que los canales dependen de estos dos factores esencialmente.

Para conocer el tiempo que tarda un paquete LoRa hasta llegar al receptor o puerta de enlace se debe conocer previamente el tiempo de símbolo que se encuentra detallada en la Ecuación (8) que depende del factor de dispersión ($FS = 7$) que se usan en la transmisión al igual que el ancho de banda ($BW = 125$ kHz).

$$T_{sym} = \frac{2^{FS}}{BW} \quad (8)$$

$$T_{sym} = \frac{2^7}{125}$$

$$\mathbf{T_{sym} = 1.024}$$

Al obtener el tiempo de símbolo se procede a calcular el tiempo del preámbulo que se encuentra definido en la Ecuación (9), el tiempo de preámbulo depende del tiempo del símbolo al igual que el número de símbolos del preámbulo.

$$T_{preamble} = (n_{preamble} + 4.25) * T_{sym} \quad (9)$$

El número de símbolos del preámbulo viene de acuerdo con el Shield LoRa que se basa en el chip SX1276 en el que de acuerdo con el datasheet de Semtech estos chips registran 8 transceptores. Con este dato se procede a reemplazar los valores en la Ecuación (9) para conocer el tiempo de preámbulo

$$T_{preamble} = (8 + 4.25) * 1024$$

$$\mathbf{T_{preamble} = 12.544}$$

El tiempo del paquete en el aire depende del tiempo del preámbulo como del tiempo del payload o carga útil, para conocer el tiempo de la carga útil se requiere conocer la longitud de los símbolos que tendrá la carga útil determinada por la Ecuación (10).

$$N_{payload} = 8 + \left[\left(\frac{8PL - 4SF + 28 + 16CRC - 20H}{4(SF - 2DE)} \right) (CR + 4) \right] \quad (10)$$

Donde:

PL: Es el número de bytes en la carga útil = número de caracteres que son enviados

SF: Factor de dispersión

CRC: Es la comprobación de redundancia cíclica que se utiliza para detectar errores en la transmisión, en caso de estar activada se determina el valor de 1, y en caso de no estarlo opta por el valor de 0

H: Es la cabecera del paquete LoRa, en caso de estar activada toma el valor de 0, caso contrario tiene valor de 1

DE: Se tiene un valor de 1 cuando la optimización de velocidad de datos baja está habilitada y el valor de 0 cuando este deshabilitada.

CR: Es la velocidad de codificación siendo valores en el rango de 1 a 4 siendo 1 cuando el CR es de 4/5 y 4 cuando es de 4/8.

Al conocer cada una de las variables que requiere la expresión matemática que permite conocer la longitud de los símbolos se procede a reemplazar dichos valores en la ecuación (10).

$$N_{payload} = 8 + \max \left[\text{ceil} \left(\frac{8(25) - 4(7) + 28 + 16(0) - 20(0)}{4((7) - 2(1))} \right) (1 + 4) \right]$$

$$N_{payload} = 43 \text{ simbolos}$$

Al conocer el número de símbolos que tiene la carga útil se procede a conocer el tiempo de la carga útil mediante la Ecuación (11).

$$T_{payload} = N_{payload} \times T_{sym} \quad (11)$$

$$T_{payload} = 44 \times 1024$$

$$\mathbf{T_{payload} = 44.032 \text{ ms}}$$

Al obtener los tiempos de la carga útil y el tiempo del preámbulo se obtendría el tiempo en el aire de la transmisión ya que estos son los dos parámetros que conforman el paquete dentro de la transmisión, el tiempo de carga útil se la realiza con base en la Ecuación (12)

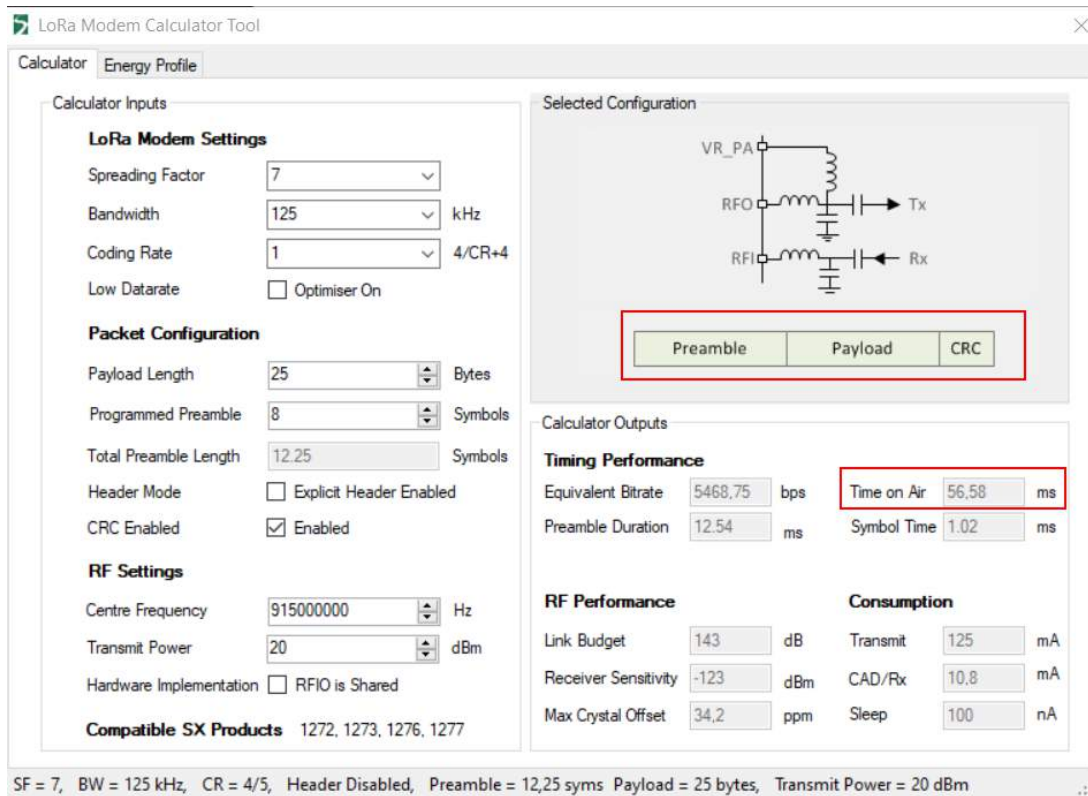
$$T_{PacketOnAir} = T_{payload} + T_{preamble} \quad (12)$$

$$T_{PacketOnAir} = 44.032 + 12.54 \text{ (ms)}$$

$$\mathbf{T_{PacketOnAir} = 56.572 \text{ ms}}$$

Semtech proporciona una calculadora LoRa que permite conocer el tiempo en el aire del paquete mediante los parámetros que conforman la transmisión del paquete dependiendo si el formato del paquete es explícito o implícito, en este caso el paquete es implícito ya que no dispone de un header, como se observa en la Figura 64 el tiempo en el aire según la herramienta es de 56.58 ms, teniendo una diferencia de 0.008 ms con el valor obtenido teóricamente.

Figura 64.
Calculadora LoRa del ToA



3.4.2. Análisis espectral de la transmisión LoRa

El análisis espectral permite analizar una señal en el dominio de la frecuencia en el que se detalla la amplitud, energía y frecuencia a la cual se encuentra oscilando una señal o diversas señales en específico. Esta técnica se basa en descomponer una señal en cada una de sus componentes frecuenciales.

Este ejercicio se llevó a cabo con el analizador de espectros del fabricante Keysight específicamente el modelo N9322C (véase la Figura 65) que trabaja en un rango de frecuencia desde los 5 MHz a los 7 GHz a una resolución de 1 Hz, este equipo conectado a una antena omnidireccional permite grabar las frecuencias en este rango que están propagándose por el aire.

Figura 65.
Analizador de espectros Keysight N9322C

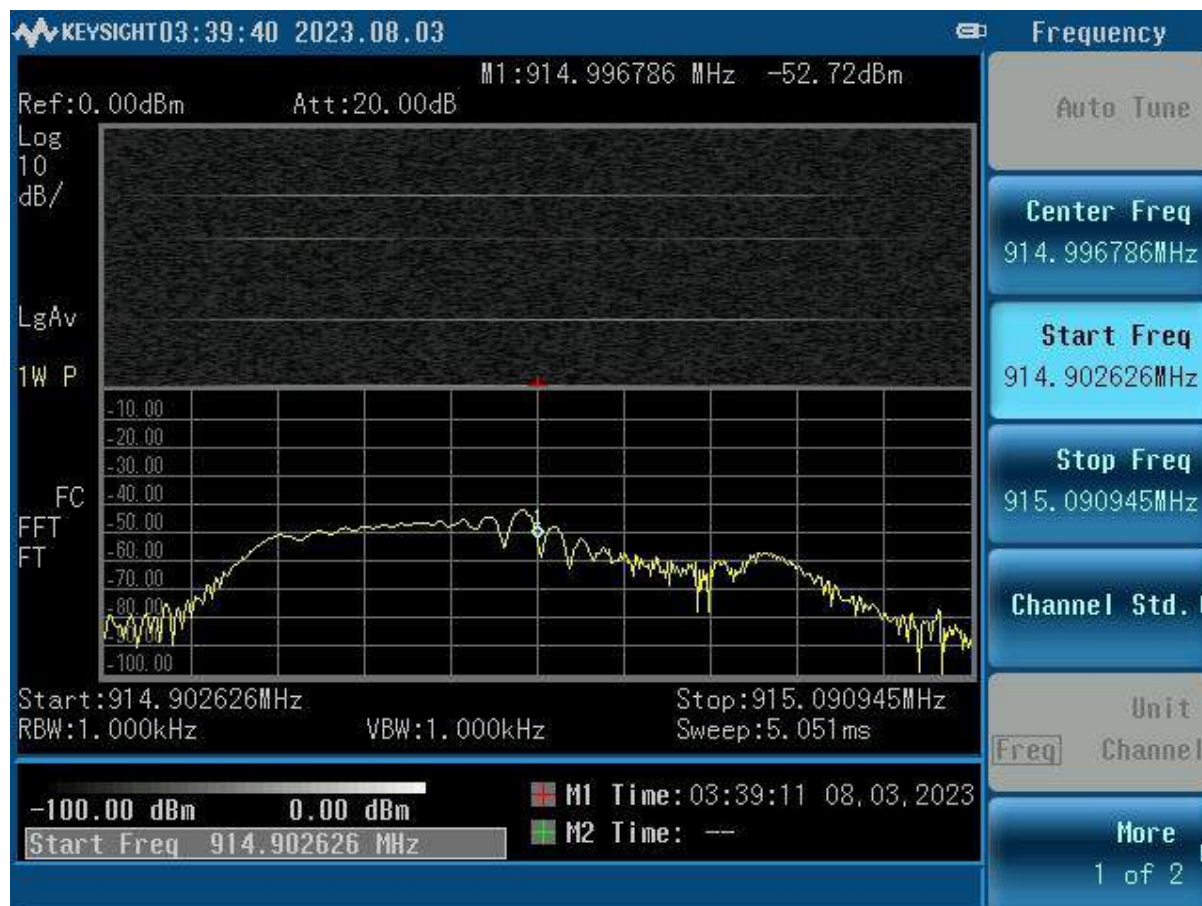


Nota. Tomado de N9322C Basic Spectrum Analyzer (BSA), por (Keysight, 2023) (<https://www.keysight.com/us/en/product/N9322C/basic-spectrum-analyzer-bsa-9-khz-7-ghz.html>)

Los parámetros de frecuencia ingresados en el analizador de espectros se encuentran detallados en la Tabla 26, la frecuencia de inicio y final han sido limitados en una diferencia de 0.188 Hz en el que se permite visualizar de una forma más adecuada el envío de los paquetes de cada nodo sensor, la potencia de la señal de los paquetes como se observa en la Figura 66 es de -52,75 dBm a una frecuencia central de 914.9967

Tabla 26.
Parámetros Analizador de Espectros

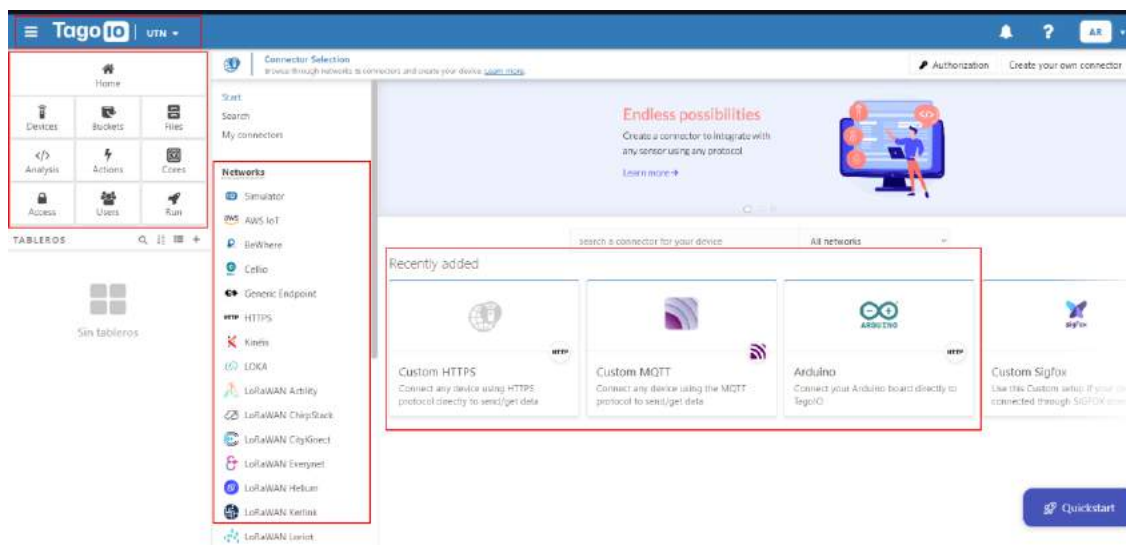
Parámetros	Valor
Frecuencia de Inicio	914.902626 MHz
Frecuencia Final	915.090945 MHz

Figura 66.*Espectro de la señal LoRa*

3.5. Configuración Plataforma TagoIO

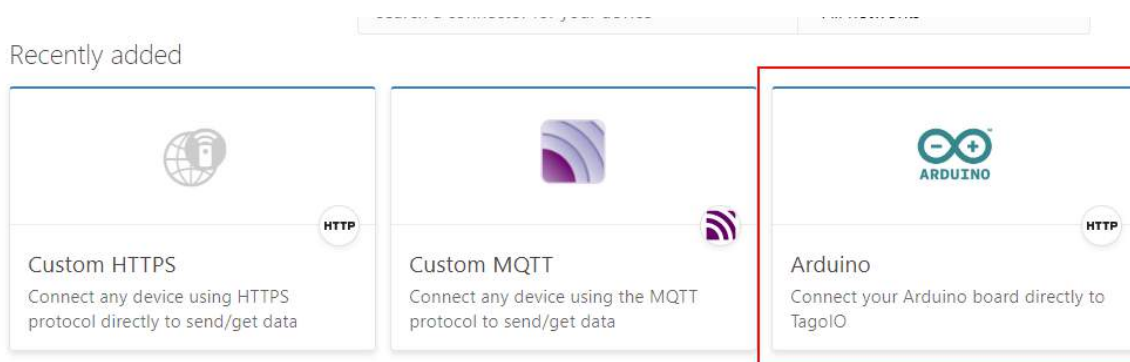
La plataforma TagoIO permite conectar, administrar y visualizar datos de sensores en tiempo real, la plataforma TagoIO posee una versión gratuita y de paga, para el desarrollo del presente proyecto se requiere únicamente de la versión gratuita ya que cumple con los requerimientos especificados en la Tabla 20. A continuación, en la Figura 67 se muestra la interfaz inicial de la plataforma, en el cual, se encuentran disponibles los tipos de red que se pueden conectar, las formas de conexión y dispositivos que son usados habitualmente en la plataforma como es mediante el cliente MQTT o a través de solicitudes HTTP al igual que las características que dispone la plataforma para una visualización más detallada de los sensores que son monitoreados en tiempo real.

Figura 67.
Interfaz principal TagoIO



Con base en esta breve introducción de la plataforma principal de TagoIO se procede con la creación del dispositivo en base al protocolo que se vaya a hacer uso, al configurar las peticiones HTTP dentro del Arduino Uno disponible en el Gateway se selecciona el dispositivo Arduino como se indica en la Figura 68.

Figura 68.
Selección del dispositivo TagoIO



Al seleccionar el dispositivo Arduino bajo el protocolo HTTP se procede a configurar el nombre del dispositivo Gateway que permita identificarlo en caso de registrar más dispositivos (véase la Figura 69), en el tipo de almacenamiento de datos se hace uso de la opción “datos del dispositivo optimizados” debido a que se desea que se registren grandes

cantidades de datos y estas no puedan ser editables para mantener la fidelidad de dichos datos, esta versión de prueba permite mantener los valores en sus bases de datos en un periodo de 1 mes.

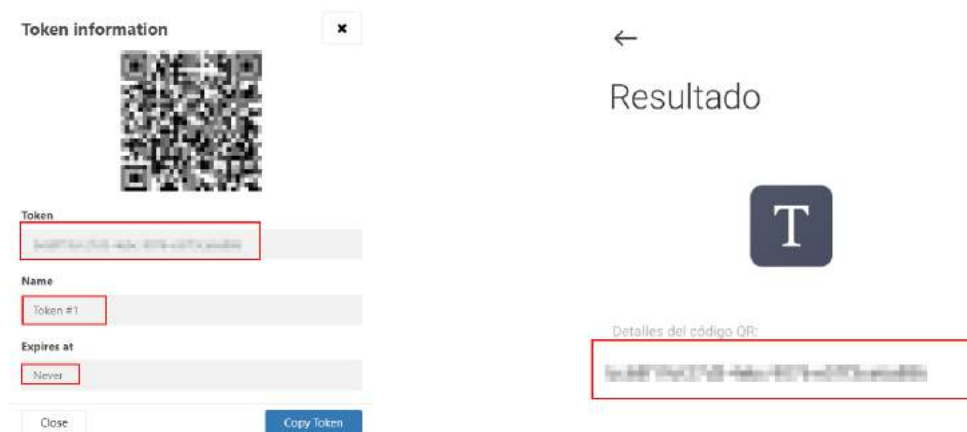
Figura 69.
Creación del dispositivo en TagoIO

Una vez el dispositivo haya sido creado se procede a generar el token, un token es un numero serial utilizado como clave de acceso que permite autenticar y autorizar las solicitudes del API que conecta Arduino con la plataforma web bajo el protocolo HTTP como se muestra en la Figura 70.

Figura 70.
Creación Token TagoIO

Se recomienda verificar la creación del token (véase la Figura 71 **Error! Reference source not found.**), este valor alfanumérico consta de 36 caracteres y no debe de ser compartido garantizando la confidencialidad e integridad de los datos. Al visualizar el token generado este no puede ser modificado por el usuario indicando información del token mediante un código QR, número serial, nombre del token y fecha que expira.

Figura 71.
Información del Token TagoIO



El token generado se procede a copiarlo dentro del código del Arduino Uno que conforma el Gateway para establecer la conectividad que permita subir los datos hacia la plataforma de visualización de datos como se visualiza en la Figura 72.

Figura 72.
Token de conectividad en Arduino Uno

```

10 // TagoIO
11 const char* server = "api.tago.io";           // Servidor de TagoIO
12 const int port = 80;                         // Puerto para la conexión HTTP
13 const char* deviceToken = "XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX"; // Token del dispositivo en TagoIO
14

```

Se realiza la conexión del Shield Ethernet hacia un Access Point o hacia un punto de red que tenga salida hacia internet como indica el diagrama en la Figura 73, mediante esta conexión y el código establecido en la Figura 58 se verifica la conectividad y envío de datos hacia la plataforma, en el que el dispositivo Arduino Uno mediante el Monitor Serie enviará

mensajes de que el envío de datos hacia la plataforma TagoIO ha sido exitosa garantizando la comunicación bajo el protocolo HTTP (véase la Figura 74).

Figura 73.
Conexión física hacia Internet

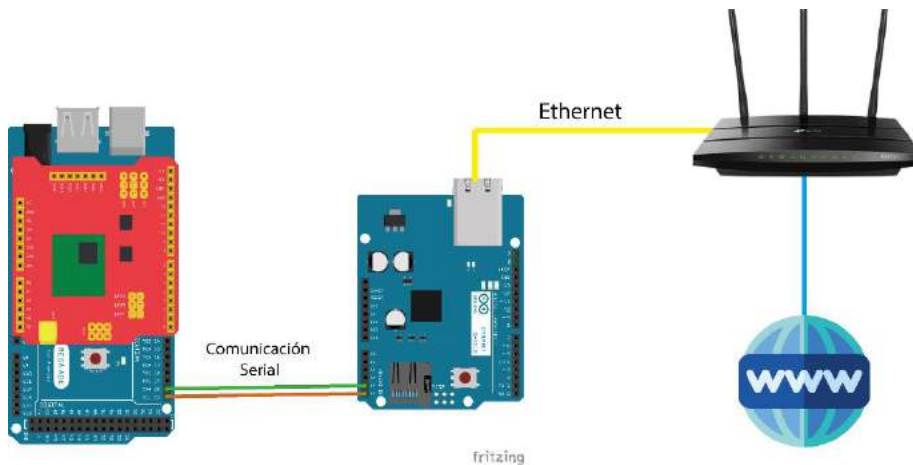


Figura 74.
Mensaje envío de datos exitoso

```

COM19
20:04:13.412 -> Nodo: 1
20:04:13.506 -> Temperatura: 20.20
20:04:13.552 -> Humedad: 2.00
20:04:13.691 -> Nitrogeno: 27.70
20:04:13.691 -> Datos enviados a TagoIO con éxito
20:04:13.875 -> Datos enviados a TagoIO con éxito
20:04:14.059 -> Datos enviados a TagoIO con éxito
20:04:14.244 -> Datos enviados a TagoIO con éxito
20:04:14.428 -> Datos enviados a TagoIO con éxito
20:04:14.567 -> Datos enviados a TagoIO con éxito
20:04:14.750 -> Datos enviados a TagoIO con éxito
20:04:14.937 -> Datos enviados a TagoIO con éxito
20:04:15.030 -> Datos enviados a TagoIO con éxito

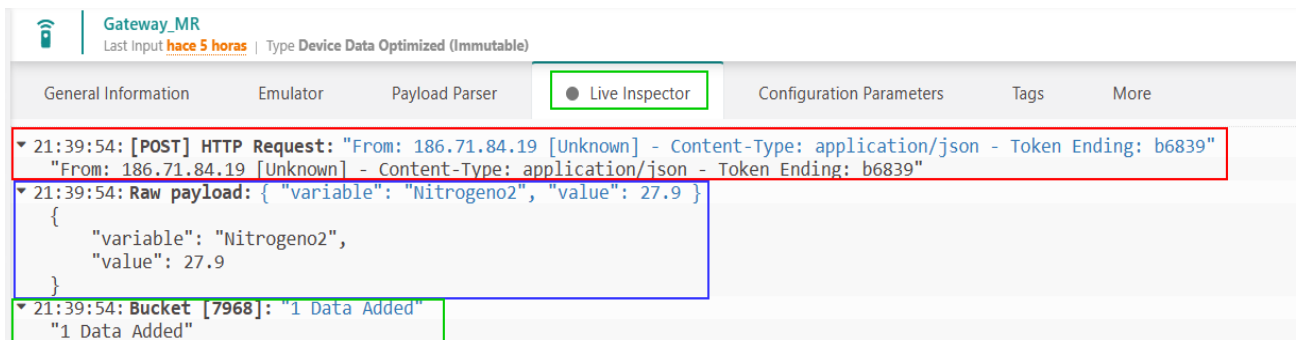
```

Al validar que los datos han sido enviados por el Arduino Uno hacia la plataforma se verifica el envío del paquete y que se encuentren dentro del formato JSON que se requiere para el procesamiento de estos en la plataforma, para ello TagoIO tiene a disposición la herramienta “Live Inspector”, la cual, es una herramienta que permite visualizar y procesar los datos recibidos en tiempo real validando los campos de las variables censadas e identificando problemas en caso de presentar uno.

Live Inspector muestra tres campos fundamentales (véase la Figura 75.) por cada paquete que ha sido enviado, validando que la lectura del dato, almacenamiento en la base de datos y publicación del resultado ha sido correcta, estos campos son:

- El campo “[POST] HTTP Request” es un método que hace uso el protocolo HTTP que permite la transferencia de datos hacia un servicio web, en esta petición se detalla desde donde se realiza la solicitud y cuál es el tipo de contenido que tiene el paquete.
- El segundo campo indica la variable que ha sido censada junto al valor de la variable.
- Finalmente, en el ultimo campo “bucket” o contenedor permite conocer que la variable y el valor han sido agregados correctamente a la base de datos para su procesamiento en el dashboard

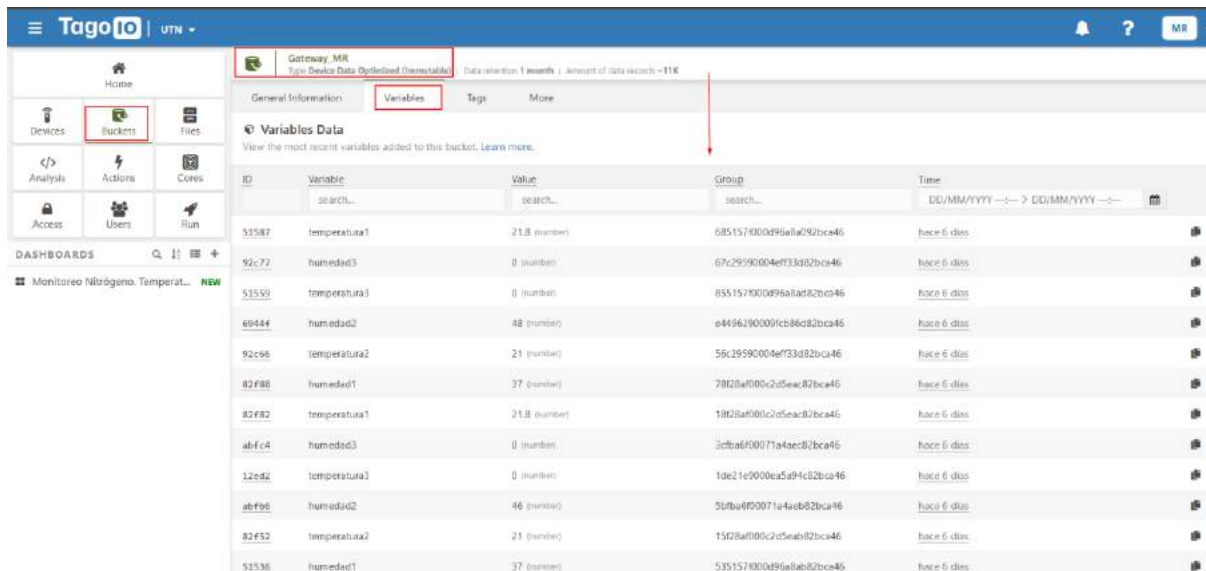
Figura 75.
Live Inspector TagoIO



La base de datos guarda cada uno de los valores agregados en una tabla identificados con un ID único donde se almacena la fecha, variable, valor censado y al grupo que pertenece como se observa en la Figura 76. Esta base de datos estará disponible durante un lapso de 1 mes debido al hacer uso de la versión de prueba, ya que al disponer de una licencia el tiempo de vida de la base de datos no tendrá vencimiento. Los datos estarán disponibles en la sección

de buckets o contenedores donde se permite realizar acciones como la búsqueda, filtrado u organizado de los datos.

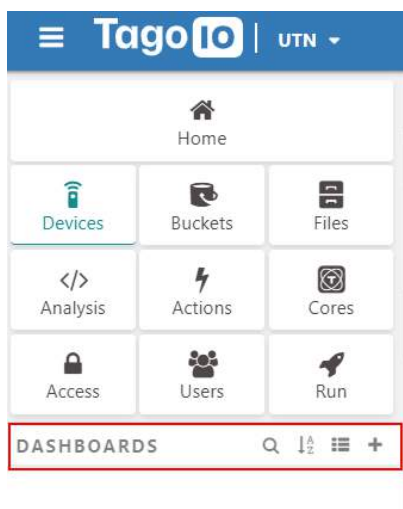
Figura 76.
Base de datos TagoIO



ID	Variable	Value	Group	Time
53587	temperatura1	21.8 (number)	685157000d99a4d92bca46	hace 6 días
92c72	humedad3	0 (number)	67c29590004ef33d82bca46	hace 6 días
53550	temperatura3	0 (number)	855157000d99a4d92bca46	hace 6 días
6944f	humedad2	48 (number)	e44962900091cb86d82bca46	hace 6 días
92c96	temperatura2	21 (number)	56c29590004ef33d82bca46	hace 6 días
82f88	humedad1	37 (number)	78d28af000c2d5eac82bca46	hace 6 días
82f82	temperatura1	21.8 (number)	18d28af000c2d5eac82bca46	hace 6 días
4bf4c	humedad3	0 (number)	3c7ba6f00071a4ac82bca46	hace 6 días
12e42	temperatura3	0 (number)	1de21e9000e5a94c02bca46	hace 6 días
4bf96	humedad2	46 (number)	50fba6f00071a4ac82bca46	hace 6 días
82f52	temperatura2	21 (number)	15d28af000c2d5eab82bca46	hace 6 días
53536	humedad1	37 (number)	535157000d99a4d92bca46	hace 6 días

La visualización de los datos se la realiza en la sección de “Dashboards” (véase la Figura 77), en este contexto se realiza la creación de tres tipos de paneles para cada uno de los sectores en conjunto con el mapa de calor para la mejor visualización hacia el usuario determinando que zona y que variable es la que indica el Dashboard.

Figura 77.
Sección Dashboards TagoIO



La creación de un Dashboard implica el tipo de panel que se desea crear y el nombre de este, en el desarrollo de este proyecto se realiza con el tipo de panel normal como se observa en la Figura 78 debido a que se dispone únicamente de un solo dispositivo conectado a la plataforma TagoIO y no múltiples para usar el tipo de panel “Blueprint”

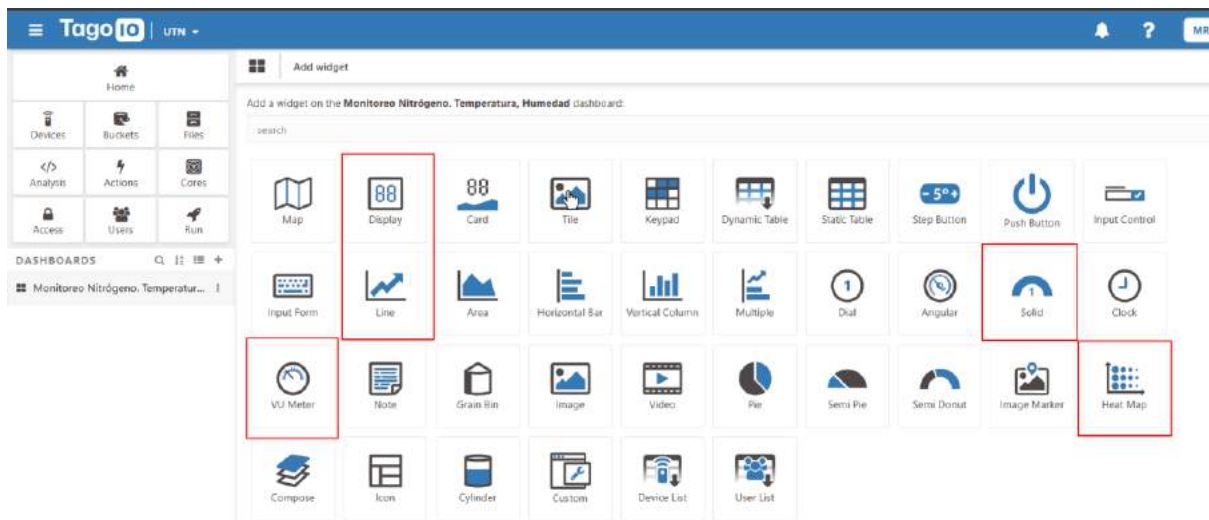
Figura 78.

Parámetros de configuración Dashboard TagoIO

En el dashboard creado se selecciona los widgets a utilizar dependiendo la variable, como se desea conocer en un intervalo de tiempo si existieron valores críticos en cualquiera de las variables se requiere de la visualización con relación al tiempo, al igual que el valor actual que está presentando los sensores en cada una de las zonas (véase la Figura 79), para ello se hace uso de los siguientes widgets:

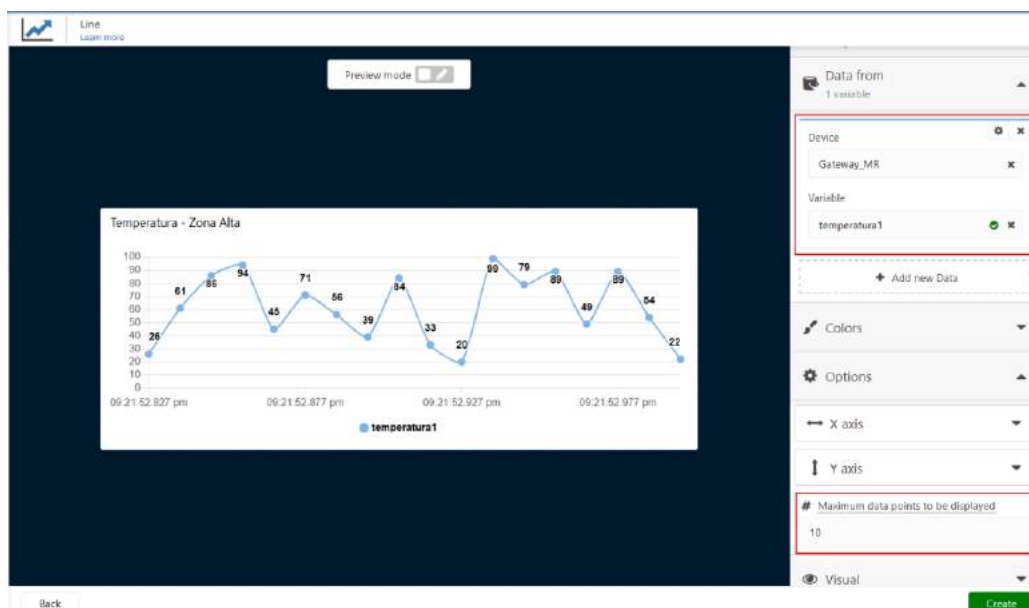
- Display
- Line
- Solid
- VU Meter
- Heat Map

Figura 79.
Widgets utilizados para el Dashboard



El widget Line permite seleccionar la variable que se desea mostrar en el dashboard con base en el dispositivo que está en escucha, por lo que se crea tres veces este widget por cada variable censada además de que puede ser personalizable en cuanto a colores y el número de datos a mostrar como se muestra en la Figura 80 donde se indica los últimos 10 datos censados por el Nodo sensor de una única variable.

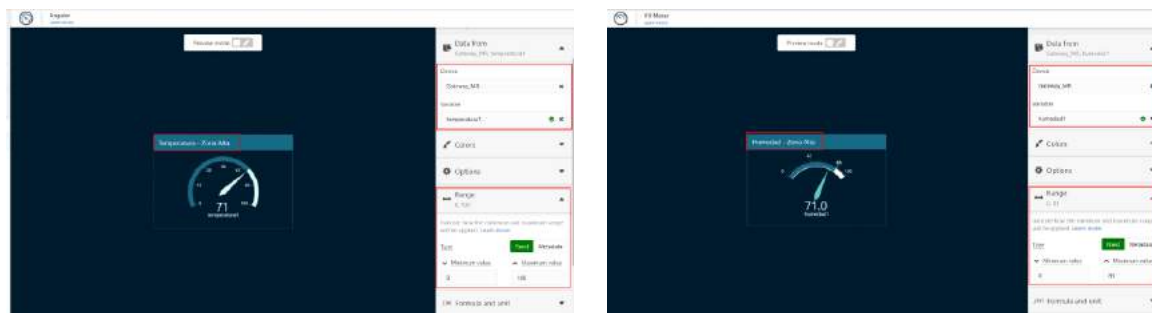
Figura 80.
Parámetros de configuración Widget Line



Los widgets “solid” y “VU Meter” disponen de las mismas configuraciones en cuanto a la selección de las variables monitoreadas y la personalización, las configuraciones realizadas se presentan en la Figura 81, estos widgets son utilizados para observar el último valor que ha sido obtenido por el sensor.

Figura 81.

Parámetros de configuración widget "Solid" y "VU Meter"



La configuración del mapa de calor o heat map (véase la Figura 82) se la realiza de igual manera como se mencionó en las configuraciones de los anteriores widgets además de las coordenadas fijas para seleccionar el punto de monitorización y la escala de colores requerida que permita visualizar anomalías en las variables censadas dependiendo el sector de monitorización.

Figura 82.

Configuraciones de variables widget heatmap



Las configuraciones que detallan intensidad de la escala de colores se encuentran localizada en el menú de opciones donde indica el radio de intensidad y el rango en el que se desea se muestra los colores dependiendo de los valores de los sensores, se agrega un solo mapa de calor para los tres sensores utilizados en el desarrollo de este proyecto como se indica en la

Figura 83.

Configuración de intensidad de color heatmap



La ubicación de los puntos de referencia que son mostrados en los mapas de calor se asignan de acuerdo a coordenadas fijas configuradas dentro de las configuraciones de cada variables que se muestra en el mapa de calor (véase la Figura 84), esto permite sectorizar si se encuentra en la zona alta, media o baja e indique al usuario con mayor precisión el lugar en el que existen anomalías en caso de presentarlas y con ello brindar una herramienta accesible para la toma de decisiones del cultivo para un mejor desarrollo.

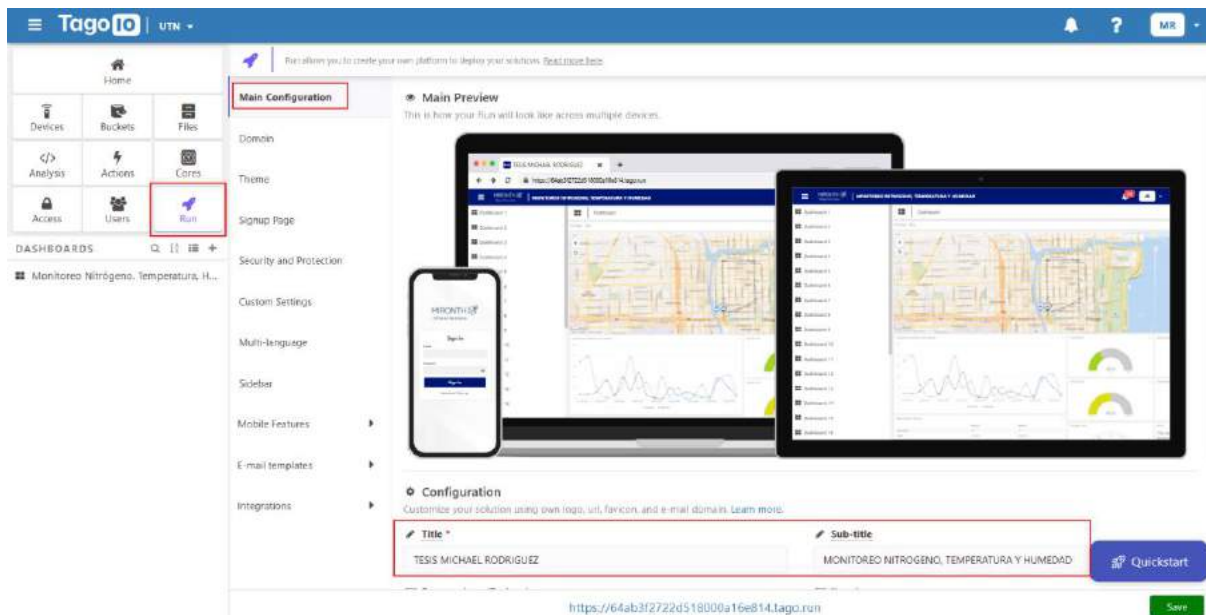
Figura 84.
Configuraciones coordenadas fijas heatmap



Estas configuraciones se realizan en cada una de las zonas que son monitoreadas, es decir que existirán 7 widgets por cada zona censada para brindar los datos necesarios a los expertos en el área agrícola y con ello un monitoreo constante variables que interactúan directamente en el desarrollo de la planta.

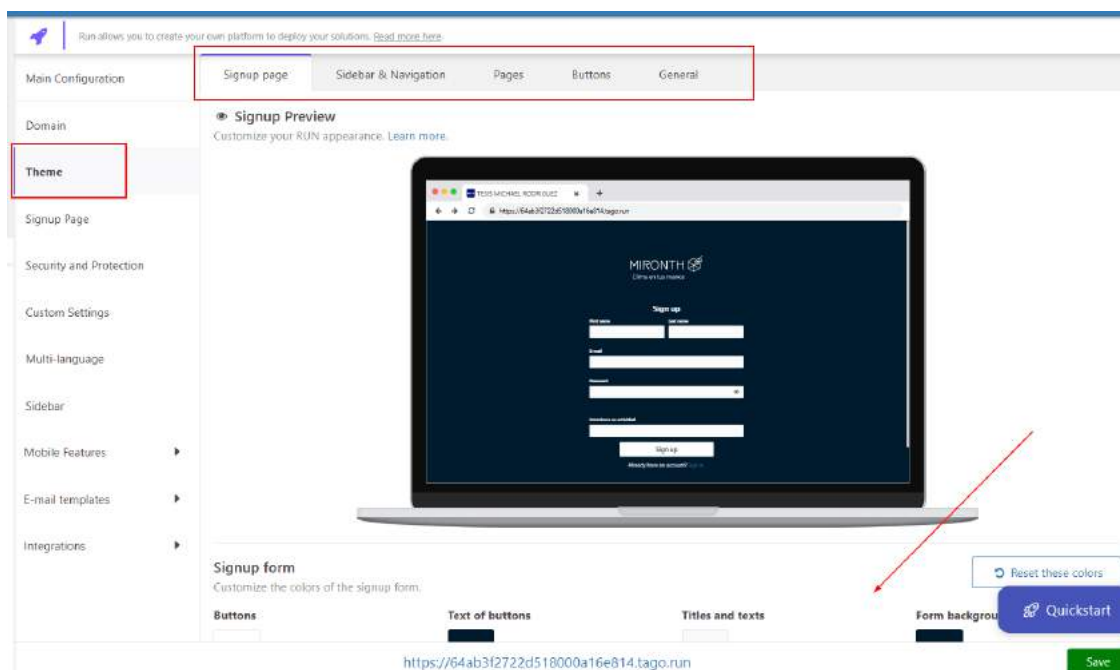
La visualización de los datos es alojada en un servidor web disponible por la plataforma TagoIO, esta acción se la lleva mediante la herramienta “run” disponible en el menú de herramientas, en esta sección se puede ejecutar acciones que el usuario desea para dar accesibilidad a los datos, esto ya puede ser inicio de sesión, validación de usuario mediante recaptcha o inicio de sesión mediante doble autenticación entre otras configuraciones disponibles, en la Figura 85 se observa configuraciones iniciales como es el título, subtítulo e información del sistema de monitoreo.

Figura 85.
Configuraciones iniciales herramienta run TagoIO



En la sección de tema se permite personalizar la interfaz gráfica en cuanto a colores, estilos de inicio de sesión y configuración de la barra de menú, en este caso se realiza configuraciones sencillas con respecto a colores y el logo de la solución de monitoreo de temperatura, humedad y nitrógeno.

Figura 86.
Personalización interfaz gráfica



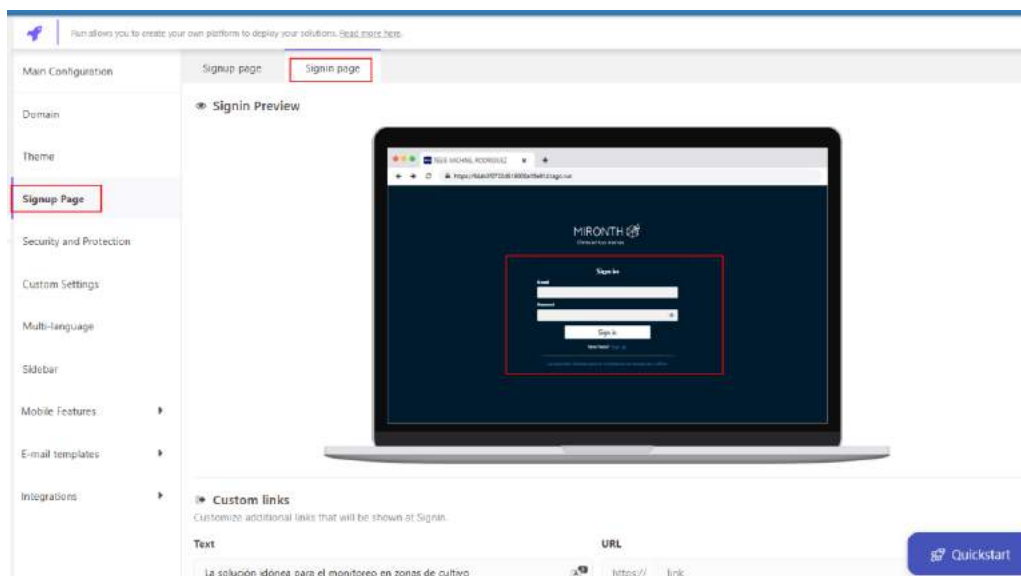
El acceso a los datos que han sido agregados en el dashboard previamente configurado requieren de credenciales de acceso con la finalidad de garantizar la seguridad de dichos datos, para ello se solicita al usuario realizar el registro de una cuenta para acceder a los datos de los sensores, para la creación de una cuenta se considera datos como: nombre, apellido, correo electrónico válido, contraseña y actividad a la que se dedica. Esto con la finalidad de conocer más del usuario que intenta acceder a los datos ya que se encuentran alojados en internet además de ello se ha configurado que cualquier tipo de persona pueda registrarse a la plataforma de monitoreo (véase la Figura 87). Sin embargo, no tendrán acceso a los datos debido a una gestión de usuarios configurada que se explicará posteriormente.

Figura 87.
Configuración interfaz registro de usuario

Field name	Label above the field	Type	Required
first_name	first name	Text	Required <input checked="" type="checkbox"/>
last_name	Last name	Text	Required <input checked="" type="checkbox"/>
email	E-mail	Text	Required <input checked="" type="checkbox"/>
password	Password	Text	Required <input checked="" type="checkbox"/>
Actividad a la que se dedica	Introduzca su actividad	Text	Required <input type="checkbox"/>

El inicio de sesión se basa únicamente en el correo y la contraseña creada anteriormente como se muestra en la Figura 88, se debe considerar que se debe verificar el correo electrónico registrado para que la cuenta se cree correctamente y dicha verificación es mediante un correo electrónico de validación hacia el correo registrado.

Figura 88.
Interfaz inicio de sesión

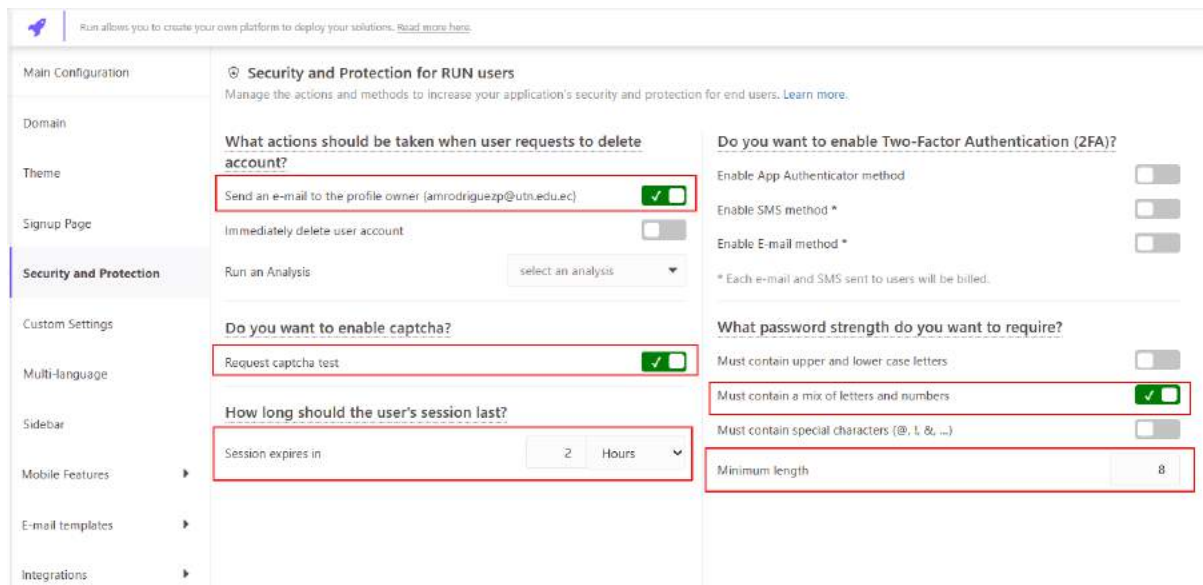


Se gestiona las configuraciones de seguridad para garantizar la creación de cuentas con la finalidad de evitar algún tipo de acceso no autorizado o creación de cuentas falsas que puedan acceder a este tipo de información. Las configuraciones de seguridad (véase la Figura 89) configuradas para la creación de cuentas esta descrita en la Tabla 27.

Tabla 27.
Parámetros de seguridad para la creación de cuentas de usuario

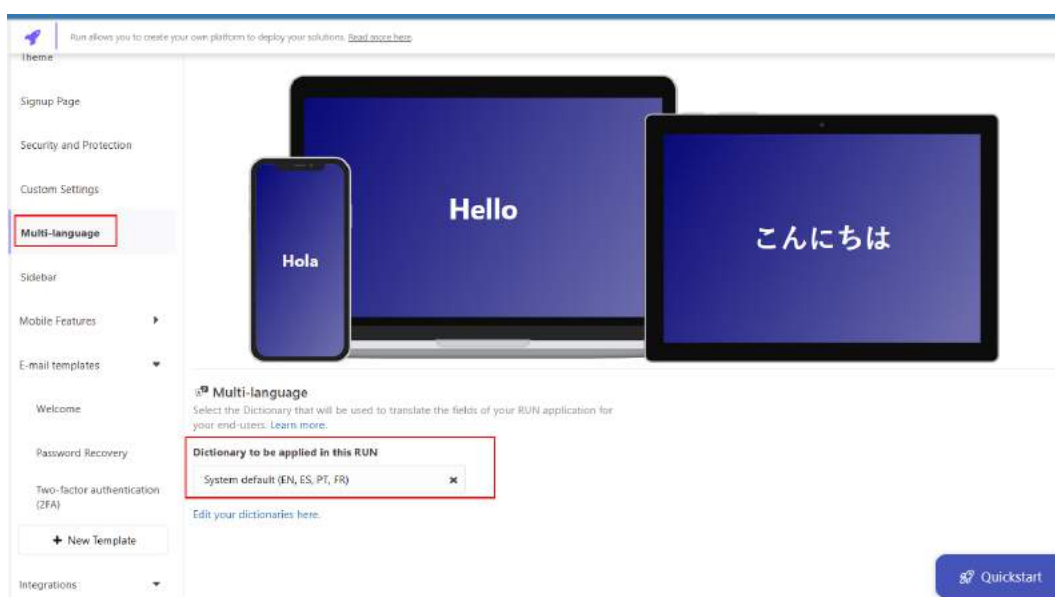
Parámetro	Valor de seguridad
Enviar un correo electrónico al administrador cuando se desea eliminar una cuenta	SI
Habilitar captcha	SI
Tiempo que expira la sesión iniciada	2 HORAS
Autenticación de doble factor	NO
Combinación de letras y números para contraseña	SI
Longitud mínima de contraseña	8 caracteres

Figura 89.
Parámetros de seguridad habilitados



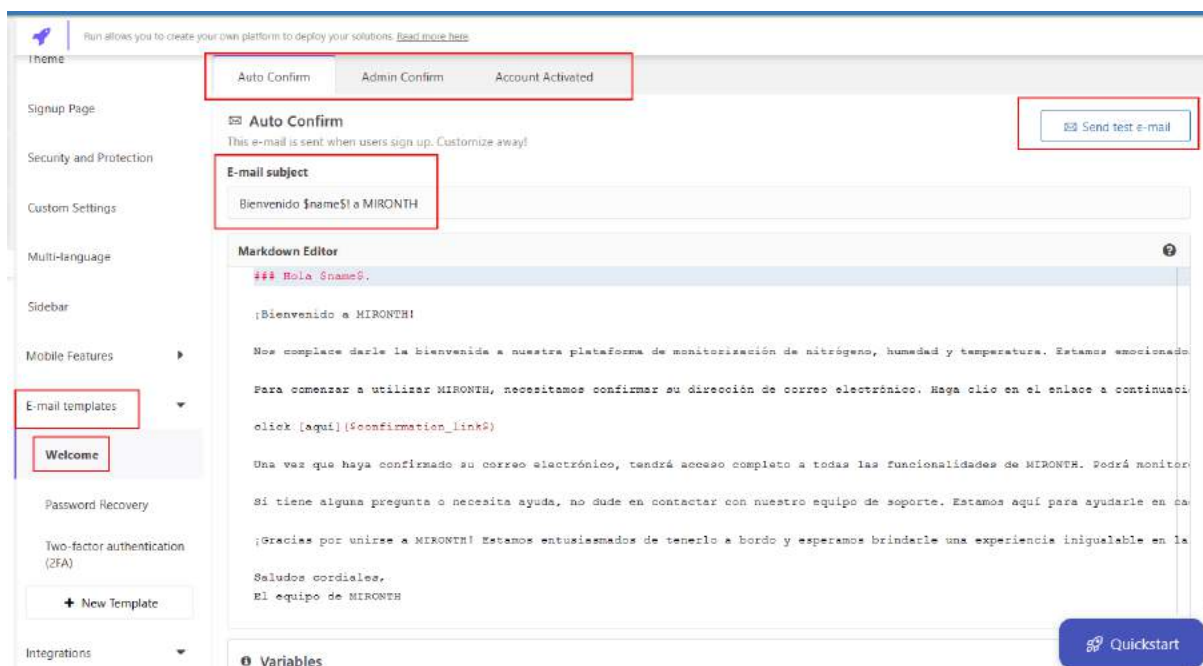
La plataforma tiene a disposición la funcionalidad de internacionalización que en cuestión permite adaptarse a diferentes lenguajes dependiendo de la zona geográfica y los lenguajes predeterminados que tenga configurado, los lenguajes disponibles en el desarrollo de esta propuesta tecnológica es el español, inglés, francés y portugués como se indica en la Figura 90.

Figura 90.
Función internacionalización



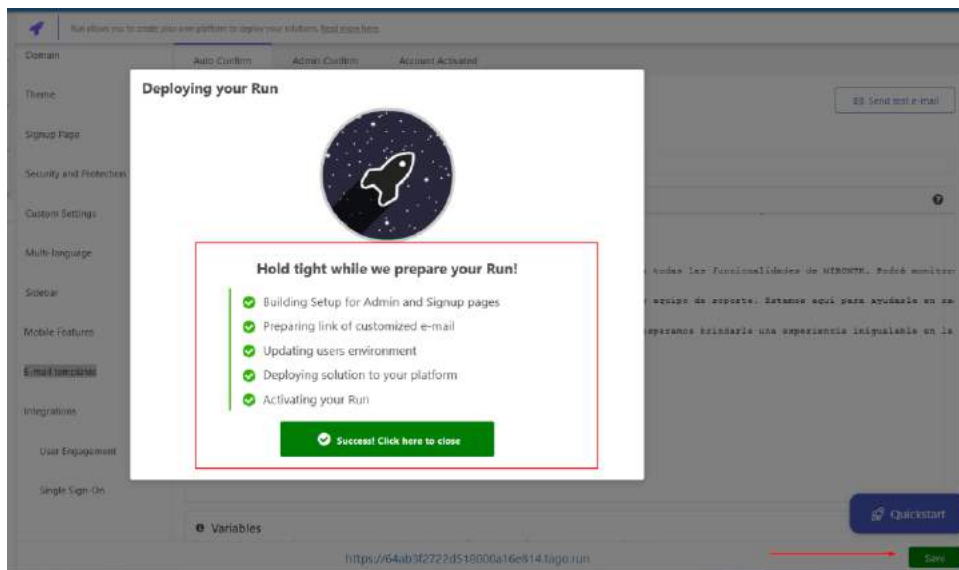
En la sección de plantillas de correo electrónico se edita los correos electrónicos de confirmación de correo electrónico, analices de la cuenta y creación de cuenta exitosamente en el que se le explica al usuario cada paso que deberá realizar para comenzar a usar la plataforma en cuestión para la visualización de los datos, esto se indica en la Figura 91. Se puede validar cada uno de estos correos mediante la opción de prueba, estos correos le llegarán al administrador para su verificación.

Figura 91.
Configuración de correos electrónicos



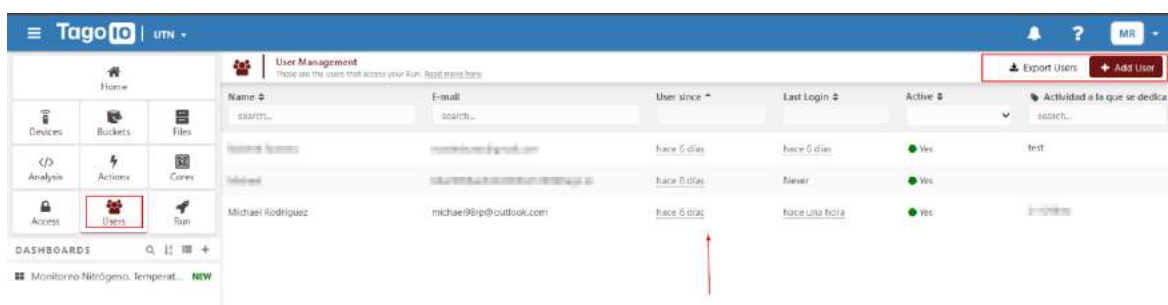
Finalmente, al terminar de configurar la herramienta de run se procede a guardar los cambios establecidos en el que se valida cada parámetro de configuración (véase la Figura 92) con la finalidad de evitar comportamientos anómalos o presentar errores hacia el usuario garantizando que la plataforma sea transparente y amigable.

Figura 92.
Validación de las configuraciones realizadas en run



La gestión de usuarios es administrada mediante la herramienta “users” (véase la Figura 93), en la cual, se almacena en base de datos el nombre y apellido del usuario, correo electrónico, tiempo de creación de la cuenta, último inicio de sesión, estado de la cuenta y la actividad a la que se dedica. Aquí se puede exportar los datos de los usuarios en un archivo CSV (Comma-Separated Values) para mantener esta base de datos de forma local.

Figura 93.
Gestión de usuarios en la plataforma



El administrador del sistema puede administrar, modificar y eliminar la información en incluso las cuentas de usuario creadas como indica la Figura 94, esto con la finalidad de brindar diferentes soluciones a usuarios de forma remota con la finalidad de recuperar su cuenta de forma eficiente o eliminar la cuenta en caso de requerirlo, así como observar que

tipo de accesos tiene el usuario y que permisos se tiene al iniciar sesión como un usuario específico.

Figura 94.
Configuración de usuarios individuales

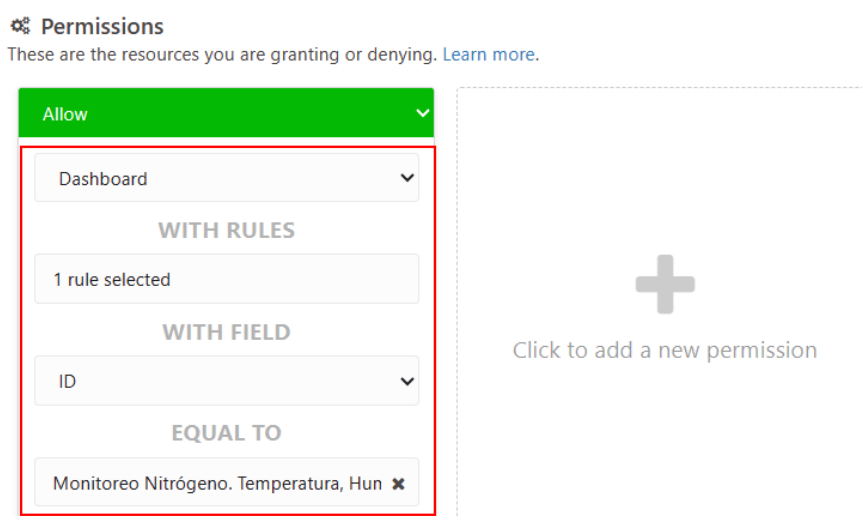
El acceso y los permisos que dispondrá los usuarios registrados son gestionados en la sección de “access” de la plataforma, en esta sección se genera una política que es un conjunto de reglas que deben de cumplirse para brindar un servicio, en la Figura 95 se muestra las reglas o targets que han sido creados para brindar el acceso mediante el “Run User” y el condicional “igual a”.

Figura 95.
Políticas para el acceso a la información de monitoreo

Al crear las reglas se genera los permisos que van a poder tener los usuarios en caso de cumplirse las condiciones establecidas previamente, los permisos están conformados para dar acceso ya sea al dispositivo en general o únicamente al dashboard, con el tipo de regla, el ID que se considera para dar acceso y que dashboards puede acceder los usuarios que cumplan esta regla como se muestra en la Figura 96.

Figura 96.

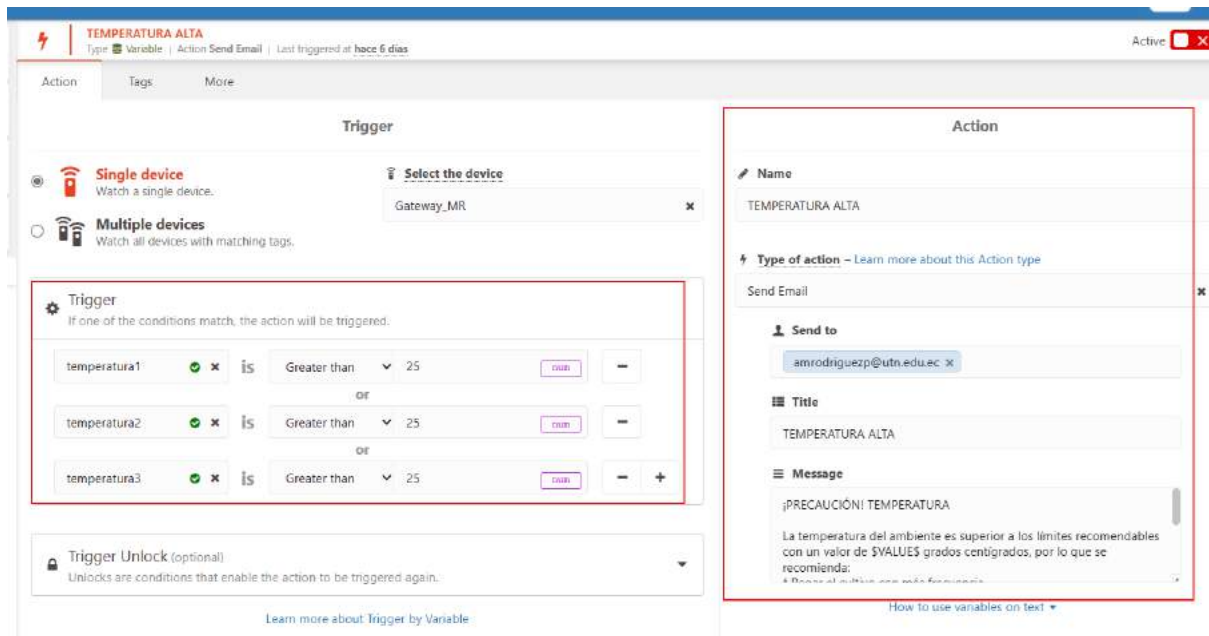
Permisos para el acceso al Dashboard



Al monitorear constantemente los variables consideradas en el desarrollo de este proyecto se define limites o umbrales, en el cual, al cumplir una condición anormal que no esté dentro de las condiciones ideales se enviará a los usuarios registrados una notificación vía correo electrónico indicando el problema en conjunto con el valor anormal y una serie de recomendaciones que permitirán regresar las variables a la condicione ideales, en este caso se crea alarmas en dos casos específicos en caso que las variables estén debajo de los valores ideales o supere los umbrales definidos para el correcto desarrollo del cultivo, estos valores fueron determinados con base en el punto 2.2.1. La configuración de la alerta se basa en tres parámetros ideales como es la variable, la condicional y el valor condicionado (véase la Figura 97) que al cumplir una de las condiciones declaradas se emitirá un correo

notificándole al usuario del problema presente en que le permita llevar a cabo una acción que adecúe los valores de las variables a unas condiciones ideales.

Figura 97.
Condiciones y acciones para alertas hacia el usuario final

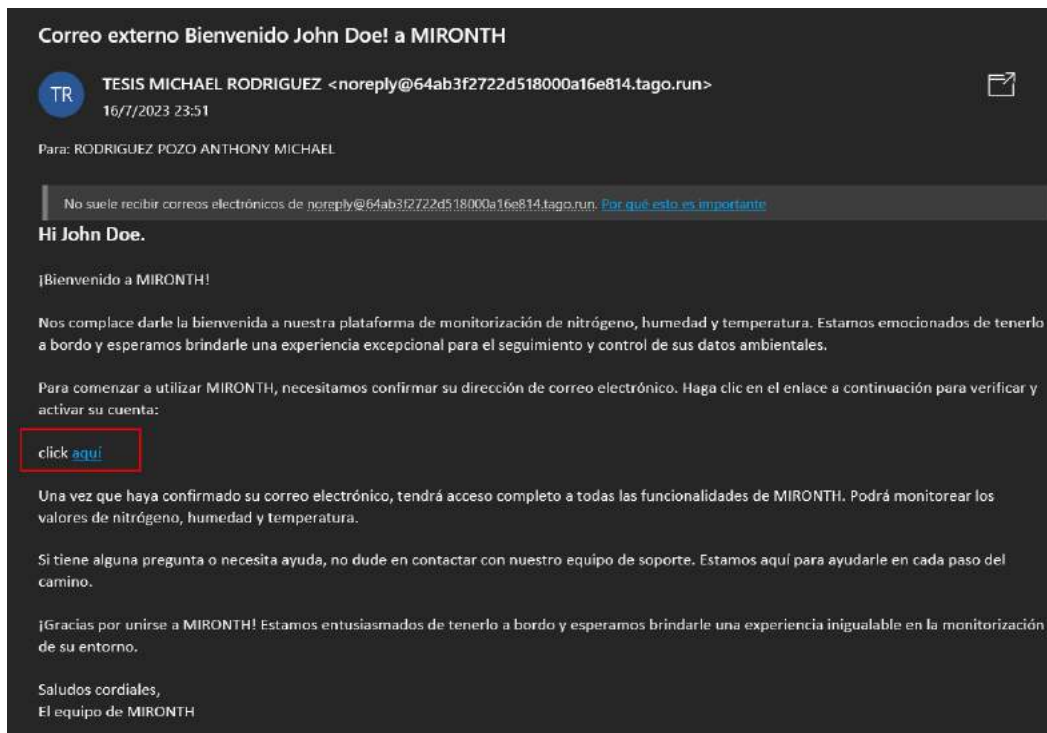


3.6. Validación de cuenta de usuarios

El sistema de monitoreo presenta tres tipos de correos electrónicos que valida la correcta creación de la cuenta del usuario, estos correos son recibidos única y exclusivamente al correo electrónico con el que se realizó el registro.

Al registrar el correo dentro de la plataforma TagoIO se reemitirá al usuario un correo electrónico de confirmación para validar la dirección de este, esta característica permite garantizar la autenticidad de los usuarios, en este correo electrónico se adjunta un enlace que permite validar el registro de la cuenta como se muestra en la Figura 98.

Figura 98.
Correo de confirmación del correo electrónico



Las solicitudes de registro son examinadas para asegurar la actividad a la que se dedican las personas con la finalidad de conocer el interés del usuario registrado y el trato que le dará a los datos, esta validación no es tiempo real, por lo que, se reenvía el correo electrónico mostrado en la Figura 99 indicando al usuario que su registro está siendo validado.

Figura 99.
Correo análisis de la solicitud de registro



Se activa la cuenta del usuario después de la revisión y confirmación del correo electrónico. Un correo de bienvenida se muestra en la Figura 100 en que permite al usuario utilizar todas las funcionalidades de TagoIO para registrar y rastrear datos de manera confiable y efectiva.

Figura 100.

Correo activación de la cuenta

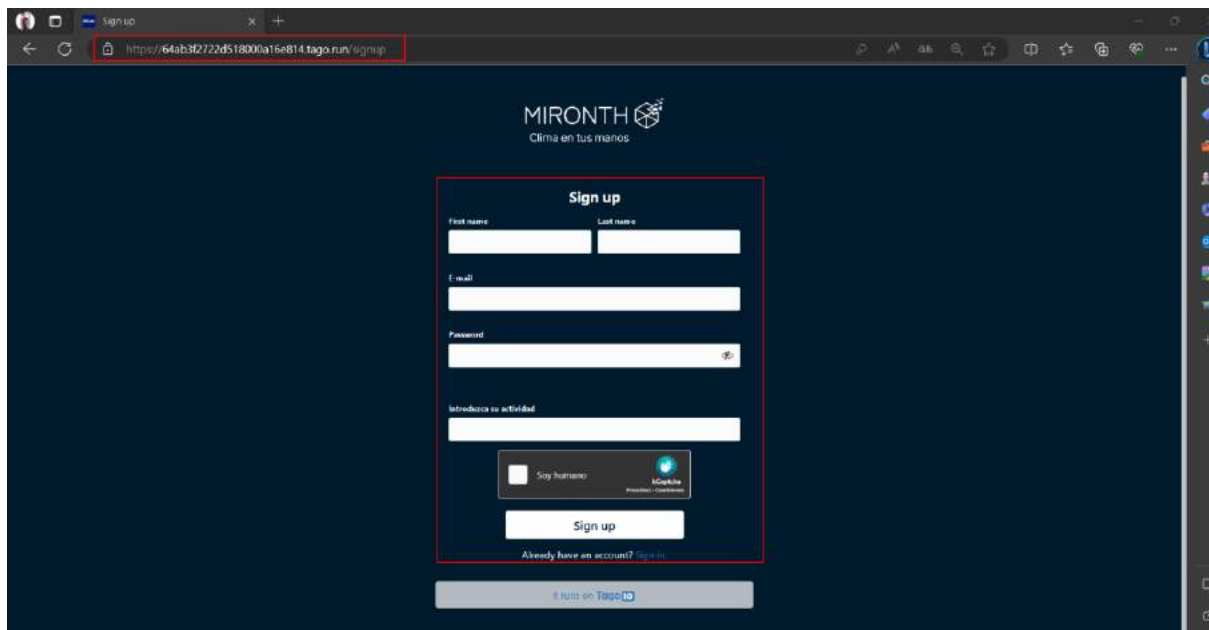


Estos correos han sido remitidos desde la plataforma TagoIO hacia el usuario administrador o en su defecto a una cuenta de correo externo registrado en las configuraciones de las acciones, considérese que esta plataforma puede remitir diversos correos electrónicos a diversas cuentas de forma simultánea.

3.7. Visualización de datos dashboard TagoIO

Las pantallas disponibles o interfaces gráficas que han sido configuradas en la página web se basan en tres pantallas dependiendo si el usuario ya fue registrado previamente o no, en la pantalla de registro de usuario que se muestra en la Figura 101 los usuarios deben de proporcionar la información necesaria que permita crear la cuenta exitosamente.

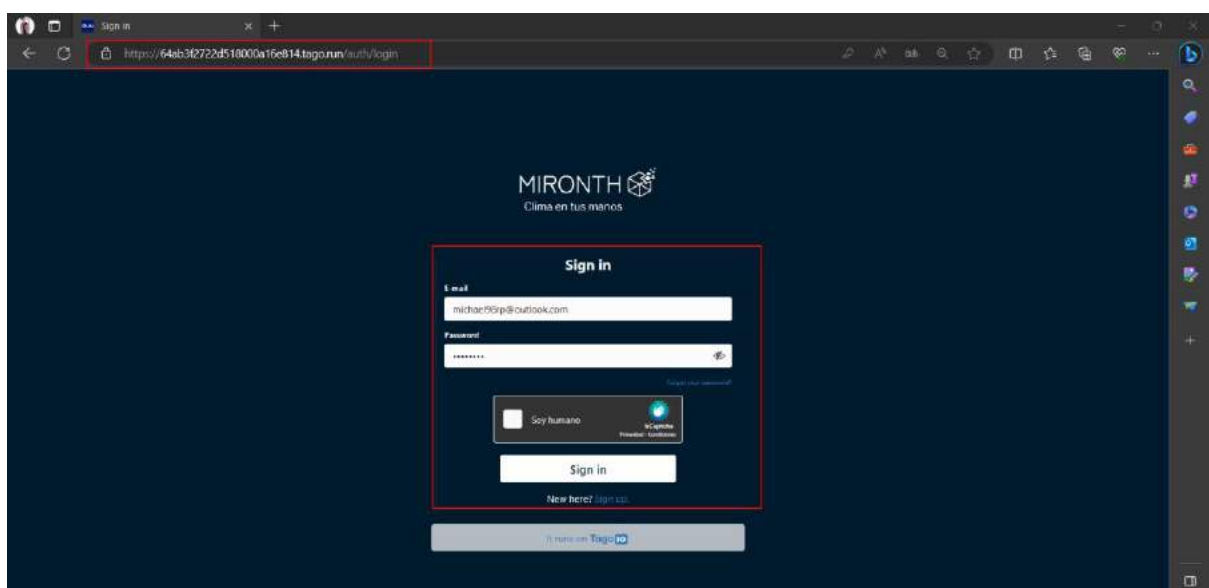
Figura 101.
Interfaz Registro de usuario



The screenshot shows a web browser window with the URL <https://64ab3f2722d518000a16e814.tago.run/signup>. The page features the MIRONTH logo and the tagline "Clima en tus manos". The registration form is titled "Sign up" and includes the following fields: "First name", "Last name", "E-mail", "Password", and "Introduzca su actividad". Below the form, there is a checkbox for "Soy humano" (I am human) and a "Sign up" button. A link for "Already have an account? Sign in" is located below the button. At the bottom, there is a link for "¿Más en TagoIO?".

La pantalla que se muestra en la Figura 89, permite a los usuarios que ya tienen una cuenta en TagoIO ingresar sus credenciales de inicio de sesión y acceder rápidamente a su cuenta. Los usuarios pueden acceder a su dashboard personalizado ingresando su correo electrónico y contraseña.

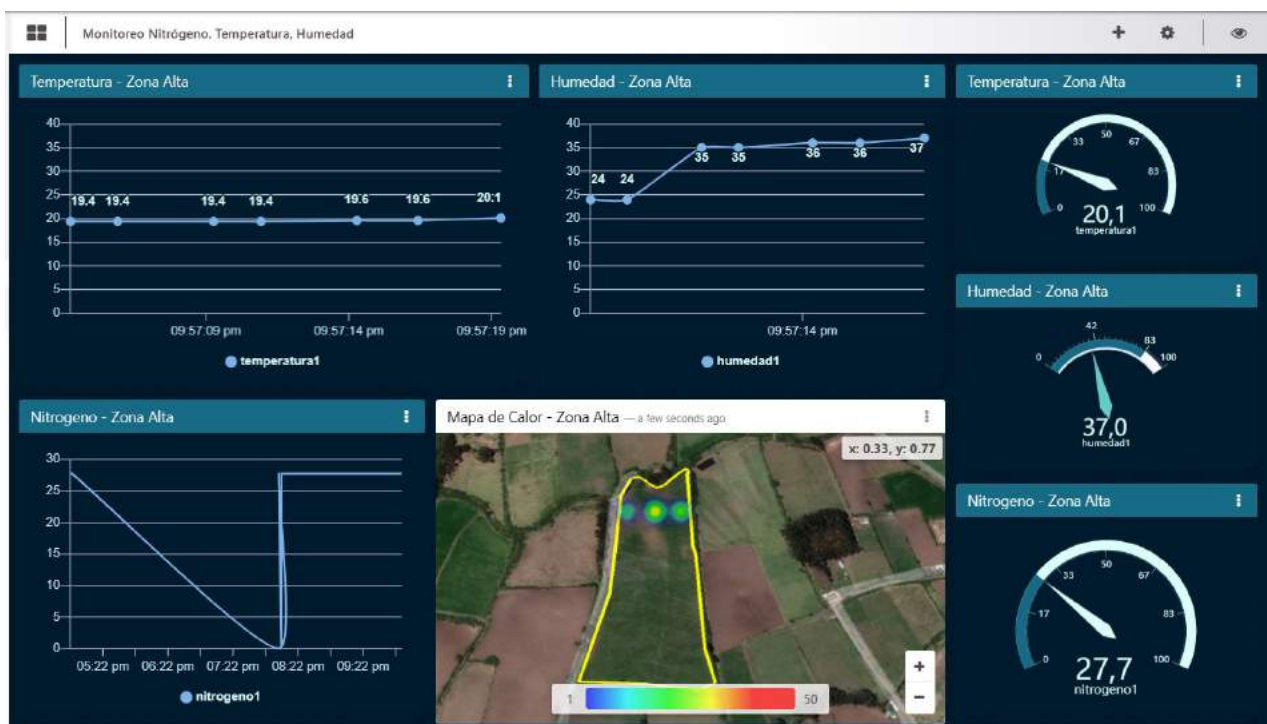
Figura 102.
Interfaz inicio de sesión



The screenshot shows a web browser window with the URL <https://64ab3f2722d518000a16e814.tago.run/auth/login>. The page features the MIRONTH logo and the tagline "Clima en tus manos". The login form is titled "Sign in" and includes the following fields: "E-mail" (with the example "michalr@p@outlook.com") and "Password". Below the form, there is a checkbox for "Soy humano" (I am human) and a "Sign in" button. A link for "New here? Sign up" is located below the button. At the bottom, there is a link for "¿Más en TagoIO?".

Los usuarios al acceder a la plataforma mediante sus credenciales pueden observar el dashboard personalizado según se haya asignado los permisos para cada usuario. Las variables monitoreadas en el área se pueden observar en la Figura 103 donde los widgets del muestran variables como nitrógeno, humedad y temperatura en tiempo real de dos maneras como son: líneas de tiempo para conocer si ha existido anomalías a lo largo del monitoreo y el valor actual o último valor que ha sido censado por el nodo.

Figura 103.
Interfaz del dashboard



El uso de limitadas interfaces permite que la aplicación sea amigable con el usuario con la finalidad de que no se requiera de conocimientos profundos en ciencias de la computación para la comprensión del funcionamiento de esta solución por lo que es accesible y transparente para el personal que se desenvuelve en el área de la agricultura.

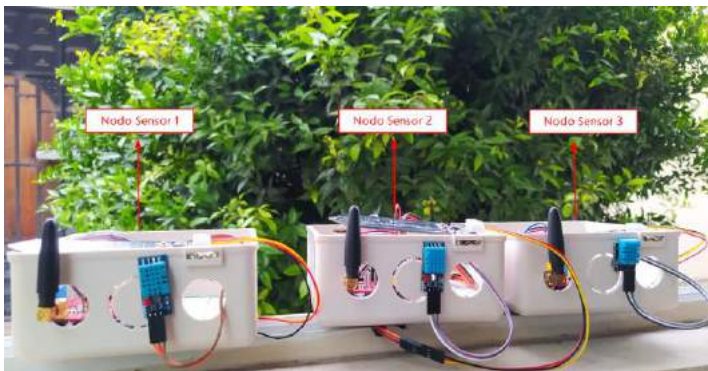
3.8. Implementación del sistema

En este punto se detalla la implementación de los 3 nodos sensores en el campo de aplicación considerando que el sistema este aplicado en terrenos que presenten pendiente considerando los requerimientos mencionados en el punto 3.2.4, el sistema ha sido implementado en la etapa de formación de tubérculos o tuberización que ocurre aproximadamente entre la 4ta y 8va semana desde que se realizó la siembra de la semilla, ya que en esta etapa la planta requiere un equilibrio de las variables de temperatura, humedad y nitrógeno para potenciar la formación y desarrollo de tubérculos por lo que al no tener equilibrada estas variables se pueden presentar problemas como la presencia de enfermedades, promover la zona alta de la planta evitando el desarrollo del tubérculo por exceso de nitrógeno o limitación en el desarrollo de tubérculo al no mantener una temperatura idónea.

Debido a ello, se aplicará los nodos sensores detallados en la Figura 104 que constan de una carcasa impermeable garantizando la integridad de sus componentes electrónicos en conjunto con los sensores de humedad, temperatura y nitrógeno, cada nodo sensor está identificado a través de un ID ya que al tener las mismas variables censadas se debe considerar el uso de un ID para diferenciar el procesamiento de los datos y con ellos se pueda sectorizar de la manera más adecuada posible.

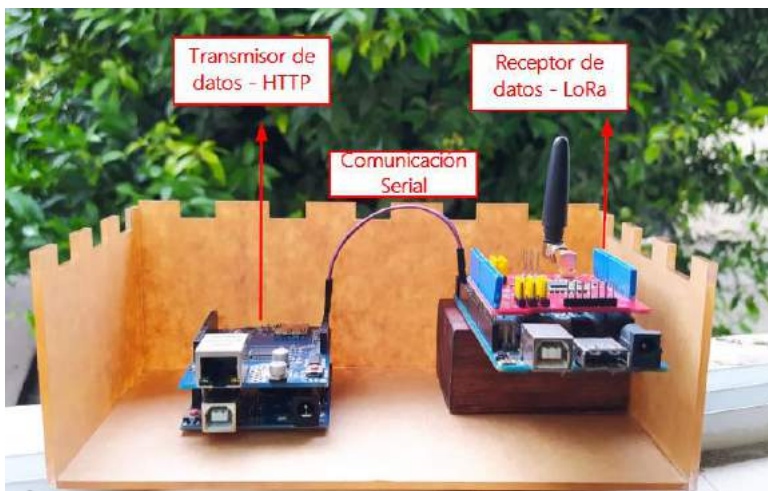
Figura 104.

Nodos sensores



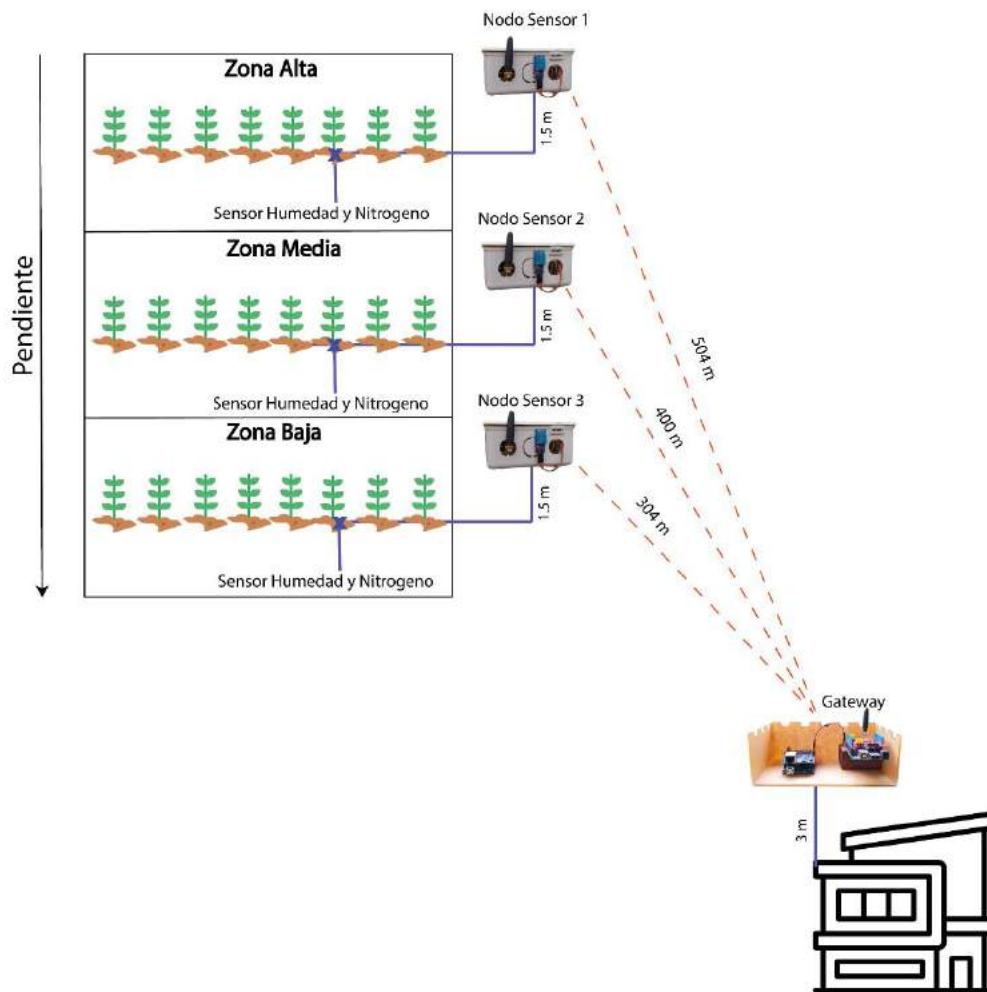
El Gateway o puerta de enlace (véase la Figura 105) estará ubicado en el hogar del usuario propietario del cultivo, este dispositivo estará ubicado en la zona alta del domicilio con la finalidad de disponer línea de vista a cada uno de los sensores y la 1era zona de Fresnel despejada evitando errores en la recepción de los datos, el Gateway recibe los datos mediante tecnología LoRa y envía dichos datos hacia internet mediante el protocolo HTTP.

Figura 105.
Puerta de Enlace



La ubicación de los nodos sensores se encuentra detallada en la Figura 106 en el que los sensores de nitrógeno y humedad se ubican directamente en la planta del cultivo para determinar los nutrientes que recibe exactamente el tubérculo y no tomar falsos positivos dentro de la lectura, al sensor los datos son enviados al Gateway que posteriormente procesará los valores de forma individual de acuerdo con el nodo sensor y subir dichos datos hacia la plataforma de visualización TagoIO de forma sectorizada.

Figura 106.
Ubicación de los nodos



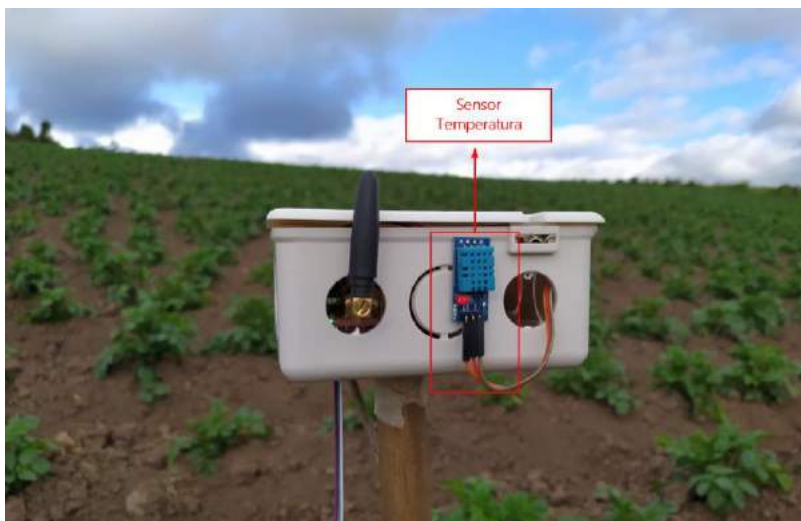
Los nodos sensores son colocados a una distancia de 1.5 metros de con respecto al terreno y el Gateway a 3 metros de altura (véase la Figura 107) como se detalló al instante de calcular la pérdida de propagación según el modelo Okumura-Hata para zonas rurales, cada uno de estos nodos sensores están separados a distancias de 504, 400 y 304 metros respectivamente con el Gateway Central.

Figura 107.
Implementación nodos sensores y gateway



El sensor de temperatura se encuentra ubicado estratégicamente en la parte exterior del case de los nodos sensores, así como se indica en la Figura 108 debido a que de esta manera se evita valores erróneos que pueden ser afectados por la altura de la planta que recubre el sensor y por tal motivo no indique la temperatura ambiente que está en el terreno causando emisión u omisión de alarmas hacia el usuario final

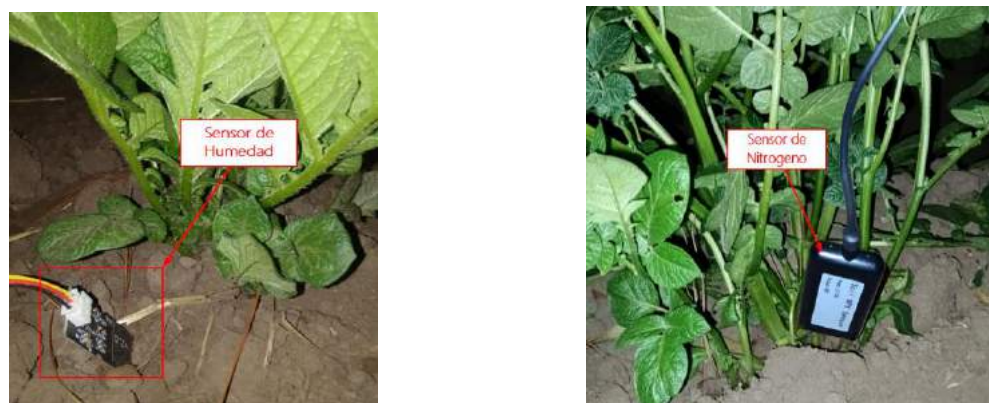
Figura 108.
Ubicación sensor temperatura



Los sensores de nitrógeno y humedad están ubicados directamente en el suelo como se indica en la Figura 109 específicamente a lado de la planta ya que es la zona donde se requiere conocer específicamente estos dos factores, considérese que los sensores no deben estar enterrados sobre la línea referencial de seguridad para evitar daños en los componentes electrónicos.

Figura 109.

Ubicación sensor humedad y nitrógeno



Los nodos sensores estarán activados durante el lapso de una hora para encontrar el punto de equilibrio de cada variable y evitar falsos positivos dentro de estas debido a un bajo número de muestras, el censado de cada factor se llevará a cabo a lo largo de tres horarios que se indica en la Tabla 28 con su respectiva razón de monitoreo a esa hora indicada.

Tabla 28.

Horarios de monitoreo

Horario	Razón
06H00 – 07H00	En este horario se puede recopilar los valores de temperatura mínima nocturna es decir cuando las temperaturas son más bajas a lo largo de la noche, así como el porcentaje de humedad que se ha retenido en la noche ya que con el transcurso de la mañana existe una vaporación del agua retenida a lo que puede afectar la reacción del nitrógeno ya que este reacciona dependiendo de la presencia de humedad que tenga la tierra.

12H00 – 13H00	El transcurso de la mañana podría aumentar o disminuir el valor de temperatura y humedad dependiendo del clima local por lo que al tomar lectura de datos en este horario permite conocer las variaciones presentes en el entorno a lo largo de la mañana.
18H00 – 19H00	Con el transcurso del día se vuelve a tomar las mediciones en el terreno para evaluar cómo se enfría el ambiente y por tal motivo deducir si existirá heladas tomando precauciones que eviten la enfermedad de la planta y por tal motivo requerir de más nutrientes o saneamiento de esta.

Los datos estarán disponibles en el dashboard en el horario de monitoreo validando los valores especificados en la Tabla 28, por tal motivo, las alarmas también serán activadas en caso de requerir dentro de esta franja horario. Las alarmas estarán configuradas bajo parámetros específicos en el que al cumplir las condiciones que afecten el desarrollo del cultivo este se active y emita una serie de recomendaciones al usuario limitando el envío masivo de alertas que podrían representar gastos económicos y de tiempo al llevar a cabo una recomendación que no necesariamente se requiera.

Se clasifica las variables de acuerdo con el valor que tiene según las abreviaciones bajo, medio y alto. Esto permitirá realizar una tabla de decisiones en donde el sistema emitirá alarmas de forma correcta y en el instante en que se requiera. El porcentaje de humedad se clasifica en la Tabla 29 según las recomendaciones del técnico agrónomo experto en cultivo de tubérculos.

Tabla 29.
Clasificación Porcentaje de Humedad

Porcentaje de humedad	Clasificación
0% - <30 %	BAJO
>= 30% & <=70%	MEDIO
>70% - 100%	ALTO

La clasificación del nitrógeno es diferente a la del sensor de humedad, esto de acuerdo con el rango de lectura que posee el sensor NPK que obtiene valores desde 0 hasta los 1999 mg/kg (o también ppm). La clasificación del nitrógeno depende de las condiciones climáticas y al estar presente en una zona fría la clasificación de acuerdo con las recomendaciones de agrónomos locales y de (YARA, 2022) se detalla en la Tabla 30.

Tabla 30.
Clasificación valor nitrógeno

Valor de Nitrógeno	Clasificación
0 - \leq 400 mg/kg	BAJO
\geq 401 & \leq 1000 mg/kg	MEDIO
\geq 1001 mg/kg – 1999 mg/kg	ALTO

Finalmente, la clasificación de la temperatura ambiente en zonas altas es especificadas en la Tabla 31, la clasificación se la realizó de acuerdo con el historial de registros que tiene el widget Meteobox que es una herramienta que registra la temperatura en tiempo real de la zona de aplicación a lo largo del día.

Tabla 31.
Clasificación valor temperatura

Valor de Nitrógeno	Clasificación
0°C - \leq 10°C	BAJO
\geq 11°C & \leq 20°C	MEDIO
\geq 21°C & \leq 25°C	ALTO

La decisión de emitir una alarma depende directamente de las tres variables monitorizadas ya que son dependientes una con otras en el desarrollo del tubérculo. La Tabla 32 detalla en qué casos se debe emitir una alarma hacia el usuario final y que tipo de recomendaciones se debe realizar en el que garantice la productividad y salud de la planta, esta tabla detalla cada uno de los estados de las variables monitorizadas.

Tabla 32.
Decisión de emisión de alarma

Nitrógeno	Humedad	Temperatura	Alerta
Bajo	Baja	Baja/Media/Alta	Alerta de riego y fertilización
	Media	Baja/Media	Alerta de fertilización
		Alta	Alerta de riego y fertilización
	Alta	Baja/Medio/Alta	Alerta de fertilización
Medio	Baja	Baja	No emitir Alarma
		Media/Alta	Alerta de riego
	Media	Baja/Media	No emitir alarma
		Alta	Alerta de riego
Alta	Baja/Media/Alta	No emitir alarma	
Alta	Baja/Media	Baja/Media/Alta	Alerta de riego
	Alta	Baja/Media	Aplicación de materia orgánica
		Alta	No emitir alarma

La alarma será emitida al correo electrónico del usuario final registrada con una serie de recomendaciones que puede solucionar el posible problema que está presentando el cultivo, estas recomendaciones se mostrarán de igual manera de acuerdo con el sector de monitorización con la finalidad de ahorrar recursos hídricos y fertilizantes, así como costos adicionales de mano de obra ya que se centrará únicamente de un sector y no en toda la dimensión del terreno agrícola.

4. CAPÍTULO IV. Pruebas de Funcionamiento

De acuerdo con la metodología en cascada al haber analizado la situación actual, selección de cultivo y el propósito general de esta solución que permite solventar la problemática a la que se afrontan los agricultores en el cultivo de papas y al conocer estos detalles se llevó cabo la construcción e implementación de este sistema de monitoreo que consta de 3 nodos sensores que sectoriza de acuerdo a la pendiente del terreno agrícola clasificándolo en zona alta, baja y media en el que estos datos sean visibles para el usuario final en tiempo real dentro de los horarios establecidos en el capítulo III dentro de la implementación del sistema, considerando que esta plataforma web puede ser visible ya sea por ordenador o un dispositivo móvil.

Continuando con la metodología se realiza el desarrollo del presente capítulo que detalla las pruebas a las que ha estado sujeta esta red de sensores como son pruebas de lectura de datos, envío y recepción de datos mediante tecnología LoRa, envío de datos hacia la plataforma TagoIO mediante la captura de paquetes usando Wireshark, visualización y monitoreo remoto de datos mediante mapas de calor, líneas de tiempo y valor actual de los sensores de forma sectorizada, así como una comparativa del producto entre inspecciones manuales e inspecciones automatizadas con esta solución. Al finalizar este capítulo se realiza un análisis de costos que han sido requeridos para la implementación de este sistema de monitoreo remoto al igual que los beneficios que presentó dentro del cultivo.

4.1. Análisis de lectura de datos

La lectura de datos se la realiza de forma individual por cada nodo sensor que presenta 3 sensores que obtienen valores de nitrógeno, humedad y temperatura teniendo en cuenta que estos parámetros son indicativos claves de salud y desarrollo de las plantas, así como de la interacción entre el entorno y el cultivo. La lectura de datos permite la toma de decisiones informadas en la gestión agrícola al obtener mediciones precisas y en tiempo real de estos factores críticos.

En la ... se muestra los valores que han sido censados por los 3 nodos sensores delimitándolos por comas de la siguiente manera: ID_Nodo, temperatura, humedad, nitrógeno. Esta delimitación permite tratar cada variable de forma independiente y que sea almacenada según el nodo sensor que haya enviado dichos datos.

4.2. Análisis de transmisión mediante tecnología LoRa

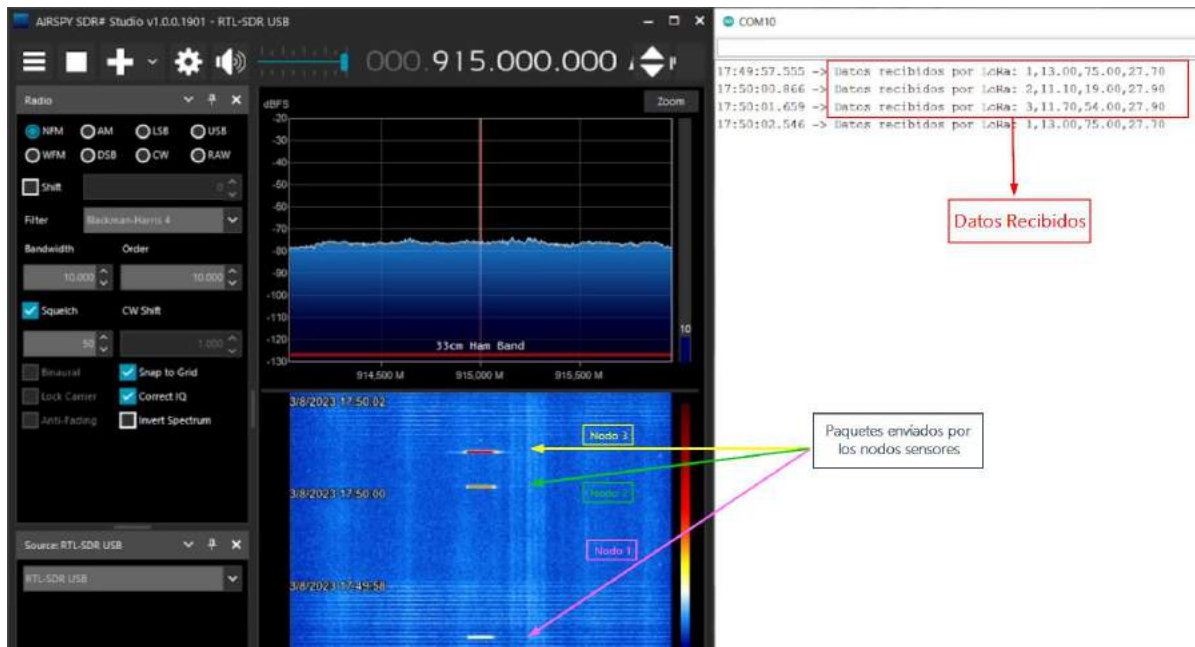
LoRa trabaja bajo la frecuencia de 915 MHz en la zona de América de acuerdo con la asignación de frecuencias para tecnologías de largo alcance y baja potencia, la distancia entre los nodos sensores y el nodo central (Gateway) es de 504, 400 y 304 metros respectivamente con un factor de dispersión de 7, el factor de dispersión es uno de los factores que influye directamente en el alcance y resistencia a la interferencia, al no existir interferencia en la línea de vista del enlace y distancias relativamente pequeñas con la capacidad de LoRa se concluye que el uso de este factor de dispersión es ideal para esta aplicación.

En la Figura 110 se observa la transmisión de los datos que son llevados a cabo por los 3 nodos sensores hacia la ubicación del nodo central en conjunto con sus datos denotando que no ha existido pérdida de paquetes ni corrupción de los datos siendo legibles para el nodo central para su posterior clasificación y procesamiento, el envío de datos está separado en un

intervalo de 1 segundo entre nodo y nodo para garantizar que no existan colisiones al instante de enviar los datos ya que comparten la misma frecuencia y canal de transmisión.

Figura 110.

Envío y recepción de datos en la zona de aplicación



De igual manera en la Figura 110 se observa la variación que existe de potencia entre cada uno de los nodos sensores, el nodo sensor 3 presenta mayor potencia en la recepción a comparación del nodo sensor 2 y 1, esto debido a que las distancias entre los nodos son diferentes y por tal motivo varia dicha potencia de recepción. Sin embargo, esta potencia es adecuada para la recepción de los datos de manera íntegra en el nodo central.

4.3. Captura de paquetes mediante Wireshark

Wireshark permite capturar el tráfico que es enviada en una red mediante una interfaz de red, la subida de datos hacia la plataforma TagoIO se lo hace mediante una conexión hacia internet bajo el protocolo HTTP específicamente el método HTTP POST que es utilizado para publicar valores en una página web.

4.3.1. Captura de paquetes – protocolo HTTP

El protocolo HTTP es utilizado para transferir datos entre un cliente y un servidor web como es TagoIO, bajo este protocolo se hace uso del método POST para enviar datos hacia el servidor que permite procesar y almacenarlos dentro del servidor web, este método se lo puede observar en la captura de paquetes mediante Wireshark en la sección de información y dentro del protocolo HTTP como se observa en la Figura 111

Figura 111.
Captura de paquetes HTTP

The screenshot displays the Wireshark interface with a capture of an HTTP POST request. The packet list pane shows a series of packets, with the selected packet (No. 112) highlighted. The packet details pane shows the structure of the HTTP request, including the method (POST), content type (application/json), and the request body (JavaScript Object Notation). The packet bytes pane shows the raw data of the packet.

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Differentiated Services Codepoint	MPLS Label	Info
13	0.036875	192.168.137.64	75.2.65.153	HTTP/1.1	100	Default		POST /data?token=b1a24dad-e102-42bc-9b43-c6fbc77b6839 HTTP/1.1
39	0.264291	192.168.137.64	75.2.65.153	HTTP/1.1	96	Default		POST /data?token=b1a24dad-e102-42bc-9b43-c6fbc77b6839 HTTP/1.1
64	0.449769	192.168.137.64	75.2.65.153	HTTP/1.1	98	Default		POST /data?token=b1a24dad-e102-42bc-9b43-c6fbc77b6839 HTTP/1.1
88	0.645507	192.168.137.64	99.83.158.64	HTTP/1.1	101	Default		POST /data?token=b1a24dad-e102-42bc-9b43-c6fbc77b6839 HTTP/1.1
112	0.856548	192.168.137.64	75.2.65.153	HTTP/1.1	97	Default		POST /data?token=b1a24dad-e102-42bc-9b43-c6fbc77b6839 HTTP/1.1

Frame 112: 97 bytes on wire (776 bits), 97 bytes captured (776 bits) on interface \Device\NPF_{3A7F48AE-87D8-4C59-AFDB-0087AF4849A} Ethernet II, Src: de:ad:be:ef:fe:ed (de:ad:be:ef:fe:ed), Dst: ASUSTekC_90:ad:b8 (7c:10:c9:90:ad:b8) Internet Protocol Version 4, Src: 192.168.137.64, Dst: 75.2.65.153 Transmission Control Protocol, Src Port: 52740, Dst Port: 80, Seq: 157, Ack: 1, Len: 43 [6 Reassembled TCP Segments (189 bytes): #187(64), #108(19), #109(32), #110(20), #111(21), #112(43)] Hypertext Transfer Protocol JavaScript Object Notation: application/json Object Member: variable [Path with value: /variable:Humedad2] [Member with value: variable:Humedad2] String value: Humedad2 Key: variable [Path: /variable] Member: value [Path with value: /value:48.00] [Member with value: value:48.00] Number value: 48.00 Key: value [Path: /value]

4.3.2. Captura de paquetes - protocolo IPV4

Los paquetes de todo tráfico de red poseen una dirección IP de origen y destino ya que son requeridas para establecer conexión entre dos entes, específicamente se hace uso del protocolo IPV4 que se basa en una dirección IP de 4 octetos, en la Tabla 33 se detalla los parámetros específicos que se observan en la captura de paquetes realizada en la Figura 112.

Tabla 33.
Parámetros paquetes IPV4

Parámetros	Valor
IP Origen	192.168.137.64
IP Destino	99.83.158.64
Versión IP	Versión 4
Cabecera IP	20 bytes

Figura 112.
Captura de paquetes IPV4

ivivo Edición Visualización Ir Captura Analizar Estadísticas Telefonía Wireless Herramientas Ayuda

tp.request.method == POST

Time	Source	Destination	Protocol	Length	Differentiated Services Codepoint	MPLS Label
13 0.036875	192.168.137.64	99.83.158.64	HTTP/J...	100	Default	
39 0.264291	192.168.137.64	75.2.65.153	HTTP/J...	96	Default	
64 0.449769	192.168.137.64	75.2.65.153	HTTP/J...	98	Default	
88 0.645507	192.168.137.64	99.83.158.64	HTTP/J...	101	Default	
112 0.856548	192.168.137.64	75.2.65.153	HTTP/J...	97	Default	

Frame 112: 97 bytes on wire (776 bits), 97 bytes captured (776 bits) on interface \Device\NPF_{3A7F48AE-87D8-4C59-AFDB-DD87AF40...} Ethernet II, Src: de:ad:be:ef:fe:ed (de:ad:be:ef:fe:ed), Dst: ASUSTekC_90:ad:b8 (7c:10:c9:90:ad:b8)
Internet Protocol Version 4, Src: 192.168.137.64, Dst: 75.2.65.153

```

0100 .... = Version: 4
... 0101 = Header Length: 20 bytes (5)
> Differentiated Services Field: 0x00 (DSCP: CS0, ECN: Not-ECT)
  Total Length: 83
  Identification: 0x0bec (3052)
> 010. .... = Flags: 0x2, Don't fragment
... 0000 0000 0000 = Fragment Offset: 0
  Time to Live: 128
  Protocol: TCP (6)
  Header Checksum: 0x1835 [validation disabled]
  [Header checksum status: Unverified]
  Source Address: 192.168.137.64
  Destination Address: 75.2.65.153
Transmission Control Protocol, Src Port: 52740, Dst Port: 80, Seq: 157, Ack: 1, Len: 43
6 Reassembled TCP Segments (199 bytes): #107(64), #108(19), #109(32), #110(20), #111(21), #112(43)]
Hypertext Transfer Protocol
JavaScript Object Notation: application/json

```

4.4. Monitoreo remoto del cultivo

El monitoreo remoto es una de las características esenciales en el diseño de este sistema de monitoreo ya que se puede acceder a los datos recopilados por cada uno de los nodos sensores desde cualquier lugar geográfico que tenga acceso a internet y las credenciales de acceso con los permisos configurados previamente.

El usuario final puede acceder a los datos censados mediante el siguiente enlace <https://64ab3f2722d518000a16e814.tago.run/> en el que se requiere el inicio de sesión del usuario para acceder al dashboard de monitoreo del terreno de tubérculos.

El monitoreo se lo puede hacer mediante una computadora o dispositivo móvil que posea un navegador web para poder acceder al servicio, en la Figura 113 se muestra el dashboard disponible en un ordenador donde se divide por sectores cada una de las gráficas que indica las variables monitoreadas como son el cambio de una variable con respecto al tiempo, el valor actual del sensor y finalmente la visualización de los datos mediante mapas de calor según el sector.

Figura 113.
Dashboard visible al usuario final



4.5. Comparativa entre inspección manual y automatizada

La prueba en cuestión permite evaluar el desarrollo de cultivo haciendo uso de este sistema de monitoreo remoto en comparación de una inspección manual realizada por agrícolas locales, las pruebas han sido realizadas en la etapa de tuberización o formación de

tubérculos (véase la Figura 114) que es la etapa más demandante de nutrientes químicos, así como de condiciones climáticas adecuadas para el correcto crecimiento del tubérculo.

Figura 114.

Terreno etapa de tuberización



Se realiza la comparativa entre una planta que no ha sido monitoreada de forma automatizada y sectorizada y otra que, si ha sido monitoreada de esa forma en la etapa de tuberización, que es la etapa más prioritaria dentro del cultivo. En la Figura 115 se muestra los dos tipos de plantas donde se observa la planta de la papa con el monitoreo sectorizado en el que se denota la altura de 39 cm (planta izquierda) en comparación a la planta que no dispone de monitoreo sectorizado con una altura de 27 cm (planta derecha).

Figura 115.

Comparación Altura de Planta Monitorizada vs Sin Monitorización



Al tener mayor altura la planta del tubérculo se considera beneficios potenciales para el cultivo como es la facilidad de manejo al instante de la cosecha, menor susceptibilidad a daños por el viento, mayor concentración de temperatura bajo el suelo y mayor eficiencia en el uso de recursos hídricos y condiciones climáticos.

4.6. Análisis costo-beneficio

Dentro de este apartado se detalla los costos que involucra implementar un sistema de monitoreo remoto de forma sectorizada, así como los beneficios que tiene monitorear haciendo uso de sensores al tener valores precisos de nitrógeno, humedad y temperatura. Los costos del hardware usado en este sistema se detallan en la Tabla 34.

Tabla 34.
Costos de hardware

Cantidad	Componente	Valor Unitario (USD)	Subtotal (USD)
4	Arduino UNO	11	44
1	Arduino Mega ADK	20	20
4	Dragino Shield LoRa	50	200
1	Shield Ethernet Arduino	1	28
3	Sensor DHT11	3	9
3	Sensor Humedad Capacitivo	3.90	11.70
3	Sensor NPK	42	126
3	Módulo Convertidor Rs485	2.50	7.50
3	Baterías 9v	2.90	8.70
3	Case Nodo Sensor	2.80	8.40
3	Protoboard 8.5 x 5.5cm	2.50	7.50
1	Case Gateway Acrílico	25	25
1	Cables para protoboard	6	6
TOTAL			501.80

En cuanto a precios del software del sistema para la programación de los nodos sensores, Gateway y plataforma de visualización de datos tiene un valor de \$0.00 ya que se hizo uso de IDEs y aplicaciones de código abierto como se muestra en la Tabla 35

Tabla 35.
Costo software

Cantidad	Componente	Valor Unitario (USD)	Subtotal (USD)
1	IDE Arduino UNO	1	0
1	TagoIO	1	0
TOTAL			0

Conforme se expuso en la Tabla 34, el costo global del sistema de monitoreo sectorizado de nitrógeno, humedad y temperatura asciende a la suma de \$501.80. Este cálculo toma en cuenta la adquisición de los equipos dentro del área local, así como su selección para cumplir con los requisitos específicos del terreno agrícola y las condiciones geográficas a las cuales estará expuesta la red de sensores.

Los beneficios que otorga este sistema de monitoreo representan una ganancia al agrónomo al evitar pérdidas de producción por la presencia de plagas al estar expuestas a temperaturas bajas y uso reducido de nutrientes al igual que mejorar la productividad del tubérculo al tener las variables de humedad, temperatura y nitrógeno monitoreadas en horarios específicos en conjunto con la emisión de alarmas al usuario final con una serie de recomendaciones en caso de que un sector no se encuentre en condiciones óptimas para la planta. Este sistema de monitoreo también permite ahorrar el factor económico, ya sea tanto en mano de obra al instante de realizar el riego o implementación de nutrientes químicos, así como la compra de este y el recurso hídrico dentro del cultivo.

CONCLUSIONES

El diseño de una red de sensores bajo la tecnología LPWAN permitió tener un monitoreo continuo de temperatura, humedad y nitrógeno en cultivo de papas aplicado en terrenos mayores a 500 metros cuadrados sectorizando zonas vulnerables emitiendo una alarma mediante correo electrónico al técnico agricultor obteniendo un cuidado más adecuado de la planta evidenciándose en la robustez y altura de las hojas, así como en el crecimiento de la raíz del tubérculo.

Al revisar y analizar el estado del arte en conjunto con la guía del agrónomo se permitió establecer umbrales determinantes en las variables de nitrógeno, humedad y temperatura que permitieron la clasificación de estos en niveles de bajo, medio y alto para establecer una tabla de decisiones en el instante de emitir una alarma y que recomendaciones se deberán de realizar para estabilizar cada una de estas variables evitando de esta manera los falsos positivos.

La implementación de esta red de sensores permite evitar sequías o estrés térmico de acuerdo con las experiencias de agricultores locales, ya que al emitir una alarma temprana de variaciones bruscas de las variables dentro de un sector específico con una serie de recomendaciones permite guiar y mejorar la toma de decisiones frente a una estimación o suposición como se lo realiza comúnmente al usar métodos tradicionales.

Los componentes electrónicos seleccionados con base en los requerimientos que sugiere el terreno de aplicación previo al estudio de campo de aplicación permitieron comparar cada dispositivo electrónico con base en el proceso de benchmark y la disponibilidad en el país para garantizar que el dispositivo sea accesible para el usuario y que tanto sensores como sistemas de comunicación permita la obtención, transmisión y recepción de datos, procesamiento, almacenamiento y visualización de dichos datos.

La implementación de esta red de sensores mediante tecnología LoRa en zonas rurales es una solución óptima debido a que no presentan una gran cantidad de interferencias externas como son edificios o sistemas de comunicación que interfieran sobre la frecuencia de 915 MHz y gracias al largo alcance que posee esta tecnología puede ser implementado en terrenos de gran extensión sin tener problemas por la distancia entre el nodo sensor y el Gateway.

RECOMENDACIONES

Es recomendable en este tipo de aplicaciones el trabajo en conjunto con profesional o especialistas en el área agrícola que brindan la guía necesaria para conocer el estado del arte del cultivo, factores influyentes en la zona geográfica y con ello comentar si los resultados obtenidos post el monitoreo sean adecuados para determinar la eficiencia del sistema.

Se recomienda establecer los nodos sensores a una distancia mínima de separación de 100 metros para evitar monitorear un mismo sector con dos nodos sensores ya que se estaría desperdiciando el uso de uno nodo sensor y con ello reducir el área de cobertura que se monitorea dentro de un cultivo ya que está diseñado para cubrir grandes extensiones de terreno.

Los sensores deben de ser enterrados en el suelo hasta el límite de seguridad que posee el sensor de humedad y nitrógeno ya que al poseer componentes electrónicos en la superficie de su estructura se podría generar corto circuito por la humedad presente en el suelo y llegar averiar estos.

La transmisión de los datos bajo la tecnología LoRa debe evitar en lo posible los obstáculos como edificios o casas que interfieran en la línea de vista que existe entre el nodo sensor y el Gateway ya que por efecto de reflexión la señal puede rebotar en estas

estructuras y evitar la llegada al nodo central para su procesamiento, en caso de existir uno de estos obstáculos se debe considerar usar un factor de dispersión más alto que es menos propenso a este tipo de interferencias.

TRABAJOS FUTUROS

Este sistema se basa únicamente en el monitoreo sectorizado de nitrógeno, humedad y temperatura a lo que se puede implementar como trabajo futuro actuadores como válvulas de agua o nitrógeno líquido que generen un riego automatizado de estos recursos dependiendo la zona que se encuentre vulnerable, al igual que encender estos actuadores de forma manual, esto debido a las funcionalidades que posee TagoIO de generar un widget botón en el que permita encender los actuadores enviando ordenes desde el nodo central hacia los nodos sensores.

Para la realización de este trabajo a futuro se debe considerar el consumo energético que se requiere al hacer uso de actuadores adicionales a los sensores y su tiempo de uso.

REFERENCIAS

Acosta, B. (2021, January 11). *Qué son los VEGETALES, sus características, tipos, usos y ejemplos - Resumen*. <https://www.ecologiaverde.com/que-son-los-vegetales-3177.html>

AgroecologíaTornos. (2018, October 15). *Agricultura de precisión, la revolución silenciosa - Agroecología Tornos*. Cultivos y Tratamientos. <https://www.agroecologiatornos.com/agricultura-precision-revolucion-silenciosa-sector-agricola/>

Agropinos. (2022, March 24). *Sistemas de riego por aspersion: Todo lo que debe saber*. <https://www.agropinos.com/blog/sistema-de-riego-por-aspersion>

AV Electronics. (2022). *Arduino Uno R3 - AV Electronics*.

<https://avelectronics.cc/producto/arduino-uno-r3/>

Banco Mundial. (2017, July 12). *El agua en la agricultura*.

<https://www.bancomundial.org/es/topic/water-in-agriculture#1>

Barani, J. (2019). *LoRaWAN USA frequencies, channels and sub-bands for IoT devices* —

BARANI. <https://www.baranidesign.com/faq-articles/2019/4/23/lorawan-usa-frequencies-channels-and-sub-bands-for-iot-devices>

Cadena Lema, H. D. (2020). DISEÑO DE UN SISTEMA PARA EL CONTROL DE RIEGO MEDIANTE TÉCNICAS DE APRENDIZAJE AUTOMÁTICO APLICADA A LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN LA GRANJA LA PRADERA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE [Universidad Técnica del Norte]. In *Tesis de pregrado, Universidad Técnica del Norte*.

<http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/10296>

Chartuni, E., de Assis de Carvalho, F., Marçal, D., & Ruz, E. (2007). Agricultura de

precisión. *COMUNICA*, 1(II). <http://repiica.iica.int/docs/B0483e/B0483e.pdf>

Ciancaglini, N. (n.d.). *Instructivo (R-001)- Guía para la determinación de textura de suelos por método organoléptico - Studocu*. Retrieved April 18, 2023, from

<https://www.studocu.com/pe/document/universidad-nacional-de-san-martin-peru/quimica-organica/instructivo-r-001-guia-para-la-determinacion-de-textura-de-suelos-por-metodo-organoleptico/18197189>

Ciancaglini-Prosap, N. (2022). *R-001-Guía para la determinación de textura de suelos por método organoléptico*.

- de Dios Molina, J., Mairena, B., & Aguilar, L. (2004). Guía Técnica sobre Manejo Integrado de Plagas (MIP) en el cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* L.). *PASA-DANIDA*, 1(1), 60. <https://cenida.una.edu.ni/relectronicos/RENH10M722.pdf>
- Deme, A., Dajab, D., Bajoga, B., Mu'azu, M., & Choji, D. (2013). *Hata-Okumura Model Computer Analysis for Path Loss Determination at 900MHz for Maiduguri, Nigeria*. www.iiste.org
- Dragino. (2020). *Lora Shield - Wiki for Dragino Project*. https://wiki1.dragino.com/index.php/Lora_Shield
- Electronilab. (2023). *Módulo GPS Ublox NEO-6M v2 con memoria EEPROM - Electronilab*. <https://electronilab.co/tienda/modulo-gps-ublox-neo-6m-v2-con-memoria-eprom/>
- Ferrández-Pastor, F. J., García-Chamizo, J. M., Nieto-Hidalgo, M., Mora-Pascual, J., & Mora-Martínez, J. (2016). Developing Ubiquitous Sensor Network Platform Using Internet of Things: Application in Precision Agriculture. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 16(7). <https://doi.org/10.3390/S16071141>
- Flores, F., Cossio, E., & Flores, F. (2021). *Aplicaciones, Enfoques y Tendencias del Internet de las Cosas (IoT): Revisión Sistemática de la Literatura*. 13(9), 568.
- Fundación Global Nature. (2018). Ficha Técnica de Biodiversidad el cultivo de verduras y hortalizas. *Food & Biodiversity*, 1.
- García, E., & Flego, F. (2010). Agricultura de Precisión. *C&T - Universidad de Palermo*.
- INCyTU. (2018, April). *Agricultura de Precisión*. C.P. 04010. https://www.foroconsultivo.org.mx/INCyTU/documentos/Completa/INCYTU_18-015.pdf

- Khutsoane, O., Isong, B., & Abu-Mahfouz, A. M. (2017). IoT devices and applications based on LoRa/LoRaWAN. *Proceedings IECON 2017 - 43rd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, 2017-January*, 6107–6112.
<https://doi.org/10.1109/IECON.2017.8217061>
- Koenen, K. (2019, September 9). *Understanding the LoRaWAN® Architecture*. <https://tech-journal.semtech.com/understanding-the-lorawan-architecture>
- López, C. (2021, February 2). *¿Qué es una pasarela de red y para qué sirve? - CCM*.
<https://es.ccm.net/contents/294-equipos-de-red-pasarelas>
- LoRa Alliance. (2018). *The authors reserve the right to change specifications without notice. NOTICE OF USE AND DISCLOSURE 4.*
- Ma, H. D. (2011). Internet of things: Objectives and scientific challenges. *Journal of Computer Science and Technology*, 26(6), 919–924. <https://doi.org/10.1007/s11390-011-1189-5>
- Ma, H.-D. (2011). Internet of Things: Objectives and Scientific Challenges. *Journal of Computer Science and Technology*, 26(6), 919–924. <https://doi.org/10.1007/s11390-011-1189-5>
- Maciej Serda, Becker, F. G., Cleary, M., Team, R. M., Holtermann, H., The, D., Agenda, N., Science, P., Sk, S. K., Hinnebusch, R., Hinnebusch A, R., Rabinovich, I., Olmert, Y., Uld, D. Q. G. L. Q., Ri, W. K. H. U., Lq, V., Frxqwu, W. K. H., Zklfk, E., Edvhg, L. v, ... (2013). فاطمی, ح. Información Técnica: Requerimientos de clima y suelo para el cultivo de la papa. *Argenpapa*, 7(1), 343–354. <https://doi.org/10.2/JQUERY.MIN.JS>
- Maroto Cantillo, S. R. (2010). *Desarrollo de aplicaciones basadas en WSN*.
<https://riunet.upv.es:443/handle/10251/8592>

- Mekki, K., Bajic, E., Chaxel, F., & Meyer, F. (2019). A comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment. *ICT Express*, 5(1), 1–7.
<https://doi.org/10.1016/J.ICTE.2017.12.005>
- Misión Yara. (n.d.). *Principios agronómicos en el cultivo de la papa / Yara Perú*. 2019.
 Retrieved April 18, 2023, from <https://www.yara.com.pe/nutricion-vegetal/papa/principios-agronomicos-en-el-cultivo-de-la-papa/>
- Molina, C. (n.d.). TOPOLOGIAS DE RED. In *Fundamentos de Redes*. Retrieved October 18, 2022, from www.redtauros.com
- Mouser Electronics. (2023). *A000067 Arduino / Mouser Ecuador*.
<https://www.mouser.ec/ProductDetail/Arduino/A000067?qs=gMoqXxk%2F%2F5apEOlL63oO8Q%3D%3D>
- Notimérica. (2020, January 16). Ecuador.- El 80 por ciento de los ecuatorianos trabaja en actividades de bajo crecimiento. *Notimérica*.
<https://www.notimerica.com/politica/noticia-ecuador-80-ciento-ecuatorianos-trabaja-actividades-crecimiento-20200116074529.html>
- Noura, H., Hatoum, T., Salman, O., Yacoub, J. P., & Chehab, A. (2020). LoRaWAN security survey: Issues, threats and possible mitigation techniques. In *Internet of Things (Netherlands)* (Vol. 12). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.iot.2020.100303>
- Novatronic. (2023). *DHT11 Sensor Temperatura y Humedad – Novatronic*.
<https://novatronic.ec.com/index.php/product/dht11-sensor-temperatura-y-humedad/>
- Oliveros, A., Danyans, F. J., & Mastropietro, M. L. (2014). Stakeholders en los requerimientos de aplicaciones Web. *Argentine Symposium on Software Engineering*, 15.

Orchardson, E. (2020, December 4). *El nitrógeno en la agricultura* . CIMMYT En Español.

<https://www.cimmyt.org/es/noticias/el-nitrogeno-en-la-agricultura/>

Proain Tecnología Agrícola. (2020, October 22). *EL CULTIVO DE LA PAPA Y LA*

IMPORTANCIA DEL AGUA. <https://proain.com/blogs/notas-tecnicas/el-cultivo-de-la-papa-y-la-importancia-del-agua>

Rajiv. (2022, July 30). *Characteristics of Internet of Things (IoT) - RF Page*.

<https://www.rfpage.com/characteristics-of-internet-of-things/>

Renke. (2022). *Soil NPK Sensor For Soil Nutrients in Agriculture - Renke*.

<https://www.renkeer.com/product/soil-npk-sensor/>

Rodríguez, E., Deco, C., Burzacca, L., Pettinari, M., Costa, S., & Bender, C. (2014). *Redes de Sensores Inalámbricos aplicadas al Monitoreo y Análisis de condiciones de Higiene y Seguridad en Entornos Industriales. Año 12. Nro, 12*. <http://www.open-mesh.org/2011>

Rosado, A. (2009). *Sistemas Industriales Distribuidos: Una filosofía de automatización* (Valencia University, Vol. 1). Valencia University.

Rubio, O. (2000). *Manual para la producción de papa en las Sierras y Valles Altos del centro de México*.

SEMTECH. (2020). *LoRa and LoRaWAN: A Technical Overview LoRa® and LoRaWAN®: A Technical Overview*.

Semtech. (2020). *LoRa and LoRaWAN: A Technical Overview LoRa® and LoRaWAN®: A Technical Overview*.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2018, March 21). *En la agricultura, los sistemas de riego son utilizados para un aprovechamiento óptimo del agua.* |

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera | Gobierno | gob.mx.

<https://www.gob.mx/siap/articulos/en-la-agricultura-los-sistemas-de-riego-son-utilizados-para-un-aprovechamiento-optimo-del-agua?idiom=es>

Sharma, S., Kumar, D., & Kishore, K. (2013). Wireless Sensor Networks-A Review on Topologies and Node Architecture. *International Journal of Computer Sciences and Engineering, 1*, 19–25.

Sohraby, K., Minoli, D., & Znati, T. (2007). WIRELESS SENSOR NETWORKS Technology, Protocols, and Applications. *WILEY-INTERSCIENCE*, 326.

Stsepanets, A. (2023, January 17). *Modelo cascada, qué es y cuándo conviene usarlo*. <https://blog.ganttpro.com/es/metodologia-de-cascada/>

Techplayon. (2017, December 7). *LoRa Link-budget and Sensitivity Calculations - Example Explained ! - Techplayon*. <https://www.techplayon.com/lora-link-budget-sensitivity-calculations-example-explained/>

UNIT Electronics. (2023). *Sensor de Humedad Suelo Capacitivo Anticorrosivo UNIT Electronics*. <https://uelectronics.com/producto/sensor-de-humedad-suelo-capacitivo-anticorrosivo/>

Vignola, R., Watler, W., Vargas Céspedes, A., & Morales, M. (2017). *FICHA TÉCNICA CULTIVO DE PAPA* .

Wang, J. (2020). *An introduction to wireless technologies in IoT- LPWAN | Allion Labs*. <https://www.allion.com/iot-lpwan/>

YARA. (n.d.). *Principios agronómicos en el cultivo de la papa | Yara Ecuador*. Retrieved November 15, 2022, from <https://www.yara.com.ec/nutricion-vegetal/papa/principios-agronicos-en-el-cultivo-de-la-papa/>

YARA. (2020). *Principios agronómicos en el cultivo de la papa* / Yara Ecuador.

<https://www.yara.com.ec/nutricion-vegetal/papa/principios-agronomicos-en-el-cultivo-de-la-papa/>

YARA. (2022). *La importancia de nitrógeno en la producción de papas* / Yara Ecuador.

<https://www.yara.com.ec/nutricion-vegetal/papa/la-importancia-de-nitrogeno-en-la-produccion-de-papas/>

Zennaro, M. (2010). *Wireless Sensor Networks for Development: Potentials and Open Issues*.

KTH Computer Science and Communications.

ANEXOS

Anexo 1. Datasheet Arduino Uno

Se expone a continuación el consumo energético que requiere el microprocesador Arduino Uno para su funcionalidad, así como los componentes que posee esta placa. El documento completo se encuentra en: <https://docs.arduino.cc/resources/datasheets/A000066-datasheet.pdf>

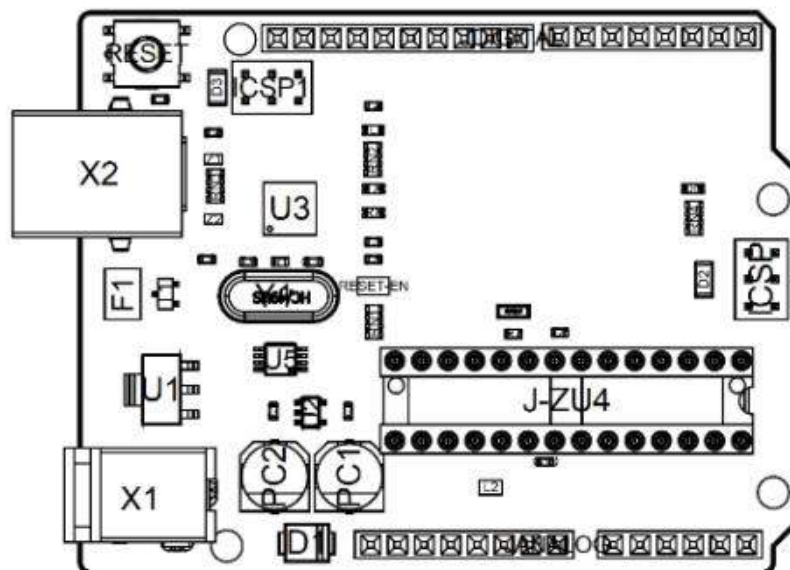
2.2 Power Consumption

Symbol	Description	Min	Typ	Max	Unit
VINMax	Maximum input voltage from VIN pad	6	-	20	V
VUSBMax	Maximum input voltage from USB connector	-	-	5.5	V
PMax	Maximum Power Consumption	-	-	xx	mA

3 Functional Overview

3.1 Board Topology

Top view



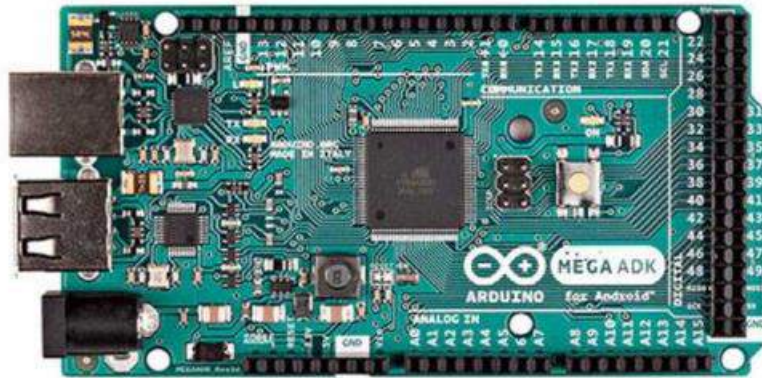
Board topology

Ref.	Description	Ref.	Description
X1	Power jack 2.1x5.5mm	U1	SPX1117M3-L-5 Regulator
X2	USB B Connector	U3	ATMEGA16U2 Module
PC1	EEE-1EA470WP 25V SMD Capacitor	U5	LMV358LIST-A.9 IC
PC2	EEE-1EA470WP 25V SMD Capacitor	F1	Chip Capacitor, High Density
D1	CGRA4007-G Rectifier	ICSP	Pin header connector (through hole 6)
J-ZU4	ATMEGA328P Module	ICSP1	Pin header connector (through hole 6)
Y1	ECS-160-20-4X-DU Oscillator		

Anexo 2. Datasheet Arduino Mega

La documentación completa de Arduino mega se encuentra en:

<https://docs.arduino.cc/retired/boards/arduino-mega-adk-rev3>

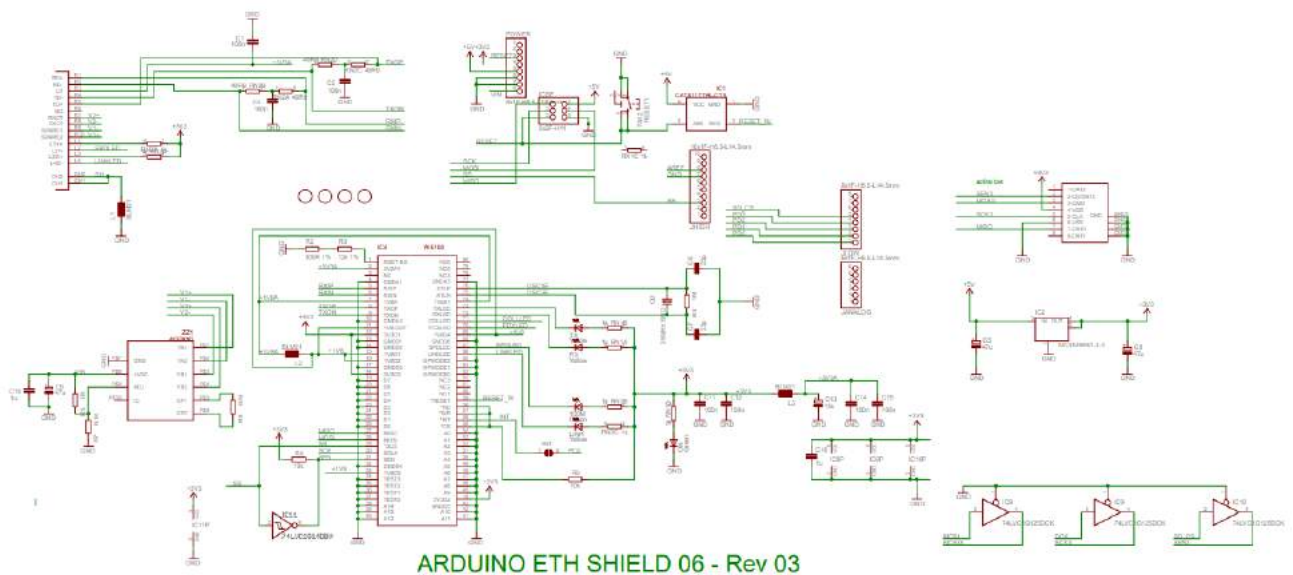
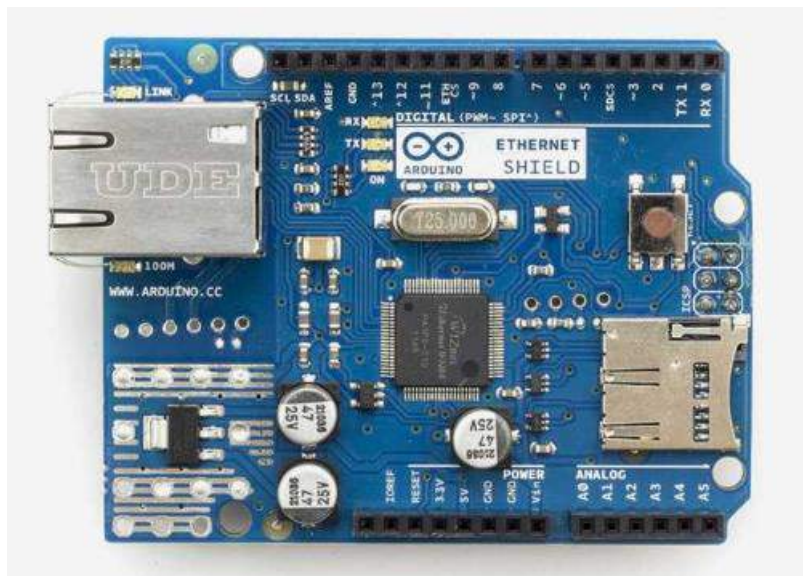


Tech Specs

Microcontroller	ATmega2560
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	54 (of which 15 provide PWM output)
Analog Input Pins	16
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	256 KB of which 8 KB used by bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz
USB Host Chip	MAX3421E
Length	101.52 mm
Width	53.3 mm
Weight	36 g

Anexo 3. Datasheet Shield Ethernet

El shield ethernet es el dispositivo que permite la conexión hacia internet desde el microcontrolador, la hoja de datos esta en: <https://docs.arduino.cc/retired/shields/arduino-ethernet-shield-without-poe-module>



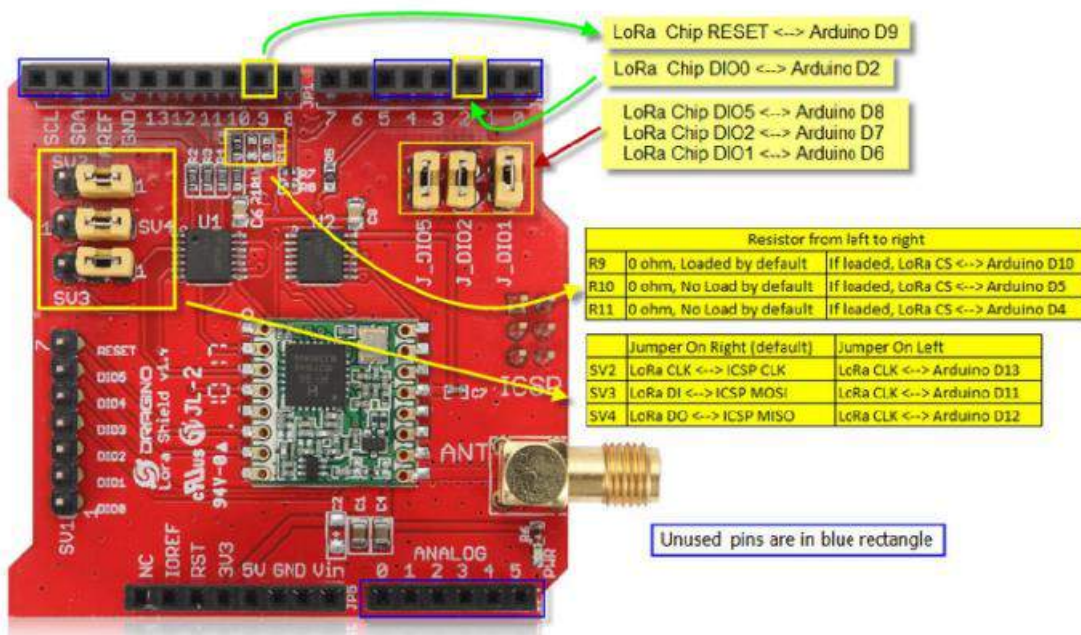
Reference Designs ARE PROVIDED "AS IS" AND "WITH ALL FAULTS". Arduino DISCLAIMS ALL OTHER WARRANTIES, EXPRESS OR IMPLIED, REGARDING PRODUCTS, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO, ANY IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. Arduino may make changes to specifications and product descriptions at any time, without notice. The Customer must not rely on the absence or characteristics of any features or instructions marked "Reserved" or "Undefined". Arduino reserves these for future definition and shall have no responsibility whatsoever for conflicts or incompatibilities arising from future changes to them. The product information on the Web Site or Materials is subject to change without notice. Do not finalize a design with this information. ARDUINO is a registered trademark.

Anexo 4. Datasheet Dragino LoRa Shield

Este dispositivo permite la transmisión y recepción de datos bajo la tecnología LoRa a una frecuencia de 915 MHz, la documentación se encuentra en:

<https://www.javanelec.com/CustomAjax/GetAppDocument/279c1ecf-4b05-4d5a-babe-1ef6c973ead9?type=1&inlineName=True>

Pin Mapping For LoRa



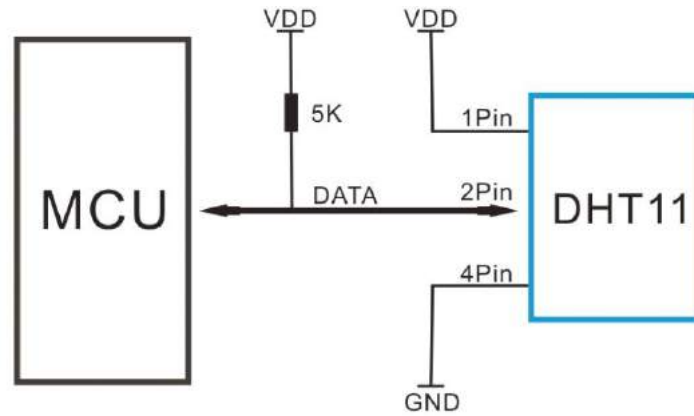
Power Consumption

Table 6 Power Consumption Specification

Symbol	Description	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
IDDSL	Supply current in Sleep mode		-	0.2	1	uA
IDDIDLE	Supply current in Idle mode	RC oscillator enabled	-	1.5	-	uA
IDDST	Supply current in Standby mode	Crystal oscillator enabled	-	1.6	1.8	mA
IDDFS	Supply current in Synthesizer mode	FSRx	-	5.8	-	mA
IDDR	Supply current in Receive mode	LnaBoost Off, band 1 LnaBoost On, band 1 Bands 2&3	-	10.8 11.5 12.0	-	mA
IDDT	Supply current in Transmit mode with impedance matching	RFOP = +20 dBm, on PA_BOOST RFOP = +17 dBm, on PA_BOOST RFOP = +13 dBm, on RFO_LF/HF pin RFOP = + 7 dBm, on RFO_LF/HF pin	-	120 87 29 20	-	mA mA mA mA

Anexo 5. Datasheet Sensor DHT11

Documentación completa en: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/1440068/ETC/DHT11.html>



6. Electrical Characteristics

VDD=5V, T = 25°C (unless otherwise stated)

	Conditions	Minimum	Typical	Maximum
Power Supply	DC	3V	5V	5.5V
Current Supply	Measuring	0.5mA		2.5mA
	Average	0.2mA		1mA
	Standby	100uA		150uA
Sampling period	Second	1		

Note: Sampling period at intervals should be no less than 1 second.

Detailed Specifications:

Parameters	Conditions	Minimum	Typical	Maximum
Humidity				
Resolution		1%RH	1%RH	1%RH
Repeatability			8 Bit	
Accuracy	25°C		±1%RH	
	0-50°C		±4%RH	±5%RH
Interchangeability	Fully interchangeable			
Measurement Range	0°C	30%RH		90%RH
	25°C	20%RH		90%RH
	50°C	20%RH		80%RH
Response Time (Seconds)	1/e(63%)25°C, 1m/s Air	6 S	10 S	15 S
Hysteresis			±1%RH	
Long-Term Stability	Typical		±1%RH/year	
Temperature				
Resolution		1°C	1°C	1°C
		8 Bit	8 Bit	8 Bit
Repeatability			±1°C	
Accuracy		±1°C		±2°C
Measurement Range		0°C		50°C
Response Time (Seconds)	1/e(63%)	6 S		30 S

Anexo 6. Datasheet Sensor de humedad capacitivo

Documentación completa en:

https://wiki.dfrobot.com/Capacitive_Soil_Moisture_Sensor_SKU_SEN0193

SKU:SEN0193

Introduction

Our **soil moisture sensor** measures soil moisture levels by capacitive sensing rather than resistive sensing like other sensors on the market. It is made of corrosion resistant material which gives it an excellent service life. Insert it in to the soil around your plants and impress your friends with real-time soil moisture data! This module includes an on-board voltage regulator which gives it an operating voltage range of 3.3 ~ 5.5V. It is perfect for low-voltage MCUs, both 3.3V and 5V. For compatibility with a Raspberry Pi it will need an ADC converter. This soil moisture sensor is compatible with our 3-pin "Gravity" interface, which can be directly connected to the Gravity I/O expansion shield.

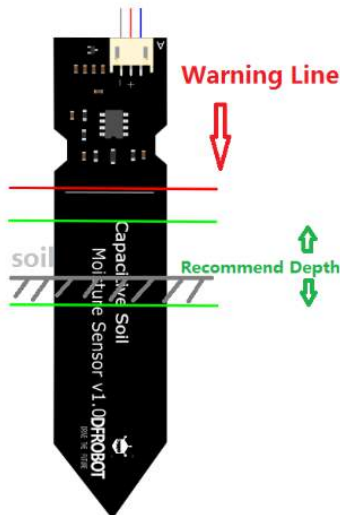
Specification

- Operating Voltage: 3.3 ~ 5.5 VDC
- Output Voltage: 0 ~ 3.0VDC
- Operating Current: 5mA
- Interface: PH2.0-3P
- Dimensions: 3.86 x 0.905 inches (L x W)
- Weight: 15g



Calibration

Calibration Range



1. Open the serial port monitor and set the baud rate to 9600
2. Record the sensor value when the probe is exposed to the air as "Value 1". This is the boundary value of dry soil "Humidity: 0%RH"
3. Take a cup of water and insert the probe into it no further than the red line in the diagram
4. Record the sensor value when the probe is exposed to the water as "Value 2". This is the boundary value of moist soil "Humidity: 100%RH"

Anexo 7. Datasheet Sensor NPK

Documentación completa en:

<https://5.imimg.com/data5/SELLER/Doc/2022/6/XB/EU/YX/5551405/soil-sensor-jxbs-3001-npk-rs.pdf>



Function	Cable Color	Specs
Power	Brown	Power supply +
	Black	Power supply -
Communication	Yellow (grey)	485-A
	Blue	485-B

NPK content:

0020 H (hexadecimal) =32=>Nitrogen=32mg/kg

0025 H (hexadecimal) =37=>Phosphorus=37mg/kg

0030 H (hexadecimal) =48=>Potassium=48mg/kg

4.4.2 Reading the value of soil nitrogen at device address 0x01

Inquiry Frame

Address Code	Function Code	Register Start Address	Register Length	CRC_L	CRC_H
0x01	0x03	0x00 0x1e	0x00 0x01	0xB5	0xCC

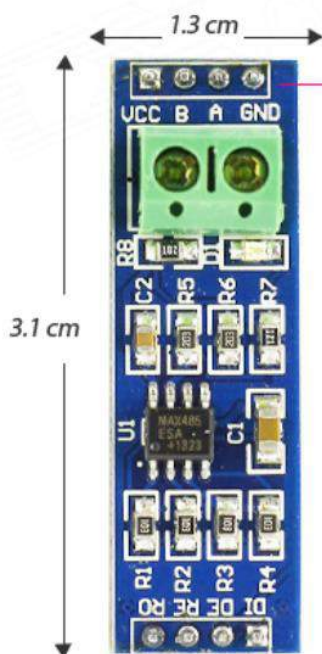
Answer Frame

Address Code	Function Code	Effective No. of bytes	Nitrogen content	CRC_L	CRC_H
0x01	0x03	0x02	0x00 0x20	0x5A	0x3D

Nitrogen content : 0020 H (hexadecimal) =32=>Nitrogen=32mg/kg

Anexo 8. Datasheet Módulo RS485

Documentación completa en: <https://dwmzone.com/en/arduino-kits/231-max485-module-rs-485-module-ttl-to-rs-485-module.html>

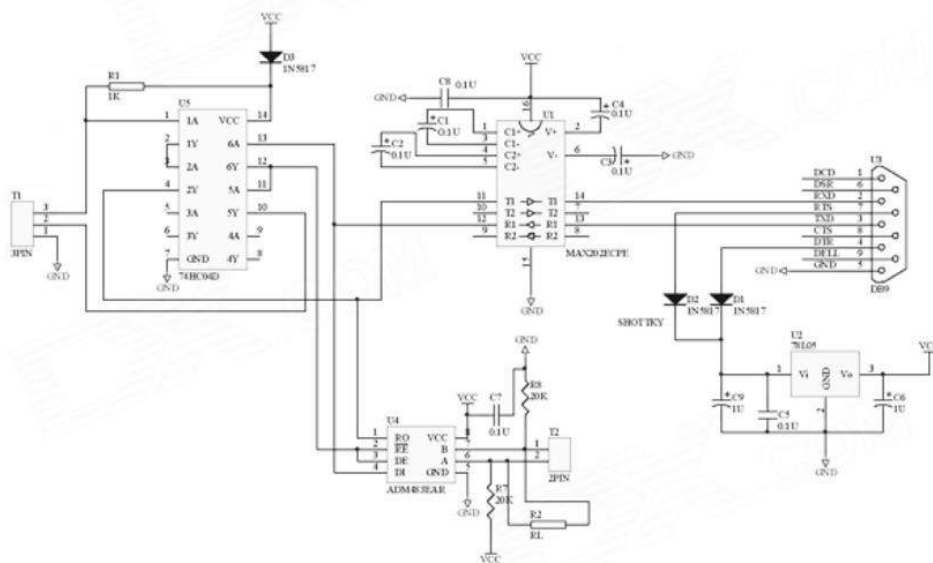


1. The electrical characteristics of RS - 485: logic "1" to the voltage difference between the two lines is + V (2, 6); Logic "0" for the voltage difference between the two lines - (2-6) V. Interface signal level than RS- 232 - C is reduced, easy damage interface circuit chip, and the level compatible with TTL level, can be convenient to TTL circuit connection.

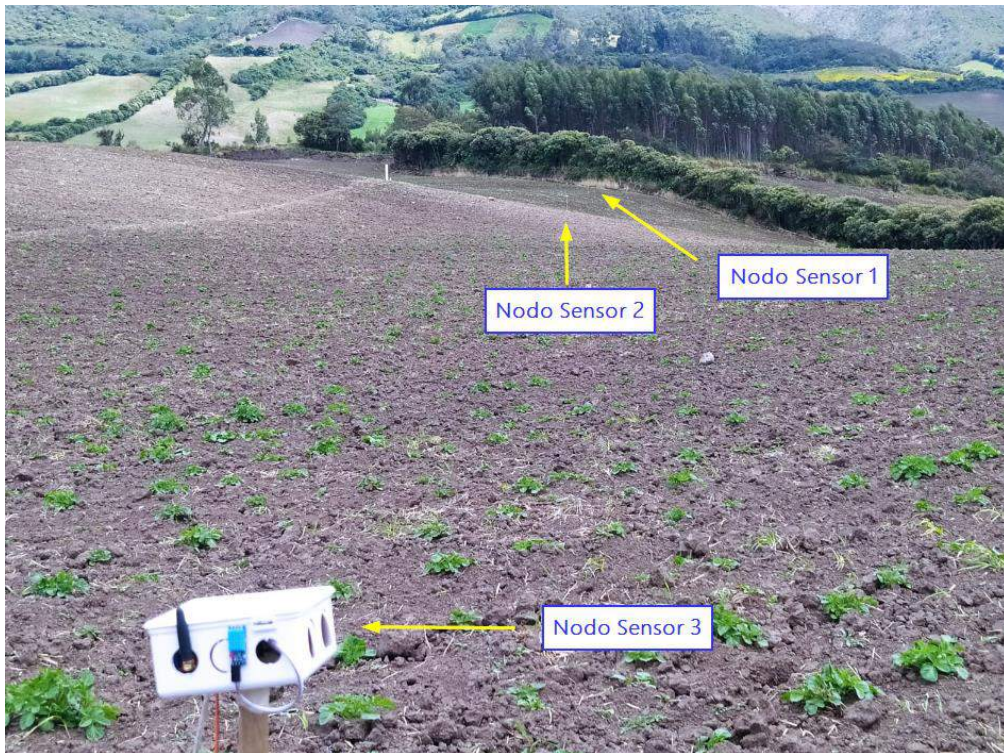
2. RS - 485 data transfer rate of 10 megabits per second highest

3. The RS - 485 interface is the combination of using balance driver and differential receiver, enhanced ability to resist common mode of dry, good resistance to noise.

4. RS - 485 standard interface of maximum transmission distance is 4000 feet, in fact is up to 3000 meters, in addition the RS - 232 - C interface on the bus only allowed to connect a transceiver, namely single station capacity.while.



Anexo 9. Implementación del sistema – Inicio Fase de tuberización



Anexo 10. Monitoreo de datos – Fase de tuberización



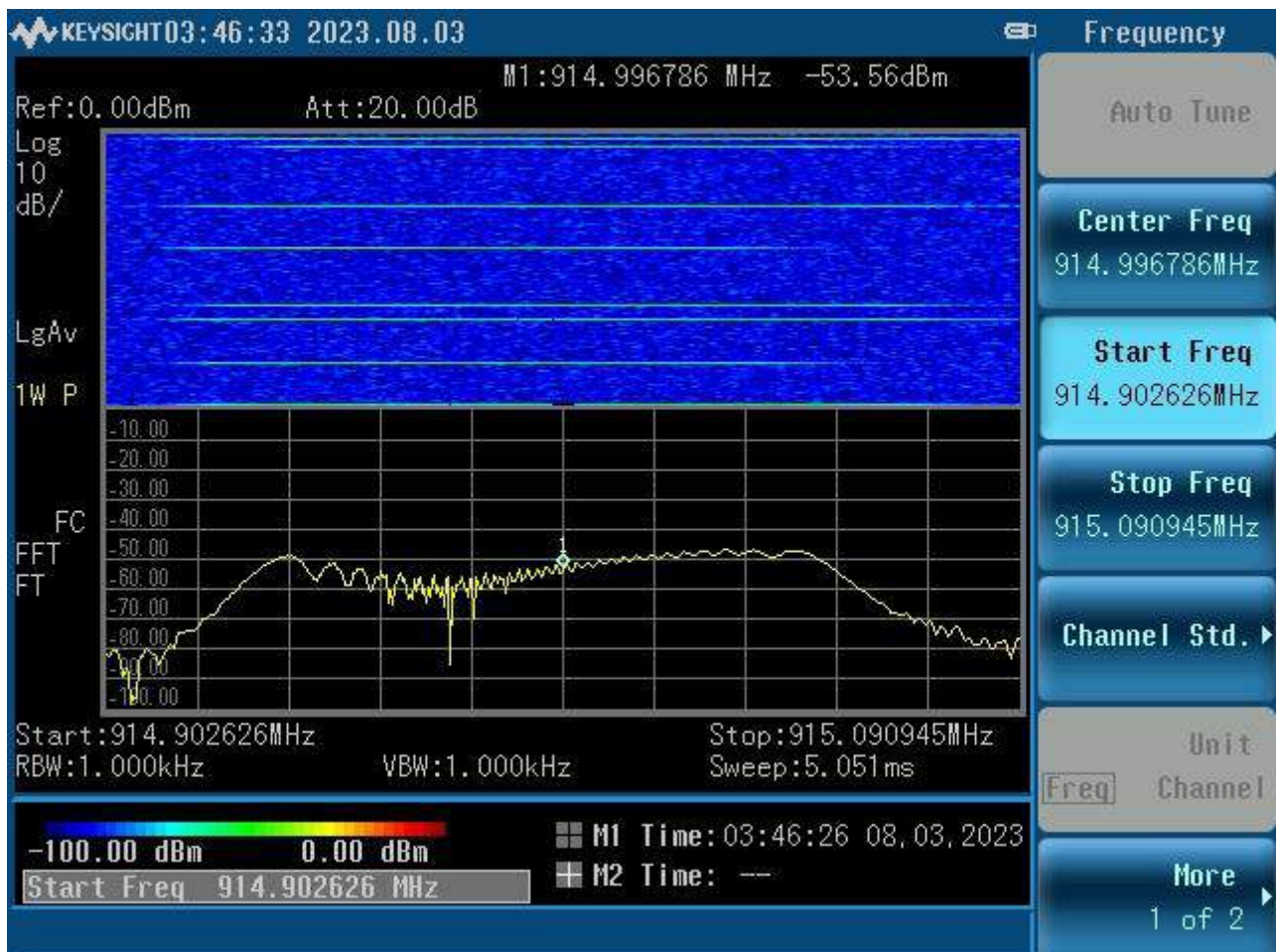
Anexo 11. Recepción de datos a TagoIO

The screenshot shows the TagoIO interface with the 'Live Inspector' tab selected. It displays the following data:

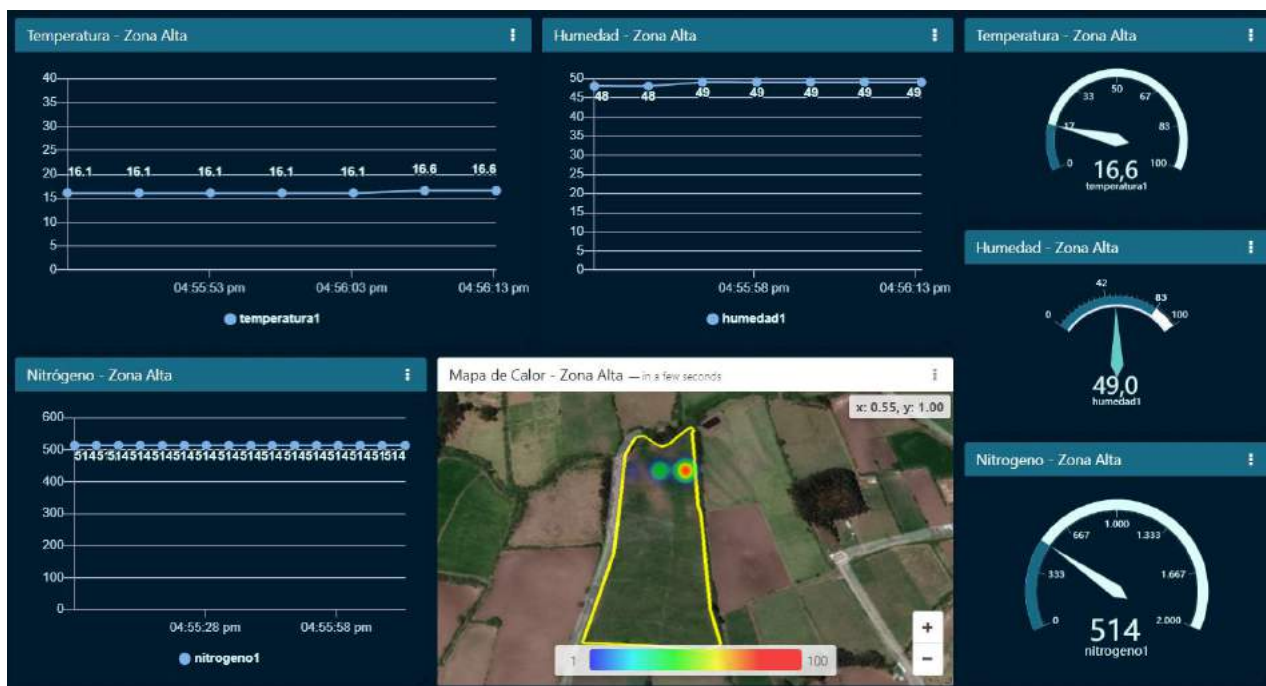
- HTTP Request:** "From: 186.71.84.19 [Unknown] - Content-Type: application/json - Token Ending: b6839"
- Raw payload:**

```
{
  "variable": "Nitrogeno2", "value": 27.9
}
```
- Bucket [7968]:** "1 Data Added"

Anexo 12. Análisis espectral transmisión de datos



Anexo 13. Dashboard - Zona Alta



Anexo 14. Dashboard - Zona Media



Anexo 15. Dashboard - Zona Baja



Anexo 16. Repositorio Github – Programación Proyecto

<https://github.com/MichaelRP98/TesisMR>