



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y REDES DE COMUNICACIÓN**

**“DISEÑO DE UNA RED DE SENSORES INALÁMBRICOS LPWAN PARA EL  
MONITOREO DE CULTIVOS Y MATERIA ORGÁNICA EN LA GRANJA  
EXPERIMENTAL LA PRADERA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE”**

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y REDES DE COMUNICACIÓN**

**AUTOR:** ANDREA KAROLINA DOMÍNGUEZ PASQUEL

**DIRECTOR:** MSC. EDGAR ALBERTO MAYA OLALLA

**ASESOR:** MSC. HERNÁN MAURICIO DOMÍNGUEZ LIMAICO

**ASESOR:** MSC. FABIÁN GEOVANNY CUZME RODRÍGUEZ

**Ibarra-Ecuador**

**2020**



## 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:

<b>DATOS DE CONTACTO</b>			
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b>	100367109-4		
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>	Domínguez Pasquel Andrea Karolina		
<b>DIRECCIÓN:</b>	Atuntaqui, Bolívar y Luis Hidrobo		
<b>EMAIL:</b>	akdominguezp@utn.edu.ec		
<b>TELÉFONO FIJO:</b>	062909485	<b>TELÉFONO MÓVIL:</b>	0980058148

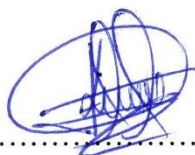
<b>DATOS DE LA OBRA</b>	
<b>TÍTULO:</b>	DISEÑO DE UNA RED DE SENSORES INALÁMBRICOS LPWAN PARA EL MONITOREO DE CULTIVOS Y MATERIA ORGÁNICA EN LA GRANJA EXPERIMENTAL LA PRADERA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE.
<b>AUTOR:</b>	Domínguez Pasquel Andrea Karolina
<b>FECHA:</b>	28/02/2020
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
<b>PROGRAMA:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> <b>PREGRADO</b> <input type="checkbox"/> <b>POSGRADO</b>
<b>TÍTULO POR EL QUE OPTA:</b>	Ingeniero en Electrónica y Redes de Comunicación
<b>ASESOR /DIRECTOR:</b>	Ing. Edgar Alberto Maya Olalla, MSc.

## 2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta 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 el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 28 días del mes de Febrero de 2020.

**EL AUTOR:**

A handwritten signature in blue ink, consisting of several overlapping loops and lines, positioned above a horizontal dotted line.

Andrea Karolina Domínguez Pasquel

C.I: 100367109-4



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

**CERTIFICACIÓN.**

MAGISTER EDGAR MAYA, DIRECTOR DEL PRESENTE TRABAJO DE TITULACIÓN CERTIFICA:

Que, el presente trabajo de Titulación "DISEÑO DE UNA RED DE SENSORES INALÁMBRICOS LPWAN PARA EL MONITOREO DE CULTIVOS Y MATERIA ORGÁNICA EN LA GRANJA EXPERIMENTAL LA PRADERA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE." Ha sido desarrollado por la señorita Andrea Karolina Domínguez Pasquel bajo mi supervisión.

Es todo en cuanto puedo certificar en honor de la verdad.

A handwritten signature in blue ink, consisting of a large, stylized initial 'E' followed by 'MAYA'. The signature is written over a horizontal dotted line.

MSc. Edgar Maya.

DIRECTOR

## **Dedicatoria**

*Dedico,*

*A mis padres, Carmela y Luis, por ser los principales promotores de mis sueños, gracias por cada día confiar y creer en mí, por cada consejo, por su apoyo incondicional, por cada una de sus palabras de aliento durante este proceso.*

*A mis hermanos, Melany y Dylan quienes me apoyaron incondicionalmente para poder alcanzar esta meta.*

*A mi familia, amigos y demás personas que con un granito de arena me apoyaron y creyeron en la realización de este Trabajo de Grado.*

*Andrea Domínguez*

## **Agradecimiento**

*Agradezco,*

*En primer lugar, a Dios porque cada día bendice mi vida con la más grande oportunidad de estar y disfrutar al lado de las personas que más amo.*

*A mi director, Ingeniero Edgar Maya quien más que un guía fue un amigo, compartiendo sus conocimientos, su tiempo y su apoyo incondicional durante la elaboración de este proyecto de titulación.*

*A mis profesores, por compartir sus conocimientos y ayudarme a crecer profesional y personalmente, durante esta etapa académica.*

*Andrea Domínguez*

## ÍNDICE

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN .....	I
A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE.....	I
DEDICATORIA .....	IV
AGRADECIMIENTO .....	V
ÍNDICE .....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
ÍNDICE DE TABLAS .....	XVI
RESUMEN.....	XVIII
ABSTRACT.....	XIX
1. CAPITULO I. ....	1
ANTECEDENTES.....	1
1.1. TEMA .....	1
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	1
1.3. OBJETIVOS .....	2
1.3.1. Objetivo General.....	2
1.3.2. Objetivos Específicos.....	3
1.4. ALCANCE.....	3
1.5. JUSTIFICACIÓN.....	5
2. CAPITULO II.....	7
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	7
2.1. RED DE SENSORES INALÁMBRICOS .....	7
2.1.1. Arquitectura de una red de sensores .....	8
2.2. TOPOLOGÍAS DE RED .....	10
2.3. INTERNET DE LAS COSAS .....	11
2.3.1. Arquitectura IoT.....	13
2.4. REDES LPWAN.....	13
2.4.1. LoRa.....	14

2.4.2. LoRaWAN .....	14
2.4.2.1. Arquitectura de una red LoRaWAN.....	15
2.4.2.2. Clases de dispositivos LoRaWAN .....	16
2.4.2.3. Seguridad y Modos de Activación .....	17
2.4.2.4. Capacidad de Red.....	18
2.4.2.5. Factor de Dispersión.....	18
2.4.2.6. Canales y Velocidades de Transmisión.....	19
2.4.2.7. Formato de la trama LoRaWAN .....	20
2.4.2.8. Control de acceso al medio LoRaWAN .....	21
2.5. AGRICULTURA DE PRECISIÓN .....	22
2.5.1. Concepto del Sistema.....	22
2.5.2. Parámetros para el estudio .....	24
2.6. CULTIVO DE ALFALFA .....	25
2.6.1. Origen .....	27
2.6.2. Taxonomía y Morfología de la Alfalfa .....	27
2.7. MATERIA ORGÁNICA .....	28
2.8. SISTEMAS EMBEBIDOS.....	30
2.8.1. Características de un sistema embebido .....	30
2.8.2. Estructura básica de un sistema embebido.....	30
2.9. SENSORES .....	31
2.9.1. Sensores utilizados en agricultura de precisión .....	31
3. CAPITULO III.....	35
DISEÑO DEL SISTEMA .....	35
3.1. METODOLOGÍA DE DISEÑO .....	35
3.2. FASE 1: REQUISITOS Y REQUERIMIENTOS.....	36
3.2.1. Análisis .....	36
3.2.1.1. Situación Actual .....	37
3.2.1.2. Técnicas de Investigación .....	39
3.2.1.3. Descripción General del sistema .....	41
3.2.1.4. Características del sistema.....	42
3.2.2. Definición de Acrónimos y Abreviaturas .....	43
3.3. REQUERIMIENTOS .....	44
Fuente: Autoría.....	44



3.3.1. Requerimientos operacionales y de usuario.....	45
3.3.2. Requerimientos iniciales del sistema.....	45
Fuente: Autoría.....	46
3.3.3. Requerimientos iniciales de arquitectura.....	47
3.4. FASE 2: DISEÑO DEL PROTOTIPO.....	48
3.4.1. Diagrama de bloques general.....	49
3.4.2. Topología de la red.....	49
3.5. ELECCIÓN DE HARDWARE Y SOFTWARE PARA EL SISTEMA.....	50
3.5.1. Elección de Hardware.....	51
3.5.1.1. Zona 1.....	51
3.5.1.2. Zona 2.....	55
3.5.1.3. Zona 3.....	56
3.5.2. Elección de Software.....	57
3.5.2.1. Zona 1.....	57
3.5.2.2. Zona 2.....	58
3.5.2.3. Zona 3.....	58
3.6. HARDWARE DESTINADO PARA EL SISTEMA.....	59
3.6.1. Sistema Embebido Raspberry Pi 3.....	60
3.6.2. Microcontrolador Arduino UNO.....	61
3.6.3. Módulo de comunicación inalámbrica (RN2483).....	62
3.6.4. Sensor Capacitivo de humedad del suelo.....	63
3.6.5. Sensor de temperatura ambiente y humedad relativa (DHT11).....	64
3.6.6. Sensor de temperatura del suelo (DS18B20).....	65
3.6.7. Sensor de PH.....	66
3.6.8. Sensor de medición de gases de efecto invernadero (MQ135).....	67
3.7. NODO CENTRAL.....	68
3.7.1. Cálculos de Alimentación Eléctrica.....	69
3.7.2. Diagrama de flujo Nodo Central.....	70
3.8. NODOS SENSORES.....	71
3.8.1. Cálculos de Alimentación Eléctrica.....	74
3.8.2. Diagrama de flujo Nodos Sensores.....	75
3.8.3. Ubicación de los Nodos Sensores.....	76
3.8.3.1. Zona de Fresnel.....	85
4. CAPÍTULO IV. IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS.....	89

4.1.	FASE 3: IMPLEMENTACIÓN DE LA RED .....	89
4.1.1.	Creación de la Base de Datos Local .....	89
4.1.1.1.	Conexión del nodo central con la base de datos.....	96
4.1.1.2.	Diagrama de flujo del servidor Web .....	97
4.1.2.	Creación de Base de Datos en la Nube. ....	98
4.1.2.1.	Almacenamiento y visualización de datos. ....	101
4.1.2.2.	Diagrama de flujo de la plataforma Ubidots. ....	102
4.1.3.	Configuración de módulos LoRaWAN RN24283.....	102
4.1.4.	Instalación Nodos Sensores .....	103
4.1.5.	Instalación Nodo central .....	105
4.2.	FASE 4: VERIFICACIÓN .....	106
4.2.1.	Pruebas del cultivo de alfalfa.....	106
4.2.1.1.	Lectura del Sensado .....	111
4.2.2.	Pruebas de la materia orgánica .....	113
4.2.2.1.	Lectura del Sensado.....	118
4.2.3.	Comparativa entre cultivo con y sin monitoreo.....	120
4.3.	COSTO DEL SISTEMA .....	122
4.3.1.	Costo de Hardware.....	122
4.3.2.	Costo de Infraestructura.....	123
4.3.3.	Costo de Ingeniería .....	123
4.3.4.	Costo de Software .....	124
4.3.5.	Costo de implementación del sistema general.....	124
4.5.	CONCLUSIONES .....	126
4.6.	RECOMENDACIONES .....	127
	REFERENCIAS.....	129
	GLOSARIO DE TÉRMINOS Y ACRÓNIMOS.....	138
	ANEXOS .....	140
	ANEXO 1: FORMATO DE ENCUESTA REALIZADA A LAS PERSONAS IMPLICADAS EN EL ÁREA DE AGRICULTURA DE LA GRANJA DE LA UTN.....	140
	ANEXO 2: TABULACIÓN DE LAS ENCUESTAS REALIZADAS A LAS PERSONAS IMPLICADAS EN EL ÁREA DE AGRICULTURA DE LA GRANJA DE LA UTN. ....	142

ANEXO 3: DATASHEET ARDUINO UNO .....	148
ANEXO 4: DATASHEET MÓDULO RN2483 .....	151
ANEXO 5: DATASHEET SENSOR CAPACITIVO .....	158
ANEXO 6: DATASHEET SENSOR DHT-11 .....	159
ANEXO 7: DATASHEET PH BÁSICO .....	162
ANEXO 8: DATASHEET Sonda DS18B20 .....	164
ANEXO 9: DATASHEET SENSOR MQ135 .....	167
ANEXO 10: DATASHEET RASPBERRY PI 3 .....	169
ANEXO 11: MANUAL RN2483 .....	173
ANEXO 12: PROFORMA DE COSTOS DE HARDWARE .....	174
ANEXO 13: PROFORMA DE COSTOS DE INGENIERÍA .....	175
ANEXO 14: CÓDIGO NODO CENTRAL-RASPBERRY PI 3.....	176
ANEXO 15: CÓDIGO NODO SENSOR CULTIVO DE ALFALFA-ARDUINO UNO.....	181
ANEXO 16: CÓDIGO NODO SENSOR MATERIA ORGÁNICA-ARDUINO UNO .....	184

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. ARQUITECTURA DE LA WSN PROPUESTA. ....	9
FIGURA 2. TOPOLOGÍAS DE RED: ANILLO, MALLA Y ESTRELLA. ....	11
FIGURA 3. ARQUITECTURA DE RED LORAWAN.....	15
FIGURA 4. MODO DE TRABAJO DE LA CLASE A. ....	16
FIGURA 5. MODO DE TRABAJO DE LA CLASE B.....	17
FIGURA 6. MODO DE TRABAJO DE LA CLASE C. ....	17
FIGURA 7. ESTRUCTURA DE LA TRAMA LORAWAN. ....	20
FIGURA 8. TRES ETAPAS DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN. ....	23
FIGURA 9. PROCESO DE CRECIMIENTO DE LA ALFALFA.....	26
FIGURA 10. MORFOLOGÍA DE LA ALFALFA. ....	28
FIGURA 11. COMPOST ORGÁNICO. ....	29
FIGURA 12. ESTRUCTURA DE UN SISTEMA EMBEBIDO.....	31
FIGURA 13. SENSOR HUMEDAD DEL SUELO. ....	32
FIGURA 14. SENSOR DE HUMEDAD RELATIVA.....	32
FIGURA 15. SENSOR DE TEMPERATURA AMBIENTE.....	33
FIGURA 16. SENSOR DE TEMPERATURA DEL SUELO. ....	33
FIGURA 17. SENSOR DE PH. ....	34
FIGURA 18. SENSOR EMISIONES CO2.....	34
FIGURA 19. DIAGRAMA DEL MÉTODO EN CASCADA.....	36
FIGURA 20. EXTENSIÓN DEL CULTIVO DE ALFALFA Y MATERIA ORGÁNICA EN LA GRANJA "LA PRADERA".....	38
FIGURA 21. DISTRIBUCIÓN ZONAL.....	43
FIGURA 22. DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA. ....	49
FIGURA 23. TOPOLOGÍA DE LA RED.....	50
FIGURA 24. PLACA RASPBERRY PI 3. ....	60

FIGURA 25. PLACA ARDUINO UNO.....	61
FIGURA 26. MÓDULO LoRAWAN RN2483.....	62
FIGURA 27. SENSOR CAPACITIVO DE HUMEDAD DEL SUELO.....	63
FIGURA 28. SENSOR DE TEMPERATURA Y HUMEDAD DEL SUELO.....	64
FIGURA 29. SENSOR DE TEMPERATURA DEL SUELO DS18B20.....	65
FIGURA 30. SENSOR PH. ....	66
FIGURA 31. SENSOR DE MEDICIÓN DE CO2 .....	67
FIGURA 32. DIAGRAMA CIRCUITAL DEL NODO CENTRAL. ....	68
FIGURA 33. VISTA INTERIOR Y EXTERIOR DEL NODO CENTRAL.....	69
FIGURA 34. DIAGRAMA DE FLUJO DEL NODO CENTRAL.....	71
FIGURA 35. DIAGRAMA CIRCUITAL DEL NODO SENSOR.....	72
FIGURA 36. DISEÑO DE LA PCB - SHIELD PARA EL NODO SENSOR .....	73
FIGURA 37. VISTA INTERIOR Y EXTERIOR DEL NODO SENSOR. ....	73
FIGURA 38. DIAGRAMA DE FLUJO DE LAS FUNCIONES DEL NODO SENSOR. ....	76
FIGURA 39. LÍNEA DE VISTA ENTRE EL NODO CENTRAL Y NODO SENSOR.....	77
FIGURA 40. UBICACIÓN DEL NODO CENTRAL Y NODOS SENSORES EN EL CULTIVO DENTRO DE LA GRANJA “LA PRADERA” .....	77
FIGURA 41. UBICACIÓN DEL NODO CENTRAL Y NODO SENSOR DE MATERIA ORGÁNICA DENTRO DE LA GRANJA “LA PRADERA” .....	78
FIGURA 42. COORDENADAS DE LA UBICACIÓN DEL TERRENO TANTO EN LATITUD COMO LONGITUD DE CADA NODO. ....	80
FIGURA 43. CREACIÓN DE LOS NODOS SENSORES CON UN NOMBRE IDENTIFICATIVO DE CADA NODO SENSOR. ....	81
FIGURA 44. CREACIÓN DE LA RED UNIENDO CADA UNO DE LOS PUNTOS. ....	81
FIGURA 45. CONFIGURACIÓN DE FRECUENCIA DE OPERACIÓN.....	82
FIGURA 46. CONFIGURACIÓN DE PARÁMETROS DE MÓDULOS LoRAWAN.....	83

FIGURA 47. RESULTADO DE LA SIMULACIÓN DEL CULTIVO DE ALFALFA. ....	83
FIGURA 48. RESULTADO DE LA SIMULACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA. ....	84
FIGURA 49. ENLACE ENTRE NODO CENTRAL Y NODO SENSOR 1. ....	84
FIGURA 50. ENLACE ENTRE NODO CENTRAL Y MATERIA ORGÁNICA. ....	85
FIGURA 51. PERFIL DE UN RADIOENLACE Y PRIMERA ZONA DE FRESNEL. ....	86
FIGURA 52. EXPORTACIÓN A GOOGLE EARTH, POSICIÓN DE CADA NODO SENSOR DEL CULTIVO DE ALFALFA Y NODO CENTRAL. ....	88
FIGURA 53. EXPORTACIÓN A GOOGLE EARTH, POSICIÓN DEL NODO SENSOR MATERIA ORGÁNICA Y EL NODO CENTRAL. ....	88
FIGURA 54. COMANDOS DE ACTUALIZACIÓN DEL SOFTWARE. ....	90
FIGURA 55. COMANDO PARA LA INSTALACIÓN DEL SERVIDOR WEB. ....	90
FIGURA 56. VISUALIZACIÓN DE LA CREACIÓN DEL SERVIDOR WEB EN EL NAVEGADOR. ....	90
FIGURA 57. COMANDO PARA LA INSTALACIÓN DEL SERVIDOR PHP. ....	91
FIGURA 58. COMANDO PARA REINICIAR LA PLACA. ....	91
FIGURA 59. COMANDO PARA LA CREACIÓN DE UN FICHERO PHP. ....	91
FIGURA 60. INFORMACIÓN PARA LA CREACIÓN DEL SERVIDOR PHP. ....	91
FIGURA 61. PÁGINA PRINCIPAL DEL SERVIDOR PHP. ....	92
FIGURA 62. COMANDO PARA LA INSTALACIÓN DEL SERVIDOR MYSQL. ....	92
FIGURA 63. COMANDO PARA INICIAR CON EL SERVIDOR MYSQL. ....	92
FIGURA 64. COMANDO PARA EDITAR EL SERVIDOR MYSQL. ....	93
FIGURA 65. VISUALIZACIÓN DE UN FICHERO DENTRO DEL SERVIDOR MYSQL. ....	93
FIGURA 66. COMANDO PARA LA INSTALACIÓN DE PHPMYADMIN. ....	93
FIGURA 67. COMANDO PARA EDITAR UN FICHERO DENTRO DE PHPMYADMIN. ....	93
FIGURA 68. TEXTO ADJUNTADO EN EL FICHERO DE PHPMYADMIN. ....	94
FIGURA 69. PÁGINA PRINCIPAL DE PHPMYADMIN. ....	94
FIGURA 70. PÁGINA PHPMYADMIN PARA CREACIÓN DE BASE DE DATOS. ....	95

FIGURA 71. CREACIÓN DE TABLAS.....	96
FIGURA 72. COMANDO PARA CONECTAR MYSQL CON PYTHON. ....	96
FIGURA 73. INCLUIR LIBRERÍA EN PYTHON. ....	96
FIGURA 74. VISUALIZACIÓN DE LOS DATOS ALMACENADOS EN LA BASE DE DATOS. ....	97
FIGURA 75. DIAGRAMA DE FLUJO DEL LOCALHOST. ....	98
FIGURA 76. CREACIÓN DE DISPOSITIVOS EN UBIDOTS. ....	99
FIGURA 77. CREACIÓN DE VARIABLES.....	99
FIGURA 78. CREDENCIALES API EN UBIDOTS. ....	100
FIGURA 79. INGRESO DEL TOKEN UBIDOTS Y SU ID DE VARIABLE.....	100
FIGURA 80. CREACIÓN DE GRAFICAS EN UBIDOTS.....	101
FIGURA 81. VISUALIZACIÓN DE DATOS EN UBIDOTS. ....	101
FIGURA 82. DIAGRAMA DE FLUJO DE LA PLATAFORMA UBIDOTS.....	102
FIGURA 83. INSTALACIÓN DEL NODO SENSOR DE LA ALFALFA. ....	104
FIGURA 84. INSTALACIÓN DEL NODO DEL COMPOST.....	105
FIGURA 85. INSTALACIÓN DEL NODO CENTRAL. ....	106
FIGURA 86. CULTIVO DE ALFALFA.....	107
FIGURA 87. VERIFICACIÓN DE TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA CON LA APLICACIÓN MÓVIL. ....	110
FIGURA 88. DATOS DE LAS VARIABLES DEL NODO CULTIVO DE ALFALFA EN LA BASE DE DATOS.....	111
FIGURA 89. DATOS DE LA VARIABLE TEMPERATURA AMBIENTAL. ....	112
FIGURA 90. DATOS DE LA VARIABLE HUMEDAD RELATIVA .....	112
FIGURA 91. DATOS DE LA VARIABLE HUMEDAD DEL SUELO.....	113
FIGURA 92. DATOS DE LA VARIABLE PH. ....	113
FIGURA 93. COMPOST ORGÁNICO.....	114

FIGURA 94. VERIFICACIÓN DE LA HUMEDAD RELATIVA Y TEMPERATURA DEL COMPOST ORGÁNICO CON LA APLICACIÓN MÓVIL. ....	117
FIGURA 95. DATOS DE LAS VARIABLES DEL NODO COMPOST ORGÁNICO. ....	118
FIGURA 96. DATOS DE LA VARIABLE TEMPERATURA AMBIENTAL DEL COMPOST ORGÁNICO. ....	119
FIGURA 97. DATOS DE LA VARIABLE HUMEDAD RELATIVA DEL COMPOST ORGÁNICO. ....	119
FIGURA 98. DATOS DE LA VARIABLE HUMEDAD DEL SUELO DE LA MATERIA ORGÁNICA. ....	119



## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. TABLA COMPARATIVA DE TECNOLOGÍAS DE LARGO ALCANCE PARA IOT. ....	12
TABLA 2. RELACIÓN ENTRE SF Y SENSIBILIDAD .....	19
TABLA 3. CANALES PARA LA BANDA DE FRECUENCIA DE 868 MHZ-LoRAWAN. ....	20
TABLA 4. TAXONOMÍA DE LA ALFALFA.....	27
TABLA 5. TÉRMINOS ABREVIADOS Y ACRÓNIMOS USADOS DURANTE EL ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS.....	43
TABLA 6. LISTA DE STAKEHOLDERS DEL PROYECTO.....	44
TABLA 7. REQUERIMIENTOS DE STAKEHOLDERS DEL SISTEMA. ....	45
TABLA 8. REQUERIMIENTOS FUNCIONALES DEL SISTEMA. ....	46
TABLA 9. REQUERIMIENTOS DE ARQUITECTURA DEL SISTEMA.....	47
TABLA 10. SELECCIÓN DEL MICROCONTROLADOR EN LA ZONA 1. ....	51
TABLA 11. SELECCIÓN DEL HARDWARE DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICA DE LA ZONA 1.....	52
TABLA 12. SELECCIÓN DEL SENSOR DE HUMEDAD DEL SUELO DE LA ZONA 1. ....	53
TABLA 13. SELECCIÓN DEL SENSOR DE HUMEDAD Y TEMPERATURA DE LA ZONA 1.....	53
TABLA 14. SELECCIÓN DEL SENSOR DE PH DE LA ZONA 1.....	54
TABLA 15. SELECCIÓN DEL SENSOR DE TEMPERATURA DEL SUELO DE LA ZONA 2.....	55
TABLA 16. SELECCIÓN DEL SENSOR DE MEDICIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO DE LA ZONA 2.....	56
TABLA 17. SELECCIÓN DEL SISTEMA EMBEBIDO EN LA ZONA 3. ....	57
TABLA 18. COMPARATIVA DE SOFTWARE DISPONIBLES DE LA ZONA 1.....	58
TABLA 19. COMPARATIVA DE SOFTWARE DISPONIBLES DE LA ZONA 3.....	59
TABLA 20. CARACTERÍSTICAS DE LA PLACA RASPBERRY PI 3. ....	60
TABLA 21. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL ARDUINO UNO. ....	61
TABLA 22. CARACTERÍSTICAS RELEVANTES DEL MÓDULO LoRAWAN.....	62
TABLA 23. CARACTERÍSTICAS DEL SENSOR CAPACITIVO.....	63

TABLA 24. CARACTERÍSTICAS DEL SENSOR DHT-11. ....	64
TABLA 25. CARACTERÍSTICAS RELEVANTES DEL SENSOR DE TEMPERATURA DEL SUELO. ....	65
TABLA 26. CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DEL SENSOR DE PH. ....	66
TABLA 27. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL SENSOR MQ135.....	67
TABLA 28. CONSUMO DE ENERGÍA DEL NODO CENTRAL.....	69
TABLA 29. CONSUMO DE DISPOSITIVOS DE UN NODO SENSOR. ....	74
TABLA 30. COORDENADAS GEOGRÁFICAS .....	80
TABLA 31. COMANDOS DE CONFIGURACIÓN BÁSICA DE LOS MÓDULOS LoRAWAN. ....	103
TABLA 32. COMPARATIVA DEL CULTIVO DE ALFALFA CON Y SIN MONITOREO. ....	120
TABLA 33. COSTOS DE HARDWARE .....	122
TABLA 34. COSTOS DE INFRAESTRUCTURA.....	123
TABLA 35. COSTOS DE INGENIERÍA.....	124
TABLA 36. COSTOS DE SOFTWARE.....	124
TABLA 37. COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA.....	124

## Resumen

Con el propósito de aportar en la mejora de las siembras, el presente proyecto consiste en diseñar un sistema de monitoreo de cultivos y materia orgánica, mediante una red de sensores inalámbricos LPWAN (Low Power Wide Area Network) y el uso de un servidor web local para almacenar y visualizar los datos recolectados por el sistema.

Para desarrollar el diseño del sistema se realizó investigaciones bibliográficas de los principales aspectos que intervienen en las redes de sensores LPWAN (Low Power Wide Area Network), en el servidor local, además, se realizó el levantamiento de información de la situación actual de los cultivos existentes en la Granja “La Pradera”, para establecer el tamaño de los cultivos y la distancia a la que se encuentran con respecto a la oficina central, logrando establecer los requerimientos que intervienen en el sistemas para desarrollarlo de una manera adecuada.

El prototipo del sistema fue realizado en base al diseño del sistema, con el objetivo de comprobar que el diseño propuesto funcione de la mejor manera, por lo tanto, se utilizó sensores de humedad relativa, temperatura ambiente, temperatura del suelo, humedad del suelo, PH, CO<sub>2</sub>, placas Arduino, placa Raspberry Pi, módulos LoRaWAN para la comunicación inalámbrica de la red de sensores y el envío de la información al servidor local.

Se realizaron pruebas del sistema mediante la implementación del prototipo que permitió comprobar el correcto funcionamiento de los nodos para el monitoreo de los cultivos y materia orgánica, que permite conocer si la planta se encuentra desarrollándose de una manera adecuada, los datos obtenidos se los recolecta en una base de datos para que su visualización se la haga mediante un servidor web local.

## Abstract

In order to contribute to the improvement of plantings, the present project consists of designing a monitoring system for crops and organic matter, using a network wireless sensors LPWAN (Low Power Wide Area Network) and the use of a local web server to store and visualize data collected by the system.

To develop the design of the system, bibliographic research was carried out on the main aspects involved in sensor networks LPWAN, on the local server, in addition, rising information was carried out on the current situation of the crops existing in the Farm "La Pradera", to establish the size of the crops and the distance to which they are located with respect to the central office, achieving to establish the requirements involved in the system to develop it in an appropriate manner.

The prototype of the system was made based on the design of the system, with the aim of verifying that the proposed design works in the best way, therefore, sensors of relative humidity, ambient temperature, soil temperature, soil humidity, PH, CO<sub>2</sub>, Arduino boards, Raspberry Pi board, LoRaWAN modules for wireless communication of the sensor network were used to send information to the local server.

Tests of the system were carried out by implementing the prototype that made it possible to check the proper functioning of the nodes for crop monitoring and organic matter, which allows to know if the plant is developing in a way the data obtained is collected in a database for viewing through a local web server.



## **1. Capítulo I.**

### **Antecedentes.**

En este capítulo se encuentran detalladas las bases para el desarrollo del presente trabajo de titulación, siendo éstos: el tema, la problemática, los objetivos, el alcance y la justificación, con la finalidad de expresar la importancia de la realización de este proyecto.

#### **1.1. Tema**

“DISEÑO DE UNA RED DE SENSORES INALÁMBRICOS LPWAN PARA EL MONITOREO DE CULTIVOS Y MATERIA ORGÁNICA EN LA GRANJA EXPERIMENTAL LA PRADERA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE”

#### **1.2. Planteamiento del problema**

En la granja experimental “La Pradera”, de la Universidad Técnica del Norte, en los últimos años, debido a la gran extensión de terreno y cultivos existentes, se ha observado una preocupación sobre la producción de los cultivos de alfalfa que se siembran en este lugar, para lograr producciones satisfactorias. Las porciones de terreno donde se encuentran las plantaciones agrícolas están expuestas a condiciones variables, sin un monitoreo apropiado, al igual que la materia orgánica; por lo que no se tiene un buen aprovechamiento de cada parcela. La granja experimental “La Pradera” surge, con el fin de aportar en los saberes prácticos de los estudiantes de la carrera de Ingeniería Agropecuaria de la Universidad Técnica del Norte, aplicando los conocimientos adquiridos en las aulas, dando así una importancia al crecimiento como carrera e institución.

La granja experimental “La Pradera”, en la actualidad, cuenta con varios cultivos agrícolas, los cuales se han cosechado sin un control adecuado, ya que no fueron monitoreados en su tiempo con respecto a los parámetros de calidad del suelo y medio ambiente, que son los objetivos principales para una producción apropiada, esto aplicado tanto para el cultivo de alfalfa como para la materia orgánica que se usa para desarrollar la plantación de una manera satisfactoria.

El sistema que se propone tiene como fin mejorar el desarrollo de las plantaciones de alfalfa utilizando tecnología moderna basada en una red de sensores inalámbricos, facilitando el monitoreo de cada parcela, logrando registrar los datos y acceder a estos de manera fácil para que el agricultor o encargado pueda ver los resultados obtenidos.

El contar con este sistema novedoso que monitoree tanto los agentes ambientales como la materia orgánica presentes en el crecimiento de una planta sin importar el tipo, y tener un registro de la información que enviará cada nodo sensor hacia el nodo central, se podrá compensar las necesidades de los cultivos, logrando así producciones saludables, gracias al uso de tecnologías avanzadas, una serie de sensores inalámbricos que trabajan a larga distancia, con un bajo consumo de energía, que monitoree cada una de las parcelas y un servidor local, donde se detalla información de cada cultivo analizado.

### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo General**

Diseñar una red de sensores inalámbricos LPWAN mediante módulos LoRaWAN para monitorear los parámetros de la calidad del suelo y medio ambiente, en la Granja Experimental La Pradera de la Universidad Técnica del Norte para obtener cultivos saludables y de mejor calidad.

### **1.3.2. Objetivos Específicos**

Recopilar información para conocer específicamente las características del ambiente a tratar, lo cual ayudará a definir los agentes de la agricultura de precisión, que se involucren en el proceso de evolución de la plantación.

Diseñar el hardware de monitoreo de los agentes implicados en agricultura de precisión de cultivo de alfalfa y la materia orgánica, mediante una red de sensores que permitan la recolección precisa de información de cada nodo.

Diseñar el software del sistema de monitoreo de los factores implicados tanto para la calidad del suelo y medio ambiente que influyen en el cultivo de alfalfa y materia orgánica utilizando software libre que permita almacenar y monitorear información enviada por los nodos.

Evaluar la funcionalidad del sistema mediante pruebas, considerando los componentes de hardware y software propuestos en el diseño.

## **1.4. Alcance**

El presente proyecto, trata de la implementación de una red de sensores inalámbricos, para el monitoreo de factores como humedad del suelo, humedad relativa, temperatura ambiente, PH y luminosidad existente en el cultivo de alfalfa y temperatura ambiente, temperatura del suelo, humedad relativa, humedad del suelo y Emisiones de CO<sub>2</sub> existentes en la materia orgánica de la granja experimental “La Pradera”, con el fin de obtener un registro detallado de los datos que emiten los sensores de forma automática, para tomar acciones en caso de hacer falta en el cultivo.

Mediante una revisión bibliográfica acerca de la agricultura de precisión y de la red de sensores inalámbricos, se identificarán los agentes que intervendrán en el desarrollo de este sistema.

Para el desarrollo de este proyecto se realizará un análisis de todos los requerimientos, tanto de hardware como software lo cual permitirá hacer una correcta elección de los componentes que conformarán el sistema de monitoreo y esto llevará a tener un adecuado diseño.

Se diseñará un sistema que recopile los datos mediante nodo sensores inalámbricos basados en tecnología LPWAN (Low Power Wide Area Network) los cuales serán ubicados en lugares estratégicos del cultivo y del lugar de almacenamiento de la materia orgánica. La información recolectada por los sensores se enviará a un nodo central basado en una placa embebida la cual se encargará de procesar la información y enviarla a su estación base donde se almacenarán todos los datos recolectados para su posterior análisis.

El software que es el que se encarga de recolectar los datos obtenidos de la red de sensores, se efectuará mediante una base de datos de licencia libre, con el propósito de almacenar información de lectura, al ser utilizada para el análisis de las características del cultivo y descomposición de la materia orgánica, para observar la información de una manera adecuada.

Para la comprobación de que los factores involucrados en este sistema estén funcionando de una manera correcta en el cultivo, se realizará pruebas de funcionamiento de monitorización de cada uno de estos, para obtención de resultados.



Para comprobar que el resultado obtenido en el cultivo monitoreado sea eficiente ante otro cultivo que no cuente con este sistema, se realizará una etapa de pruebas comparativas, para observar cómo influye esta técnica propuesta en la evolución de la plantación.

### **1.5. Justificación**

El principal punto por el cual se va a realizar este Proyecto es cumplir con uno de los objetivos que se encuentra en el Plan Nacional del Buen Vivir, contribuir con el aumento de la capacidad productiva y crecimiento económico del País, y la mejor manera de hacerlo es, con la propuesta de este proyecto, el cual es innovador.

La finalidad de todos los proyectos realizados en conjunto con la Universidad Técnica del Norte es cubrir las necesidades de la sociedad al menos en algún porcentaje, lo que conlleva a impulsar la transformación de la matriz productiva, por medio de varios métodos.

Este sistema trata de adaptar elementos de agricultura de precisión para mejorar los procesos agrícolas con un registro único de datos, el cual ayudará tanto a los administradores como a los agricultores de la granja a tener un constante monitoreo de como la plantación crece adecuadamente, pudiendo tener una alerta más óptima ante cualquier problema que se suscite y resolverlo a tiempo; con la ayuda de esta tecnología de sensores inalámbricos facilitando al menos en su totalidad las tareas.

Este sistema es la solución al desarrollo de los cultivos, con monitoreo constante por medio de la red de sensores inalámbricos junto con la tecnología LPWAN (Low Power Wide Area Network) y módulos LoRaWAN, que hoy en día son los más idóneos en este campo de la agricultura, logrando alcanzar grandes distancias para cubrir varios kilómetros de terreno,

con un consumo de batería bajo, transmitiendo a frecuencias óptimas, sin interferencia, para que los datos lleguen seguros hacia nuestro servidor local.

Todo esto ha llevado a dejar atrás tecnologías obsoletas, mejorando la calidad de los cultivos con el monitoreo y siendo eficiente con respecto a proteger al medio ambiente. Con este proyecto se busca unir tanto a la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas (FICA), como a la Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales (FICAYA), a desarrollar propuestas competentes para prevenir y amenorar problemas ambientales y agrónomos por medio de herramientas tecnológicas de última tecnología, capaces de evaluar cada aspecto y solucionarlo de una manera óptima.

## **2. Capítulo II.**

### **Fundamentación Teórica**

El segundo capítulo describe principales conceptos, características relevantes, elementos de una red de sensores y las diferentes topologías que existen, además se explica de manera general la tecnología LoRaWAN, detallando las características relevantes, arquitecturas, seguridad, diferentes tipos de clases con las que cuenta, la capacidad de la red, los canales y velocidades de transmisión y la estructura de paquetes. A continuación, se explica el concepto de Agricultura de Precisión, detallando el propósito en este proyecto, el cual es mejorar el producto final (calidad) de la mano de la tecnología y con ayuda de diferentes dispositivos electrónicos. Para comprender como se logra este objetivo, se necesita diferentes sensores donde se expone las características relevantes de cada uno, y todo lo que conforma un sistema embebido para completar el proyecto, finalizando con la obtención de un registro de datos que se concentrará en una base de datos.

#### **2.1. Red de sensores inalámbricos**

La tecnología ha evolucionado considerablemente en los últimos años, logrando desarrollar redes de sensores inalámbricos (en inglés, Wireless Sensor Network, abreviadamente WSN) adaptándose a lugares de difícil acceso, almacenando información relevante, transmitiendo de un dispositivo a otro y logrando visualizar información de manera sencilla. Una red de sensores se forma mediante el conjunto de sensores (nodos) encargados de controlar diversas condiciones del entorno como: humedad, temperatura; ubicados en diferentes puntos donde se vaya a trabajar, por medio de comunicación inalámbrica, hasta llegar a comunicarse con el nodo central. Entre las principales características de una WSN, prevalece el bajo costo, baja potencia, y facilidad de despliegue. (Noguera, 2015).

Al emplear la comunicación inalámbrica en la WSN, se reduce y simplifica el cableado, se ubica al sensor en sitios remotos y la instalación es fácil. Además, reciben y envían información mediante ondas de radio, para comunicarse con otros dispositivos que se encuentren dentro del rango determinado. Los módulos de comunicación LoRaWAN que se usan en el desarrollo de este proyecto operan en la banda de frecuencias de 433MHz y 868MHz hasta 1GHz.

### **2.1.1. Arquitectura de una red de sensores**

La arquitectura de una WSN, es constituida básicamente por tres elementos principales que son: los nodos sensores, el gateway y la estación base. De este modo en la *Figura 1*, se propone una arquitectura para el funcionamiento de este proyecto; como primer elemento se encuentran los nodos sensores encargados de procesar y transmitir vía comunicación inalámbrica al nodo central (gateway) la información de los sensores. El segundo componente es la estación base y dentro de esta se encuentra el gateway, que se encarga de recolectar los datos provenientes de cada nodo sensor, para posteriormente almacenarlos en una base de datos; seguido de una transmisión a un servidor web local para finalmente observar la información de una manera sencilla por medio de una página web.

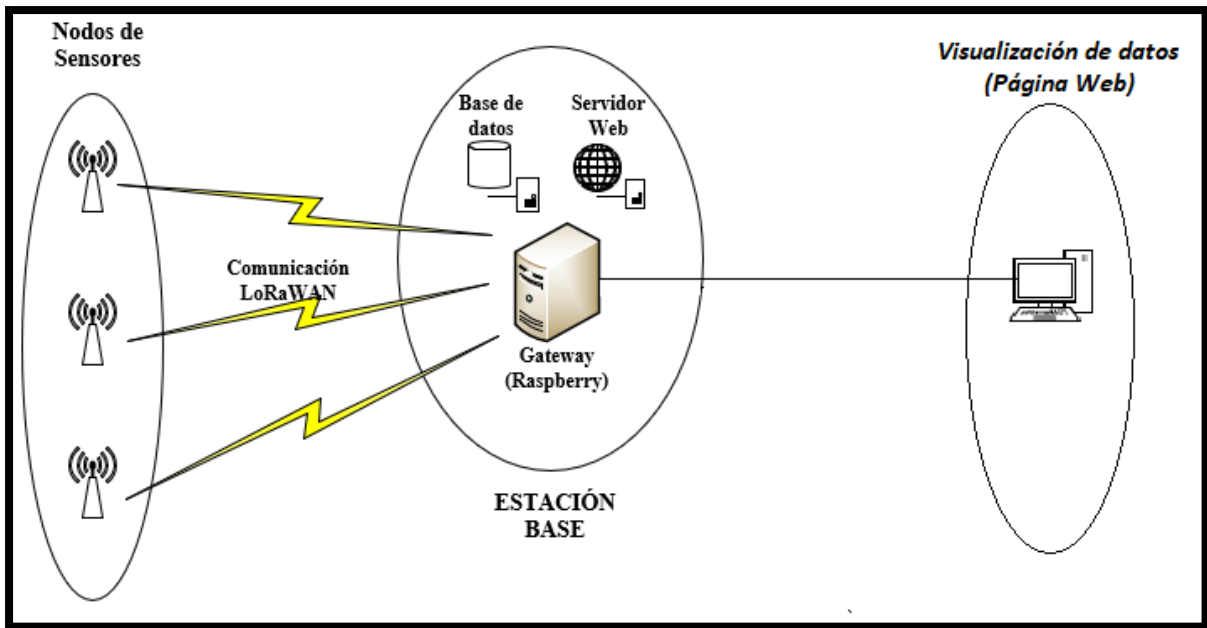


Figura 1. Arquitectura de la WSN propuesta.

Por estas razones, “Un nodo sensor o mota, es un elemento computacional indispensable en una WSN y con una capacidad de procesamiento, memoria e interfaz de comunicación que puede formar un conjunto o red de sensores”. De este modo un nodo sensor se conforma por cuatro partes relevantes: en primer lugar, el administrador de energía, el cual ofrece la potencia necesaria para el funcionamiento. Seguidamente está el sensor, es el encargado de receptor información y transformar las señales, como la luz y la vibración en señales eléctricas. A continuación, el microcontrolador, el cual recibe los datos del sensor y posteriormente los procesa. Por último, el transceiver, que combina las funciones de transmisión/recepción inalámbrica, de manera que la realización de la comunicación se consiga. (Molina Martínez & Ruiz Canales, 2010).

Por otra parte, el gateway es un equipo capaz de interconectar redes con protocolos y arquitecturas diferentes a todos los niveles de comunicación, permite implementarse en software, hardware o en combinación de ambos sin ningún problema. Esto indica, si un usuario remoto contacta al gateway, está examina la solicitud; si coincide con las reglas que el

administrador de red a configurado, la pasarela o gateway crea una conexión entre las dos redes. Por lo tanto, la información no se transmite directamente, sino que se traduce para garantizar una continuidad entre los dos protocolos. (Pillou, 2015).

Finalmente, según (Martínez, Ordieres , & Lostado, 2009) una estación base es un recolector de datos basado en un ordenador común donde toda la información se almacena en una base de datos, desde donde los usuarios acceden remotamente y observan el comportamiento de los datos monitoreados por parte de la red de sensores.

## **2.2. Topologías de red**

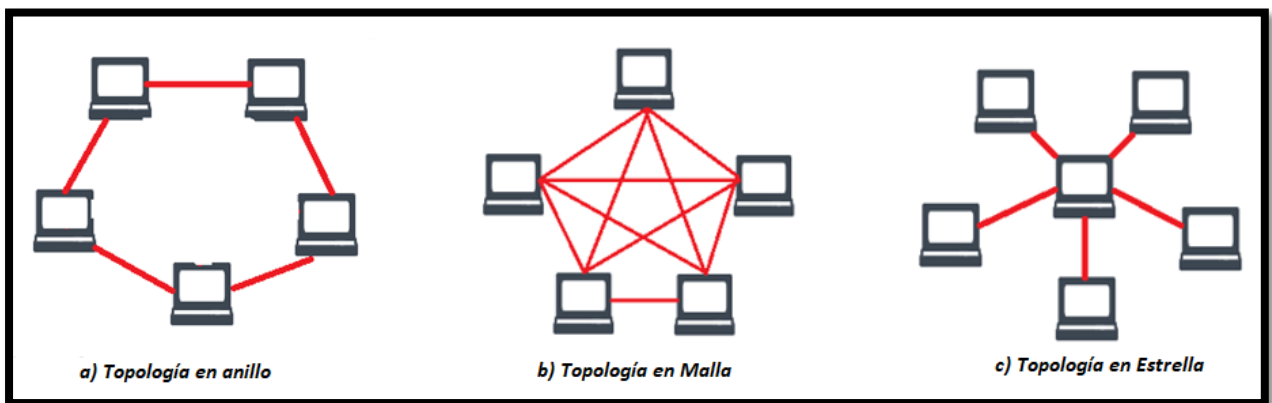
Las topologías de red describen las formas en que los elementos de una red están mapeados, incluyendo sus nodos y líneas de conexión. Se describe dos maneras de representar la geometría de la red: La física donde incluyen configuración de cables, computadoras, entre otras. La lógica donde se comunican a través del medio físico como broadcast, Ethernet, entre otras. Existen varias topologías físicas destacadas como son: Bus, estrella, malla, árbol, anillo, entre otras. (Maninder, 2010).

Por lo tanto, la topología en anillo como se muestra en la *Figura 2a*, se compone de varios nodos donde siguen una secuencia de manera circular. Para lograr que la información circule, cada nodo debe transferir la información al siguiente nodo adyacente. Asimismo, prevalece el mínimo embotellamiento de los datos en la red. Como consecuencia de tener los nodos unidos, si falla un canal entre dos nodos, dejaría de funcionar toda la red.

Por otra parte, la topología en malla se refiere a que cada nodo está conectado a los demás nodos de la red. Dispone de varios caminos como se muestra en la *Figura 2b*, por los cuales se puede enviar información, hasta llegar al gateway, permitiendo a la red mayor

robustez ante posibles caídas, pero involucra una mayor velocidad de transmisión de datos y por ende un mayor consumo.

No obstante, la topología en estrella es la más práctica ya que cada nodo se conecta directamente a la red central. De esta manera como se muestra en la *Figura 2c*, los dispositivos finales (ED) están conectados directamente al dispositivo central, por ello, las características de bajo consumo de las redes en estrella permiten el uso de dispositivos a través de sistemas de alimentación independiente explotando al máximo el tiempo de operación de los ED.



*Figura 2.* Topologías de red: Anillo, Malla y Estrella.

### 2.3. Internet de las cosas

El internet de las cosas (en inglés, Internet of Things, abreviado IoT) ha evolucionado enormemente en la última década, siendo una tendencia emergente para los investigadores tanto en el mundo académico como en la industria. Según (Bhuvanewari & Porkodi, 2014), “Un sistema IoT es una red donde una gran cantidad de objetos, cosas, sensores y dispositivos están conectados por medio de la infraestructura de comunicaciones e información para proveer servicios a través del procesamiento y la gestión de datos inteligentes” (p.324).

Existen varios usos que se pueden dar tanto a los productos como a los servicios de IoT, solo depende de la creatividad e ingenio de los desarrolladores. Además, existen diferentes áreas donde utilizan esta plataforma siendo las más destacadas: Residencial, Salud, Seguridad Pública y Transporte, Industrial, Energía y Medio Ambiente.

A continuación, en la *Tabla 1*, se describe los diferentes tipos de redes IoT orientados a largo alcance, mediante la tabla comparativa se muestra las características de tecnologías inalámbricas, prevaleciendo la tecnología LoRaWAN ya que emplea una velocidad de datos variable, logrando transferencias de datos a mayores distancias (hasta 20 millas), y operando en los anchos de banda ISM (de las siglas en inglés, Industrial, Scientific, and Medical) hasta 1GHz.

*Tabla 1. Tabla comparativa de tecnologías de largo alcance para IoT.*

<b>Protocolos inalámbricos para IoT</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Gama (Entorno no urbano)</b>	<b>Velocidad de datos</b>	<b>Topología</b>	<b>Requiere Gateway?</b>	<b>Propietario o Abierto</b>
<b>ZIGBEE</b>	2.4GHz, 915MHz (US), 868MHz (EU)	100-325 pies	250kbps 40kbps 20kbps	Malla	Sí	Abierto
<b>WIFI</b>	2.4GHz / 5GHz	115-230	7Gbps	Estrella	No	Abierto
<b>LoRaWAN</b>	150MHz – 1GHz	Hasta 20 millas	50kbps	Estrella	Si	Abierto
<b>SIGFOX</b>	900MHz (US) 868MHz (EU)	Más de 20 millas	100bps	Estrella	Si	Propietario



<b>3G y 4G celular</b>	700MHz – 2500MHz	Más de 20 millas	200kbps (3G) 10Mbps (4G)	Estrella	No	Abierto
------------------------	---------------------	---------------------	-----------------------------------	----------	----	---------

*Fuente:* (Buestán Vera, 2019)

### 2.3.1. Arquitectura IoT

La arquitectura IoT, permite escalabilidad, ampliación de capacidades y soporte de nuevos estándares. A partir de estos principios, la arquitectura para IoT está compuesta por 4 capas, las cuales son: Aplicación, Nube/Centro de datos, Red y Dispositivos. Donde la Capa Aplicación es la capa superior, la cual permite a los usuarios interactuar con el ecosistema IoT y aprovechar los procesamientos que se realizan. Seguidamente en la Capa Nube/Centro de Datos se procesan datos que llegan desde los dispositivos, al igual que los comandos que se envían hacia estos. A continuación, la Capa Red es la encargada de transportar el tráfico de dispositivos hacia el centro de datos. Por último, la Capa Dispositivos es la capa inferior, la cual la conforma los nodos sensores permitiendo gestionar la identificación, la capacidad de hardware y el recurso de energía. (Benitez, Anias, & Plasencia, 2016).

## 2.4. Redes LPWAN

Las redes de área extensa de baja potencia (en inglés, Low Power Wide Area Networks, abreviado, LPWAN), es una red óptima para dispositivos de conexión que necesitan enviar pequeñas cantidades de datos a largas distancias (10 a 15km en zonas rurales y 1 a 5km en zonas urbanas), con la ventaja que la duración de la batería es larga (hasta 15 años); siendo esta la más adecuada para aplicaciones de IoT (Internet of Things). Las principales tecnologías emergentes con respecto a LPWAN son: SigFox, Ingenu y LoRa (Long Range). Las dos primeras siguen un modelo de negocio totalmente propietario, es decir las empresas ofrecen

servicios completos IoT. En el caso de LoRa, la empresa “Semtech” es propietaria de la capa física; mientras que la capa de acceso al medio se la desarrolla de forma abierta por una entidad sin fines de lucro denominada LoRa Alliance. (Ordoñez, Monfort, 2016).

#### **2.4.1. LoRa**

LoRa (por sus siglas en inglés Long Range), constituye la capa física de la red LPWAN creando enlaces de comunicación de largo alcance. Es una tecnología de comunicación inalámbrica diseñada para interconectar dispositivos que requieren bajo consumo de energía a velocidades muy bajas (hasta 50 Kbps). De igual forma, utiliza la técnica de modulación de radio basada en *Chirp Spread Spectrum (CSS)* y trabaja en las bandas ISM (de las siglas en inglés, Industrial, Scientific, and Medical), por debajo de 1GHz (433, 868 y 915MHz según la versión del microchip a usar). LoRa puede implementarse con la topología *estrella* y topología en *malla*. Además, no abastece funcionalidades de seguridad, únicamente solventa la transmisión, y no asegura la confidencialidad, autenticidad ni integridad de la información (Mayobre, 2018).

#### **2.4.2. LoRaWAN**

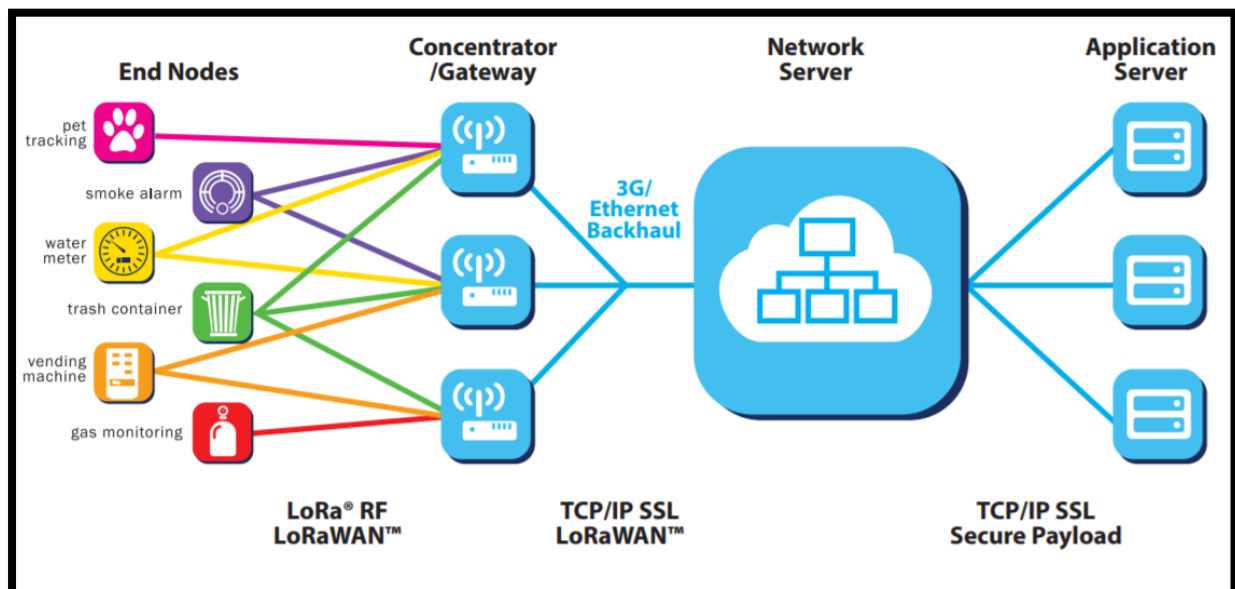
Según (Latré, Weyn, & Lannoo, 2014), LoRaWAN es la capa de acceso al medio creada por LoRa Alliance, define el propio protocolo de comunicación MAC y la arquitectura del sistema para la red. Las redes LoRaWAN utilizan típicamente la topología en estrella donde los Gateways transmiten los paquetes entre los dispositivos finales y un servidor de red central.

Por otra parte, el protocolo y arquitectura LoRaWAN, determinan la vida útil de la batería de un nodo, la capacidad de red, la calidad de servicio y la diversidad de aplicaciones de la red; además admiten comunicaciones bidireccionales de bajo costo, móviles y seguras

para Internet de las cosas (IoT), diseñado para garantizar la fiabilidad y seguridad (Pérez, 2017).

#### 2.4.2.1. Arquitectura de una red LoRaWAN

La arquitectura LoRaWAN la conforman tres tipos de equipos: dispositivos finales, Gateways y servidores de red. En la *Figura 3*, se muestra en primer lugar a los *dispositivos finales*, los cuales recogen información precisa del objeto y la transmiten al gateway. Seguidamente, el *Gateway*, es el encargado de realizar el reenvío de paquetes entre los dispositivos finales y el servidor de red. Por último, los *servidores de red*, son equipos encargados de la recepción y procesamiento de la información proveniente de los nodos sensores. La red formada por los dispositivos finales y gateway son de tipo estrella, además, cuentan con ahorro energético, siendo más fácil la gestión e implementación (Ordoñez, Monfort, 2016).

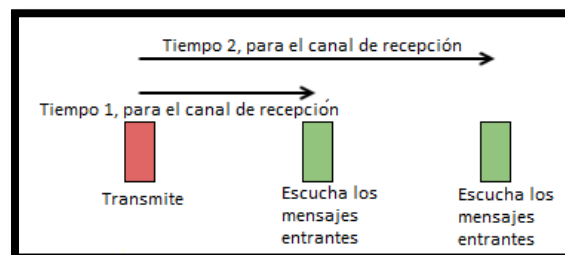


*Figura 3.* Arquitectura de red LoRaWAN.  
Fuente: (Allience, 2015).

### 2.4.2.2. Clases de dispositivos LoRaWAN

Entre los objetivos principales de LoRaWAN, se encuentra, optimizar el consumo de energía. Por lo cual, en los dispositivos finales se crean ventanas de tiempo específicas para recibir datos, haciendo mucho menor el consumo de energía. A continuación, se muestran las tres clases que existen:

- *Dispositivos finales bidireccionales (Clase A):* En estos dispositivos una vez que se realiza la transmisión en el canal de subida, se abren dos ventanas para la escucha del canal de bajada por un periodo de tiempo corto, aumentando la probabilidad de éxito. Esta clase proporciona el menor consumo de energía y es la mejor opción cuando el dispositivo final no necesita recibir siempre datos. La *Figura 4*, muestra el modo de trabajo de clase A.



*Figura 4.* Modo de trabajo de la Clase A.  
Fuente: (Nico, 2017).

- *Dispositivos finales bidireccionales con ranuras de recepción programadas (Clase B):* Se le añade funcionalidades al momento en el que el dispositivo envía información por el canal de subida, permitiendo a los servidores de red saber cuándo el dispositivo espera una respuesta por parte de ellos. La *Figura 5*, muestra cómo trabaja esta clase.



Figura 5. Modo de trabajo de la Clase B.

Fuente: (Nico, 2017).

- *Dispositivos finales bidireccionales con ranuras de recepción máximas (Clase C)*: Estos dispositivos están escuchando los datos entrantes, excepto cuando están transmitiendo. Los dispositivos que usan esta clase consumirán mucha energía, por esta razón, se puede usar solo en situaciones donde el consumo de energía no es un problema. La *Figura 6*, muestra el modo de trabajo de la clase C.

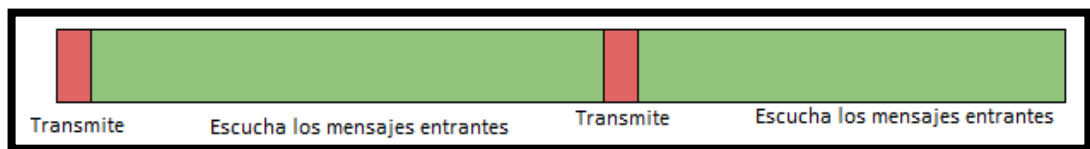


Figura 6. Modo de trabajo de la clase C.

Fuente: (Nico, 2017).

### 2.4.2.3. Seguridad y Modos de Activación

Los dispositivos LoRaWAN manejan dos posibles maneras de registrarse en la red. Por lo cual, cada uno de los nodos tiene un identificador único dentro de la red denominado *DevAddr* y además cada aplicación puede tener una clave de seguridad extremo a extremo llamada *AppKey*, lo cual permite que cada nodo que pertenezca a la red envíe datos a un determinado sistema. Adicionalmente, para hacer a la red aún más segura existe también una segunda clave a nivel de red la cual nos permite el acceso del dispositivo a la red denominada como *NwkKey* (Mayobre, 2018).

Ahora, para que un módulo pueda ser parte de la red LoRaWAN y sea capaz de enviar mensajes hasta el servidor. Existen dos modos que normalizan el acceso: Activación por

personalización (por sus siglas en inglés Activation by Personalization-ABP) y Activación por aire (por sus siglas en inglés Over The Air Activation-OTAA). En primer lugar, está el modo ABP, el cual permite la configuración manual del *DevAddr* y las claves de seguridad del nodo. Cuando se hace la configuración del nodo se ingresan estos datos de forma manual. En segundo lugar, está el modo OTAA, es considerado la forma más segura para que un nodo se una a la red. En este método el *DevAddr* y las claves de seguridad son negociadas con el dispositivo final de manera similar a la negociación que se lleva a cabo mediante DHCP en una red IP. Esta negociación de claves se lleva a cabo entre el nodo y el servidor de red (Mayobre, 2018).

#### **2.4.2.4. Capacidad de Red**

Según (Moya, 2018), la capacidad de una topología en estrella para recibir mensajes de manera eficiente de los nodos finales de largo alcance, depende específicamente de la capacidad del Gateway. Por lo cual para obtener una alta capacidad en la red LoRaWAN, se debe lograr una adaptación de la velocidad de datos (ADR) y usar un transceptor multicanal (multi-módem) en el Gateway para recibir mensajes simultáneos en múltiples canales. Algunas de las causas que pueden afectar a la capacidad de la red son el número de canales presentes, velocidad de datos (data rate), la longitud de la carga útil (payload) y la frecuencia con la que transmitan los nodos.

#### **2.4.2.5. Factor de Dispersión**

El Factor de Dispersión (por sus siglas en inglés Spreading Factor-SF), es la cantidad de *chirps* por símbolo utilizados en el tratamiento de la información antes de la transmisión de la señal. Cada bit de información (payload), es representado por múltiples *chirps* de información. Los valores varían entre 7 y 12, estos valores inciden en el bit rate efectivo y la

inmunidad a la interferencia por ruido, es decir, cuanto mayor sea su valor (12), mayor será la capacidad del receptor para separar el ruido de la señal recibida. En la *Tabla 2*, se muestra que al usar un SF alto, la sensibilidad aumenta, logrando tener un mayor alcance, pero con bajas velocidades y un mayor impacto en la batería; al contrario, al usar un SF bajo, la sensibilidad disminuye, el alcance es mínimo, pero con altas velocidades, ayudando a que el consumo de energía sea menor (Mayobre, 2018).

*Tabla 2. Relación entre SF y sensibilidad*

<b>SF</b>	<b>Tasa de bits equivalente (kb/s)</b>	<b>Sensibilidad (dBm)</b>
12	0.293	-137
11	0.537	-134,5
10	0.976	-132
9	1.757	-129
8	3.125	-126
7	5.468	-123

*Fuente:* (Moya, 2018).

#### **2.4.2.6. Canales y Velocidades de Transmisión**

Los módulos LoRaWAN trabajan en las bandas de 433MHz y 868MHz. La banda de frecuencia de 868 MHz, dispone de 16 canales con un ancho de banda de 125 kHz por cada canal. En la *Tabla 3*, se muestra detalladamente los canales disponibles con la distribución de frecuencias, donde los tres primeros canales tienen frecuencias asignadas previamente. El resto de canales, del 3 al 15, pueden ser configurados con valores dentro del rango de 868325 kHz hasta 869750 kHz, con un ancho de banda de 125 kHz. (Pérez, 2017).

Tabla 3. Canales para la banda de frecuencia de 868 MHz-LoRaWAN.

Número de canal	Parámetros	Características
0	Frecuencia [MHz]	868.1
	Ancho de Banda [kHz]	125
	Data Rate [bps]	0-5
	Velocidad de transmisión [kbps]	0.3-5
1	Frecuencia [MHz]	868.3
	Ancho de Banda [kHz]	125
	Data Rate	0-5
	Velocidad de transmisión [kbps]	0.3-5
2	Frecuencia [MHz]	868.5 MHz
	Ancho de Banda [kHz]	125
	Data Rate	0-5
	Velocidad de transmisión [kbps]	0.3-5

Fuente: (Moya, 2018)

#### 2.4.2.7. Formato de la trama LoRaWAN

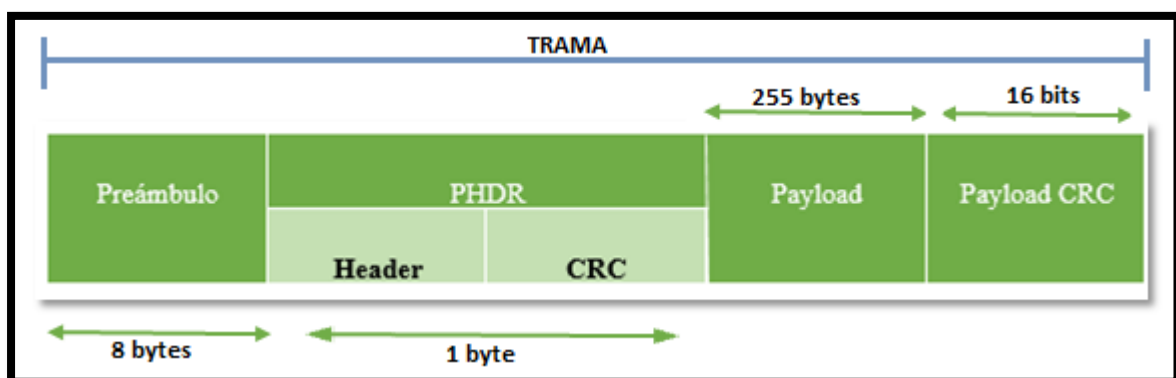


Figura 7. Estructura de la trama LoRaWAN.

En la *Figura 7*, se muestra la trama completa de LoRaWAN, iniciando por el *preámbulo*, cuenta con 8 bytes de longitud, es una serie de bits que se envían con la finalidad



de sincronizar al receptor con el transmisor. El último byte informa sobre la red a la que se encuentra conectado el dispositivo, permitiendo a los Gateways diferenciar su propia red de otras que se encuentren transmitiendo en la misma frecuencia. Tanto el receptor como transmisor deben tener configurado el mismo preámbulo para sincronizarse (Mayobre, 2018).

El *encabezado*, tiene la función de añadir más información sobre la trama y el control de errores; se define por un sólo byte en el campo PHDR, el cual permite tener dos tipos de encabezados posibles: Primeramente, el de tipo *Implícito* (no hay encabezado): el receptor debe conocer previamente el tamaño del payload y del CR (Code Rate) utilizado. Y, por último, el tipo *Explícito* (modo por defecto): en el campo header del paquete se envía información sobre el tamaño de la carga, CR (en inglés, Code Rate) y CRC (en inglés, Cyclic Redundancy Check – Verificación de redundancia cíclica). (Mayobre, 2018).

En el campo *payload*, es el elemento donde se encuentran los datos proporcionados por los sensores que se intentan enviar hacia el servidor. El campo tiene un tamaño de 255 bytes, como se muestra en la *Figura 7*.

El *CRC Payload*, utiliza la corrección de errores CRC (en inglés, Cyclic Redundancy Check), con un tamaño 16 bits para el payload.

#### **2.4.2.8. Control de acceso al medio LoRaWAN**

Según (Monfort, 2017), existen regulaciones donde se impone restricciones en el ciclo de trabajo de bandas menores a 1GHz. Por lo cual, para dispositivos finales, el ciclo de trabajo queda limitado al 1%, haciendo así que la posibilidad de una colisión sea baja ya que asigna limitaciones en el número de transmisiones diarias.

LoRaWAN no utiliza un mecanismo de acceso al medio. Se establece por las restricciones impuestas por el ciclo de trabajo como un tipo de arbitraje del acceso al medio. Lo que lleva a tener dos opciones: primero, se reduce la latencia y el consumo de energía; y segundo, el rendimiento de la red se vería afectado al aumento de la probabilidad de que produzcan colisiones junto con las retransmisiones, casi similar al protocolo *ALOHA PURO* (si al enviar un paquete no se obtiene respuesta luego de un tiempo, es porque existe colisiones) (Monfort, 2017).

Finalmente, el acceso al medio de LoRaWAN, no es muy eficiente a comparación de otros protocolos, pero se lo sigue utilizando gracias a su largo alcance en cuanto a transmisión, acompañado de un bajo consumo de energía. Se recomienda usar en aplicaciones que trabajen con latencias bajas.

## **2.5. Agricultura de precisión**

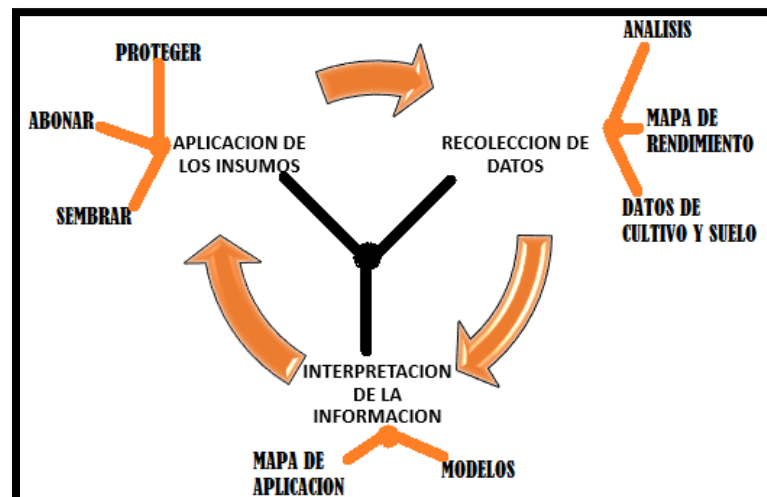
La Agricultura de Precisión ayuda a manejar la producción de los cultivos de una manera sencilla y completa, aplicando la cantidad correcta de insumos, en el momento adecuado y lugar exacto. Por lo cual, intervienen varios factores como los sistemas de posicionamiento global (GPS) y de otros medios electrónicos como los sensores para obtener cultivos de calidad. La ventaja considerable de la Agricultura de Precisión es la facilidad de analizar grandes porciones de cultivos. Realmente se acomoda a la necesidad del cultivo a ser analizado, empezando por el tipo y la dosis de fertilizante o agua que necesite.

### **2.5.1. Concepto del Sistema**

La Agricultura de Precisión corresponde a una estrategia de administración que utiliza tecnología de la información y las comunicaciones para recolectar datos útiles desde distintas

fuentes con el fin de apoyar decisiones asociadas a producción de cultivos. (Muñoz, Mera, & Artieda, 2017).

La Agricultura de Precisión no consiste específicamente en medir la variabilidad existente en la parcela, también aporta en la adopción de prácticas administrativas que se realizan en función de esa variabilidad. Los agentes involucrados en el desarrollo y adopción de la agricultura dividen en tres etapas diferentes como se muestra en la *Figura 8*, Recolección de datos, Procesamiento e interpretación de la información y Aplicación de insumos. (Bongiovanni & Roel, 2006).



*Figura 8.* Tres etapas de la agricultura de precisión.

Por medio de un estudio sobre la AP en los países desarrollados, resalta las siguientes ventajas a los agricultores: Reducción de los costes de producción, gracias a nuevas tecnologías implementadas lo que ayuda a aplicar la cantidad exacta de lo que necesite el cultivo, disminuyendo los productos agroquímicos. De igual manera se reduce el impacto ambiental donde la oportuna aplicación de agroquímicos en porciones correctas, apoya al beneficio del uso de los diversos insumos. Finalmente, mejora la eficiencia, si bien es cierto gracias a las nuevas tecnologías avanzadas aplicadas en este campo, el beneficiario directo es el agricultor,

al realizar su trabajo con exactitud y sin tener cultivos echados a perder. (Segarra, Velandia, & Rejesus, 2004)

### **2.5.2. Parámetros para el estudio**

Es importante dar a conocer todos los parámetros que se aplican para el desarrollo del proyecto. A continuación, se detallan uno a uno los factores a utilizar tanto en el cultivo de alfalfa como la materia orgánica: Humedad del suelo, Humedad relativa, Temperatura del Suelo, Temperatura ambiente, PH y Emisiones CO<sub>2</sub>.

De este modo la humedad del suelo se refiere a la cantidad de agua por volumen de tierra que hay en un terreno. Para la medición exacta se hace uso del método gravimétrico, es decir, pesando una muestra de tierra antes y después del secado. Este parámetro es muy importante en el cultivo de alfalfa ya que el agua es un factor primordial para la germinación, crecimiento y desarrollo del cultivo.

La humedad relativa no es más que vapor de agua absorbido por el aire en cantidades que dependen netamente de las condiciones ambientales, lo que provoca un aumento del contenido de humedad. De esta forma, si la temperatura aumenta la humedad relativa disminuye, al no poseer una cantidad correcta vital de humedad en las plantas se produce la fotosíntesis. Asimismo, la humedad relativa es única por cada tipo de cultivo, en este caso la Alfalfa tiene que estar en un rango promedio de entre 50% a 70%. (Cabrera, 2015)

En cuanto a la temperatura ambiente, esta varía en el día y la noche, debe ser controlada específicamente para el cultivo sembrado, dado que influye directamente con el crecimiento y desarrollo del producto, lo cual hace que sea el parámetro más importante del control climático.

La temperatura recomendada para el proceso vital de alfalfa es de entre 18°C a 28°C. (ECOHORTUM, 2013).

Es muy importante determinar el PH en los cultivos ya que controla las reacciones químicas que establecen si los nutrientes van a estar o no aprovechables para la absorción. Los problemas nutritivos de los cultivos se dan por tener un PH fuera del rango óptimo. El valor varía, si se encuentra en un rango de 0 a 7 es ácida y si tiene valor de 7 a 14 es alcalina. Por lo general la plantación de alfalfa prefiere niveles superiores a 6. (CANNA, 2018).

Por lo tanto, la temperatura del suelo es todo el calor que el aire puede adquirir durante el día, procedente del suelo. Se dice que la capa superficial del suelo sufre las mayores oscilaciones de temperatura, las cuales se esparcen desde ella hacia el aire y hacia el subsuelo. Es recomendable hacer la medición de la temperatura del suelo de la materia orgánica durante la madrugada, cuando no quede compensada por la absorción de la radiación solar directa. El rango de temperatura del suelo apta para la materia orgánica es de entre 10°C a 20°C. (Arguello, 2010)

Según (Gómez, 2015), el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) es el gas más contribuyente con el cambio climático, es producido principalmente por las actividades antrópicas. La concentración de CO<sub>2</sub> en la atmosfera de la tierra ha aumentado en más del 30%, por esto el rango adecuado en la materia orgánica es el de entre 280 ppm a 310ppm.

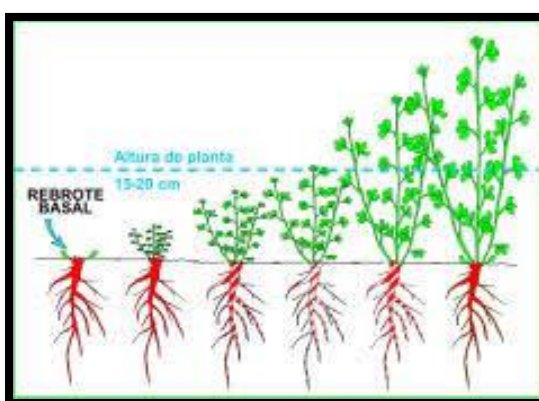
## **2.6. Cultivo de alfalfa**

Los cultivos de alfalfa (*Medicago sativa*) vienen de la familia de las Leguminosas; pueden ser sembrados especialmente en las épocas de otoño o primavera, su ciclo vital puede

durar hasta doce años, dependiendo del clima, las raíces con las que cuenta suelen ser profundas, llegando a medir hasta 4.5 m, haciéndola resistente a la sequía. (RURAL, 2010).

La alfalfa se destaca por los altos niveles de proteína, alta digestibilidad, alto contenido de vitaminas A, E y K; de igual manera por la mayoría de los minerales que necesita el ganado productor de leche y carne, en especial calcio, potasio, magnesio y fósforo, siendo la idónea para la alimentación del ganado. (Timana Coral, 2015). Se dice que el cultivo de alfalfa cuenta con un rendimiento de 40 a 80 toneladas de forraje verde/hectárea/año, en 4 a 8 cortes y que el número de cortes en la región interandina, está determinada entre otros factores por la altitud.

La cosecha de un cultivo de alfalfa puede realizarse de 70 a 72 días desde la siembra de la semilla aproximadamente. Existe la Alfalfa Flor Morada y Abunda Verde las cuales son de época invernal. La Alfalfa Flor Morada es para corte y la Abunda Verde para pastoreo específicamente. Las dos alcanzan una altura promedio de 1.5 m como se muestra en la *Figura 9*, con excelente calidad y pueden ser plantadas desde los 1.500 hasta los 3.200 msnm. (Timana Coral, 2015).



*Figura 9.* Proceso de crecimiento de la alfalfa.  
Fuente: (Rebuffo, 2015).

### 2.6.1. Origen

(Pombosa, 2016), sostiene que la Alfalfa, hoy en día se encuentra extendida por todas las partes del mundo, ya que es considerada una planta beneficiada de nutrientes. Se la hace originaria de Asia Menor y sur del Cáucaso, por la variedad de ecotipos existentes en el estado espontáneo en la región, de igual manera es considerado cultivo forraje que se domesticó. Se cree que llegaría al país de Grecia debido a las guerras médicas. Esta especie fue cultivada en el viejo mundo por más de 20 siglos, sembrada en los países como Europa, Norte de África, México, Perú, Chile, posteriormente llegó a Norteamérica, dando una producción satisfactoria. El nombre de Alfalfa es de origen árabe; etimológicamente significa “el mejor pasto”.

### 2.6.2. Taxonomía y Morfología de la Alfalfa

Según (USDA, 2014), la sistemática de la alfalfa es la siguiente como se muestra en la

*Tabla 4:*

*Tabla 4. Taxonomía de la alfalfa.*

<b>Reino</b>	<b>Subreino</b>	<b>División</b>	<b>Clase</b>	<b>Familia</b>	<b>Género</b>	<b>Especie</b>
Vegetal	Planta vascular	Fanerógama	Dicotiledónea	Leguminosas	Medicago	Sativa L.

*Fuente:* Autoría.

(León, 2003), menciona que la alfalfa es herbácea siendo la reina de las plantas forrajeras, con un excelente desarrollo vegetativo, perenne y vivaz. En la *Figura 10*, se muestra la Morfología del cultivo en el cual se destacan: la raíz principal es robusta y axonomorfa (hasta 5m. de longitud), las raíces secundarias son abundantes y profundas para absorber los nutrientes del suelo. La corona es la superficie que está a continuación de la raíz y su principal función es la de desarrollar nuevas yemas de donde posteriormente saldrán los nuevos tallos. Los tallos son delgados, cilíndricos y erectos para soportar el peso de las hojas y de los brotes,

además son estables, haciendo de esta una planta adecuada para la cosecha. Al venir de la familia leguminosa las hojas son trifoliadas, pero las primeras hojas verdaderas son unifoliadas, los márgenes son lisos y con los bordes superiores ligeramente dentados. Las flores nacen en racimos alargados en las axilas de las hojas, con colores llamativos que varían desde el amarillo al violeta.

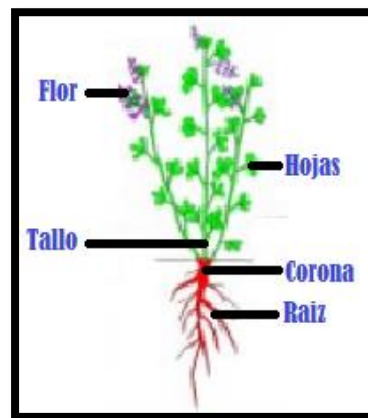


Figura 10. Morfología de la Alfalfa.

## 2.7. Materia orgánica

Según (FAGRO, 2000), un abono orgánico o compost es el resultado del proceso de transformación de residuos orgánicos en humus por partes orgánicas (bacterias, hongos, protozoarios, lombrices, entre otros.). El humus cumpliendo con la parte desempeña un papel esencial con el suelo, ayudando a la descomposición de los productos, favoreciendo a la penetración del agua y su retención, disminuyendo la erosión y el intercambio gaseoso. En la *Figura 11*, muestra que la combinación de los abonos orgánicos varía con la edad y el tiempo de exposición al aire. Sin embargo, cuando es expuesto y secado a la intemperie, mucho del nitrógeno con el que cuenta el abono orgánico puede ser perdido en el aire (volatilización).





*Figura 11.* Compost Orgánico.  
Fuente: (Román, Martínez, & Pantoja, 2013)

Por lo tanto, la materia orgánica es indispensable en la plantación de alfalfa, ya que, con ayuda de los microorganismos del suelo, el abono orgánico libera varios nutrientes los cuales son convertidos de formas no disponibles a disponibles para el crecimiento de los cultivos de alfalfa. Además, los microorganismos producen reguladores de crecimiento, lo que produce la actividad fotosintética. Siendo esta la razón por la que las plantas de alfalfa crecen mejor en procesos tardíos de crecimiento, dando una producción alta del cultivo, gracias al alto sustento nutricional del abono orgánico. (Timana Coral, 2015).

Compost o materia orgánica, surge con el afán de disminuir la dependencia de los productos químicos artificiales. Esto hace que aumente el fósforo en el suelo, así también incrementa el PH de ácido a neutro, aumentando también la fertilidad del suelo y ayudando a mejorar la producción del cultivo de alfalfa. En un experimento realizado por (Timana Coral, 2015) la aplicación de 160mg de estiércol bovino (compost orgánico) al principio del año en el cultivo de alfalfa mejoró el contenido de 2 a 3 % en comparación a cuando no se fertilizó o se empleó fertilizante inorgánico.

## **2.8. Sistemas embebidos**

Un sistema embebido es la combinación de hardware y software de computadora, diseñado para cumplir con una tarea específica. Asimismo, hace referencia a todo circuito electrónico digital capaz de realizar operaciones de computación, que sirven para cumplir algo en específico en un producto. Puede ser independiente o puede ser parte de un sistema en conjunto de gran tamaño. Una ventaja de los sistemas embebidos es su flexibilidad, ya que a la hora de realizar alguna modificación resulta sencillo modificar líneas de código al software que reemplazar todo el circuito integrado. (Salas, 2018).

### **2.8.1. Características de un sistema embebido**

A continuación, se exponen las características principales en cuanto a un sistema embebido: la fiabilidad, deben ser capaces de funcionar de manera ininterrumpida en modo desatendido, en tiempo real. La personalización, deben permitir la modificación del sistema de acuerdo a las necesidades del proceso. El bajo costo y consumo de potencia, dado que muchos sistemas embebidos se hacen en millones de unidades, el costo es irrelevante para la función que cumplen. La seguridad Informática, deben ser capaz de mantener una comunicación segura, confidencial y autenticada. La memoria, deben tener memoria suficiente, ya que el software por lo general se incrusta en la ROM, en casos extremos necesitará de alguna memoria extra en el ordenador. (Salas, 2018).

### **2.8.2. Estructura básica de un sistema embebido**

Un sistema embebido se conforma de los siguientes elementos como se aprecia en la *Figura 12*, detallado uno a uno: El sensor, el cual mide la cantidad física y la transforma a una señal eléctrica que puede ser leído por cualquier otro instrumento electrónico. El convertidor Análogo/Digital, convierte la señal analógica enviada por el sensor en señal digital. El

procesador y Circuito integrado de aplicación específica (ASICs), procesan datos para medir la salida y almacenarla en la memoria. El convertidor Digital/Análogo, convierte los datos digitales alimentados por el procesador de datos analógicos. El actuador, compara la salida dada por el convertidor D/A actual. (Salas, 2018).

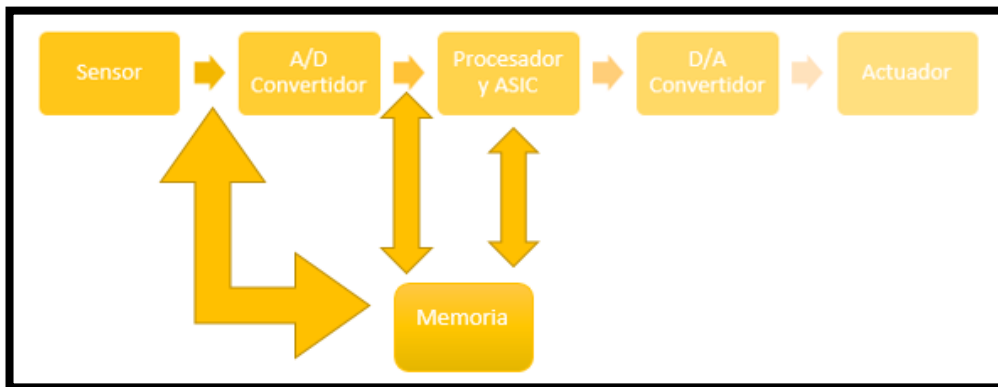


Figura 12. Estructura de un sistema embebido.

## 2.9. Sensores

Un sensor es un dispositivo eléctrico y/o mecánico que transforma las variaciones de la magnitud a medir en una señal eléctrica apta, tanto que pueda ser receptada en su destino. Los sensores posibilitan la comunicación entre el mundo físico y los sistemas de medición o control, tanto eléctrico como electrónico, utilizándose en todo tipo de procesos industriales y no industriales para propósitos de monitoreo, medición, control y procesamiento.

### 2.9.1. Sensores utilizados en agricultura de precisión

En base a los parámetros a medir en la Agricultura de Precisión, a continuación, se mencionan los sensores necesarios para recoger información.

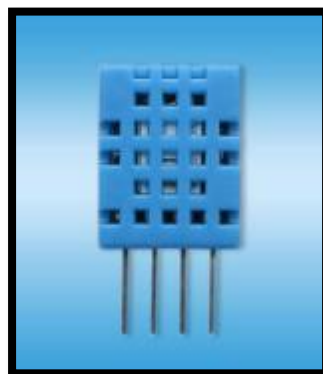
- **Sensor de humedad del suelo:** El sensor capacitivo como se muestra en la *Figura 13*, devuelve un valor conveniente al nivel de humedad medido. Para

saber con exactitud si la tierra del cultivo está seca, húmeda o con exceso de agua.



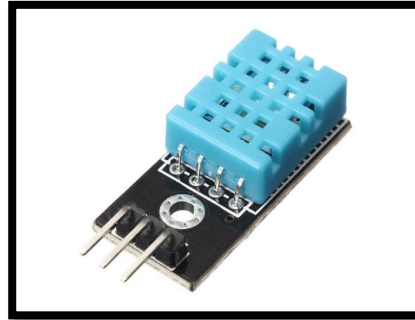
*Figura 13.* Sensor Humedad del Suelo.  
Fuente: (TOSTATRONIC, 2016)

- **Sensor de Humedad Relativa:** Este sensor medirá la cantidad de vapor de agua que existe en el ambiente por la evaporación del agua, como se muestra en la *Figura 14*. El vapor de agua existente es absorbido por el aire presente en la naturaleza, en cantidades considerables, lo que provoca aumento del contenido de humedad.



*Figura 14.* Sensor de Humedad Relativa.  
Fuente: (EZELECTRONICS, 2016).

- **Sensor de Temperatura Ambiente:** Este sensor como se muestra en la *Figura 15*, sirve para obtener un valor considerable, transforma los cambios de temperatura en señales eléctricas que son procesados por un equipo eléctrico o electrónico.



*Figura 15.* Sensor de Temperatura Ambiente.  
Fuente: (EZELECTRONICS, 2016).

- **Sensor de Temperatura del Suelo:** El sensor como se muestra en la *Figura 16*, mide valores de temperatura del suelo, para conocer las diferentes variaciones térmicas del suelo.



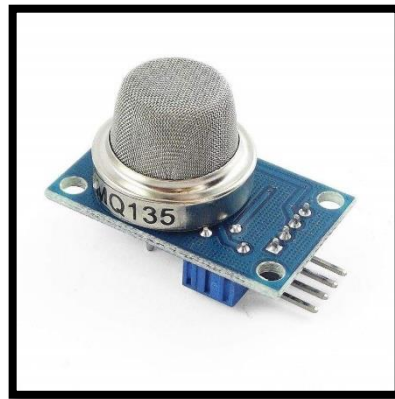
*Figura 16.* Sensor de Temperatura del Suelo.  
Fuente: (DHgate, 2008)

- **Sensor de PH:** Este sensor como se muestra en la *Figura 17*, medirá un valor que este entre lo ácido o lo alcalino, todo esto para determinar si el cultivo absorbe los nutrientes necesarios.



*Figura 17.* Sensor de PH.  
Fuente: (Geek, 2016)

- **Sensor de Emisiones de CO<sub>2</sub>:** Como se muestra en la *Figura 18*, es un sensor que mide los niveles de CO<sub>2</sub>, ya que es un gas de efecto invernadero. Determina si el compost es apto para utilizarlo en el cultivo.



*Figura 18.* Sensor Emisiones CO<sub>2</sub>.  
Fuente: (Factory, 2016)

### **3. Capítulo III.**

#### **Diseño del Sistema**

En este capítulo, se utiliza como metodología el modelo en cascada, el cual emplea un proceso secuencial, ayudando a realizar un diseño del sistema de una manera adecuada y organizada. Al iniciar con el desarrollo de este capítulo se lleva a cabo el análisis de la situación actual de la Granja de la Universidad Técnica del Norte, seguido del estudio de requisitos o requerimientos, además el diseño del sistema, también la elección de los componentes que integran el proyecto y la ubicación de los nodos y los diagramas de flujo del sistema.

#### **3.1. Metodología de diseño**

La metodología a emplearse para la presente investigación es el “Modelo en cascada”, el cual se lo conoce como un modelo de ciclo de vida lineal-secuencial. En este modelo, cada fase debe completarse antes de que la siguiente fase pueda empezar. Además, se utiliza para desarrollo de proyectos pequeños, al final de cada fase, se lleva a cabo la revisión para determinar si el proyecto está en buen trayecto y si se desea continuar o descartar el mismo. Por último, las pruebas comienzan únicamente después de que el desarrollo se haya completado.

En la *Figura 19*, se muestra el diagrama general del modelo en cascada, donde cada etapa empieza luego de haber concluido la anterior. Algunas de las ventajas de este modelo son: Primero, es fácil de manejar, Segundo, cada fase tiene productos específicos y un proceso de revisión, y, por último, las fases son procesadas y completadas una a la vez (las fases no se superponen).

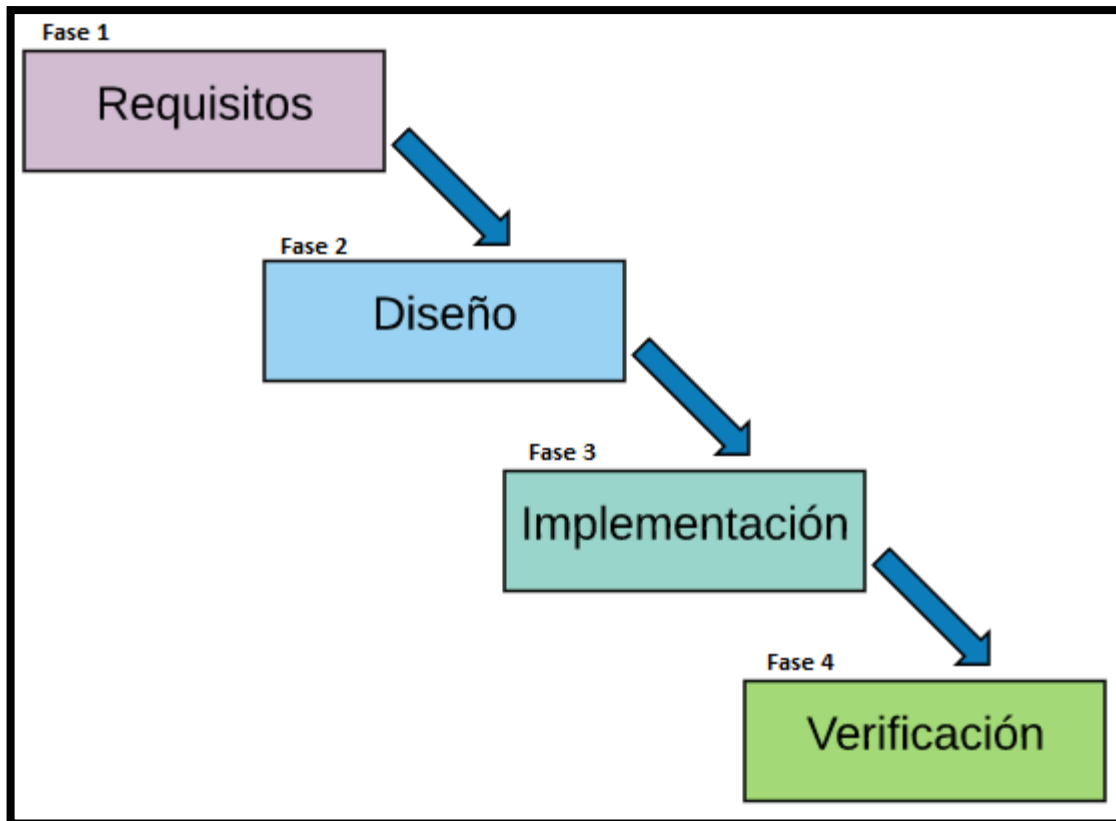


Figura 19. Diagrama del método en cascada.  
Fuente: (Gutierrez, 2011).

### 3.2. FASE 1: Requisitos y Requerimientos

Para iniciar con la *Fase 1*, se da a conocer factores importantes que se involucran en el proyecto, por lo que es necesario poseer un análisis investigativo que provea información necesaria sobre los problemas que intervienen en la investigación, posterior a esto, se especificará los requerimientos que cumplan con las necesidades de análisis, por lo cual se examinarán requerimientos operacionales, de usuario, de sistemas, de arquitectura, entre otros.

#### 3.2.1. Análisis

Para determinar los requerimientos que demanda un diseño de red de sensores inalámbricos es necesario realizar un análisis del lugar donde se va a desarrollar este proyecto, a continuación, se dará a conocer la situación actual y las dimensiones del terreno donde se va



a trabajar, ayudando a conocer la problemática y las condiciones en las que se encuentra actualmente. Todo esto se lo hizo por medio de visitas de campo al lugar de la implementación y por medio de encuestas realizadas a docentes y estudiantes involucrados en la carrera de agropecuaria.

### **3.2.1.1. Situación Actual**

El presente proyecto se desarrolla en las instalaciones de la Granja Experimental “La Pradera”, propiedad de la Universidad Técnica del Norte, ubicada en la Parroquia de San José de Chaltura, a 3.5 Km de la ciudad de Atuntaqui, la cual comprende una extensión de aproximadamente 40 hectáreas de terreno, cuenta con siembras de legumbres, verduras, hortalizas y frutas, posee un tipo de suelo mixto, por lo que se trabaja la tierra (labrarla) antes de sembrar, para que capte de una buena manera las semillas de los cultivos.

La zona de acción de la investigación considera una parcela, como se muestra en la *Figura 20*, la cual tiene una extensión de 360m<sup>2</sup>, dedicados prioritariamente al cultivo de alfalfa; y una extensión aproximada de 9m<sup>2</sup> para el abono orgánico, ubicados a varios metros de la oficina central.



Figura 20. Extensión del cultivo de alfalfa y materia orgánica en la Granja "La Pradera"  
Fuente: Google Earth

Actualmente la Granja “La Pradera”, tiene una escasa infraestructura tecnológica en cuanto al monitoreo de cultivos. En la mayoría de los casos se lo ha estado llevando de manera manual, siendo esta, la única manera de verificar si el cultivo se encuentra desarrollándose de una manera adecuada, es decir, las personas involucradas en el cultivo tienen que acercarse a este y verificar personalmente si se está desarrollando de manera óptima. Esto tiene sus desventajas, por lo que muchas veces los cultivos se encuentran en un lugar de difícil acceso y demasiado lejos con respecto al lugar donde se encuentren las herramientas para el cuidado de los mismos.

En la actualidad existen tecnologías que pueden ayudar a evitar estos inconvenientes. La comunicación LoRaWAN, puede ser utilizada en este tipo de diseños, ayudando a que la medición de los parámetros de los cultivos se lo haga por medio de sensores y comunicación inalámbrica, sin necesidad de acudir hacia el mismo, haciéndolo un sistema ágil.

### 3.2.1.2. Técnicas de Investigación

En vista de que el cultivo de alfalfa se encuentra ubicado a una distancia considerable dentro de la Granja, se usa el método de investigación de campo como medio para la obtención de información, por lo cual la observación directa permite determinar a precisión qué es lo que ocurre en el lugar de la investigación para establecer el entorno en donde se va a desarrollar este sistema y obtener un ambiente controlado.

Continuando con el proceso, se realiza una encuesta para determinar los requerimientos de usuario, de manera tradicional, pudiendo manipular los resultados inmediatos y certeros. Las preguntas planteadas son de tipo cerrado, teniendo preguntas de respuesta única y múltiple, facilitando el proceso de tabulación y análisis de resultados. El formato de la encuesta aplicada se muestra en el *ANEXO 1*.

Por medio de la visita de campo se pudo recolectar datos de la población que interfiere en el área de la agricultura, dando como resultado 271 estudiantes de la carrera de agropecuaria matriculados legalmente, adicional a estos se suman los 20 docentes implicados en la misma área, dando como resultado 291 personas involucradas; con esto se realiza el cálculo muestral mediante la siguiente *Ecuación 1*.

$$n = \frac{N \cdot Z^2 \cdot \sigma}{(N - 1) \cdot e^2 + Z^2 \cdot \sigma^2} \quad \text{Ec. 1}$$

En donde,  $n$ , corresponde al tamaño de la muestra extraída de una población para que los datos sean representativos,  $N$ , representa al tamaño de la población involucrada en el ámbito de la agricultura,  $Z$ , es el nivel de confianza, es decir, un valor constante y generalmente se presentan con el 95%, equivalente a 1,96 siendo el valor mínimo aceptable,  $\sigma$ , es la desviación

estándar de la población. Cuando se desconoce su valor, se usa el valor de 0,5; y finalmente  $e$ , representa el límite aceptable de error muestral.

Para este caso de estudio se toman los siguientes datos:

$$N = 291$$

$$Z = 1,96 \text{ con un nivel de confianza del } 95\%$$

$$\sigma = 0,5$$

$$e = \text{Error muestral del } 10\% (0,1)$$

$$n = \frac{(291) \cdot (1,96)^2 \cdot (0,5)^2}{(291 - 1) \cdot (0,1)^2 + (1,96)^2 \cdot (0,5)^2} = 72 \text{ encuestas}$$

Al haber realizado los cálculos necesarios, se obtiene que el número de personas involucradas al ámbito de la agricultura que serán reemplazados en la solución a la *Ecuación 1* para ser encuestados es de 72.

- **Análisis de Resultados**

Luego de haber realizado la encuesta a 72 personas de la Granja, se obtuvo resultados que permitieron dar a conocer sus opiniones e inconvenientes, lo cual permite fundamentar de manera certera el desarrollo del sistema propuesto. Las tabulaciones de cada una de las preguntas aplicadas en la encuesta se encuentran en el *ANEXO 2*. Además, en base a estos resultados se obtienen las características que el sistema debe cumplir según los requerimientos de los usuarios.

En base a las encuestas, el sistema debe contar con elementos que estén disponibles en el mercado a un precio asequible, resultando beneficioso al contar con tecnología en los cultivos dando paso a la agricultura de precisión mediante el uso de sistemas electrónicos para el monitoreo de cultivos de alfalfa.

Las respuestas arrojan que el sistema debe funcionar todo el tiempo para obtener resultados certeros en cuanto al control de las variables, por ello la batería debe ser durable y debe contar con un sistema de retroalimentación.

### **3.2.1.3. Descripción General del sistema**

El sistema se basa en una red de sensores inalámbricos para el monitoreo del cultivo de alfalfa y materia orgánica, el cual consta de un nodo central y varios nodos sensores ubicados estratégicamente en la parcela.

En cuanto, al nodo central, se refiere a un Gateway entre la red de sensores inalámbricos y la estación central que en este caso es un computador, tiene como fin almacenar todos los datos recolectados de los nodos sensores, haciéndolo fácil para los encargados de la agricultura en la toma de decisiones certeras para obtener un cultivo eficiente.

Por otra parte, los nodos sensores, recolectan variables entre temperatura del suelo, temperatura ambiente, humedad relativa, gases de efecto invernadero y PH del cultivo como de la materia orgánica para posteriormente enviar la información al nodo central por medio de la comunicación con Módulos LoRaWAN.

Finalmente, se desea contar con un sistema controlado para el desarrollo del cultivo de la alfalfa y la materia orgánica con respecto a los parámetros a medir, que permitan obtener un producto de buena calidad, ayudando hacer más fácil la visualización del crecimiento.

#### **3.2.1.4. Características del sistema**

El presente proyecto comprende un área del cultivo de alfalfa y un área de compost orgánico; donde se realizará evaluaciones un tiempo después de haberse realizado la implementación de dicho proyecto para lograr justificar los resultados.

Para obtener una mejor gestión de desarrollo del proyecto, se opta por dividir en zonas como se expone a continuación: la *Zona 1*, se considera al área de cultivo de alfalfa, la *Zona 2*, se considera la porción de compost orgánico y la *Zona 3*, comprende el área de interpretación de los datos sensados. En la *Figura 21*, se muestra una visión general del sistema distribuido por zonas.

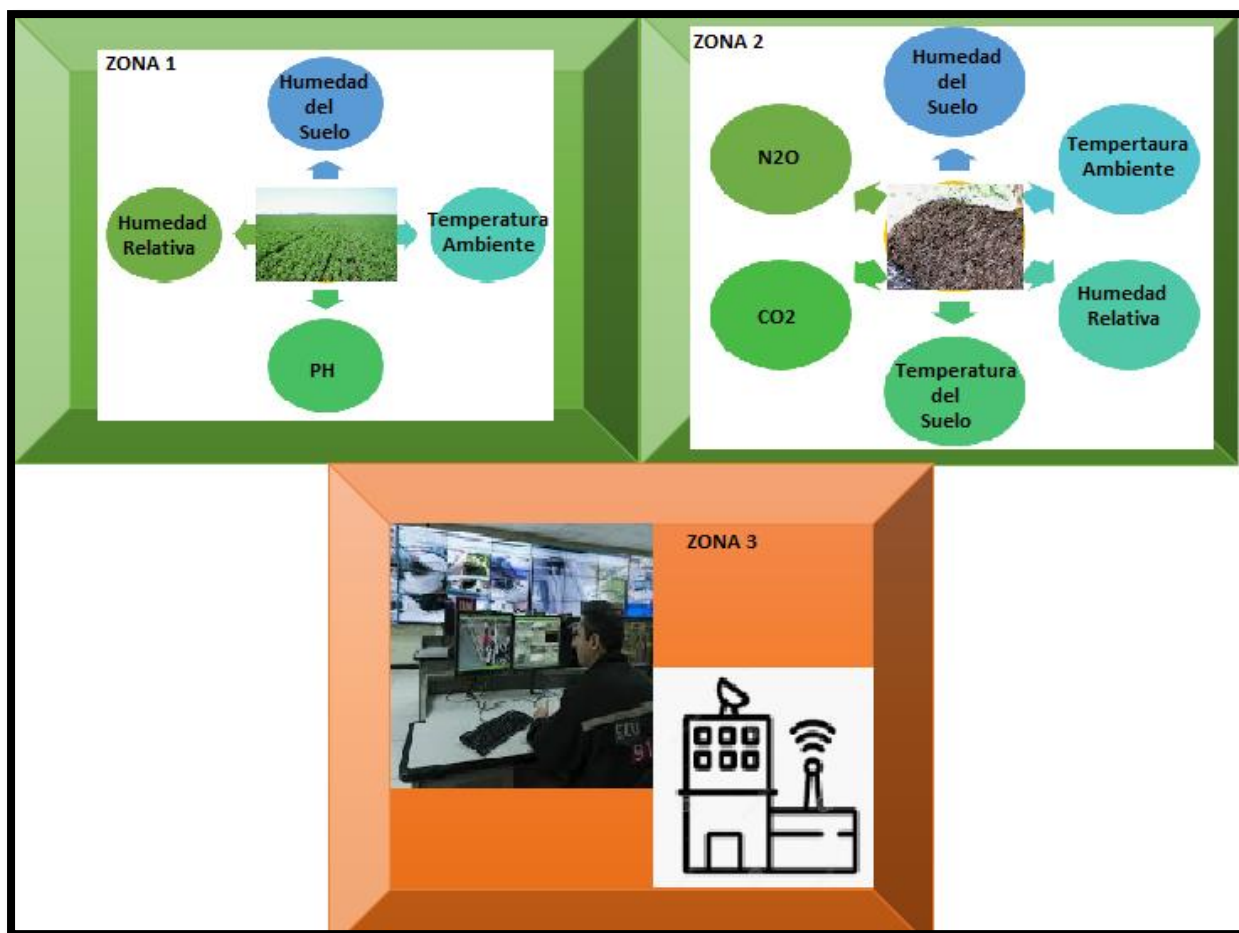


Figura 21. Distribución Zonal

### 3.2.2. Definición de Acrónimos y Abreviaturas

En la *Tabla 5*, se muestran los acrónimos y abreviaturas que se utilizan con frecuencia para tener un mayor entendimiento y manejo de estos términos.

*Tabla 5. Términos abreviados y acrónimos usados durante el análisis de requerimientos.*

Acrónimos y abreviados	Descripción
StSR	Requerimientos de Stakeholders
SySR	Requerimientos del sistema
SRSR	Requerimientos de Hardware y Software

Fuente: (Barreto, 2014)

### 3.3. REQUERIMIENTOS

Para este proyecto los requerimientos del sistema se establecen en base al estándar ISO/IEC/IEEE 29148:2011, ya que es un estándar completo que brinda normas para la aplicación de los requisitos y procesos relacionados con los que se van a implementar; específicamente se utiliza para la implementación de sistemas y productos de software y servicios a lo largo del ciclo de vida.

Los criterios que se tuvieron en cuenta para determinar la prioridad de los requerimientos del proyecto fueron la importancia para el usuario, el rendimiento del sistema, el riesgo para el diseño y la implementación del presente proyecto.

Los stakeholders son el conjunto de las partes interesadas del proyecto. En la *Tabla 6*, se describen los stakeholders que desempeñan un papel diferente de grado de responsabilidad y compromiso, buscando una manera correcta para que el trabajo sea satisfactorio.

*Tabla 6. Lista de Stakeholders del proyecto.*

<b>Stakeholders</b>
1. Granja “La Pradera”
2. Comunidad Agrícola
3. Ing. Edgar Maya-Director del presente trabajo de titulación
4. Srta. Andrea Domínguez-Desarrolladora del Proyecto

*Fuente:* Autoría.



### 3.3.1. Requerimientos operacionales y de usuario

Antes del diseño del sistema es necesario considerar ciertos requerimientos necesarios por parte de los stakeholders, como también los requerimientos para el funcionamiento correcto del sistema. La *Tabla 7*, muestra especificaciones que son indispensables para identificar los requisitos del desarrollo de pruebas o implementación, en base a la encuesta realizada (véase, *ANEXO 1*).

*Tabla 7. Requerimientos de Stakeholders del sistema.*

<b>StSR</b>					
#	Requerimiento	Prioridad			Relación
		Alta	Media	Baja	
<b>REQUERIMIENTOS OPERACIONALES</b>					
<b>StSR 1</b>	El sistema debe implementarse en el lugar donde se encuentra el cultivo y la materia orgánica.	X			
<b>StSR 2</b>	El sistema debe presentar bajo consumo de energía.	X			
<b>StSR 3</b>	Conectividad a Internet		X		
<b>StSR 4</b>	Disponer del dispositivo para la visualización de los datos.	X			
<b>REQUERIMIENTOS DE USUARIO</b>					
<b>StSR 5</b>	Los datos deben ser mostrados en un formato adecuado para el usuario	X			
<b>StSR 6</b>	Los datos deben ser mostrados en un lugar visible para el usuario.	X			

*Fuente:* Autoría.

### 3.3.2. Requerimientos iniciales del sistema

Los requerimientos iniciales hacen referencia a todas las funcionalidades que debe tener el sistema, comprenden los requisitos de uso, las interfaces, los modos, estados y físicos; los

cuales se muestran en la *Tabla 8*, teniendo en cuenta que de esta manera se puede identificar claramente lo que se necesita para el sistema.

*Tabla 8. Requerimientos funcionales del sistema.*

<b>SySR</b>					
#	Requerimiento	Prioridad			Relación
		Alta	Media	Baja	
<b>REQUERIMIENTOS DE INTERFAZ</b>					
<b>SySR 1</b>	Es necesario ingresar a la plataforma de almacenamiento para visualizar los datos.	X			
<b>SySR 2</b>	Comunicación a través del puerto serial del sistema embebido con una placa para disminuir el procesamiento.	X			
<b>SySR 3</b>	Pines de entrada y salida de información del sistema embebido.	X			
<b>REQUERIMIENTOS DE USO</b>					
<b>SySR 4</b>	El sistema debe estar energizado.	X			
<b>REQUERIMIENTOS DE MODOS/ESTADO</b>					
<b>SySR 5</b>	El sistema debe estar en funcionamiento todo el tiempo.	X			
<b>REQUERIMIENTOS FÍSICOS</b>					
<b>SySR 6</b>	Los nodos deben estar ubicados a una altura considerable con respecto al suelo, para evitar interferencias en la transmisión.	X			
<b>SySR 7</b>	El sensor de humedad del suelo debe ser ubicado a una profundidad considerable con respecto a la raíz del cultivo de alfalfa.	X			

*Fuente:* Autoría.

### 3.3.3. Requerimientos iniciales de arquitectura

En la *Tabla 9*, se muestra los requerimientos funcionales, donde se incluyen los requisitos de diseño, de software, de hardware y eléctricos; ayudando posteriormente en la elección de los componentes de software y hardware que serán parte del sistema.

*Tabla 9. Requerimientos de arquitectura del sistema.*

<b>SRSH</b>					
#	Requerimiento	Prioridad			Relación
		Alta	Media	Baja	
<b>REQUERIMIENTOS DE SOFTWARE</b>					
<b>SRSH 1</b>	El software de programación debe ser compatible con la placa de desarrollo a elegir.	X			
<b>SRSH 2</b>	Contar con disponibilidad de librerías entre los módulos y la placa de procesamiento.	X			
<b>SRSH 3</b>	Sistema operativo y lenguaje de programación de código abierto.	X			
<b>REQUERIMIENTOS DE HARDWARE</b>					
<b>SRSH 4</b>	Sensores capaces de detectar los gases de efecto invernadero.	X			
<b>SRSH 5</b>	Sensores que trabajen en ambientes externos.	X			
<b>SRSH 6</b>	Capacidad de procesar rápidamente los datos recolectados.	X			

---

<b>SRSH 7</b>	Sistema embebido que soporte el tratamiento de información en tiempo real.	X	
<b>SRSH 8</b>	Se requiere de un bajo consumo de energía de los módulos de comunicación inalámbrica.	X	
<b>SRSH 9</b>	El tamaño de los elementos que conforman los nodos debe ser de tamaño reducido.	X	
<b>SRSH 10</b>	Debe existir disponibilidad de los dispositivos en el mercado local a un precio asequible.	X	

#### **REQUERIMIENTOS ELÉCTRICOS**

<b>SRSH 11</b>	Fuente de voltaje de 5V.	X	
----------------	--------------------------	---	--

#### **REQUERIMIENTOS DE DISEÑO**

<b>SRSH 12</b>	Implementación de un sistema de bajo costo.	X	
----------------	---	---	--

---

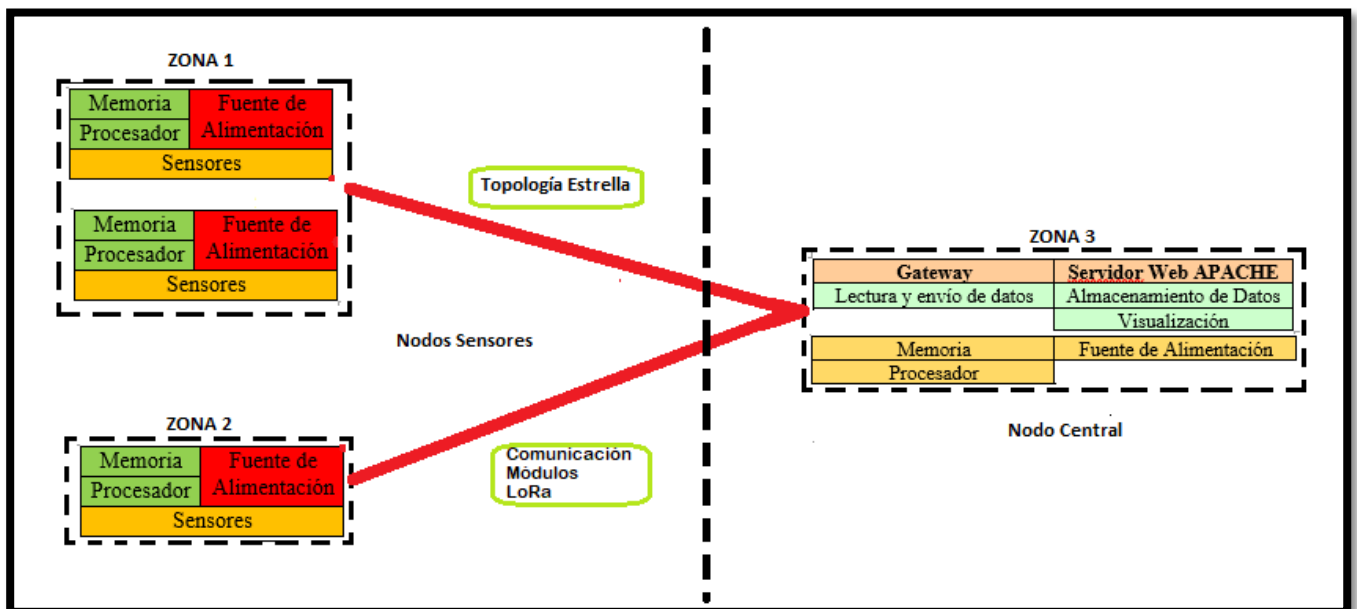
*Fuente:* Autoría.

### **3.4. FASE 2: Diseño del prototipo**

Una vez concluida la etapa de análisis en donde se determinó la situación actual de la Granja “La Pradera” y, además con la ayuda de las encuestas realizadas a personas involucradas en el área de agricultura se pudo determinar los requerimientos técnicos y operacionales que necesita el proyecto para su funcionamiento. Por lo que a continuación, para iniciar con la fase de diseño se da a conocer la topología de la red por medio de un diagrama de bloques, seguido de la elección de los componentes del hardware y software y finalmente el desarrollo y la ubicación de los nodos.

### 3.4.1. Diagrama de bloques general

En la *Figura 22*, se muestra el diagrama de bloques del funcionamiento del sistema electrónico propuesto, además de las partes que llevará cada bloque y cómo van a estar interconectadas. Como se explicó en la *Sección 3.2.1.3*, se propone dividir al proyecto en zonas tal como se muestra a continuación: la *Zona 1*, comprende al área de cultivo de alfalfa, la *Zona 2*, se considera la porción de compost orgánico y la *Zona 3*, siendo el área de interpretación de los datos sensados.

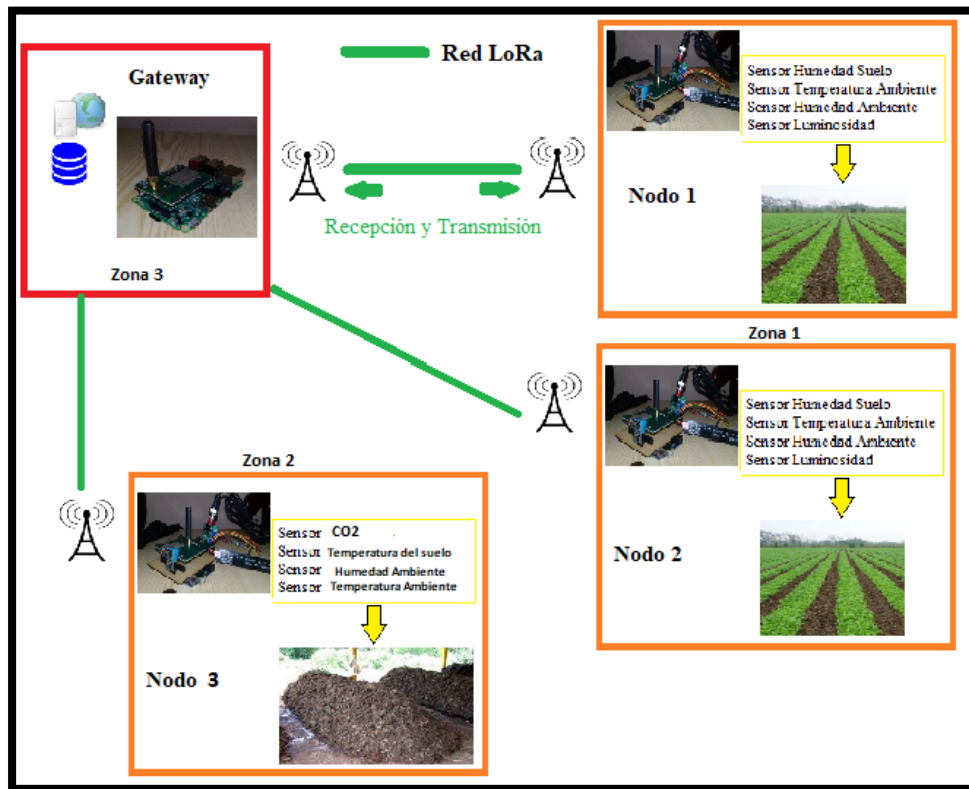


*Figura 22.* Diagrama de Bloques del Sistema.

### 3.4.2. Topología de la red

Los aspectos relevantes que se toman en cuenta para la elección de la topología de la red son: el consumo de energía y el ambiente de trabajo; por lo que al tratarse de un ambiente al aire libre la posibilidad de tener obstáculos es mínima, para lograr una comunicación inalámbrica exitosa, además, los nodos deben tener autonomía energética, por lo que se requiere un bajo consumo de energía.

Según (Allience, 2015) la arquitectura de red LoRaWAN se implementa únicamente en una topología de estrella, debido a que los nodos sensores pueden trabajar en modo sleep cuando no tengan que transmitir datos, lo que permite tener un consumo de energía mínimo. En la *Figura 23*, se muestra la topología en estrella que se va a utilizar en este proyecto.



*Figura 23.* Topología de la Red.

### 3.5. Elección de hardware y software para el sistema.

Una vez establecido el diagrama de bloques del sistema y la topología de red a desarrollarse se procede a la elección de hardware y software en base a los requerimientos tratados (véase, *Sección 3.3*), mediante tablas comparativas entre los diferentes sistemas embebidos que pueden cubrir todos o la mayoría de los requerimientos asignándose una valoración de 0 y 1 (1: cumple o 0: no cumple), eligiendo el que mayor valoración obtenga.

### 3.5.1. Elección de Hardware

En esta sección se determina los componentes generales del proyecto con el fin de optimizar la distribución de los recursos de hardware, por lo cual, se estableció dividir en zonas sobre el área de desarrollo del sistema tal como fue descrita en la *Sección 3.2.1.4*.

#### 3.5.1.1. Zona 1

La *Zona 1* se refiere específicamente al cultivo de alfalfa, por lo cual como primer componente se elige el microcontrolador que procese los datos recolectados de los nodos sensores, en base a los requerimientos mencionados en la *Sección 3.3.3*. La *Tabla 10*, muestra las diferentes opciones que pueden ser idóneas para este proyecto.

*Tabla 10. Selección del microcontrolador en la Zona 1.*

Hardware	Requerimientos				Valoración
	SRSH 6	SRSH 9	SRSH 10	SRSH 11	Total
Arduino Uno	1	1	1	1	4
Arduino Mega	1	0	1	1	3
1-Cumple					
0-No Cumple					
<b>Elección:</b> Arduino Uno					

*Fuente:* Autoría.

Mediante el análisis realizado en la *Tabla 10*, se obtiene que el microcontrolador que cumple con la mayor parte de requerimientos que necesita el proyecto es el Arduino Uno ya que cuenta con un tamaño reducido (8cm x 5cm) y un bajo consumo energético (48mA) aptos para el desarrollo del sistema; en comparación con el Arduino Mega el cual tiene un mayor tamaño físico (10cm x 5.5cm) y mayor consumo energético (96mA). Las características básicas del dispositivo seleccionado se muestran en la *Sección 3.6.2* y a detalle en el Datasheet en el *ANEXO 3*.

Entre las dos zonas se tiene un medio inalámbrico de comunicación para el envío y recepción de datos de manera constante. La *Tabla 11*, muestra la selección del hardware de comunicación inalámbrica relacionada con los requerimientos del sistema.

*Tabla 11. Selección del hardware de comunicación inalámbrica de la zona 1.*

Hardware	Requerimientos				Valoración
	SRSH 8	SRSH 9	SRSH 10	SRSH 11	Total
<b>RN2483</b>	1	1	1	1	4
<b>SX1276</b>	1	0	0	1	2
1-Cumple					
0-No Cumple					
<b>Elección:</b> Módulo RN2483					

*Fuente:* Autoría.

De acuerdo con la *Tabla 11*, el módulo RN2483 recibe la mayor puntuación al cumplir con todos los requerimientos que necesita el sistema, como son: su tamaño reducido (2.8cm x 1.7cm), su frecuencia de operación (868MhZ), su disponibilidad en el mercado nacional y su alta sensibilidad de recepción (-148dBm) ayuda a captar señales con un bajo nivel de potencia para alcanzar mayor cobertura, siendo eficiente para el desarrollo del proyecto (Range & Technology, 2019); a diferencia del módulo SX1276 el cual tiene un mayor tamaño (4.5cm x 2.5cm) y una baja sensibilidad de recepción (-120dBm). Las características básicas del dispositivo seleccionado se muestran en la *Sección 3.6.3*.

El sensor de humedad del suelo es un parámetro importante a medir para el desarrollo de la planta de alfalfa, por lo cual la *Tabla 12* muestra los diferentes modelos que pueden llegar a ser parte del sistema.



Tabla 12. Selección del sensor de humedad del suelo de la Zona 1.

Hardware	Requerimientos				Valoración
	SRSH 5	SRSH 9	SRSH 10	SRSH 11	Total
<b>Sensor Capacitivo</b>	1	1	1	1	4
<b>Sensor YL-69</b>	1	1	0	1	3
1-Cumple					
0-No Cumple					
<b>Elección:</b> Sensor Capacitivo					

Fuente: Autoría.

Mediante el análisis realizado en la *Tabla 12*, se obtiene que el sensor que cumple con todos los requerimientos que necesita el proyecto para su funcionamiento es el sensor capacitivo ya que cuenta con un tamaño reducido (9.8cm x 2.3cm), un bajo consumo energético (35mA) y una alta resistencia a la corrosión, apta para el desarrollo del sistema; en relación con el sensor YL-69 el cual tiene un mayor tamaño (12cm x 4cm) y un mayor consumo energético (42mA). Las características básicas del dispositivo seleccionado se muestran en la *Sección 3.6.4*.

Por otro lado, el sensor de temperatura y humedad relativa es otro parámetro a ser medido dentro de la *Zona 1*, por lo cual en la *Tabla 13*, se muestra los diferentes tipos de sensores que existen en el mercado.

Tabla 13. Selección del sensor de humedad y temperatura de la Zona 1.

Hardware	Requerimientos				Valoración
	SRSH 5	SRSH 9	SRSH 10	SRSH 11	Total
<b>Sensor DHT-11</b>	1	1	1	1	4
<b>Sensor LM35</b>	1	1	0	0	2
1-Cumple					
0-No Cumple					
<b>Elección:</b> Sensor DHT-11					

Fuente: Autoría.

En base a la *Tabla 13*, el dispositivo que obtiene la valoración más alta es el sensor de temperatura y humedad relativa DHT11, logrando cumplir con todos los requerimientos que necesita el proyecto para su funcionalidad, entre ellos se destacan el consumo de energía (1mA), el rango de medición de temperatura (0°C a 80°C) y la disponibilidad en el mercado nacional (Uk, 2010); en relación al sensor LM35 cuenta con un consumo de energía mayor (2mA), el rango de medición de temperatura (0°C a 40°C) y su disponibilidad en el mercado nacional es nula debido a su alto valor. Las características básicas del dispositivo seleccionado se muestran en la *Sección 3.6.5*.

El siguiente parámetro a medir es el de PH para conocer si el agua con la que se riega en el cultivo es alcalina o no. Por lo cual en la *Tabla 14*, se detallan los sensores que pueden cumplir con la función de determinar la alcalinidad de las plantas.

*Tabla 14. Selección del sensor de PH de la zona 1.*

Hardware	Requerimientos				Valoración
	SRSH 5	SRSH 9	SRSH 10	SRSH 11	Total
<b>Sensor PH 3500</b>	1	0	0	1	2
<b>Sensor PH-Básico</b>	1	1	1	1	4
1-Cumple					
0-No Cumple					
<b>Elección: Sensor PH-Básico</b>					

*Fuente:* Autoría.

Mediante el análisis realizado en la *Tabla 14*, se obtiene que el sensor que cumple con la mayor parte de requerimientos que necesita el proyecto para que funcione adecuadamente es el sensor de PH Básico, debido a que cuenta con un tamaño reducido (4.3cm x 3.2cm), un bajo consumo energético (25mA), un rango de medición de PH (0 a 14) y la disponibilidad en el mercado nacional a un bajo costo; en relación con el sensor PH Series 3500 el cual tiene un mayor tamaño (18cm x 5cm), un mayor consumo energético (35mA) y su disponibilidad en el mercado nacional es deficiente por su costoso valor. Las características básicas del dispositivo seleccionado se muestran en la *Sección 3.6.7*.

### 3.5.1.2. Zona 2

La *Zona 2* se refiere al compost orgánico el cual está conformado por un módulo de comunicación inalámbrica (RN2483), un microcontrolador, un sensor de humedad del suelo, un sensor de humedad relativa y temperatura ambiente, los cuales ya fueron elegidos anteriormente (véase, *Sección 3.5.1.1*), el sensor que se incluye a esta zona es el sensor de temperatura del suelo, por lo cual, en la *Tabla 15*, se muestra algunos modelos de este tipo que pueden funcionar en el proyecto.

*Tabla 15. Selección del sensor de temperatura del suelo de la zona 2.*

Hardware	Requerimientos				Valoración
	SRSH 5	SRSH 9	SRSH 10	SRSH 11	Total
Sensor SHT10	1	0	0	1	2
Sensor DS18B20	1	1	1	1	4

1-Cumple  
0-No Cumple  
**Elección:** Sensor DS18B20

*Fuente:* Autoría.

De acuerdo con la *Tabla 15*, el sensor DS18B20 recibe la mayor puntuación al cumplir con todos los requerimientos que necesita el sistema, como son: su tamaño reducido (0.06cm x 3.0cm), su rango de temperatura (-5°C a 125°C), su bajo consumo energético (1mA) y su disponibilidad en el mercado nacional a diferencia del sensor SHT10 el cual tiene un mayor tamaño (1.5cm x 3.5cm), su rango de temperatura (0°C a 120°C), su alto consumo energético (3mA) y la disponibilidad en el mercado nacional es baja por su elevado costo. Las características básicas del dispositivo seleccionado se muestran en la *Sección 3.6.6*.

Al ser una zona específica para la materia orgánica, influyen mucho los gases de efecto invernadero, teniendo que controlarlos para obtener una buena siembra y un ambiente libre de

contaminación, por lo cual se busca sensores que puedan medir las emisiones de CO<sub>2</sub>, a continuación, en la *Tabla 16*, se presentan algunas opciones que podrían servir para el desarrollo del sistema.

*Tabla 16. Selección del sensor de medición de gases de efecto invernadero de la zona 2.*

Hardware	Requerimientos				Valoración
	SRSH 4	SRSH 5	SRSH 9	SRSH 10	Total
Sensor MQ135	1	1	1	1	4
Sensor MG811	1	1	1	0	3

1-Cumple  
0-No Cumple

**Elección:** Sensor MQ135

*Fuente:* Autoría.

En base a la *Tabla 16*, el dispositivo que obtiene la máxima valoración en base a los requerimientos para el funcionamiento del sistema es el sensor MQ135, debido al rango máximo soportado para las concentraciones de CO<sub>2</sub> (10ppm a 400 ppm) y a su disponibilidad en el mercado nacional a un bajo costo; a diferencia del sensor MG811 que cuenta con un rango de concentración de CO<sub>2</sub> limitado (10ppm a 100ppm) y la disponibilidad en el mercado nacional de este dispositivo es escasa por su alto costo. Las características básicas del dispositivo seleccionado se muestran en la *Sección 3.6.8*.

### 3.5.1.3. Zona 3

La *Zona 3* se refiere al nodo central o gateway el cual está conformado por un módulo de comunicación inalámbrica RN2483, el cual ya fue elegido en la descripción de la *Zona 1*, el sistema embebido que se incluye en esta zona debe ser el encargado de enviar peticiones a los nodos y receptor la información para finalmente almacenarla en una base de datos, por lo cual en la *Tabla 17*, se muestran diferentes tipos de sistemas embebidos que pueden funcionar en el sistema.

Tabla 17. Selección del sistema embebido en la Zona 3.

Hardware	Requerimientos					Valoración
	SRSH 6	SRSH 7	SRSH 9	SRSH 10	SRSH 11	Total
Raspberry Pi 3	1	1	1	1	1	5
Intel Galileo	1	1	0	0	1	3

1-Cumple  
0-No Cumple  
**Elección:** Placa Raspberry Pi 3

Fuente: Autoría.

En base a la *Tabla 17*, la placa que cumple con todos los requerimientos para el funcionamiento del sistema es la Raspberry Pi 3, debido a que cuenta con un procesador potente (capaz de procesar información en tiempo real), memoria RAM (1GB) y un consumo de energía bajo (350mA); en relación en la placa Intel Galileo, la cual cuenta con una memoria RAM (256MB), y un consumo de energía alto (380mA). Las características básicas del dispositivo seleccionado se muestran en la *Sección 3.6.1*.

### 3.5.2. Elección de Software

El software a escoger debe tener relación en base a los aspectos definidos en la etapa de requerimientos (véase, *Sección 3.3*), de esta forma se garantiza un desempeño óptimo. De igual manera, como se realizó la elección del hardware del sistema (véase, *Sección 3.5.1*), la elección del software se lo realiza por zonas.

#### 3.5.2.1. Zona 1

Para la elección del software, los parámetros que intervienen deben cumplir con los requerimientos de la *Tabla 9*. Por lo cual, en la *Tabla 18*, se detallan diferentes tipos de software de programación que se pueden utilizar para el desarrollo de la *zona 1*.

Tabla 18. Comparativa de software disponibles de la zona 1.

Software	Requerimientos			Valoración
	SRSH 1	SRSH 2	SRSH 3	Total
Python	1	1	1	3
Arduino IDE	1	1	1	3

1-Cumple  
0-No Cumple

**Elección:** Arduino IDE

Fuente: Autoría.

A través de la *Tabla 18*, se da a conocer que las dos plataformas evaluadas cumplen con todos los requerimientos para el desarrollo del proyecto, sin embargo, debido a que la placa de procesamiento que prevaleció en la parte de Hardware (véase, *Sección 3.5.1.1*) es un Arduino Uno, se elige el software Arduino IDE para tener compatibilidad, además de ser una multiplataforma de código abierto.

### 3.5.2.2. Zona 2

El software a utilizar en la *Zona 2* es el mismo que se elige en la *Zona 1* (Arduino IDE), debido a que realiza la misma acción de procesar datos del sensado únicamente de la materia orgánica, a diferencia del cultivo de alfalfa.

### 3.5.2.3. Zona 3

Esta zona la conforma un sistema embebido principal, el cual debe procesar los datos enviados desde los nodos, almacenarlos en una base de datos y mostrarlos en una página web local, por lo que se busca un software que tenga capacidad de procesamiento alta, más aún que el de la *zona 1* y *2*. Los requerimientos de la *Zona 3* se pueden solucionar por medio de un sistema operativo montado en el sistema embebido (Raspberry Pi 3), en la *Tabla 19*, se muestra diferentes tipos de software que pueden funcionar.

Tabla 19. Comparativa de software disponibles de la zona 3.

Software	Requerimientos			Valoración
	SRSH 1	SRSH 2	SRSH 3	Total
<b>Ubuntu Mate</b>	1	1	1	3
<b>Windows</b>	1	0	0	1

1-Cumple  
0-No Cumple

**Elección:** Ubuntu Mate

Fuente: Autoría.

En base a la *Tabla 19*, se concluye que el software que cumple con todos los requerimientos para el funcionamiento del sistema es Ubuntu Mate, por su compatibilidad con la placa de procesamiento (Raspberry Pi 3) escogida en la *Sección 3.5.1.3*, además de contar con un sistema operativo de código abierto netamente para fines de programación, en relación con Windows, que es un sistema operativo con licencia de pago.

### 3.6. Hardware destinado para el sistema

Este sistema se conforma por una red de sensores inalámbricos, ubicados en la *zona 1* perteneciente al cultivo de alfalfa, la *zona 2* correspondiente al compost orgánico y finalmente la *zona 3* refiriéndose al nodo central. Para la elección de los componentes se lo realiza referenciando los requerimientos expuestos en la *Tabla 9*.

### 3.6.1. Sistema Embebido Raspberry Pi 3



Figura 24. Placa Raspberry Pi 3.  
Fuente: (ciencia, 2017)

La placa Raspberry PI 3, es una placa con cuatro núcleos y a la vez compacta como se muestra en la *Figura 24*, se escoge esta placa, debido a que tiene un procesador rápido, su precio es de \$60.00, haciéndolo asequible al usuario y además se encuentra disponible en el mercado nacional. A continuación, en la *Tabla 20*, se detallan las características destacadas de esta placa:

Tabla 20. Características de la Placa Raspberry Pi 3.

PARÁMETRO	CARACTERÍSTICAS
<b>Procesador</b>	Broadcom BCM 2837B0, Cortex-A53
<b>RAM</b>	1 GB
<b>CPU Clock</b>	1.4 GHz
<b>Voltaje de Entrada</b>	5 V/2.5A DC vía micro USB 5 V DC vía GPIO
<b>Micro SD</b>	Si
<b>Ethernet</b>	Si
<b>WiFi</b>	Si
<b>Puerto USB</b>	4 x 2.0
<b>Temperatura en Estado Operativo</b>	0-50°C
<b>Conectores</b>	40 pines GPIO

Fuente: Datasheet placa Raspberry Pi 3.



### 3.6.2. Microcontrolador Arduino UNO



Figura 25. Placa Arduino Uno.  
Fuente: (PanamaHitek, 2016)

La Figura 25, muestra la placa Arduino Uno, es una de las plataformas más usadas, ya que cuenta con un lenguaje propio, con su interfaz Arduino IDE. A continuación, en la Tabla 21, se detallan las características relevantes de la placa.

Tabla 21. Características principales del Arduino Uno.

PARÁMETRO	CARACTERÍSTICAS
<b>Microcontrolador</b>	Atmega328
<b>Voltaje de Entrada</b>	7-12 voltios
<b>Pines Input / Output</b>	14 (6 dan salida PWM)
<b>Entradas Analógicas</b>	6
<b>Velocidad de Reloj</b>	16 MHz
<b>EEPROM</b>	1 KB
<b>Memoria Flash</b>	32 KB (0.5 KB usados por el bootloader)
<b>SRAM</b>	2 KB

Fuente: Datasheet de la placa Arduino Uno.

### 3.6.3. Módulo de comunicación inalámbrica (RN2483)

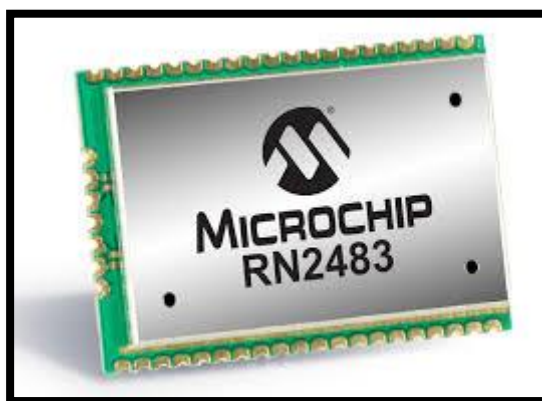


Figura 26. Módulo LoRaWAN RN2483.  
Fuente: (Components, 2015)

El módulo receptor LoRaWAN (RN2483) como se muestra en la *Figura 26*, es el idóneo para todos los nodos de este sistema de monitoreo debido al bajo consumo de transmisión de datos de manera inalámbrica y su largo alcance. El módulo trabaja en la banda de 868 MHz con muy poca interferencia, por esto son de fácil penetración ante paredes de ladrillo, árboles y cemento. En la *Tabla 22*, se detallan especificaciones y características importantes del módulo LoRaWAN.

Tabla 22. Características relevantes del módulo LoRaWAN.

ESPECIFICACIONES	CARACTERÍSTICAS
<b>Voltaje de alimentación operativo</b>	2.1 V a 3.6 V
<b>Consumo de Transmisión</b>	40 mA
<b>Consumo de corriente</b>	14.2 mA
<b>Banda de Frecuencia</b>	868 MHz
<b>Temperatura de trabajo máxima</b>	+85°C
<b>Temperatura de trabajo mínima</b>	-40°C
<b>Tipo de Interfaz de host</b>	UART
<b>Alcance</b>	20 Km con línea de vista

Fuente: Datasheet del Módulo RN2483

### 3.6.4. Sensor Capacitivo de humedad del suelo



Figura 27. Sensor Capacitivo de humedad del suelo.  
Fuente: (TOSTATRONIC, 2016)

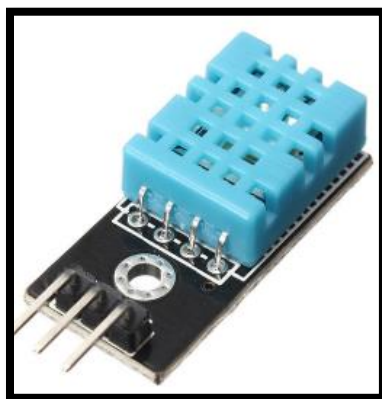
El Sensor Capacitivo como se muestra en la *Figura 27*, es un sensor de humedad simple que sirve para medir la humedad del suelo cuando exista falta de agua en el suelo, mediante detección capacitiva, en lugar de la detección resistiva que usan otros sensores. A continuación, en la *Tabla 23*, se muestra las características del sensor de humedad del suelo.

Tabla 23. Características del Sensor Capacitivo.

ESPECIFICACIONES	CARACTERÍSTICAS
<b>Tensión de Funcionamiento</b>	3.3 - 5VDC
<b>Tensión de Salida</b>	0 – 3 VDC
<b>Corriente de Operación</b>	5mA
<b>Dimensiones</b>	98x23mm
<b>Largo del Cable</b>	20cm
<b>Peso</b>	15g

Fuente: Datasheet del Sensor Capacitivo.

### 3.6.5. Sensor de temperatura ambiente y humedad relativa (DHT11)



*Figura 28.* Sensor de temperatura y humedad del suelo.  
Fuente: (EZELECTRONICS, 2016).

El sensor DHT-11 como se muestra en la *Figura 28*, dispone de un sensor de temperatura y humedad relativa con una señal digital de salida calibrada, es de alta confiabilidad y cuenta con una excelente estabilidad a largo plazo. En la *Tabla 24*, se detalla las características relevantes del sensor.

*Tabla 24.* Características del sensor DHT-11.

PARÁMETRO	CARACTERÍSTICAS
<b>Voltaje de Alimentación</b>	$3 \text{ Vdc} \leq V_{cc} \leq 5 \text{ Vdc}$
<b>Rango de temperatura</b>	De $0^{\circ}\text{C}$ a $50^{\circ}\text{C}$
<b>Precisión Temperatura</b>	$\pm 2^{\circ}\text{C}$
<b>Rango de Humedad</b>	De 20% a 90% RH
<b>Precisión de Humedad</b>	4% RH
<b>Tiempo de Respuesta</b>	1s
<b>Tamaño</b>	12 x 15.5 x 5.5mm

*Fuente:* Datasheet del sensor DHT-11.

### 3.6.6. Sensor de temperatura del suelo (DS18B20)



*Figura 29.* Sensor de Temperatura del Suelo DS18B20.  
Fuente: (Geek, 2016).

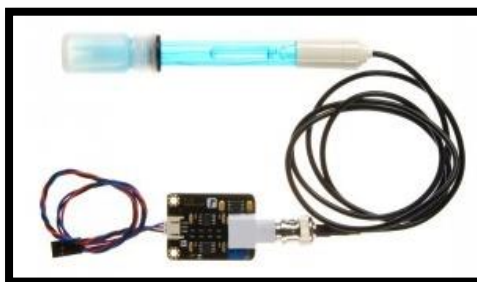
El sensor DS18B20 como se muestra en la *Figura 29*, es capaz de medir humedad y temperatura del suelo, cuenta con una protección hecha de acero inoxidable, especial para áreas externas expuestas a condiciones adversas. En la *Tabla 25*, se detallan las características destacadas del sensor de temperatura del suelo.

*Tabla 25. Características relevantes del sensor de temperatura del suelo.*

PARÁMETRO	CARACTERÍSTICAS
<b>Consumo medio</b>	0.15 Mw
<b>Interfaz</b>	Digital
<b>Rango de humedad</b>	0-100%RH
<b>Rango de Temperatura</b>	10-80°C
<b>Precisión (humedad)</b>	5%RH
<b>Precisión (temperatura)</b>	0.5°C
<b>Tamaño</b>	49mm x 14mm

*Fuente:* Datasheet del sensor DS18B20.

### 3.6.7. Sensor de PH



*Figura 30. Sensor PH.*  
Fuente: (Geek, 2016)

El sensor de PH mide la acidez o alcalinidad de una disolución. Su valor de respuesta será analógico proporcional a la medición, cuenta con un potenciómetro para la correcta calibración de la sonda, como se muestra en la *Figura 30*. Seguidamente, en la *Tabla 26*, se muestran las características destacadas del sensor de PH.

*Tabla 26. Características básicas del sensor de PH.*

<b>PARÁMETRO</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>
<b>Alimentación</b>	5V
<b>Rango de medición</b>	0-14 Ph
<b>Temperatura de medición</b>	0-60°C
<b>Precisión</b>	0.1 Ph
<b>Tiempo de Respuesta</b>	< 1 min

*Fuente:* Datasheet del sensor de PH.

### 3.6.8. Sensor de medición de gases de efecto invernadero (MQ135)



Figura 31. Sensor de medición de CO2  
Fuente: (Factory, 2016)

Como se muestra en la *Figura 31*, el sensor MQ-135, ayuda a la detección de gases tóxicos en el ambiente como el amoníaco, benceno, alcohol, entre otros, ayudando a tener el control de la calidad del aire; cuenta con un tiempo de respuesta rápido, es estable y de una larga vida. En la *Tabla 27*, se muestra las características relevantes de este sensor.

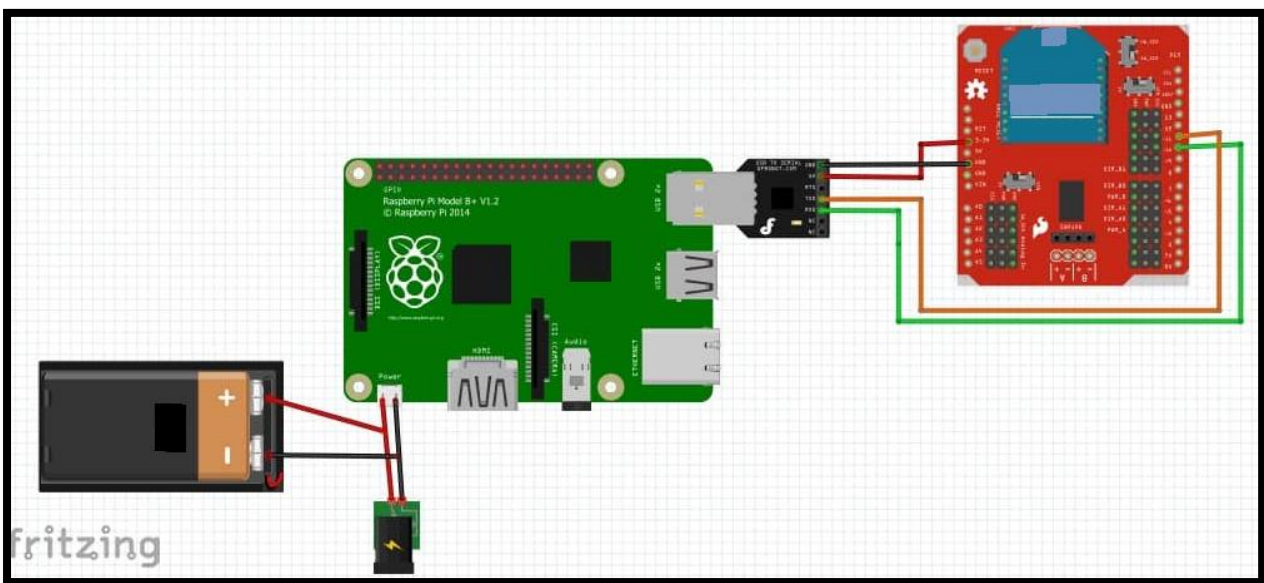
Tabla 27. Especificaciones técnicas del sensor MQ135.

SÍMBOLO	PARÁMETRO	CONDICIÓN TÉCNICA	OBSERVACIÓN
VC	Voltaje del circuito	5V	AC o DC
VH	Voltaje de Calentamiento	5V	AC o DC
RH	Humedad Relativa	< 95%RH	-
PH	Consumo de Calefacción	<800mW	-
Tao	Temperatura de uso	-10°C -45°C	-
Rs	Resistencia a superficies sensibles	30k-200k Ohmios	100ppm en Amoníaco

Fuente: Datasheet de sensor MQ-135.

### 3.7. Nodo Central

El nodo central es el encargado de comunicarse con cada uno de los nodos sensores, además, es el responsable de realizar el procesamiento, almacenamiento y visualización de datos con el servidor. En la *Figura 32*, se muestra el diagrama circuital, integrado por una placa de procesamiento Raspberry Pi 3, un módulo de comunicación LoRaWAN, un módulo USB-UART y una fuente de energía.

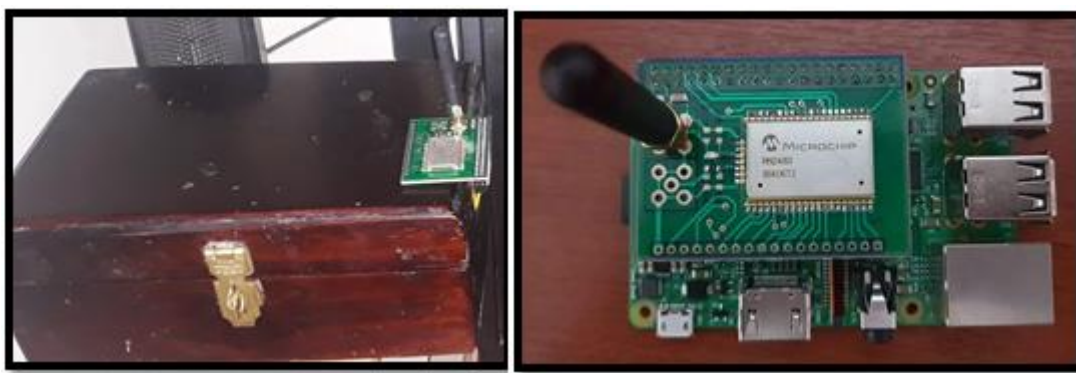


*Figura 32.* Diagrama Circuital del Nodo Central.

El módulo LoRaWAN, es el encargado de comunicarse inalámbricamente con los nodos sensores mediante tecnología LPWAN (Low Power Wide Area Network), la placa de procesamiento Raspberry Pi 3 se conecta al módulo LoRaWAN por medio del puerto USB realizando comunicación UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter), además se encarga de procesar los datos monitoreados y almacenarlos en una base de datos para su posterior visualización en una página web local, la fuente de alimentación va a estar conectada permanentemente a un banco de baterías para evitar la pérdida de información.



Estos componentes pueden acoplarse entre ellos, primero va el módulo de comunicación LoRaWAN y por debajo va la placa Raspberry Pi para un correcto funcionamiento. En la *Figura 33*, se muestra el montaje del nodo central, realizado en una caja de madera con medidas de 15x10x8 centímetros para proteger a los dispositivos electrónicos de alguna manera de la manipulación, el polvo o el agua, además de adecuarla con los orificios necesarios tanto para la alimentación eléctrica, la antena del módulo de comunicación LoRaWAN y el cable HDMI para la conexión a una pantalla.



*Figura 33.* Vista Interior y Exterior del Nodo Central.

### 3.7.1. Cálculos de Alimentación Eléctrica

Para que el nodo central encienda, se requiere de una alimentación eléctrica, por ello en la *Tabla 28*, se muestra el consumo de cada elemento que conforma el nodo, para obtener un número exacto de consumo y añadirle una batería de litio para backup.

*Tabla 28.* Consumo de energía del nodo central.

<b>Dispositivo</b>	<b>Modo Normal (mA)</b>	<b>Modo Dormido (mA)</b>
<b>Raspberry Pi 3</b>	350mA	230mA
<b>Módulo de comunicación LoRaWAN</b>	40mA	14.2mA
<b>TOTAL</b>	390 mA	244.2mA

La *Ecuación 2* permite calcular el consumo de corriente que tiene el nodo. Dónde: *Tcn*, es el tiempo de consumo normal y el valor con el que se trabaja es de 30 segundos, *Tcd*, representa el tiempo de consumo dormido y su valor es de 5 segundos, *Icn*, corresponde a la intensidad de la corriente de consumo normal con un valor de 390 mA y finalmente *Icd*, es la intensidad de corriente de consumo dormido con el valor de 244.2 mA, en base a los dispositivos expuestos en la *Tabla 28*.

$$\text{Consumo} = \frac{Tcn * Icn + Tcd * Icd}{Tcn + Tcd} \quad \text{Ec. 2}$$

Ahora se reemplazan los valores en la *Ecuación 2*:

$$\text{Consumo} = \frac{5 * 390 + 30 * 244.2}{5 + 30}$$

$$\text{Consumo} = 265,03 \text{ mA}$$

La batería que se escogió para la alimentación del nodo central es de 5V a 3000 mAh, ahora se procede a calcular el tiempo de descarga.

$$\text{Tiempo de descarga} = \frac{\text{Capacidad de la Bateria}}{\text{Consumo}}$$

$$\text{Tiempo de Descarga} = \frac{3000 \text{ mAh}}{265.03 \text{ mA}}$$

$$\text{Tiempo de Descarga} = 11 \text{ horas.}$$

### 3.7.2. Diagrama de flujo Nodo Central

Este aparatado pretende ilustrar de manera general el funcionamiento del nodo central, acorde al diagrama de flujo de la *Figura 34*. Al iniciar, el nodo inicializa las variables y la

comunicación con las diferentes plataformas, posteriormente envía peticiones a los nodos sensores para que puedan tener una comunicación y receptor los datos del monitoreo para almacenarlos en la base de datos.

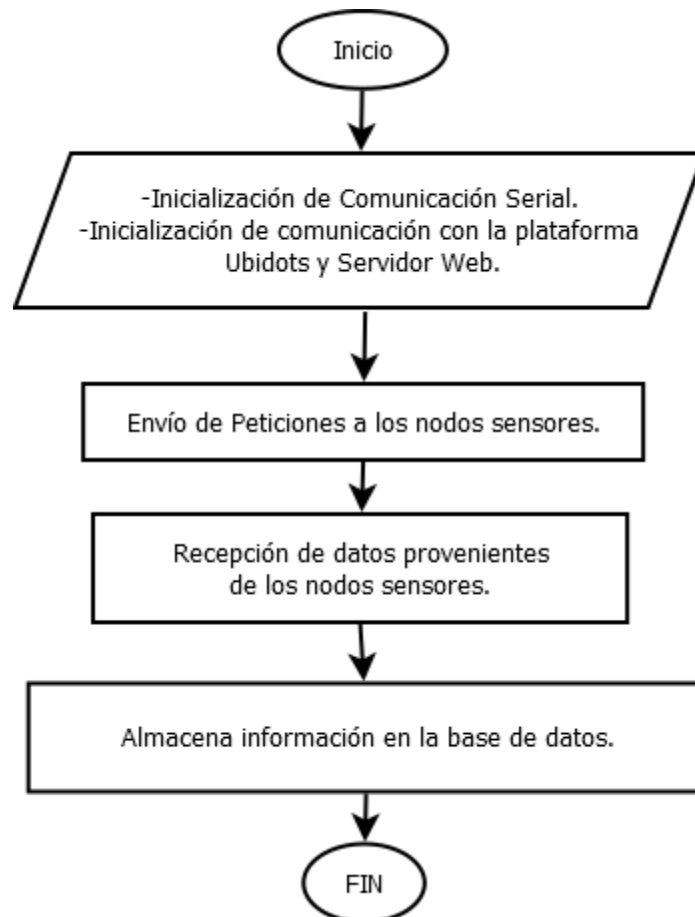


Figura 34. Diagrama de Flujo del Nodo Central.

### 3.8. Nodos Sensores

Los nodos sensores son los encargados de adquirir los datos provenientes del monitoreo y transmitirlos hacia el nodo central para que se pueda almacenar la información en la base de datos. Los nodos sensores se componen de sensores de temperatura, humedad relativa, temperatura del suelo, PH y gases de efecto invernadero, una placa de procesamiento Arduino Uno, un módulo de comunicación LoRaWAN, y una fuente de energía, como muestra el diagrama circuitual de la *Figura 35*.

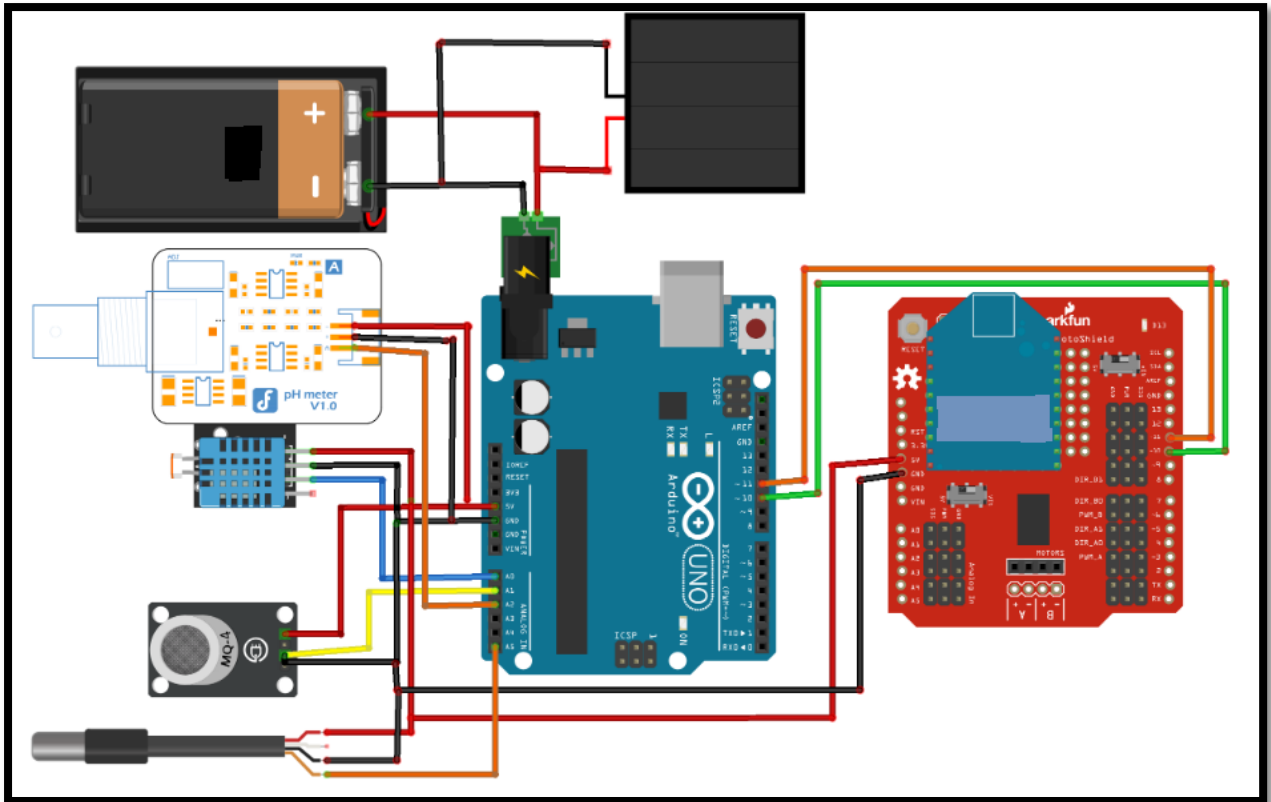


Figura 35. Diagrama Circuital del Nodo Sensor.

Los sensores miden diferentes parámetros tanto para el cultivo de alfalfa como para el compost orgánico, la placa Arduino Uno procesa los datos enviados por los sensores y el módulo LoRaWAN realiza la comunicación inalámbrica con el nodo central para el envío de información.

Para que los sensores funcionen correctamente se opta por realizar una placa o Shield que se acople a la placa Arduino mediante el software Eagle como se muestra en la *Figura 36*, el cual es un programa de diseño de placas de circuito impreso (PCB). Los componentes que contienen los Shield son los sensores y los conectores hembra.



### 3.8.1. Cálculos de Alimentación Eléctrica

Para la alimentación de los nodos sensores se escogió baterías Litio de 5V a 3000 mAh, teniendo en cuenta las características de la batería, los cálculos de vida útil son los que se detalla en la *Tabla 29*.

*Tabla 29. Consumo de dispositivos de un nodo sensor.*

Elemento	Modo Normal (mA)	Modo Dormido (mA)
Sensor dth11	1mA	1
Arduino Uno	46mA	46mA
Sensor Ph	25mA	-
Módulo LoRaWAN	40mA	14.2mA
Sensor DS18B20	1 mA	-
MQ-135	150 mA	-
Sensor Capacitivo	35mA	-
<b>TOTAL</b>	<b>298mA</b>	<b>61.2mA</b>

La *Ecuación 3* permite calcular el consumo de corriente que tiene el nodo sensor. Dónde:  $T_{cn}$ , es el tiempo de consumo normal siendo 30 segundos,  $T_{cd}$ , representa el tiempo de consumo dormido con un valor de 5 segundos,  $I_{cn}$ , corresponde a la intensidad de la corriente de consumo normal, su valor es de 298mA y finalmente  $I_{cd}$ , es la intensidad de corriente de consumo dormido con un valor de 61.2 mA, en base a los dispositivos expuestos en la *Tabla 29*.

$$\text{Consumo} = \frac{T_{cn} * I_{cn} + T_{cd} * I_{cd}}{T_{cn} + T_{cd}} \quad \text{Ec.3}$$

Ahora se reemplaza los valores en la *Ecuación 3*:

$$\text{Consumo} = \frac{5 * 298 + 30 * 61.2}{5 + 30}$$

$$\text{Consumo} = 95.03 \text{ mA}$$

Las baterías que se escogió para la alimentación de los nodos sensores son de Litio de 5V a 3000 mAh, ahora se procede a calcular el tiempo de descarga.

$$\text{T tiempo de descarga} = \frac{\text{Capacidad de la Bateria}}{\text{Consumo}}$$

$$\text{T tiempo de Descarga} = \frac{3000\text{mAh}}{95.03 \text{ mA}}$$

$$\text{T tiempo de Descarga} = 31 \text{ horas}$$

### 3.8.2. Diagrama de flujo Nodos Sensores

Este apartado pretende ilustrar de manera general el funcionamiento de los nodos sensores, acorde al diagrama de flujo de la *Figura 38*, en un principio el nodo realiza el proceso de inicialización de variables, comunicación serial y las respectivas librerías de los sensores, posteriormente realiza la recepción de la petición proveniente del Gateway, consecutivamente, la adquisición de los datos provenientes de los sensores, generando la trama de comunicación LoRaWAN para finalmente, enviar los datos al Gateway.

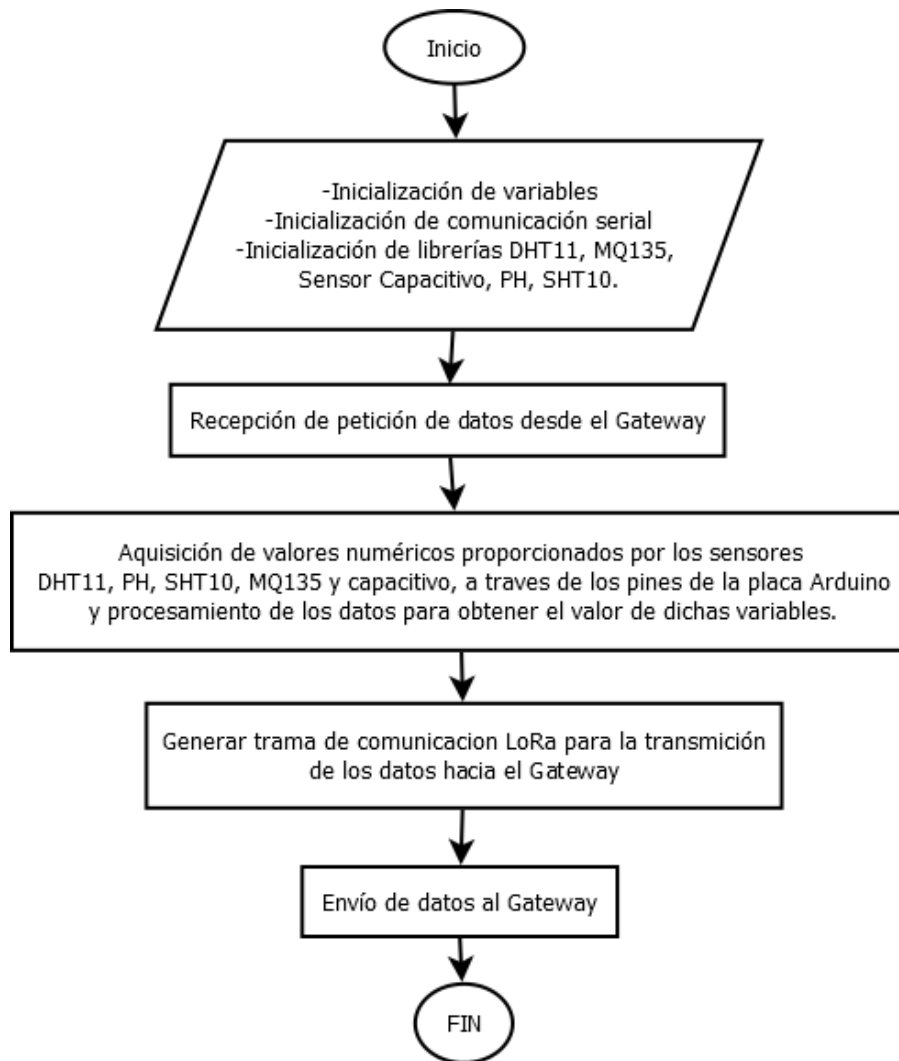


Figura 38. Diagrama de flujo de las funciones del nodo sensor.

### 3.8.3. Ubicación de los Nodos Sensores

En este apartado se definen los lugares en los que deben ir ubicados los nodos sensores y el nodo central, tanto para el cultivo de alfalfa y la materia orgánica. Se toma en cuenta los parámetros establecidos en el análisis de requerimientos (véase, *Sección 3.3*) y de esta manera tener un sistema con un funcionamiento adecuado.

A continuación, con la ayuda de un GPS portátil, se realiza la medición del área de estudio y se logra obtener las coordenadas geográficas (véase, *Tabla 30*), donde se ubicarán los nodos sensores en la Granja “La Pradera”. El área del cultivo de alfalfa para el desarrollo

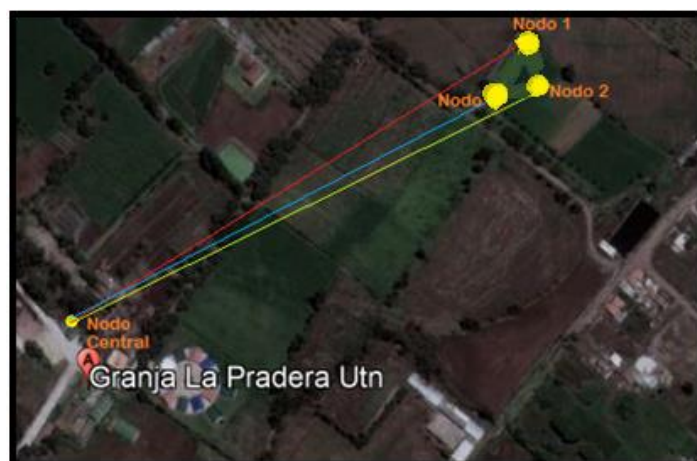


del sistema es de  $360\text{m}^2$  y el área de la materia orgánica es de  $9\text{m}^2$ . Ahora, se procede a simular la zona por medio de la herramienta de Google Earth como se muestra en la *Figura 39*. Para visualizar que se tiene línea de vista y la zona de fresnel entre los nodos, véase la *Sección 3.8.3.1*.



*Figura 39.* Línea de vista entre el nodo central y nodo sensor.  
Fuente: Obtenido de Google Earth.

La *Figura 40*, muestra la ubicación de los nodos sensores para cubrir la extensión del terreno del cultivo de alfalfa; además, el nodo central se encuentra en la oficina de los docentes a 425m del cultivo.



*Figura 40.* Ubicación del nodo central y nodos sensores en el cultivo dentro de la granja “La Pradera”.  
Fuente: Obtenido de Google Earth

En la *Figura 41*, se muestra la extensión del terreno entre la materia orgánica y el nodo central, estando ubicado en la oficina de los docentes a 107m, gracias a la herramienta de Google Earth.



*Figura 41.* Ubicación del nodo central y nodo sensor de materia orgánica dentro de la granja “La Pradera”.

Fuente: Obtenido de Google Earth

Antes de iniciar con la simulación del radioenlace, se realizan pruebas de alcance con los módulos LoRaWAN, logrando alcanzar un máximo de 1,6 kilómetros de cobertura con señal continua en un ambiente urbano, por lo cual la distancia entre el cultivo y la materia orgánica con respecto al nodo central se la puede monitorear sin ningún problema ya que están dentro del área de cobertura alcanzado.

- **Simulación Radio Mobile**

Para diseñar radioenlaces punto a punto, se hace uso del software de simulación Radio Mobile, que además ayuda a observar los datos de elevación, zona de fresnel, la curvatura de la tierra y la altura requerida para despejar los obstáculos.

Radio Mobile se basa en el modelo Okumura-Hata para el cálculo del enlace, siendo un modelo de propagación diseñado para estimar el alcance de comunicaciones inalámbricas, que trabaja dentro del rango de frecuencia de 150MHz a 1500 MHz, además ayuda a obtener los

valores de pérdidas. A continuación, se muestra el valor de pérdidas de un enlace entre un nodo del cultivo de alfalfa y nodo central.

La *Ecuación 4* muestra el modelo Okumura Hata, donde,  $f_c$ , es la frecuencia de la portadora valor que debe estar en Mhz,  $h_{te}$ , corresponde a la altura de la antena transmisora la cual debe estar en metros,  $h_{re}$ , es la altura de la antena receptora la cual debe estar de igual manera en metros,  $a(h_{re})$ , representa el factor de corrección por la altura efectiva que es función del tipo de área de servicio y finalmente  $d$ , es la distancia entre el transmisor y receptor en kilómetros.

$$L(\text{Urbano})(dB) = 69.55 + 26.16 \log f_c - 13.82 \log h_{te} - a(h_{re}) + (44.9 - 6.55 \log d) \quad \text{Ec. 4}$$

En base a la *Ecuación 4*, se deben tener en cuenta algunas restricciones al momento de reemplazar valores, siendo estas, la frecuencia de la portadora ( $f_c$ ) debe estar únicamente dentro del rango de 150MHz a 1500MHz, además, la altura de la antena transmisora ( $h_{te}$ ) debe estar entre 30m a 200m y finalmente la altura de la antena receptora ( $h_{re}$ ) debe tener entre 1m a 10m.

Reemplazando valores propios del sistema, en la *Ecuación 4* se tiene que  $f_c$  tiene un valor de frecuencia de 868 MHz, debido a que los módulos LoRaWAN RN2483 trabajan únicamente con esta frecuencia,  $h_{te}$  la altura de la antena transmisora cuenta con un valor de 4.5 metros,  $h_{re}$  la altura de la antena receptora tiene un valor de 4.5 metros,  $a(h_{re})$  el factor de corrección tiene un valor de 5,08 y  $d$  la distancia total del enlace es de 0.425 kilómetros.

$$L(dB) = 69.55 + 26.16 \log(868) - 13.82 \log(4.5) - 5.08 + 44.9 - 6.55 \log(0.425)$$

$$L = 87,5dB$$

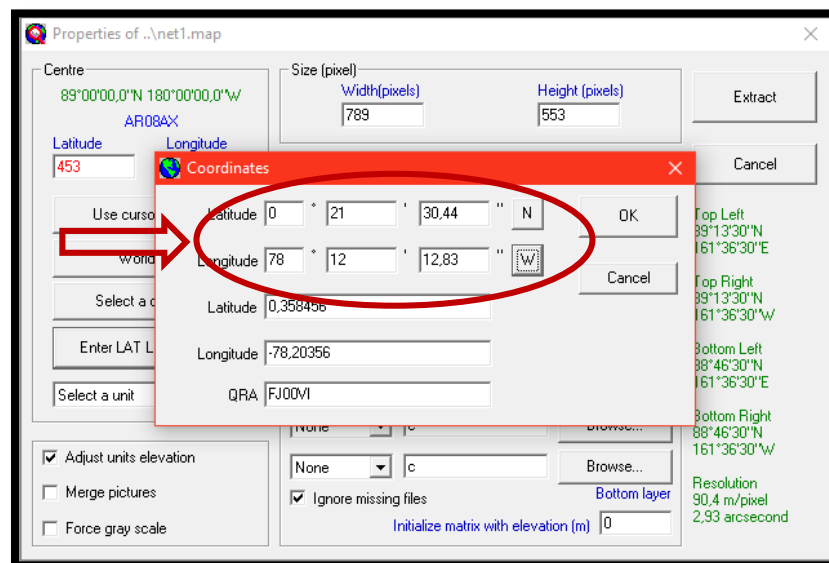
Con respecto a la *Ecuación 4*, se tiene un valor de pérdida de 87.5 dB, este valor se lo compara con la simulación en Radio Mobile (véase, *Figura 47*) para comprobar que el nivel de pérdida por medio de la ecuación del modelo de Okumura Hata y la simulación en Radio Mobile es correcta. Por otra parte, para continuar con la simulación se muestra en la *Tabla 30*, las coordenadas de cada nodo, obtenidas por medio de un GPS portátil durante la visita de campo a la Granja.

*Tabla 30. Coordenadas Geográficas*

Coordenadas Geográficas	Nodo 1	Nodo 2	Nodo 3	Nodo Central	Nodo Materia Orgánica
<b>Latitud</b>	0°21'30.44"N	0°21'28.93"N	0°21'28.81"N	0°21'22.75"N	0°21'22.10"N
<b>Longitud</b>	78°12'12.83"W	78°12'12.20"W	78°12'13.55"W	78°12'24.54"W	78°12'28.24"W

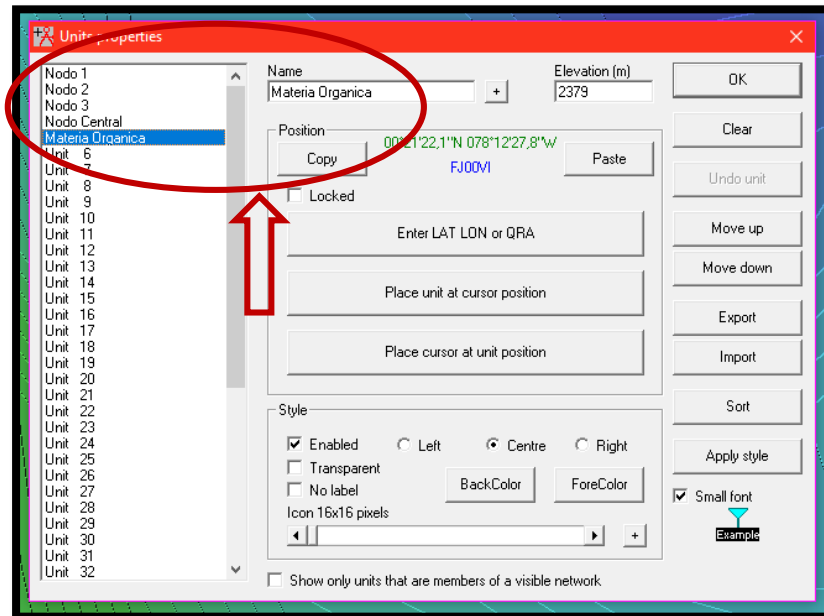
Fuente: Autoría.

Para garantizar que no se pierda información, en la *Figura 42*, se muestra la manera en la que se introducen las coordenadas de la *Tabla 30* en el simulador.



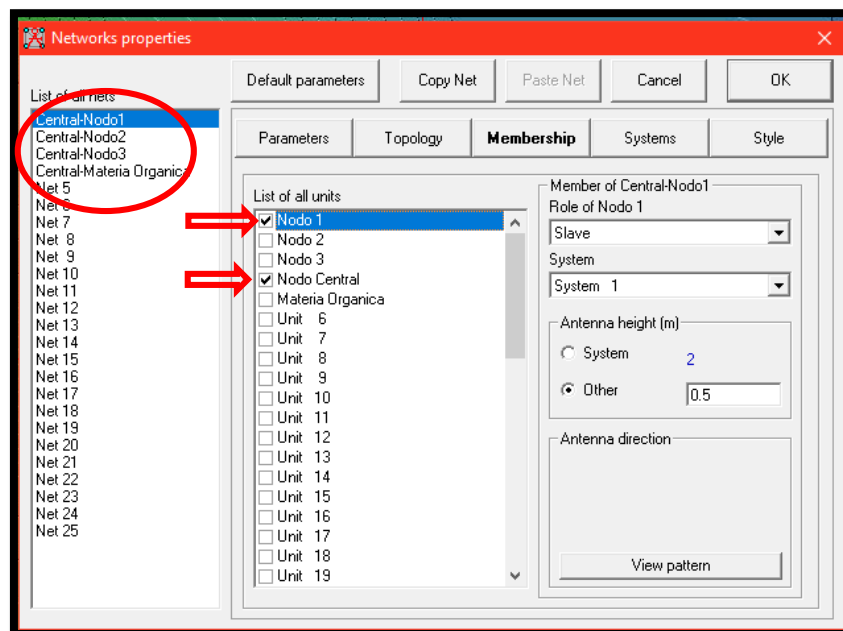
*Figura 42.* Coordenadas de la ubicación del terreno tanto en latitud como longitud de cada nodo.  
Fuente: Diseño de la WSN en Radio Mobile

A continuación, se procede a crear cada uno de los nodos sensores y el nodo central que forman parte de la red sensores, como se muestra en la *Figura 43*.



*Figura 43.* Creación de los nodos sensores con un nombre identificativo de cada nodo sensor.  
Fuente: Diseño de la WSN en Radio Mobile

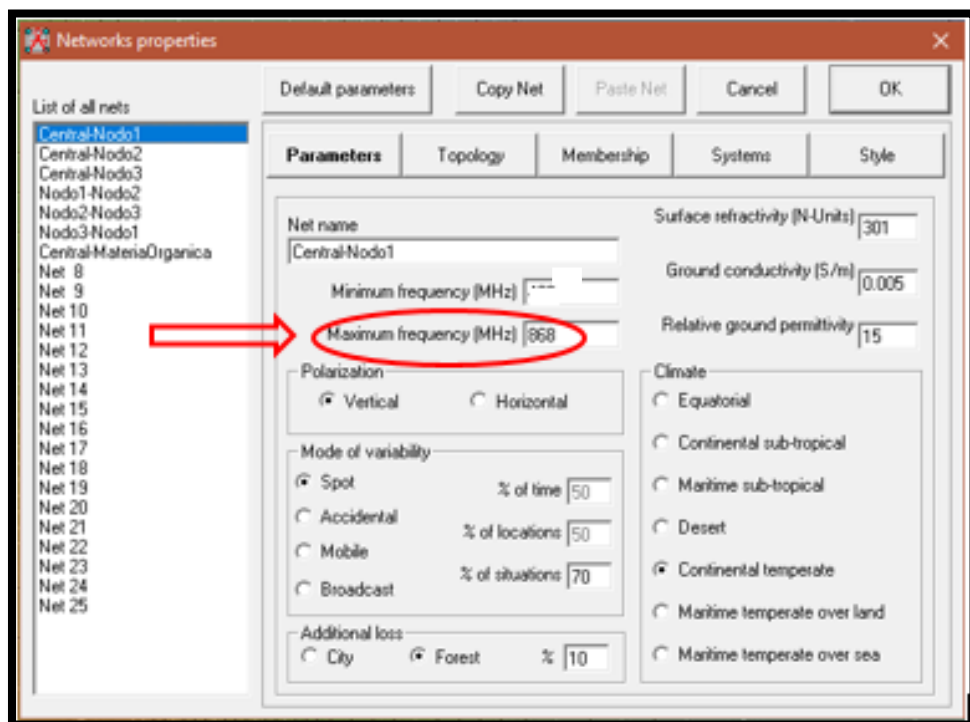
En la *Figura 44*, se procede a crear la red punto a punto entre los nodos del cultivo de alfalfa y la materia orgánica.



*Figura 44.* Creación de la red uniendo cada uno de los puntos.  
Fuente: Diseño de la WSN en Radio Mobile

Para garantizar la correcta simulación del sistema, se procede a introducir las características principales con las que trabajan los módulos LoRaWAN como se muestra en la *Figura 45* y *Figura 46*.

- Frecuencia de Operación: 868MHz
- Ganancia de la Antena: 3 dBi
- Potencia de Transmisión: 14 dBm



*Figura 45.* Configuración de frecuencia de operación.  
Fuente: Diseño de la WSN en Radio Mobile

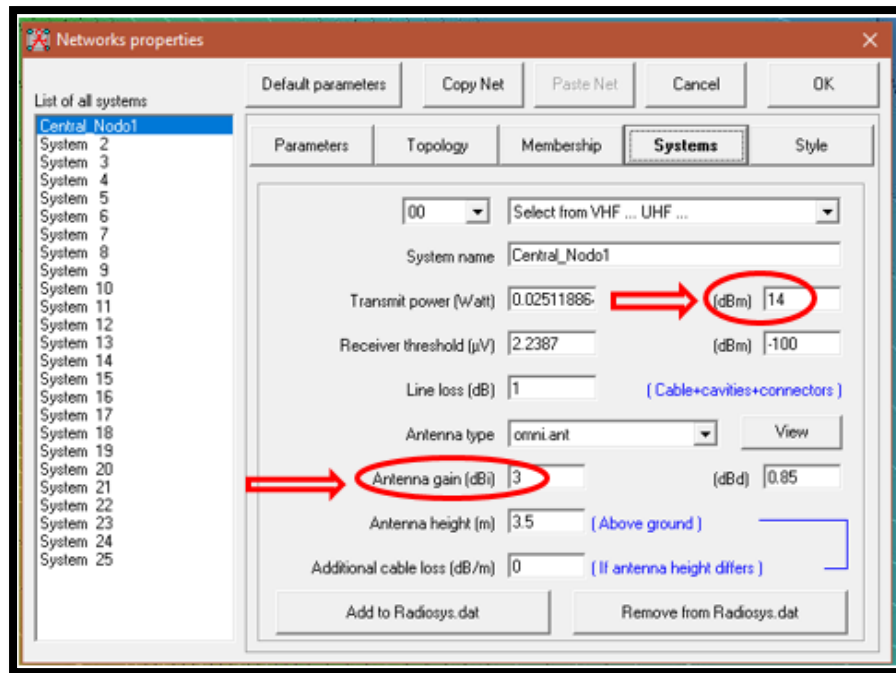


Figura 46. Configuración de parámetros de módulos LoRaWAN.  
Fuente: Diseño de la WSN en Radio Mobile

Finalmente, el resultado obtenido de la simulación en Radio Mobile es la topología en estrella tanto del cultivo de alfalfa como muestra la *Figura 47* y el de la materia orgánica como se muestra en la *Figura 48*.

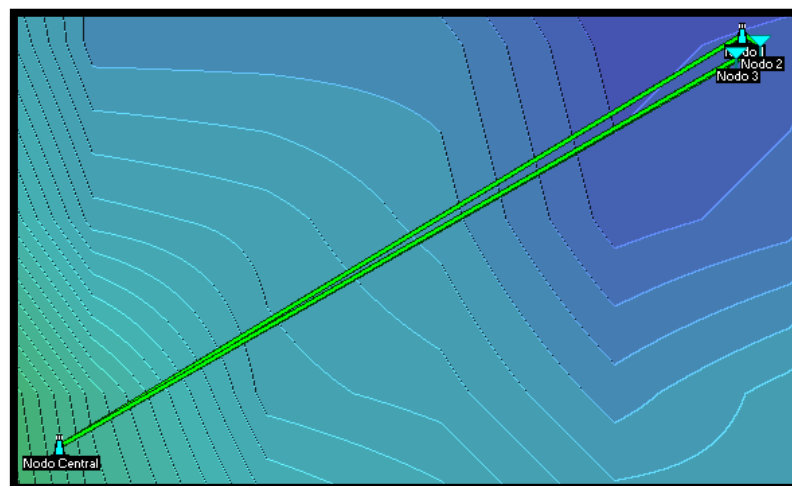


Figura 47. Resultado de la simulación del cultivo de alfalfa.  
Fuente: Diseño de la WSN en Radio Mobile

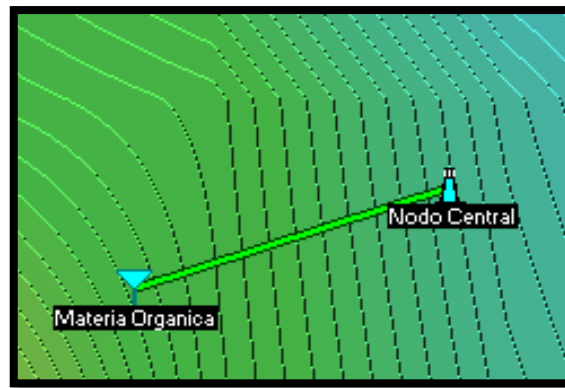


Figura 48. Resultado de la simulación de la materia orgánica.  
Fuente: Diseño de la WSN en Radio Mobile

A continuación, se procede a observar la línea de vista y Zona de Fresnel entre los nodos de la red de sensores inalámbricos como muestra las Figuras 49 y 50, con el fin de corregir errores se varía el parámetro de altura del nodo hasta tener un nivel de recepción aceptable como en el caso de  $-68,1$  dBm para el cultivo de alfalfa y para la materia orgánica el nivel de recepción es de  $-58,1$  dBm.

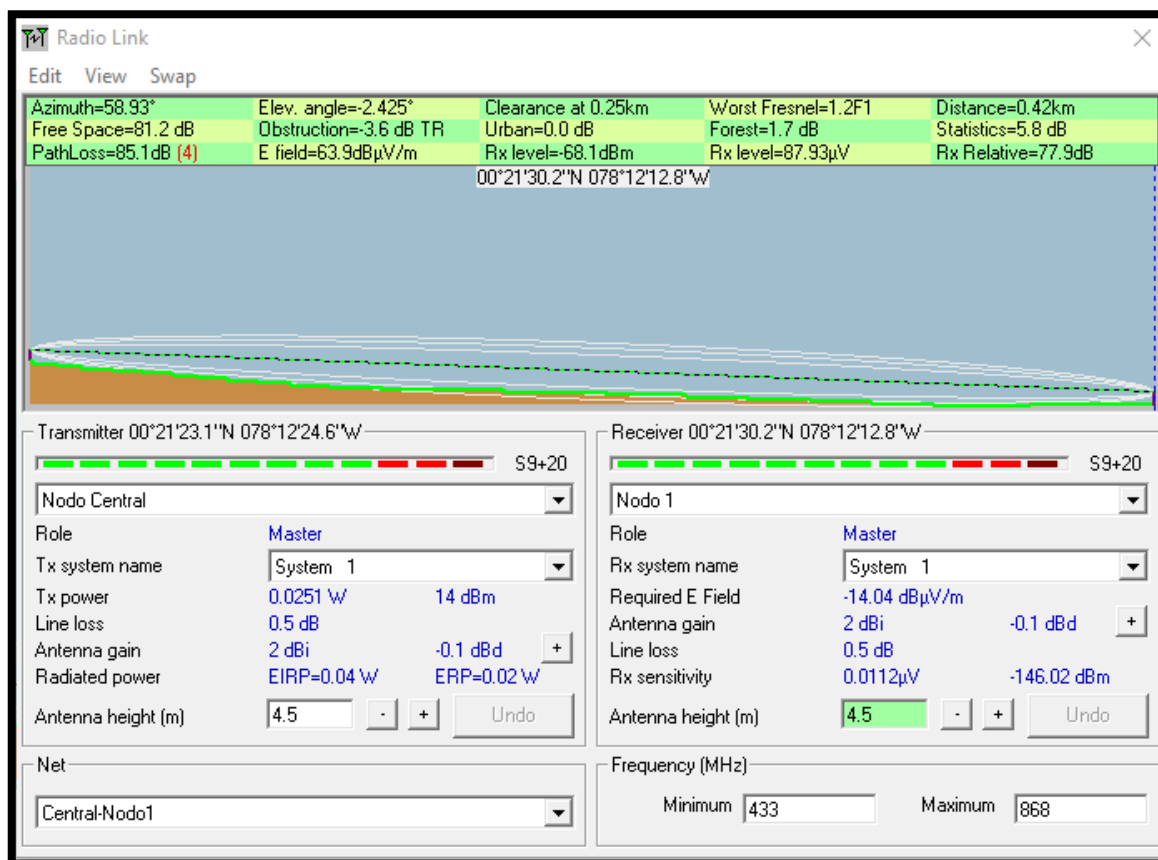


Figura 49. Enlace entre nodo central y nodo sensor 1.  
Fuente: Diseño de la WSN en Radio Mobile



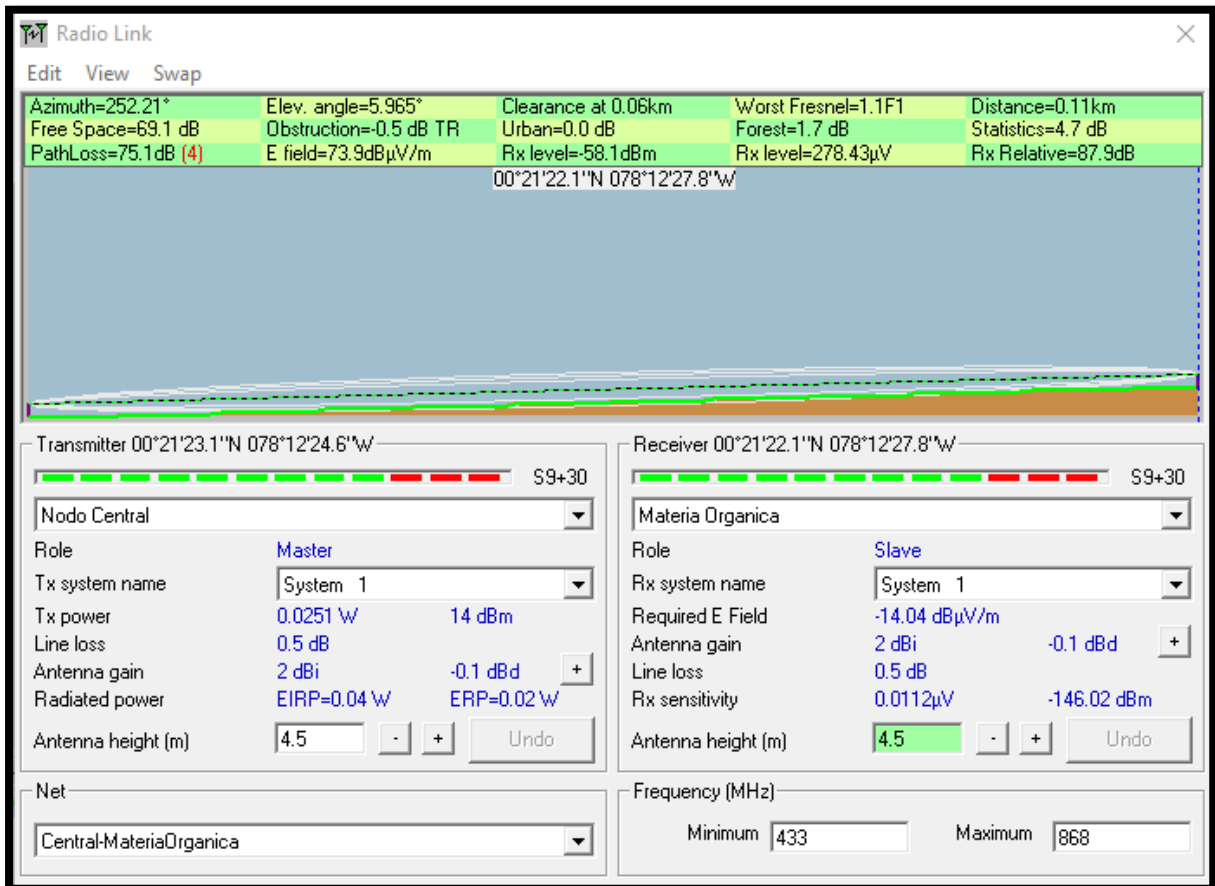


Figura 50. Enlace entre nodo central y Materia Orgánica.  
Fuente: Diseño de la WSN en Radio Mobile

Para tener una recepción de datos exitosa, se muestra en la *Figura 49*, la altura de los nodos sensores y el nodo central es de 4.5m con respecto al suelo, para que no exista interferencia ni pérdida de toma de datos, logrando tener un enlace de envío y recepción de información del cultivo. Además, el nodo de la materia orgánica y el nodo central se la considera a una altura de 4,5m, como muestra la *Figura 50*, evitando de igual manera interferencia para obtener un enlace exitoso.

### 3.8.3.1. Zona de Fresnel

Para considerar que exista visibilidad directa y que el trayecto se encuentre libre de obstáculos para evitar pérdidas, lo ideal es que la primera zona de Fresnel como muestra la

Figura 51, no esté obstruida, normalmente se lo hace despejando el 60% del radio de la primera zona de Fresnel para tener un enlace satisfactorio.

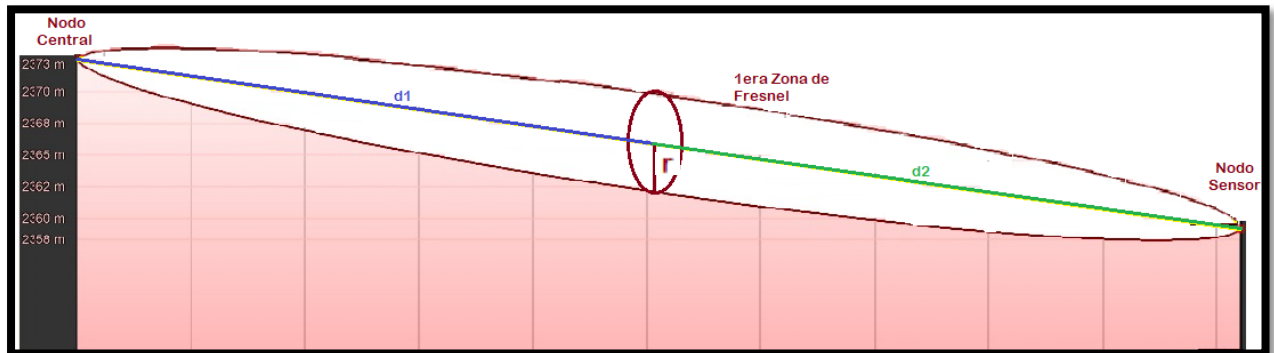


Figura 51. Perfil de un Radioenlace y Primera Zona de Fresnel.

Fuente: Google Earth.

El cálculo de la primera zona de fresnel se lo realiza en base a la *Figura 51*, primeramente ubicando el punto donde se encuentra el obstáculo, posteriormente, se mide la distancia 1 (*d1*) que va desde el obstáculo hasta el nodo central siendo 0.1406300 kilómetros, la distancia 2 (*d2*) se mide desde el mismo obstáculo hasta el nodo sensor teniendo un valor de 0.2843700 kilómetros, la distancia total (*D*) va desde el nodo central hasta el nodo sensor con un valor de 0.4250000 kilómetros y la frecuencia (*f*) con la que se trabaja es la de 868MHz propia del módulo de comunicación inalámbrica (RN2483), a continuación, la *Ecuación 5*, muestra el cálculo del radio de la primera zona de Fresnel.

$$r = 17,32 \sqrt{\frac{d1 * d2}{f * D}} \quad \text{Ec.5}$$

Se reemplaza valores en la *Ecuación 5*:

$$r = 17,32 \sqrt{\frac{0.1406300 * 0.2843700}{0.868 * 0.4250000}}$$

$$r = 5.70\text{metros.}$$

Ahora para conocer si la primera zona de fresnel cumple con el 60% libre se lo hace en base a la *Ecuación 6*. Donde, el radio óptimo ( $r$ ) es 5,70 metros en respuesta a la *Ecuación 5*.

$$60\%r = 0.6 * r \quad \text{Ec.6}$$

$$60\%r = 0.6 * (5.70)$$

$$60\%r = 3.42\text{metros}$$

En base a los cálculos realizados de la *Ecuación 5* y *Ecuación 6*, se concluye que con 3.5metros se tiene libre el 60% de la primera zona de fresnel, logrando tener una comunicación sin obstáculos entre las zonas.

A continuación, se exporta la simulación de Radio Mobile a la herramienta de Google Earth para observar de una manera perceptible los enlaces realizados entre el cultivo de alfalfa y nodo central, como se muestra en la *Figura 52*.

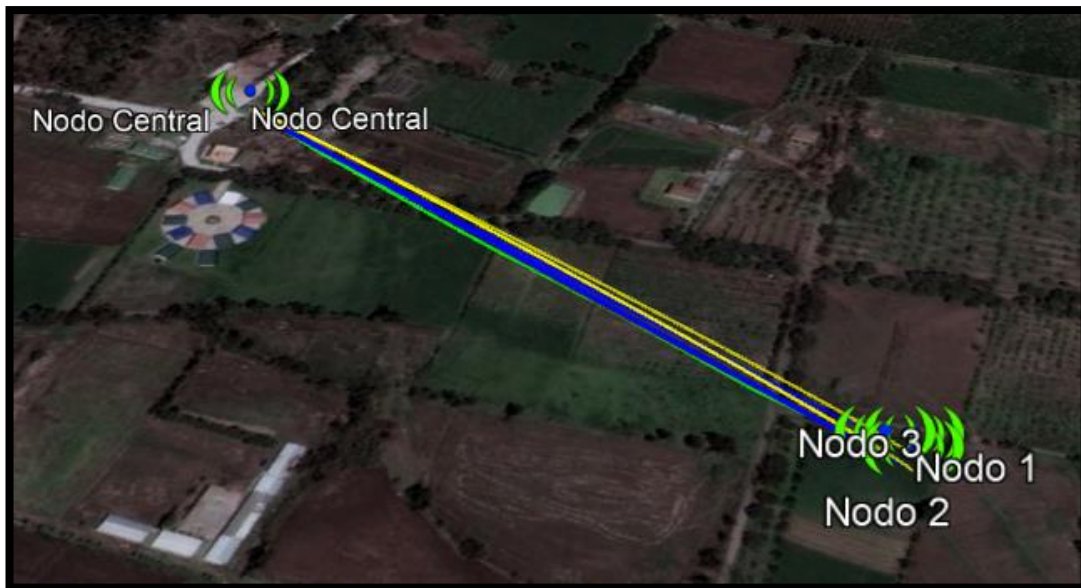


Figura 52. Exportación a Google Earth, posición de cada nodo sensor del cultivo de alfalfa y nodo central.

Fuente: Google Earth

En la *Figura 53*, se muestra la exportación del enlace entre el nodo central y nodo de materia orgánica en la Granja mediante la herramienta de Google Earth.



Figura 53. Exportación a Google Earth, posición del nodo sensor materia orgánica y el nodo central.

Fuente: Google Earth

## 4. Capítulo IV. Implementación y Pruebas

En este capítulo se desarrolla la implementación de la red, iniciando con los pasos a seguir para la creación de la base de datos local y el servidor en la nube, seguido de la configuración básica de los módulos LoRaWAN; además se detalla todo el proceso para la ejecución del hardware, con pruebas de cada nodo tanto del cultivo de alfalfa como de la materia orgánica de toda la WSN para finalmente visualizar los datos monitoreados del sistema.

### 4.1. FASE 3: Implementación de la red

Al terminar con el diseño de la red, se procede a realizar la implementación de la misma, iniciando por la creación de una base de datos local junto con el diagrama de flujo para conocer su funcionamiento en este sistema, posteriormente la creación de un servidor en la nube mediante la plataforma Ubidots y finalizando con la instalación de los nodos en su respectivo cultivo.

#### 4.1.1. Creación de la Base de Datos Local

Se describe a continuación, el proceso para la creación de la base de datos en la placa Raspberry Pi, la cual debe almacenar todas las variables de los sensores. Antes de crear la base de datos se realiza la instalación de diferentes paquetes para que la placa pueda funcionar sin ninguna complicación.

Para empezar con la instalación, se debe tener conexión a internet para que los paquetes que se van a instalar se puedan descargar, posterior a esto se debe actualizar los repositorios y programas de la placa con los siguientes comandos como se muestra en la *Figura 54*.

```
sudo apt-get update
sudo apt-get upgrade
```

Figura 54. Comandos de actualización del software.

Luego de esperar a que se descarguen los repositorios y programas, se procede a instalar el servidor web. El servidor que se instala es Apache, se debe ejecutar de igual manera por medio de la consola del sistema operativo Ubuntu Mate con el siguiente código como muestra la Figura 55.

```
sudo apt-get install apache2
```

Figura 55. Comando para la instalación del servidor web.

Al finalizar con la instalación, se debe comprobar que el servidor instalado este corriendo, por lo cual se debe abrir el navegador y escribir *localhost* o la *ip* a la que se esté conectado y aparecerá una pantalla como la que se muestra en la Figura 56.

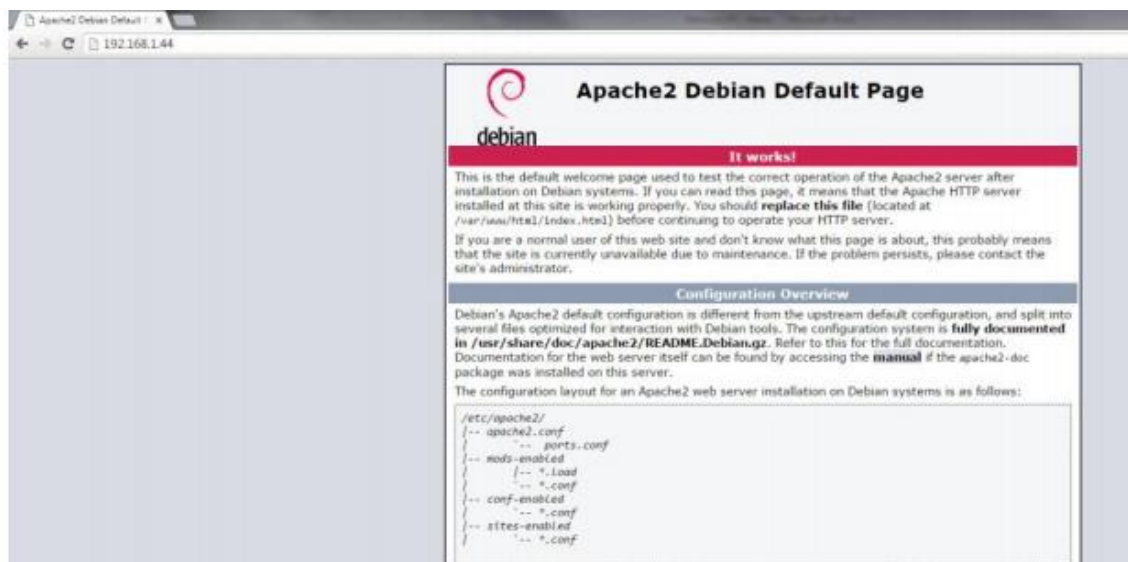


Figura 56. Visualización de la creación del servidor web en el navegador.

Una vez instalado el servidor Apache, se procede a instalar el servidor PHP, el cual funciona para que las páginas web del servidor puedan soportar contenido dinámico. Por lo

que se escribe el siguiente comando como se muestra en la *Figura 57*, desde la consola como se lo ha estado haciendo.

```
sudo apt-get install php-5
```

*Figura 57.* Comando para la instalación del servidor php.

Una vez terminado de instalar php y todas las librerías, se debe reiniciar la placa Raspberry pi con el siguiente comando como muestra la *Figura 58*.

```
sudo reboot
```

*Figura 58.* Comando para reiniciar la placa.

Cuando este reiniciada la placa, se debe comprobar que el servidor PHP esté funcionando, se procede a crear una pequeña página web para comprobar el funcionamiento, la cual se llamará *phpinfo.php* con el siguiente comando como muestra la *Figura 59*.

```
sudo nano /var/www/html/phpinfo.php
```

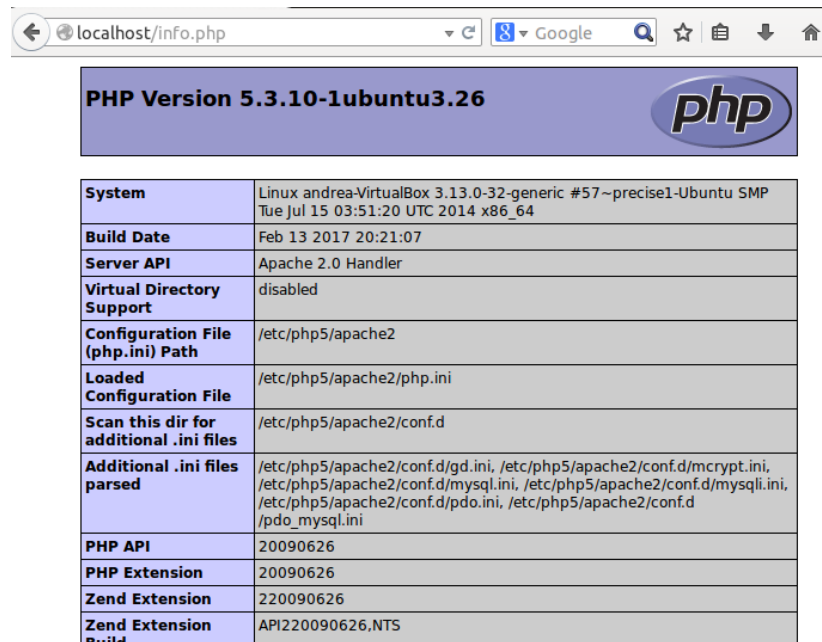
*Figura 59.* Comando para la creación de un fichero php.

Se abre el fichero que se muestra en la *Figura 60* y se introduce un pequeño código como se muestra a continuación, el cual se mostrará en el servidor creado PHP.

```
<?php  
    phpinfo();  
?>
```

*Figura 60.* Información para la creación del servidor php.

Cuando ya se encuentra creado el servidor php, desde el navegador se ejecuta el siguiente comando: *localhost/info.php* y debe mostrar una página similar a la de la *Figura 61*.



PHP Version 5.3.10-1ubuntu3.26	
<b>System</b>	Linux andrea-VirtualBox 3.13.0-32-generic #57~precise1-Ubuntu SMP Tue Jul 15 03:51:20 UTC 2014 x86_64
<b>Build Date</b>	Feb 13 2017 20:21:07
<b>Server API</b>	Apache 2.0 Handler
<b>Virtual Directory Support</b>	disabled
<b>Configuration File (php.ini) Path</b>	/etc/php5/apache2
<b>Loaded Configuration File</b>	/etc/php5/apache2/php.ini
<b>Scan this dir for additional .ini files</b>	/etc/php5/apache2/conf.d
<b>Additional .ini files parsed</b>	/etc/php5/apache2/conf.d/gd.ini, /etc/php5/apache2/conf.d/mcrypt.ini, /etc/php5/apache2/conf.d/mysql.ini, /etc/php5/apache2/conf.d/mysqli.ini, /etc/php5/apache2/conf.d/pdo.ini, /etc/php5/apache2/conf.d/pdo_mysql.ini
<b>PHP API</b>	20090626
<b>PHP Extension</b>	20090626
<b>Zend Extension</b>	220090626
<b>Zend Extension Build</b>	API220090626,NTS

Figura 61. Página principal del servidor php.

Una vez instalado el servidor web y el servidor php, ahora se instala el servidor MYSQL, el cual aloja las bases de datos, por lo cual, dentro de la consola de la Raspberry, se procede a ejecutar el siguiente comando como muestra la *Figura 62*.

```
sudo apt-get install mysql-server mysql-client phpmySQL
```

Figura 62. Comando para la instalación del servidor MySQL.

Mientras se está en el proceso de instalación, se solicita ingrese una nueva clave de administrador para MYSQL, se introduce una, la cual servirá para administrar las bases de datos, por lo cual hay que recordarla.

Ahora se procede a ejecutar el servidor MYSQL con el siguiente comando como se muestra en la *Figura 63*.

```
sudo service mysql start
```

Figura 63. Comando para iniciar con el servidor MySQL.



Para comprobar que esté funcionando el servidor, se ejecuta el siguiente comando como muestra la *Figura 64*, por seguridad se crea otro usuario en este caso *tesisutn* para proteger los datos.

```
mysql -u tesisutn -p
```

*Figura 64.* Comando para editar el servidor MySQL.

Si todo es correcto hasta ahora, se ha creado el servidor MySQL, ahora, dentro del fichero se empieza a crear tablas y configurar varios parámetros más, como se muestra en la *Figura 65*.

```
mysql> databases;
```

*Figura 65.* Visualización de un fichero dentro del servidor MySQL.

Para finalizar la instalación de servidores, se procede a instalar phpMyAdmin, el cual facilita la administración de las bases de datos MySQL, para instalarlo se debe ejecutar el siguiente comando como se muestra en la *Figura 66*.

```
sudo apt-get install libapache2-mod-auth-mysql php5-mysql phpmyadmin
```

*Figura 66.* Comando para la instalación de phpMyAdmin.

Mientras se ejecuta la instalación, el sistema pregunta qué tipo de servidor web se desea instalar por lo que se elige la opción de *Apache2*. Al finalizar la instalación, se debe modificar el fichero de configuración con el siguiente comando como se muestra en la *Figura 67*.

```
sudo nano /etc/php5/apache2/php.ini
```

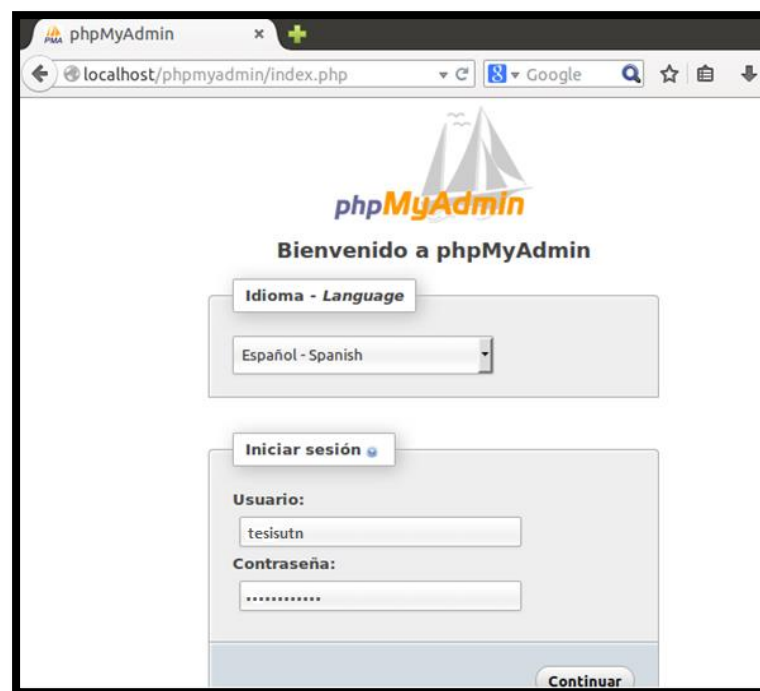
*Figura 67.* Comando para editar un fichero dentro de phpMyAdmin.

Y se introduce el siguiente texto dentro del fichero como se muestra en la *Figura 68*.

```
extension=mysql.so
```

*Figura 68.* Texto adjuntado en el fichero de phpMyAdmin.

Luego de haber terminado toda la instalación se procede a ejecutar desde el navegador la siguiente dirección <http://localhost/phpmyadmin/>, si se puede acceder de manera exitosa, tiene que mostrar la siguiente *Figura 69*.

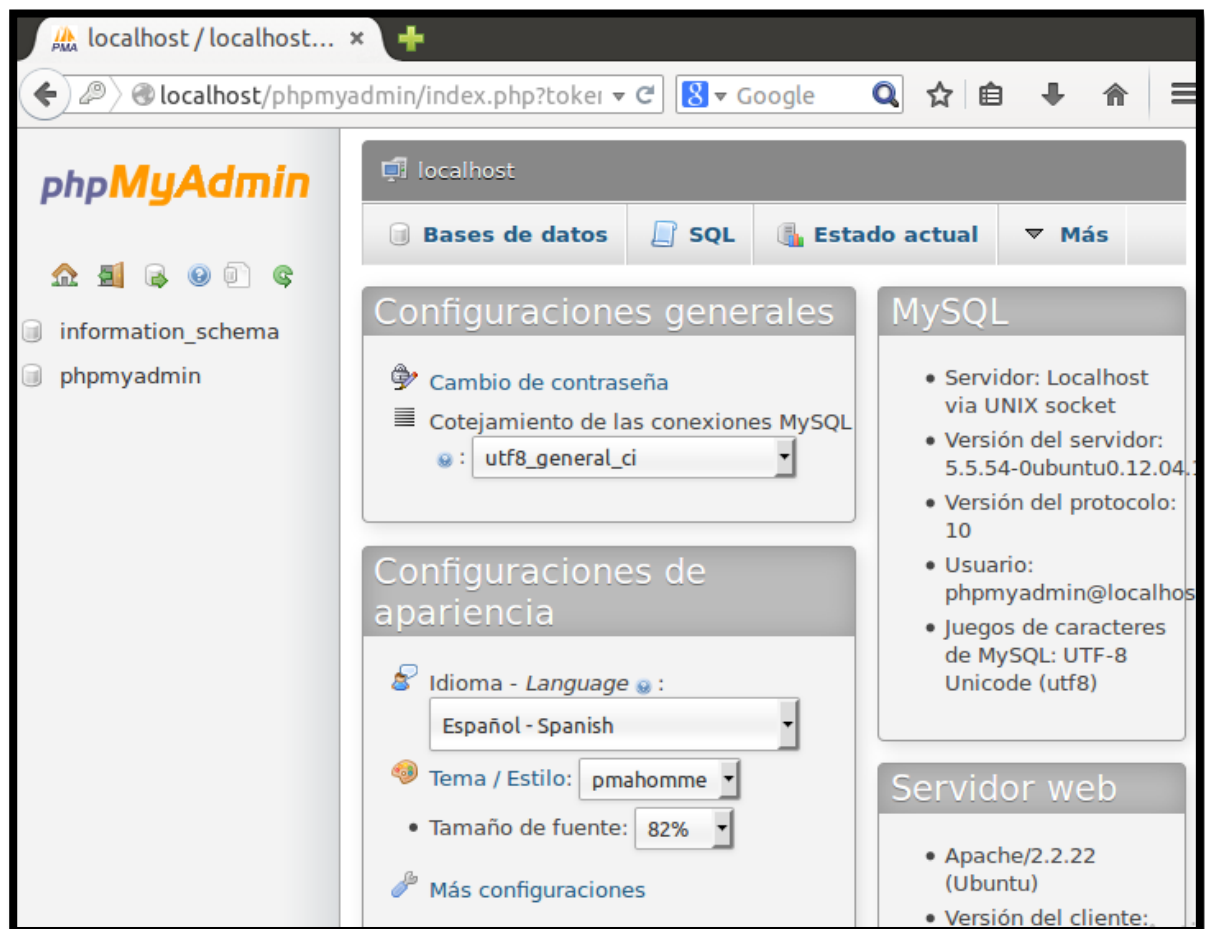


*Figura 69.* Página principal de phpMyAdmin.

Como se muestra en la *Figura 69*, se encuentra creado el servidor web Apache, el servidor PHP, el servidor de base de datos MySQL y el administrador de base de datos phpMyAdmin, ahora se puede crear la tabla que recibirá los datos monitoreados de los nodos sensores.

- **Creación de tablas dentro de la base de datos**

Para almacenar los datos provenientes de los diferentes nodos sensores, se necesita tener una base de datos que esté formada por tablas. Para crear la base de datos se debe ingresar al MySQL con las credenciales creadas y aparecerá la siguiente pantalla como se muestra en la *Figura 70*.



*Figura 70.* Página phpMyAdmin para creación de base de datos.

Ahora se crea la tabla con los requerimientos que se deseen introducir, en este caso se crean seis columnas para cada variable con la que cuenta el nodo y también una variable fecha, para almacenar la hora en la que se reciben los datos, como se muestra en la *Figura 71*.

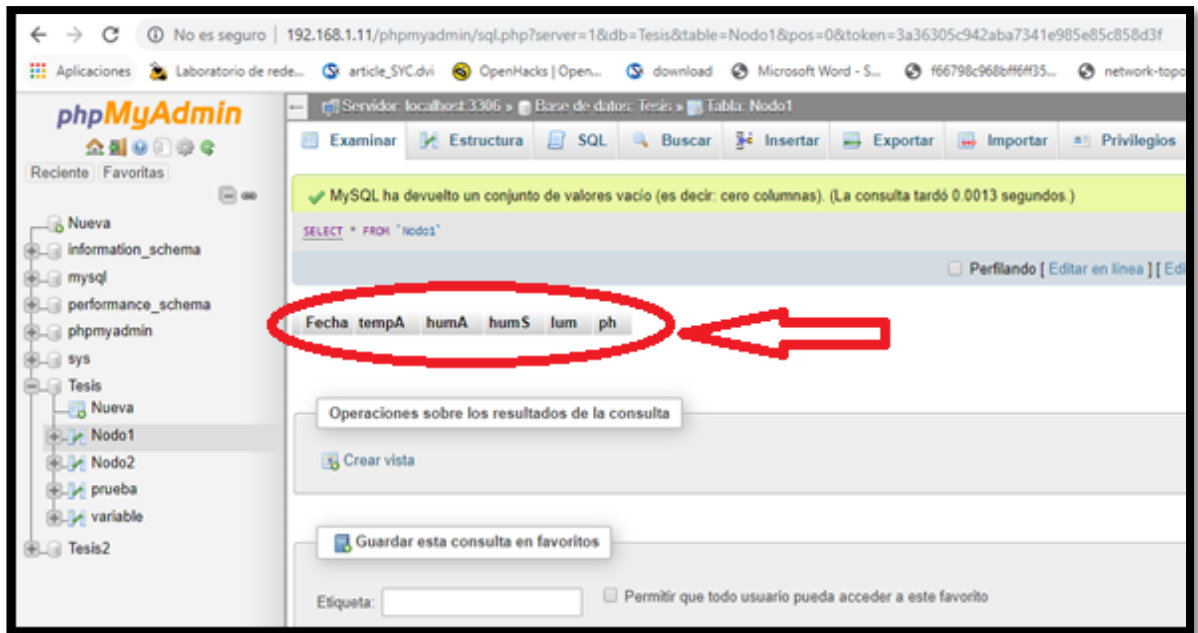


Figura 71. Creación de Tablas.

#### 4.1.1.1. Conexión del nodo central con la base de datos

Al tener la base de datos creada con sus respectivas tablas, se procede a llenar los campos con los datos provenientes de los sensores, por lo que se introduce una línea de código Python para que se pueda ejecutar dicha acción para llenar los campos en la base de datos. La ventaja de usar Python es la de tener disponibilidad de varias librerías, las cuales facilitan el trabajo, por lo cual se procede a conectar MySQL con Python con el siguiente comando como se muestra en la *Figura 72*.

```
sudo apt-get install python-mysqldb
```

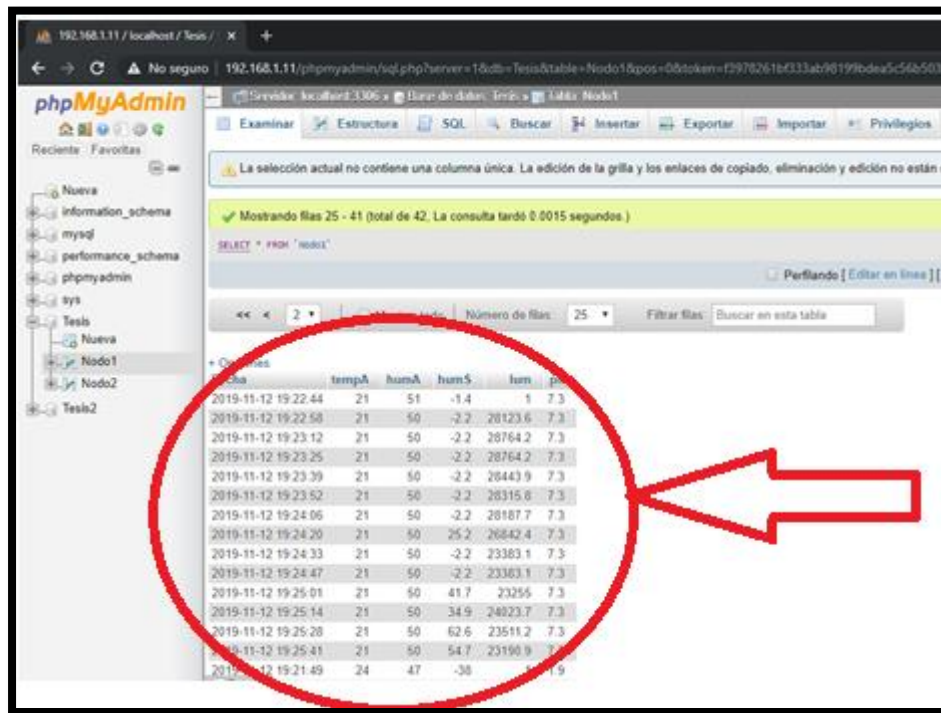
Figura 72. Comando para conectar MySQL con Python.

Para que funcione correctamente la subida de datos se le añade de igual manera el siguiente comando dentro del archivo que se esté editando como se muestra en la *Figura 73*.

```
import mysql.connector
```

Figura 73. Incluir librería en Python.

Una vez ya realizada la conexión entre MySQL con Python, solo queda conectarse con la base de datos phpMyAdmin para observar como los valores de los sensores se almacenan en la base de datos constituida por 6 columnas, que son las variables sensadas del nodo, como se muestra en la *Figura 74*.



The screenshot shows the phpMyAdmin interface with a table of sensor data. The table has 6 columns: 'Fecha', 'tempA', 'humA', 'humS', 'lum', and 'p'. The data is displayed in a grid format. A red circle highlights a portion of the table, and a red arrow points to it from the right.

Fecha	tempA	humA	humS	lum	p
2019-11-12 19:22:44	21	51	-1.4	1	7.3
2019-11-12 19:22:58	21	50	-2.2	28123.6	7.3
2019-11-12 19:23:12	21	50	-2.2	28764.2	7.3
2019-11-12 19:23:25	21	50	-2.2	28764.2	7.3
2019-11-12 19:23:39	21	50	-2.2	28443.9	7.3
2019-11-12 19:23:52	21	50	-2.2	28315.8	7.3
2019-11-12 19:24:06	21	50	-2.2	28187.7	7.3
2019-11-12 19:24:20	21	50	25.2	26842.4	7.3
2019-11-12 19:24:33	21	50	-2.2	23383.1	7.3
2019-11-12 19:24:47	21	50	-2.2	23363.1	7.3
2019-11-12 19:25:01	21	50	41.7	23255	7.3
2019-11-12 19:25:14	21	50	34.9	24023.7	7.3
2019-11-12 19:25:28	21	50	62.6	23511.2	7.3
2019-11-12 19:25:41	21	50	54.7	23190.9	7.3
2019-11-12 19:21:49	24	47	-38		1.9

*Figura 74.* Visualización de los datos almacenados en la base de datos.

#### 4.1.1.2. Diagrama de flujo del servidor Web

En este apartado se muestra la creación y funcionamiento del localhost, en la *Figura 75* se muestra al inicio la creación de la base de datos MYSQL, seguidamente realiza la recolección de los datos del nodo central que provienen de los nodos sensores mediante los módulos LoRaWAN, los almacena y finalmente se visualizan en el servidor web local.

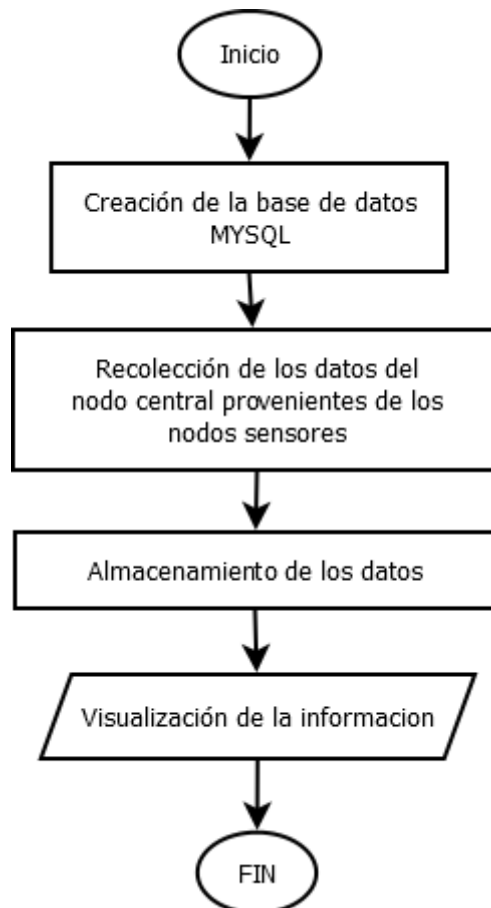


Figura 75. Diagrama de flujo del localhost.

#### 4.1.2. Creación de Base de Datos en la Nube.

Al igual que en el servidor local, se procede a realizar el almacenamiento y visualización de los datos a través de la plataforma *Ubidots*, por lo cual en este apartado se explica los pasos a realizar para su funcionamiento. Primeramente se ingresa a la página oficial de la plataforma <https://ubidots.com/>, se dirige a la opción de registro y se registra ingresando nombre de usuario, correo electrónico y una contraseña para ingresar a esta página de manera segura. Una vez creada la cuenta Ubidots envía un correo de bienvenida.

Ahora, ya estando dentro de la plataforma se procede a realizar las configuraciones básicas para visualizar los datos provenientes del nodo central. Como se muestra en la *Figura*

76, se dirige a la opción de Dispositivos y posteriormente en Añadir dispositivo, aquí se escribe el nombre del dispositivo.

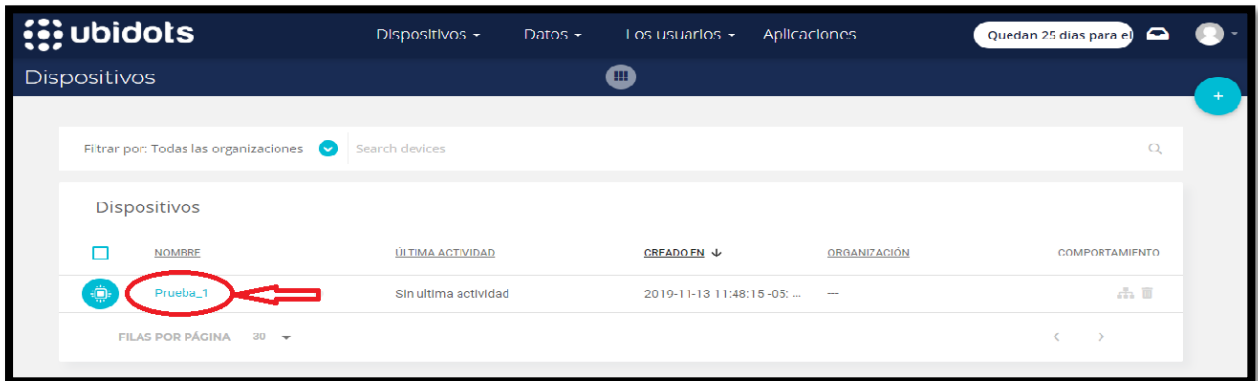


Figura 76. Creación de dispositivos en Ubidots.

Al ingresar al dispositivo se procede a crear las variables que conforman los nodos como se muestra en la Figura 77, se debe tener cuidado al nombrar las variables ya que el ID de cada una permite crear la conexión con la placa Raspberry.

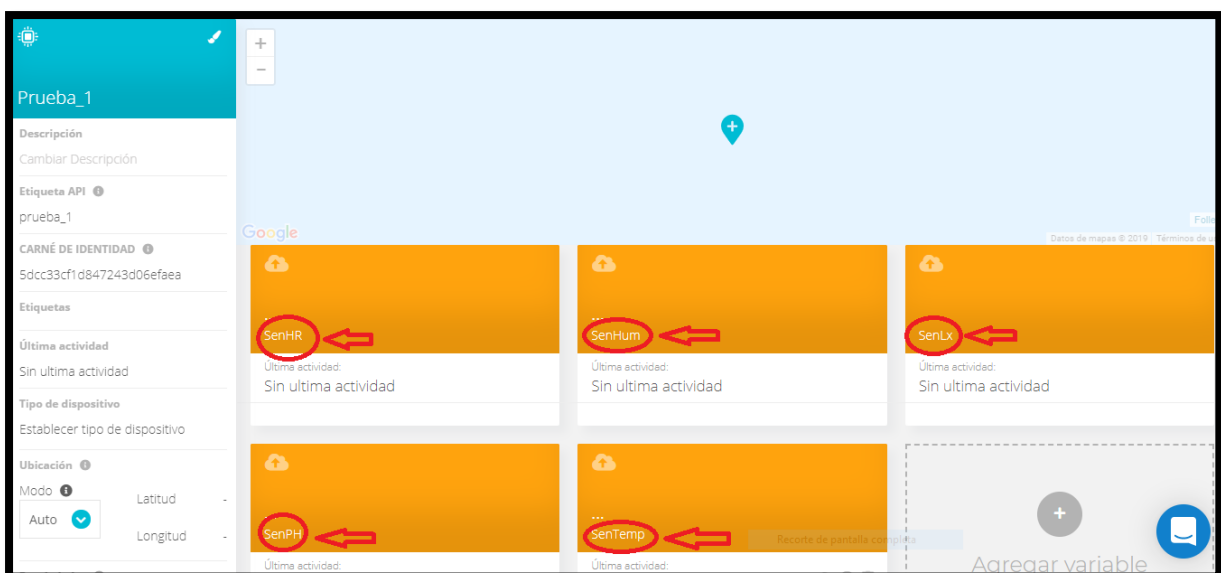
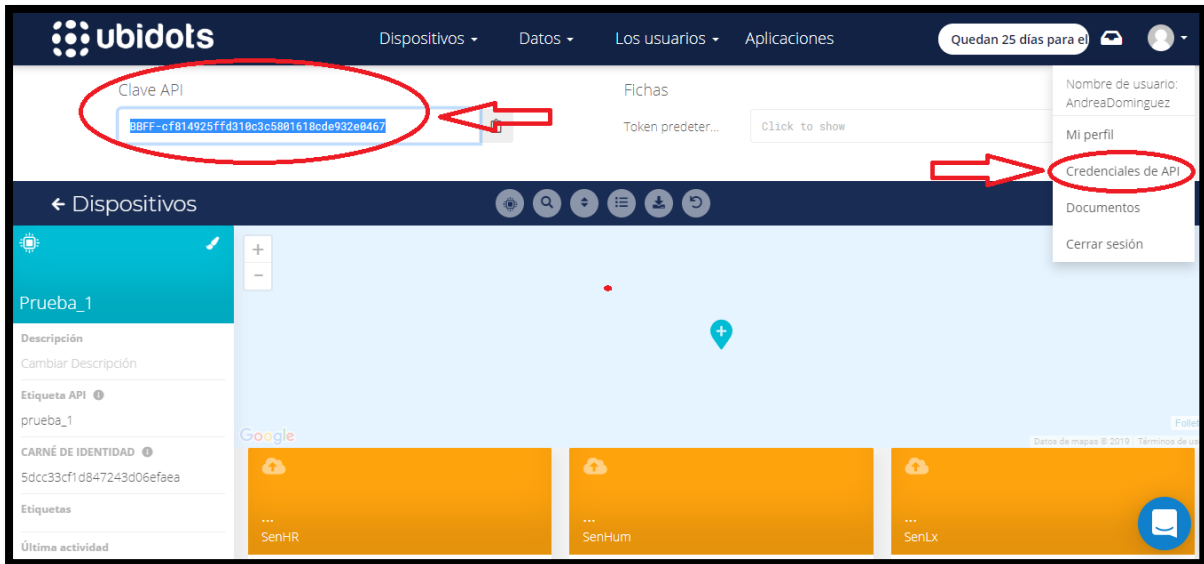


Figura 77. Creación de variables.

Ahora dirigirse a la parte superior derecha de la pantalla e ingresar en credenciales API, como se muestra en la *Figura 78*, se obtiene un código de autenticación temporal, el cual ayuda a obtener una comunicación entre Raspberry y la plataforma Ubidots.



*Figura 78.* Credenciales API en Ubidots.

Finalmente, se debe copiar el token de la credencial API junto con el ID de las variables, para poder incluirlas en el código de la Raspberry como se muestra en la *Figura 79*, para establecer la comunicación, se debe tener en cuenta que se debe tener una conexión a internet para que los datos se puedan almacenar.

```
import time
import requests
import math
import random

TOKEN = "BBFF-cf814925ffd310c3c5801618cde932e0467" # Put your TOKEN here
DEVICE_LABEL = "machine" # Put your device label here
VARIABLE_LABEL_1 = "temperature" # Put your first variable label here
VARIABLE_LABEL_2 = "humidity" # Put your second variable label here
VARIABLE_LABEL_3 = "position" # Put your second variable label here
```

*Figura 79.* Ingreso del Token Ubidots y su ID de variable



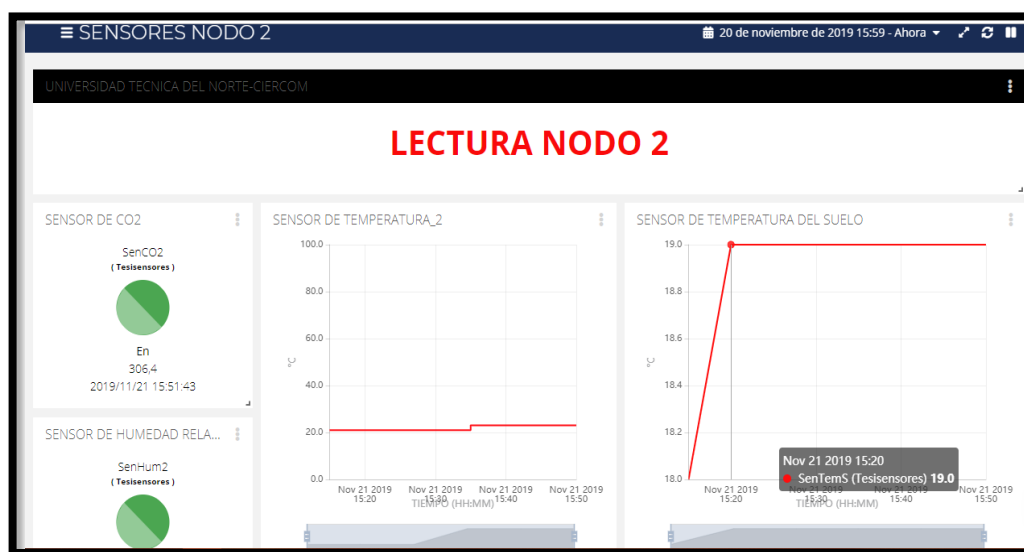
#### 4.1.2.1. Almacenamiento y visualización de datos.

Ahora, para almacenar los datos es necesario ingresar a la ventana de dispositivos, acceder al dispositivo que se creó, y posteriormente a la variable, al ingresar se puede elegir el diseño de la gráfica que se necesite como se muestra en la *Figura 80*.



*Figura 80.* Creación de graficas en Ubidots.

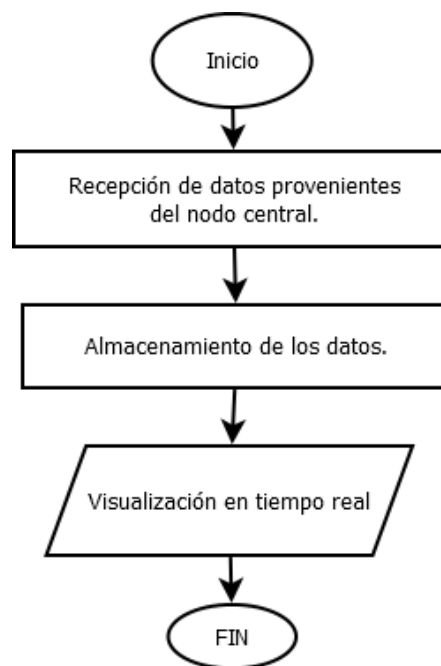
Para visualizar los datos en tiempo real hay que dirigirse a la pestaña dispositivos, variables y aparecerá la siguiente imagen como se muestra en la *Figura 81*.



*Figura 81.* Visualización de datos en Ubidots.

#### 4.1.2.2. Diagrama de flujo de la plataforma Ubidots.

En este apartado se expone la función de la plataforma Ubidots, como se muestra en la *Figura 82*, primeramente, hace la recepción de datos provenientes del nodo central, seguidamente almacena los datos para finalmente visualizar los datos en tiempo real.



*Figura 82.* Diagrama de flujo de la Plataforma Ubidots.

#### 4.1.3. Configuración de módulos LoRaWAN RN24283

La *Tabla 31*, muestra los comandos de configuración básica con los que se pudo establecer la comunicación inalámbrica entre los nodos del sistema con el uso de módulos LoRaWAN. A continuación, se explica la manera en la que se procede a conectar y configuran los módulos RN2483, primero, el módulo se debe conectar a la placa de procesamiento Raspberry Pi, segundo, se deben conectar a la alimentación eléctrica, y finalmente, mediante el uso del software Python se introducen los comandos mostrados en la *Tabla 31*, algunos de los comando van a devolver el valor con el que el módulo trabaja y otros comandos lo que

harán es dar la opción de cambiar los valores con el fin de poder adaptarlo al proyecto. Además, si se desea conocer más acerca de los comandos y su función en los módulos LoRaWAN, el *ANEXO 11*, muestra un manual de configuración avanzada.

*Tabla 31. Comandos de configuración básica de los módulos LoRaWAN.*

<b>Descripción</b>	<b>Comando</b>
-Reinicia el módulo RN2483.	<b>sys reset</b>
-Devuelve la información sobre la plataforma de hardware, la versión del firmware, la fecha de lanzamiento.	<b>set get ver</b>
- Este comando actualiza la duración del tiempo de espera de la recepción, en milisegundos.	<b>radio set wdt</b>
-Devuelve la frecuencia de comunicación con la que trabaja. La frecuencia con la que trabaja debe ir en (Hz).	<b>radio set freq 868000000</b>
-Este comando cambia la potencia de salida del transceptor. Potencia de transmisión mínima: 7dBm Potencia de transmisión máxima: 14 dBm	<b>radio set pwr 14</b>
-Configura el factor de propagación utilizado durante la transmisión.	<b>radio set sf sf12</b>
-Inicia la transmisión o Recepción de los datos.	<b>mac pause</b>

*Fuente:* (RN2483 LoRa ® Technology Module Command Reference User ' s Guide, 2018)

#### **4.1.4. Instalación Nodos Sensores**

Los nodos sensores están situados en partes estratégicas (véase, *Tabla 30*), logrando cubrir toda el área del cultivo y la materia orgánica, los nodos han sido cubiertos por cajas hechas a base de madera resistente, sobrepuestas en bases hechas del mismo material a 4.5metros con respecto al suelo, como se muestra en la simulación (véase, *Sección. 3.6.4.5*),

para lograr tener una mejor recepción de datos y evitar tener contacto directo con el suelo en caso de inundaciones.

- **Ubicación del nodo sensor del cultivo de alfalfa:** En la *Figura 83*, se muestra una recopilación de imágenes del nodo sensor del cultivo de alfalfa junto con los sensores de PH, humedad del suelo, humedad relativa y temperatura ambiente ubicados en sus respectivos lugares para el monitoreo, además la alimentación eléctrica se la hace por medio de una batería de litio de 5V, la cual va a estar conectada a un panel solar para que el nodo tenga un suministro eléctrico de manera permanente.



*Figura 83.* Instalación del nodo sensor de la alfalfa.

- **Ubicación del nodo sensor del compost orgánico:** En la *Figura 84*, se muestra una recopilación de imágenes del nodo sensor de la materia orgánica junto con los sensores de humedad relativa, temperatura ambiente, CO<sub>2</sub> y temperatura del suelo, ubicados en lugares idóneos para el monitoreo, además la alimentación eléctrica se la hace por medio de una batería de litio de 5V, la cual va a estar

conectada a un panel solar para que el nodo tenga un suministro eléctrico de manera permanente.



Figura 84. Instalación del nodo del compost.

#### 4.1.5. Instalación Nodo central

El nodo central se ubicó en la oficina central de la granja, exclusivamente en la sala de profesores, dentro de una caja de madera para su protección, la cual tiene orificios por los cuales saldrán los cables tanto para conectar a la alimentación y el cable para la conexión de la PC, además, incluye un banco de baterías que está conectado conjuntamente con la fuente. En la *Figura 85*, se muestra el nodo central ya instalado.



*Figura 85.* Instalación del nodo central.

## **4.2. FASE 4: Verificación**

Una vez culminada la implementación de los nodos, ahora se muestra las pruebas realizadas en la Granja “La Pradera”, con cada uno de los nodos tanto para el cultivo de alfalfa y la materia orgánica. Las pruebas presentadas a continuación fueron realizadas tanto en el día como la noche para verificar si el proceso de sensado del sistema es el adecuado para esas condiciones.

### **4.2.1. Pruebas del cultivo de alfalfa**

La parcela de alfalfa como se muestra en la *Figura 86*, se encuentra en la granja “La Pradera”, con una extensión de 360 m<sup>2</sup>, únicamente de dicho cultivo. Como se investigó en el capítulo II, se debe cumplir con los valores óptimos para el desarrollo adecuado del cultivo de alfalfa al aire libre, siendo estos los siguientes:

- Humedad Relativa: 55% a 70%
- Temperatura Ambiente: 18°C a 28°C
- PH: 0-6 ácida, 7-14 alcalina.
- Humedad del suelo: 0-30 seco, 31 a 70 húmedo, 71 a 100 agua.



*Figura 86. Cultivo de Alfalfa.*

Las pruebas realizadas en el desarrollo del proyecto cumplen con todo lo definido en el alcance, los sensores fueron programados y configurados de la siguiente manera:

A manera de ejemplo, a continuación, se presenta la configuración del sensor de humedad relativa y temperatura ambiente. Primero se deben conectar todos los materiales que conforman el nodo sensor como son: sensor de humedad relativa, temperatura ambiente, humedad del suelo y PH; la placa de procesamiento Arduino Uno y el módulo RN2483, seguido a esto se debe conectar el nodo sensor armado a la energía eléctrica.

A continuación, mediante el uso del software Arduino IDE, se realiza la inicialización de las variables y de las librerías.

```
include "DHT.h"      //Librería Del DHT
int temperatura = 0; //Temperatura Ambiente
int humedad = 0;    //Humedad Relativa
```

Seguidamente, se introduce la configuración de parámetros del módulo RN2483.

```
loranode.setTimeout(100);          //Establece 100 Milisegundos Para Esperar Datos
Por Puerto Serial
str = loranode.readStringUntil('\n');
Serial.println(str);
loranode.println("radio set wdt 0"); //Tiempo de espera en milisegundos para
recepción de datos
str = loranode.readStringUntil('\n');
Serial.println(str);
loranode.println("radio set pwr 14"); //Asignación de potencia de Transmisión del
módulo RN2483
str = loranode.readStringUntil('\n');
Serial.println(str);
loranode.println("radio set sf sf12"); //Asignación del factor de propagación usado
durante la Transmisión
str = loranode.readStringUntil('\n');
Serial.println(str);
loranode.println("mac pause");      //Permite cambiar al módulo de Recepción a
Transmisión y viceversa
```

Se coloca al módulo en modo receptor para recibir peticiones por parte del nodo central.

```
loranode.println("radio rx 0");      //Coloca al módulo en modo receptor
```

A continuación, lee el valor de la humedad relativa y temperatura ambiente por parte del sensor DHT11 y se les convierte a valores tipo String.

```
humedad = dht.readHumidity();        //Lee la humedad relativa
temperatura= dht.readTemperature();  //Lee la temperatura ambiente
String cadena3 = String(humedad, DEC); //La variable de la humedad relativa se le
convierte a tipo string
String cadena4 = String(temperatura, DEC); //La variable de temperatura ambiente se le
convierte a tipo string
```



Ahora se hace envío de las variables con un tamaño de 4 caracteres por el valor analógico (0000-1023), por lo que a los caracteres faltantes se les completa con "0".

```
if(humedad <= 0) cadena3 = "0000";
if(humedad >=1 && humedad <= 99){cadena3 = "00" + cadena3;}
if(humedad >=100 && humedad <= 999){cadena3 = "0" + cadena3;}
```

Finalmente cambia el módulo a modo de Transmisión y envía el paquete de datos con las variables ambientales al nodo central.

```
loranode.println("radio tx " + cadena3);
```

De la misma manera como en la placa de Arduino, ahora se conecta al módulo RN2483 con la placa de procesamiento Raspberry Pi que va a conformar el nodo central, seguido a esto se conecta a la alimentación eléctrica. A continuación, mediante el uso del software Python, dentro del script se realiza la inicialización de las variables y de las librerías.

```
import serial #librería puerto serial
lora = serial.Serial('/dev/ttyUSB0', 57600) #configuración del puerto serial
```

Ahora, se procede a cambiar al módulo a Receptor, para que pueda recibir la información enviada de los nodos sensores, evaluando si el módulo se encuentra libre.

```
print("CAMBIO A Rx")
lora.write(b'radio rx 0\r\n') #Cambio a modo de Receptor
if(str(lora.readline()) != "busy"): #Evalúa que el módulo este libre
a= str(lora.readline()) #Variable del paquete recibido
```

Se realiza la separación bit a bit de los datos recibidos.

```
A3=a[18]+a[19]+a[20]+a[21] #Variable para el sensor de hum. Rel.
A4=a[22]+a[23]+a[24]+a[25] #Variable para el sensor de temperatura
```

Posteriormente se realiza la conversión de valores analógicos a digitales, junto con la calibración de cada sensor, el DHT11 al tener una librería propia no es necesario realizar su calibración por medio de una ecuación como se muestra a continuación.

```

sensor3=(A3)           # Sensor de Humedad Relativa
s3=float(sensor3)      #Convierte de string a tipo float
SenHR=(s3)
SenHR=( "%.1f" % SenHR) #Mostrar el valor con un solo decimal

sensor4=(A4)           # Sensor de Temperatura
s4=float(sensor4)      #Convierte de string a tipo float
SenTem=(s4)
SenTem=( "%.1f" % SenTem) #Mostrar un solo decimal

```

A continuación, se exponen las ecuaciones realizadas para la calibración de los demás sensores que conforman el nodo sensor del cultivo de alfalfa, las cuales se las configura en dentro del script de la placa Raspberry Pi.

Para la calibración del sensor de humedad relativa y temperatura ambiente se lo hace en base a la librería propia del sensor DHT11 que ya viene con los valores predeterminados para su sensado, para la comprobación se usa la aplicación Termohigrómetro y se verifica que los valores medidos por el sensor son bastantes similares a los valores que indica la aplicación como se muestra en la *Figura 87*.



*Figura 87.* Verificación de temperatura y humedad relativa con la aplicación móvil.

Para calibrar el sensor de humedad del suelo se consideran los valores analógicos, siendo 1023 el máximo y 0 el mínimo; por lo tanto, para conocer el porcentaje de humedad del suelo se aplica la siguiente *Ecuación 7*.

$$HumSuelo = \left( \frac{(valor\ del\ sensado - 1023) * (100 - 1)}{(1 - 1023) + 1} \right)$$

Ec. 7

Del mismo modo, para la calibración del sensor de PH se consideran los valores analógicos, siendo el valor máximo 1023 y el valor mínimo 0; por lo cual, para saber el valor de PH se aplica la siguiente *Ecuación 8*.

$$PH = \left( \frac{(\text{valor del sensado} * 14.0)}{1023.0} \right) \quad \text{Ec. 8}$$

Finalmente, en el *ANEXO 15*, se encuentra el código completo, para entender de una manera clara su funcionamiento con todos los componentes que integran el nodo sensor del cultivo de alfalfa.

#### 4.2.1.1. Lectura del Sensado

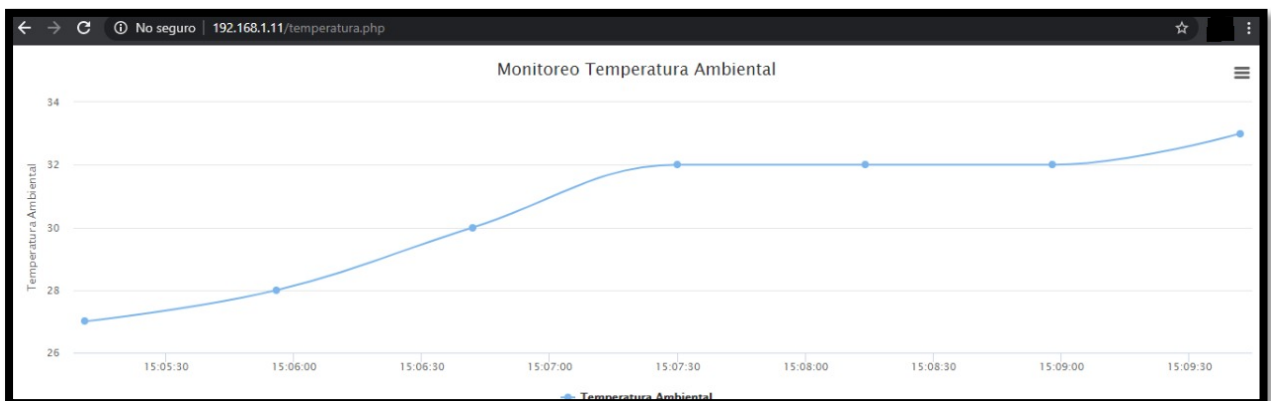
Los sensores correctamente calibrados recolectan los datos de cada parámetro a monitorear, los módulos LoRaWAN permiten la comunicación con el nodo central, el cual se encarga de subir los datos a la base de datos para visualizarlos, identificando cada uno de los sensores, por su nombre, hora y fecha del sensado, como se puede mostrar en la *Figura 88*.

The screenshot shows the phpMyAdmin interface. The SQL query is: `SELECT * FROM nodocultivo LIMIT 0, 30`. The results table is as follows:

Fecha	tempAmb	humR	humSuelo	ph
2019-08-01 15:12:40 -0500	25	46	50	8
2019-08-01 15:15:40 -0500	24	46	48	8
2019-08-01 15:18:40 -0500	24	45	46	8
2019-08-01 15:21:40 -0500	26	47	45	8
2019-08-01 15:21:40 -0500	27	47	42	8

Figura 88. Datos de las variables del nodo cultivo de alfalfa en la base de datos.

Del mismo modo, para una mejor visualización se realizan graficas de cada parámetro sensado en el nodo del cultivo de alfalfa. Para acceder al servidor web local donde se encuentran estas imágenes se lo hace por medio de una dirección estática: <https://192.168.1.11/inicio.php>. La *Figura 89*, muestra la gráfica de la temperatura ambiental del cultivo de alfalfa, al estar en un ambiente externo se muestra a la temperatura variante con el tiempo.



*Figura 89.* Datos de la variable Temperatura Ambiental.

En la *Figura 90*, se muestra el sensado de la humedad relativa del cultivo de alfalfa.



*Figura 90.* Datos de la variable Humedad Relativa

En la *Figura 91*, se muestra la gráfica del sensado de la humedad del suelo del cultivo de alfalfa.

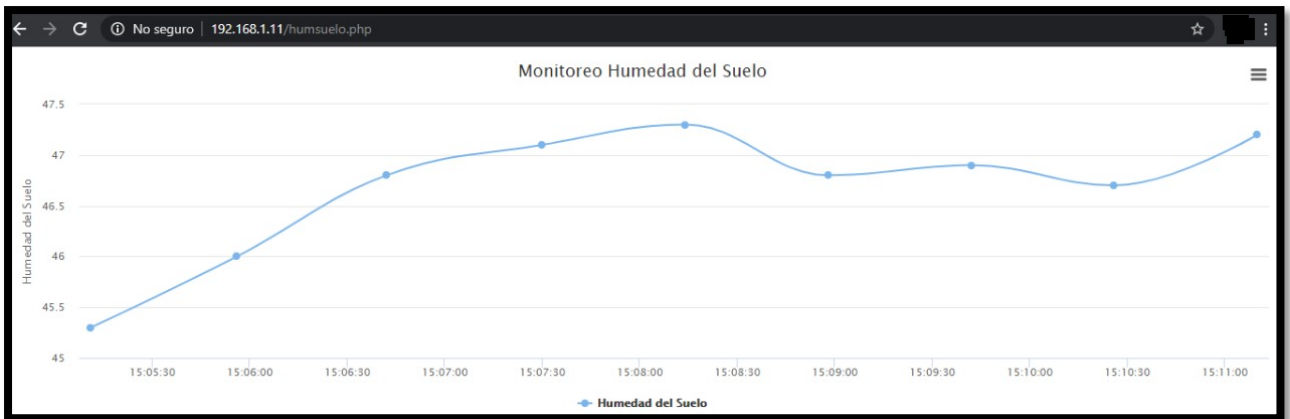


Figura 91. Datos de la variable Humedad del Suelo.

La Figura 92, muestra el monitoreo del Ph del cultivo de alfalfa.

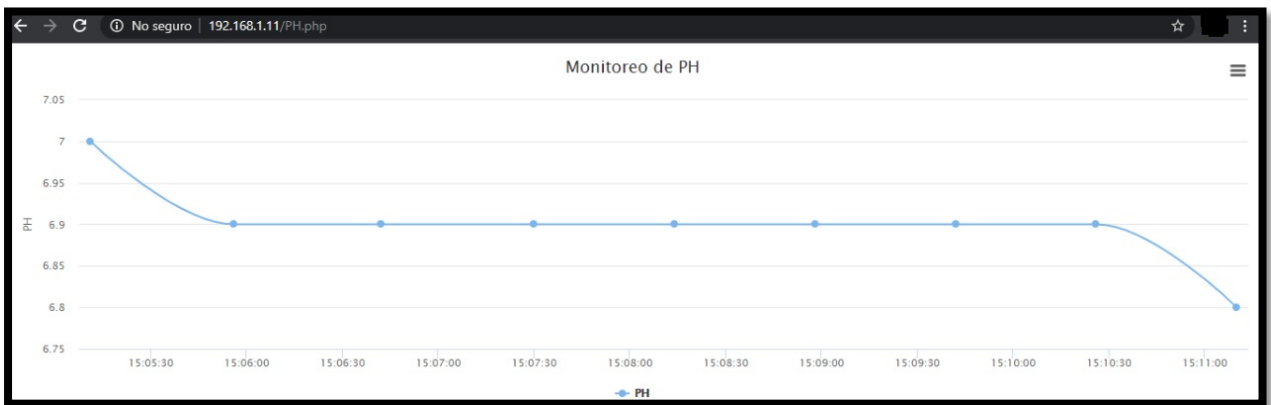


Figura 92. Datos de la variable PH.

#### 4.2.2. Pruebas de la materia orgánica

La materia orgánica como se muestra en la Figura 93, se encuentra en la Granja “La Pradera”, cuenta con una extensión de 9m<sup>2</sup>, únicamente de compost orgánico. Con respecto al fundamento teórico, se debe cumplir con valores óptimos de la materia orgánica, siendo estos los siguientes:

- Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>): 280ppm a 310ppm
- Temperatura ambiente: 15°C a 25°C
- Humedad relativa: 50% a 70%

- Humedad del suelo: 0-30 seco, 31 a 70 húmedo, 71 a 100 agua.
- Temperatura del suelo: 10°C a 20°C



*Figura 93. Compost orgánico.*

Las pruebas realizadas en el desarrollo del proyecto cumplen con todo lo definido en el alcance, los sensores fueron programados y configurados de la siguiente manera:

A manera de ejemplo, a continuación, se presenta la configuración del sensor de CO<sub>2</sub>. Primero se deben conectar todos los materiales que conforman el nodo sensor como son: sensor de humedad relativa, temperatura ambiente, humedad del suelo, temperatura del suelo y CO<sub>2</sub>; la placa de procesamiento Arduino Uno y el módulo RN2483, seguido a esto se debe conectar el nodo sensor armado a la energía eléctrica.

A continuación, mediante el uso del software Arduino IDE, se realiza la inicialización de las variables.

```
String str;           //Variable para comunicación con módulo LoRa
int co2 = 0;         // Variable del sensor de co2
```

Seguidamente, se introduce la configuración de parámetros del módulo RN2483.

```
loranode.setTimeout(100);           //Establece 100 milisegundos para esperar datos
por puerto serial
str = loranode.readStringUntil('\n');
Serial.println(str);
loranode.println("radio set wdt 0"); //Tiempo de espera en milisegundos para
recepción de datos
str = loranode.readStringUntil('\n');
Serial.println(str);
loranode.println("radio set pwr 14"); //Asignación de potencia de Transmisión del
módulo RN2483
str = loranode.readStringUntil('\n');
Serial.println(str);
loranode.println("radio set sf sf12"); //Asignación del factor de propagación usado
durante la Transmisión
str = loranode.readStringUntil('\n');
Serial.println(str);
loranode.println("mac pause");      //Permite cambiar al módulo de Recepción a
Transmisión y viceversa
```

Se coloca al módulo en modo receptor para recibir peticiones por parte del nodo central.

```
loranode.println("radio rx 0");      //Coloca al módulo en modo receptor
```

A continuación, lee el valor de gases de efecto invernadero CO2 y se convierte a valores tipo String.

```
co2 = analogRead(0);                //Mide el valor de CO2 (valor analógico)
String cadena1 = String(co2, DEC);    // a la variable de CO2 se le convierte a tipo string
```

Ahora, se realiza el envío de las variables con un tamaño de 4 caracteres por el valor analógico (0000-1023), por lo que a los caracteres faltantes se les completa con "0".

```
if(co2 <= 0) cadena1 = "0000";
if(co2 >=1 && co2 <= 99){cadena1 = "00" + cadena1;}
if(co2 >=100 && co2 <= 999){cadena1 = "0" + cadena1;}
```

Finalmente cambia el módulo a modo de Transmisión y envía el paquete de datos con las variables ambientales al nodo central.

```
loranode.println("radio tx " + cadena1);
```

De la misma manera como se hizo con la placa de Arduino, ahora se conecta al módulo RN2483 con la placa de procesamiento Raspberry Pi que va a conformar el nodo central, seguido a esto se lo conecta a la alimentación eléctrica. A continuación, mediante el uso del software Python, dentro del script, se realiza la inicialización de las variables y de las librerías.

```
import serial #librería puerto serial
lora = serial.Serial('/dev/ttyUSB0', 57600) #configuración del puerto serial
```

Ahora, se procede a cambiar al módulo a Receptor, para que pueda recibir la información enviada de los nodos sensores, evaluando si el módulo se encuentra libre.

```
print("CAMBIO A Rx")
lora.write(b'radio rx 0\r\n') #Cambio a modo de Rx
if(str(lora.readline()) != "busy"): #Evalúa que el módulo este libre
a= str(lora.readline()) #Variable del paquete recibido
```

Se realiza la separación bit a bit de los datos recibidos.

```
B1=b[10]+b[11]+b[12]+b[13] #Variable para el sensor de CO2
```

Posteriormente se realiza la conversión de valores analógicos a digitales, junto con la calibración de cada sensor, se realiza la calibración del sensor de CO<sub>2</sub>, en base a los valores analógicos, donde 1023 es el valor máximo y 0 es el valor mínimo; por lo tanto, para calcular el porcentaje de CO<sub>2</sub> en ppm se aplica la *Ecuación 9*.

$$CO_2 \text{ (ppm)} = \left( \frac{(\text{valor del sensado} - 1) * (1000 - 270)}{(1023 - 1) + 270} \right) \quad \text{Ec. 9}$$

```
sen1=(B1) #Sensor de CO2
p1=float(sen1) #Convierte de string a tipo float
SenCO2=(p1-1)*(1000-270)/(1023-1)+270 #Ecuación para la calibración
SenCO2("%.1f" % SenCO2) #Mostrar el valor con un solo decimal
```



A continuación, se exponen las ecuaciones realizadas para la calibración de los demás sensores que conforman el nodo sensor de la materia orgánica, las cuales se las configura de la misma manera dentro del script de la Raspberry Pi.

Para la calibración del sensor de humedad relativa y temperatura ambiente se lo hace en base a la librería propia del sensor DHT11 que ya viene con los valores predeterminados para su sensado, para la comprobación se usa la aplicación Termohigrómetro y se verifica que los valores medidos por el sensor son bastantes similares a los valores que indica la aplicación como se muestra en la *Figura 94*.



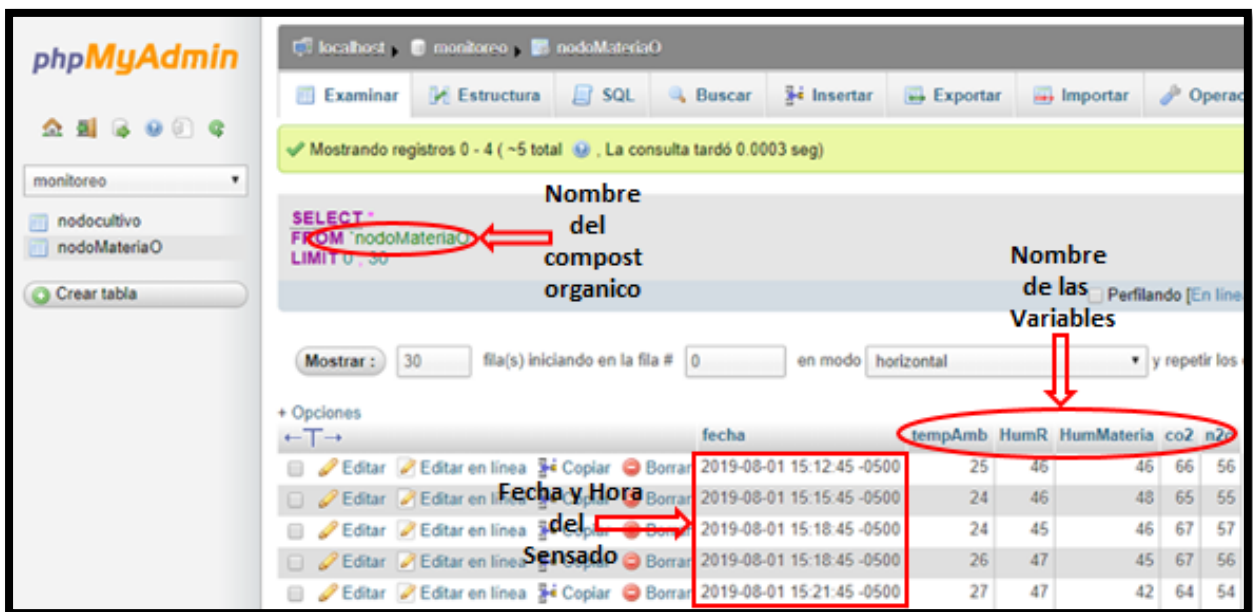
*Figura 94.* Verificación de la humedad relativa y temperatura del compost orgánico con la aplicación móvil.

Para la calibración del sensor de temperatura del suelo se lo hace en base a la librería propia del sensor DS18B20 que ya viene con los valores predeterminados para su sensado. Así mismo, para obtener el valor de la humedad del suelo de la materia orgánica se usa la fórmula de la *Ecuación 7*.

Finalmente, en el *ANEXO 16*, se encuentra el código completo, para entender de una manera clara su funcionamiento con todos los componentes que integran el nodo sensor de la materia orgánica.

#### 4.2.2.1.Lectura del Sensado

Los sensores calibrados correctamente, ayudan a que se pueda monitorear adecuadamente cada parámetro, para tener una recolección de datos exitosa, los módulos LoRaWAN permiten la comunicación con el nodo central, el cual se encarga de subir la información a la base de datos para visualizarlos; como identificativo, cada parámetro analizado tendrá nombre, fecha y hora, como se muestra en la *Figura 95*.



*Figura 95.* Datos de las variables del nodo compost orgánico.

Además, para tener una mejor visualización de los datos se realizan graficas de cada parámetro sensado en el nodo de la materia orgánica. Para acceder al servidor web local donde se encuentran estas imágenes se lo hace por medio de una dirección estática: <https://192.168.1.11/inicio.php>. La *Figura 96*, muestra la gráfica de la temperatura ambiental de la materia orgánica, al estar en un ambiente externo se muestra a la temperatura variante con el tiempo.

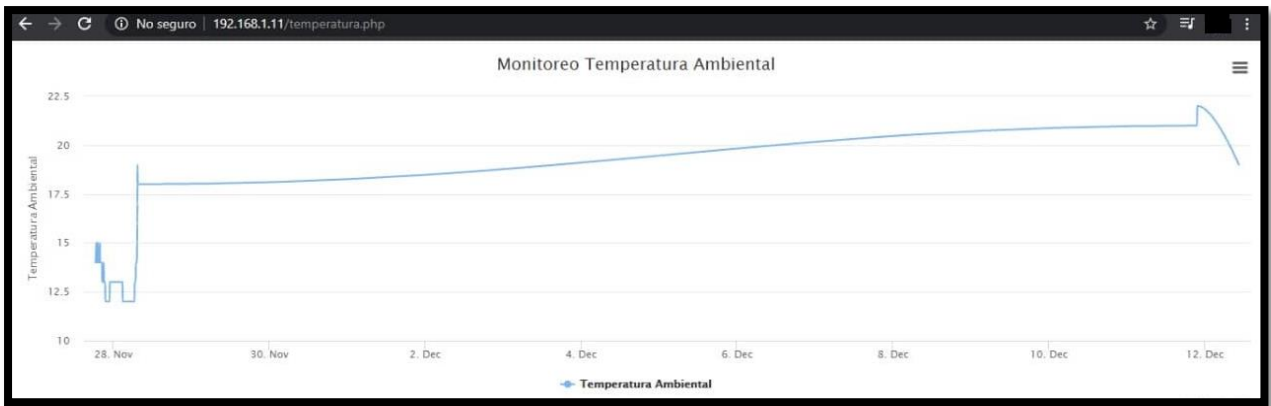


Figura 96. Datos de la variable Temperatura Ambiental del compost orgánico.

En la *Figura 97*, se muestra la gráfica del monitoreo de humedad relativa de la materia orgánica.

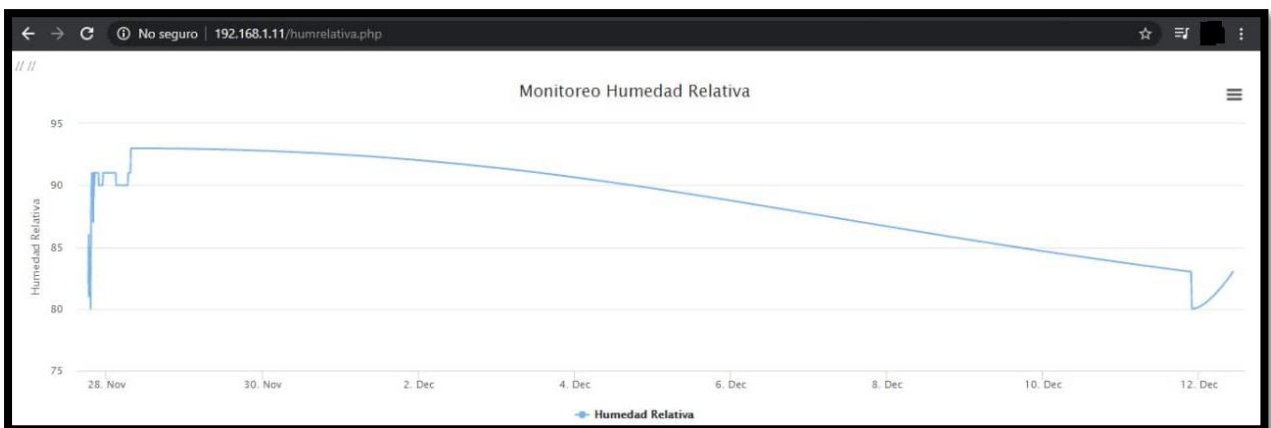


Figura 97. Datos de la variable Humedad Relativa del compost orgánico.

La *Figura 98*, muestra la gráfica del monitoreo de la humedad del suelo.





Figura 98. Datos de la variable Humedad del suelo de la materia orgánica.

### 4.2.3. Comparativa entre cultivo con y sin monitoreo

Con la ayuda del Señor Gabriel Chimbo, Ingeniero Agropecuario de la Universidad Técnica del Norte, conocedor del desarrollo de cultivos, se procede a tomar datos desde el primer día que se empieza con el sensado, dejando una porción del cultivo sin monitoreo para poder evidenciar resultados. La *Tabla 32*, muestra la comparativa realizada en el cultivo de alfalfa.

*Tabla 32. Comparativa del cultivo de alfalfa con y sin monitoreo.*

	Con Monitoreo	Sin Monitoreo
<b>Desarrollo de la planta</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Coloración verdosa</li> <li>- De 70 y 80cm de altura</li> <li>- Tallos gruesos</li> <li>- Flores moradas</li> <li>- Erguidas y de buen aspecto.</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Coloración amarillenta</li> <li>- De entre 30 y 40cm de altura</li> <li>- Tallos delgados y café</li> <li>- Sin flores</li> <li>- Caídas dando mal aspecto</li> </ul> 
<b>Tiempo de crecimiento</b>	- 5 a 6 meses	- 8 a 9 meses
<b>Características de las hojas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Coloración verde</li> <li>- De figura ovala</li> <li>- Con varias ramificaciones</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Coloración Amarillenta y café</li> <li>- De figura redonda</li> <li>- Con escasas ramificaciones</li> </ul>



- Gruesa y de color claro
- Aproximadamente 50cm de largo haciéndola resistente a sequías.

- De color café oscuro
- Aproximadamente 20cm de largo haciéndola intolerante a las sequías.

### Características de la raíz



Fuente: Autoría.

Luego de algún tiempo con el monitoreo en el cultivo, el Ingeniero Chimbo comentó que observó mejoras en el cultivo como se muestra en la *Tabla 32*, quedando completamente satisfecho con el sistema de monitoreo.

Continuando con el análisis de la *Tabla 32*, se tiene que un cultivo al ser monitoreado, implementando tecnologías innovadoras y económicas, pueden resultar siembras beneficiosas y productivas ahorrando dinero y tiempo; a comparación de los cultivos que se desarrollan sin ningún tipo de sensado, resultando únicamente pérdidas.

### 4.3. Costo del sistema

En este apartado se presenta el costo de cada uno de los componentes que conforman el sistema de monitoreo por medio de una red de sensores inalámbricos. En cuanto a costo se refiere no es más que la suma económica que se debe realizar para la implementación del sistema, teniendo en cuenta los componentes de hardware, software, infraestructura y trabajo de ingeniería como se detallan a continuación.

#### 4.3.1. Costo de Hardware

En la *Tabla 33*, se muestra el costo de los elementos del hardware que constituyen el sistema de monitoreo, como son los nodos sensores, nodo central y la alimentación eléctrica basada en baterías de litio y paneles solares. Los costos de hardware de la *Tabla 33*, se la referencia por medio de la proforma de Corporación Wolf S.A (véase, *ANEXO 12*).

*Tabla 33. Costos de Hardware*

<b>Equipos</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio Unitario (USD)</b>	<b>Subtotal (USD)</b>
- Raspberry Pi 3	1	59.82	59.82
- Arduino Uno	4	11.61	46.44
- Módulo LoRaWAN RN2483	5	90.00	450.00
- Sensor de humedad de suelo capacitivo	3	4.02	12.06
- Sensor de temperatura y humedad relativa DHT11	4	3.57	14.28
- Sensor de CO2 MQ-135	1	5.35	5.35
- Sensor de PH	3	60.00	180.00
- Sensor de temperatura del suelo DS18B20	1	45.00	45.00
- Elementos electrónicos varios	1	30.00	30.00

- Batería de litio	5	10.00	50.00
- Panel Solar	4	10.00	40.00
		<b>TOTAL</b>	<b>932.95</b>

Fuente: Corporación Wolf S.A

#### 4.3.2. Costo de Infraestructura

En este apartado se toma en cuenta los costos de infraestructura como son: los cases y las bases de los nodos sensores como se muestra en la *Tabla 34*. El consumo de energía eléctrica se lo exceptúa dado que son financiados por la Universidad Técnica del Norte.

*Tabla 34. Costos de Infraestructura.*

<b>Infraestructura</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio Unitario (USD)</b>	<b>Subtotal (USD)</b>
-Case nodos	5	10.00	50.00
-Soportes de madera	4	5.00	20.00
-Cables y extras	1	30.00	30.00
		<b>TOTAL</b>	<b>100.00</b>

#### 4.3.3. Costo de Ingeniería

Para los costos de ingeniería se toman en cuenta los honorarios de la persona encargada del diseño del sistema, estudio de campo y documentación. La *Tabla 35*, muestra los honorarios del diseñador del sistema en base a la proforma enviada por la corporación Home Electronics S.A (véase, *ANEXO 13*).

Tabla 35. Costos de Ingeniería.

<b>Ingeniería</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio Unitario (USD)</b>	<b>Precio Total (USD)</b>
- Estudio de campo, diseño y revisión de la infraestructura.	1	650.00	650.00
- Documentación	1	250.00	250.00
		<b>TOTAL</b>	<b>900.00</b>

Fuente: Home Electronics S.A

#### 4.3.4. Costo de Software

En la *Tabla 36*, se muestra el costo de software equivalente a 0.00 USD, debido a que los programas usados en todo el sistema se basan en Arquitectura Open Source de acceso libre.

Tabla 36. Costos de Software.

<b>Software</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio Unitario (USD)</b>	<b>Precio Total (USD)</b>
- IDE de Arduino	1	0.00	0.00
- Ubuntu Mate	1	0.00	0.00
- Python	1	0.00	0.00
- MySQL	1	0.00	0.00
		<b>TOTAL</b>	<b>0.00</b>

#### 4.3.5. Costo de implementación del sistema general

En la *Tabla 37*, se muestra los costos de inversión total del sistema, el cual se obtiene de la suma de los costos que interceden en la implementación.

Tabla 37. Costos de Implementación del Sistema.

<b>Descripción</b>	<b>Precio Total (USD)</b>
-Costos de Hardware	932.95
-Costos de Infraestructura	100.00



---

-Costos de Ingeniería	900.00
-Costos de Software	0.00
<b>TOTAL</b>	<b>1932.95</b>

---

#### **4.4. Beneficios del sistema**

A continuación, se definen los beneficios que resultan de la implementación del sistema de monitoreo del cultivo de alfalfa y materia orgánica.

- Todo el sistema se lo realizó con elementos aptos para el monitoreo en un ambiente externo (aire libre) y de bajo costo, haciéndolo un sistema eficiente.
- La implementación de este tipo de sistema en el terreno, hace que aumente considerablemente la plusvalía, además de aportar con la carrera de Agricultura de la Universidad Técnica del Norte.
- La utilización de este diseño permite a la persona encargada de la agricultura mejoras al momento de tomar decisiones basándose en los datos monitoreados por parte de los nodos sensores del cultivo de alfalfa y materia orgánica.
- Al observar mejoras en los cultivos de alfalfa implementando este tipo de monitoreo, la tecnología LoRaWAN podrá ser acogida por parte de las personas que se dedican a las actividades agrícolas.
- Al ser un proyecto de monitoreo del cultivo de alfalfa y materia orgánica por medio de una WSN, influye directamente en el desarrollo adecuado de las plantas, sin necesidad de invertir demasiado en infraestructura, haciéndolo un sistema ágil.

- El sistema cuenta con un hosting web para almacenamiento y visualización de datos, además, en caso de pérdida del servicio de internet se cuenta con una base de datos en un servidor local para evitar en lo posible perder información.

#### **4.5. Conclusiones**

- Mediante la revisión bibliográfica se pudo establecer las condiciones ambientales que influyen en el crecimiento de la alfalfa, determinando que el sistema requiere de varios sensores para cada parámetro a medir.
- A pesar de que el desarrollo de este proyecto de titulación se lo hizo con tecnología LoRaWAN, aún sigue siendo muy costosa por la disponibilidad de los equipos en el mercado nacional, si se desea implementar el mismo proyecto sería conveniente adaptarlo con otra tecnología similar.
- La seguridad física y lógica considerada en el sistema puede evitar problemas a futuro; logrando establecer a nivel físico, la ubicación de los nodos sensores a una altura considerable con respecto al suelo, para evitar la manipulación de los sensores o daños por inundaciones y a nivel lógico se estableció acceso a la base de datos mediante usuario y contraseña la cual tiene conocimiento el técnico-agricultor.
- El desarrollo de este proyecto se lo realizó en base a hardware y software libre, haciéndolo un sistema viable para implementarlo en diferentes lugares, debido a que hoy en día las razones para realizar una tarea en los cultivos se basan únicamente de manera empírica, más no en la medición de entornos ambientales, logrando dar inicio a la implementación de tecnología para la agricultura de precisión en Ecuador a un costo flexible.

- Al realizar las pruebas en el cultivo de alfalfa con el respectivo monitoreo, se demuestra que el crecimiento de las plantas ha sido satisfactorio, plantas más verdes, con flores moradas y hojas ovaladas. A diferencia de las plantas sin monitoreo, se tornaron amarillentas, sin flores, con un crecimiento mínimo y desarrollo ineficiente.
- Se logró cumplir con todos los objetivos de este proyecto de titulación de manera satisfactoria, se cuenta con un sistema de control y monitoreo de cultivos y materia orgánica mediante una red WSN, utilizando tecnología innovadora.

#### **4.6. Recomendaciones**

- Los módulos LoRaWAN alcanzan 10km teóricamente, al realizar las pruebas de cobertura se logró alcanzar 1.6km como máximo en un ambiente urbano, se podría alcanzar más cobertura si se reemplaza las antenas básicas a unas con más ganancia.
- Si se desea migrar de la base de datos se necesita usar un hosting libre para el almacenamiento en la nube con la finalidad de almacenar información que se genera del sistema.
- Se recomienda realizar los cases en madera, primero por ahorro en los costos, segundo, porque al ser un material tolerante al ambiente externo, mantendrá a los dispositivos a una temperatura adecuada para un correcto funcionamiento.
- El prototipo es de tamaño reducido, haciéndolo fácil de retirar si se suscitará algún inconveniente.
- La base de datos debe ser configurada con un usuario y contraseña propio, para evitar perder información si se dejará la configuración por defecto.

- Para la calibración de los sensores se debe considerar los Datasheet de cada uno, reconocer sus valores de medición máximo y mínimo para en base a eso encontrar la ecuación adecuada y lograr obtener datos lo más reales posibles.
- Antes de realizar la manipulación de los componentes electrónicos, se recomienda realizar una investigación de sus datos técnicos, para obtener un manejo y funcionamiento óptimo.

## Referencias

- Allience, L. (Noviembre de 2015). *A technical overview of LoRa and LoRaWAN*. Obtenido de LoRa Alliance Technical Marketing Workgroup.
- Barreto, F. (13 de Mayo de 2014). *IEEE 29148*:. Obtenido de <https://prezi.com/8mki1yjihkdp/ieee-29148/>
- Barrios, O. (2004). *Construcción de un Invernadero*.
- Bongiovanni, R., & Roel, A. (2006). AGRICULTURA DE PRECISIÓN. *PROCISUR*, 246.
- Bongiovanni, R., Mantovani, E., Best, S., & Rogel, Á. (2006). *Agricultura de Precisión: Integrando conocimientos para una agricultura moderna y sustentable*. Montevideo: Procisur/IICA.
- Cabrera, E. (25 de Mayo de 2015). *IMPORTANCIA DE LA HUMEDAD EN LA VIDA DE LAS SEMILLAS*. Obtenido de *IMPORTANCIA DE LA HUMEDAD EN LA VIDA DE LAS SEMILLAS*: <https://ir.library.msstate.edu/bitstream/handle/11668/13219/K-40.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- CANNA. (2018). La importancia de la acidez del PH para tus plantas. *CANNA*, 2.
- Chacón, J., & Campos, Y. (2018). *Implementación de un Gateway Low-Cost para el Protocolo LoRa*. Bogotá.
- ciencia, E. y. (19 de Febrero de 2017). *Blog técnico sobre proyectos caseros de electrónica, informática y física*. Obtenido de Blog técnico sobre proyectos caseros de electrónica,

informática y física.: <http://electronicayciencia.blogspot.com/2016/11/conexion-gpio-de-raspberry-pi-3.html>

Components, R. (7 de Enero de 2015). *RS Components*. Obtenido de RS Components: <https://mt.rsdelivers.com/product/microchip/rn2483-i-rm101/microchip-rn2483-i-rm101-36v-lora-module-lorawan/8806821>

DHgate. (8 de Mayo de 2008). *DHgate*. Obtenido de DHgate: <https://es.dhgate.com/product/shtj-045-protection-type-temperature-and/397610647.html#ENpu-es>

ECOHORTUM. (20 de MARZO de 2013). *CÓMO CULTIVAR ALFALFA. CÓMO CULTIVAR ALFALFA*, pág. 1.

EZELECTRONICS. (19 de Septiembre de 2016). *DHT11 HUMIDITY AND TEMPERATURE SENSOR*. Obtenido de DHT11 HUMIDITY AND TEMPERATURE SENSOR: <https://ezelectronics.in/wp-content/uploads/2016/09/DHT11-Humidity-Temperature.pdf>

Factory, G. (24 de Junio de 2016). *Geek Factory*. Obtenido de Geek Factory: <https://www.geekfactory.mx/tienda/sensores/7418/>

FAGRO. (2000). *Abono orgánico o compost*. 10.

Garbarino, J. (2011). *Universidad de Buenos Aires*.

García, E., & Flego, F. (2015). *Agricultura de Precisión*. Buenos Aires.

- Geek, B. (25 de Octubre de 2016). *Tienda Brico Geek*. Obtenido de Tienda Brico Geek:  
<http://tienda.bricogeek.com/sensores-temperatura/762-sensor-de-temperatura-y-humedad-sht10-acero-inox.html>
- Gutierrez, D. (11 de Julio de 2011). *Metodologías y procesos de análisis de software*. Obtenido de Metodologías y procesos de análisis de software.:  
<http://alexanderlemus.blogspot.mx/2011/12/documentos-que-se-entregan-en-el-modelo.html>
- Huertas, L. (Marzo de 2008). *Horticom*. Obtenido de  
<http://www.horticom.com/pd/imagenes/69/757/69757.pdf>
- Ibañez, J. (26 de Junio de 2006). *Madrid Blogs*. Obtenido de  
<http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2006/06/26/33002>
- Iglesias, N. (2009). *INTA*. Obtenido de <http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp>
- InfoAgro. (2010). *El cultivo de la Alfalfa*. Obtenido de  
<https://www.infoagro.com/herbaceos/forrajes/alfalfa3.htm>
- Kolbasuk, M. (17 de Mayo de 2017). *Gao Assesses IoT Vulnerabilities*. Obtenido de Gao Assesses IoT Vulnerabilities: <https://www.bankinfosecurity.com/gao-assesses-iot-cybersecurity-other-risks-a-9926>
- Latré, S., Weyn, M., & Lannoo, B. (2014). Sub-GHz LPWAN network coexistence, management and virtualization: an overview and open research challenges. *University of Antwerp*, 29.

- Lelong.my. (17 de Marzo de 2017). *Electronic Engineering*. Obtenido de Electronic Engineering: <https://www.lelong.com.my/arduino-iot-tp4056-1a-li-ion-battery-charger-module-littlecraft-195289068-2019-08-Sale-P.htm>
- León, E. (2003). Pastos y Forrajes, Producción y Manejo. *Folleto pastos y forrajes. Universidad Central, 251.*
- Leon, R. (2002). Producción y manejo de pastos y forrajes. Editorial Universitaria.
- Liotta, M., Carrión, R., Ciancaglini, N., & Olguín, A. (2015). *Manual de Capacitación - Riego por goteo*. Rivadavia: Ediciones para UCAR. .
- Lorenzo, P. (2012). EL CULTIVO EN INVERNADERO Y SU RELACIÓN CON EL CLIMA. *CUADERNOS DE ESTUDIOS AGROALIMENTARIOS, 22.*
- Maninder, K. (2010). Computer Network Topologies. 20.
- Martínez, A. (3 de Agosto de 2017). *twenergy*. Obtenido de <https://twenergy.com/a/sistemas-de-riegos-para-momentos-de-necesidad-de-ahorro-de-agua-2709>
- Martínez, R., Ordieres , J., & Lostado, R. (2009). Redes Inalámbricas de sensores: teoría y aplicación práctica. *UNIVERSIDAD DE RIOJA. Servicio de Publicaciones, 98.*
- Mifsuf, E. (2010). APACHE. *Aula Mentor, 31.*
- Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2017). *Noticias: Ministerio de Agricultura y Ganadería*. Obtenido de <https://www.agricultura.gob.ec/zapotillo-94-familias-beneficiadas-con-micro-reservorios/>



Ministerio de Agricultura y Riego. (marzo de 2016). *Proyecto Subsectorial de Irrigación.*

Obtenido de [http://www.psi.gob.pe/wp-content/uploads/2016/03/biblioteca\\_hojas\\_riego\\_multicompuertas.pdf](http://www.psi.gob.pe/wp-content/uploads/2016/03/biblioteca_hojas_riego_multicompuertas.pdf)

Molina Martínez, J., & Ruiz Canales, A. (2010). Automatización y telecontrol de sistemas de riego. *MARCOBO, S.A.*, 400.

Montes, J., & Geraldo, A. (15 de Julio de 2012). *Redes de Sensores Inalambricas WSN (UPT-ARAGUA)*. Obtenido de Redes de Sensores Inalambricas WSN (UPT-ARAGUA): <http://redesdesensoreswsn.blogspot.com>

Moya, A. (2018). *Evaluación de pasarela LoRa/LoRaWAN en entornos urbanos*. Valencia.

Muñoz, M., Mera, R., & Artieda, J. (2017). Tecnologías de la información y comunicación en la agricultura. *UNIANDES EPISTEME*, 12.

Noguera, J. (06 de Diciembre de 2015). *Una Introduccion a Las Redes de Sensores Inalámbricas*. Obtenido de Una Introduccion a Las Redes de Sensores Inalámbricas: <https://es.scribd.com/document/292356029/Una-Introduccion-a-Las-Redes-de-Sensores-Inalambricas>

Ordoñez, Monfort, I. (2016). Estudio de la arquitectura y el nivel de desarrollo de la red LoRaWAN y d ellos dispositivos LoRa. *Estudio de la arquitectura y el nivel de desarrollo de la red LoRaWAN y d ellos dispositivos LoRa.*, 11.

Pacheco, A. (7 de Junio de 2010). *ACEA: Invernaderos para el mundo*. Obtenido de <http://acea.com.mx/articulos-tecnicos/alex-j-pacheco/60-los-factores-ambientales-y-su-influencia-en-invernaderos-313-la-luz-dentro-del-invernadero>

Pallavi, S., & Smruti, R. (2017). Internet of Things: Architectures, Protocols, and Applications. *Journal of Electrical and Computer Engineering*, 50.

PanamaHitek. (10 de Julio de 2016). *PanamaHitek*. Obtenido de PanamaHitek: <http://panamahitek.com/especificaciones-tecnicas-del-arduino/>

Peery, J. (12 de Septiembre de 2017). *PROMIX*. Obtenido de <https://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/como-influye-la-humedad-en-la-calidad-de-los-cultivos/>

Pérez García, A. (2013). *GAMIFICACIÓN: ENCUESTAS DE SATISFACCIÓN DE LOS SERVICIOS DE ALIMENTACIÓN JAVERIANOS*. Obtenido de <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/12643>

Pérez, R. (2017). *Evaluación de LoRa/LoRaWAN para escenarios de Smart City*. Catalunya.

*Pevifer*. (Julio de 2009). Obtenido de <https://www.verpueblos.com/castilla+y+leon/leon/santa+olaja+de+porma/foto/450520/>

Pillou, J. (12 de Mayo de 2015). *Grupo Figaro\_Equipo de red Pasarelas*. Obtenido de Grupo Figaro\_Equipo de red Pasarelas: <https://es.ccm.net/contents/294-equipos-de-red-pasarelas>

Pombosa, A. (2016). Determinación de las etapas del cultivo de la alfalfa. *proyecto de investigación*, 140.

Quindiaguas. (s.f.). *Quindiaguas*. Obtenido de <http://quindiaguas.com/contenido-index-id-22.htm>

Ramos, F. (1 de Agosto de 2011). *Radio Enlaces*. Obtenido de Radio Enlaces: <http://www.radioenlaces.es/articulos/perdidas-en-obstaculos/>

Rebuffo, M. (2015). ALFALFA: Principios de manejo del pastoreo. *Producción Animal*, 3.

Rojas, F., Lezcano, M., & Medina, F. (2016). *Agricultura de precisión con sensores inalámbricos*. Santa Cruz de la Sierra.

Román, P., Martínez, M., & Pantoja, A. (2013). Manual de Compostaje del Agricultor. *Manual de Compostaje del Agricultor*, 112.

RURAL, F. (2010). Monografía de Alfalfa Verde. *Dirección efectiva de análisis sectorial*, 4.

Salas, S. (2018). TODO SOBRE SISTEMAS EMBEBIDOS. *REPOSITORIO ACADÉMICO UPC*, 38.

Saldarriaga, V. (12 de febrero de 2012). *JARDINERIA ON*. Obtenido de <https://www.jardineriaon.com/temperatura-en-los-invernaderos.html>

Segarra, E., Velandia, M., & Rejesus, R. (2004). Un análisis económico de la aproximación estadística para el establecimiento de zonas de manejo en agricultura de precisión. *DESARROLLO Y SOCIEDAD*, 21.

*Seminis*. (18 de Julio de 2016). Obtenido de <http://www.seminis.mx/blog-los-principales-sistemas-de-riego/>

*SIRHC Hidráulica y Construcciones*. (2016). Obtenido de Sistema de Riego por Micro-compuertas: <http://www.hidraulicayconstrucciones.com.mx/compuerta.php>

Smart, S. (Noviembre de 2010). *Sain Smart*. Obtenido de SainSmart: <https://www.sainsmart.com/products/mq-137-ammonia-detection-sensor-nh3-gas-sensor>

Technology, M. (20 de Mayo de 2004). *Microchip*. Obtenido de Microchip: <https://www.microchip.com/wwwproducts/en/RN2903>

Tellaeche, A. (2007). TECNICAS INTELIGENTES BASADAS EN PERCEPCIÓN VISUAL APLICADAS A LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN. *TESIS DOCTORAL*, 211.

Timana Coral, N. (2015). Efectos de la fertilización química-orgánica en el rendimiento ALFALFA. *TESIS DE GRADO*, 130.

TOSTATRONIC. (30 de Agosto de 2016). *TOSTATRONIC VENTA DE COMPONENTES ELECTRONICOS E INFORMATICOS*. Obtenido de TOSTATRONIC VENTA DE COMPONENTES ELECTRONICOS E INFORMATICOS: <http://tostratonic.com/store/inicio-sesion?back=identity>

USDA. (2014). Classification for Kingdom Plantae Down to Genus Medicago L. Plants Database. *Natural Resources Conservation Service.*, 50.

WIL. (29 de MARZO de 2011). CULTIVOS DE CICLO CORTO CON PRÁCTICAS DE CONSERVACIÓN DE SUELO. *AGROPECUARIOS*, pág. 2.

Zeinab, A., & Elmustafa , A. (2017). Internet of Things Applications, Challenges and Related Future Technologies. *World Scientific News*, 23.

## Glosario de Términos y Acrónimos

**LPWAN:** Low Power Wide Area Network (Red de área amplia y baja potencia). Es una red óptima para dispositivos de conexión que necesitan enviar pequeñas cantidades de datos a largas distancias (10 a 15km en zonas rurales y 1 a 5km en zonas urbanas), con la ventaja que la duración de la batería es larga (hasta 15 años).

**LoRa:** Long Range (Largo Alcance). Es una tecnología de comunicación inalámbrica diseñada para interconectar dispositivos que requieren bajo consumo de energía a velocidades muy bajas (hasta 50 Kbps).

**WSN:** Wireless Sensor Network (Redes de sensores inalámbricos). Realiza la adquisición y tratamiento de datos con múltiples aplicaciones en distintos campos tales como entornos industriales, domótica, entornos militares y detección ambiental.

**IoT:** Internet of Things (Internet de las Cosas). Es un concepto que se refiere a la interconexión digital de objetos con internet. Alternativamente, IoT es el punto en el tiempo en el que se conectarían a internet más “objetos” que personas.

**UART:** Universal Asynchronous Receiver-Transmitter (Transmisor-Receptor Asíncrono Universal). Por medio de este dispositivo se realiza la comunicación serial entre dispositivos PC con alguna placa en particular.

**CSS:** Chirp Spread Spectrum (Espectro Expandido Chirp). Es una técnica que usa chirp (pulsos) modulados de frecuencia lineal de banda ancha para codificar información.

**SF:** Spreading Factor (Factor de Dispersión). Es la cantidad de *chirps* por símbolo utilizados en el tratamiento de la información antes de la transmisión de la señal.

**PCB:** Printed Circuit Board (Placa de circuito impreso). Es una zona constituida por caminos o pistas de material conductor laminadas sobre una base no conductora.





- De 2 a 5 minutos ( )
- De 5 a 10 minutos ( )
- De 10 a 15 minutos ( )
- Más de 15 minutos ( )

7. ¿Es importante para usted disminuir el tiempo que tarda en revisar cada cultivo?

SI ( ) NO ( )

8. ¿De acuerdo a su criterio, que condiciones ambientales cree usted que serían adecuadas monitorear?

- Humedad del Suelo ( )
- Temperatura Ambiente ( )
- Humedad Relativa ( )
- Temperatura del Suelo ( )
- CO<sub>2</sub> ( )
- PH ( )
- Todas las anteriores ( )

9. ¿Cree que, si la Granja pudiera contar con un sistema que ayude a medir los parámetros necesarios para el desarrollo de un cultivo, usted podría ahorrar tiempo y obtener mejores resultados?

SI ( ) NO ( )

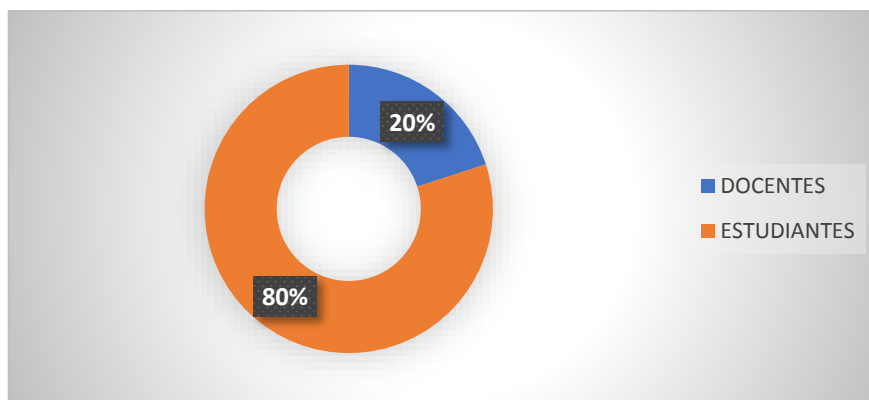
10. ¿Cree usted que es viable y factible el uso de las tecnologías para el desarrollo de cultivos?

SI ( ) NO ( )

**ANEXO 2: Tabulación de las encuestas realizadas a las personas implicadas en el área de agricultura de la Granja de la UTN.**

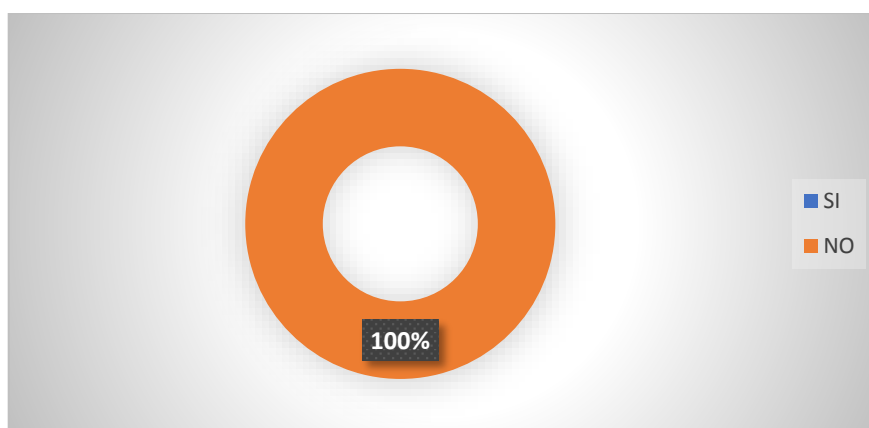
**TABULACIÓN DE LAS ENCUESTAS**

1. ¿Cuál es el rol que usted desempeña?



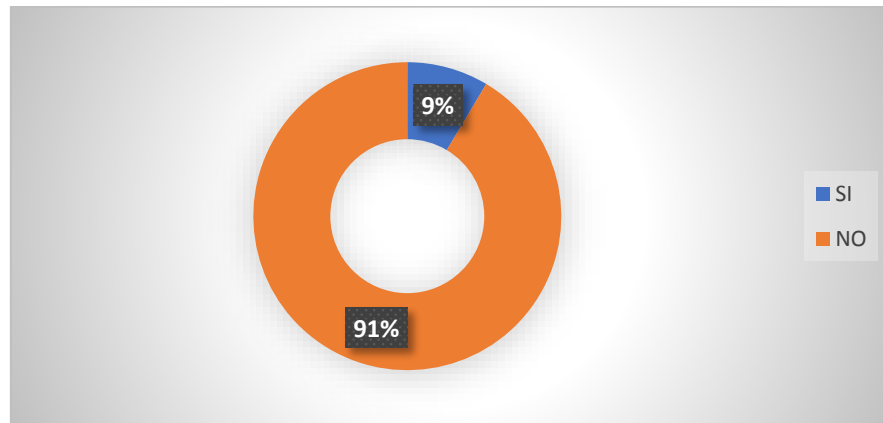
Como se muestra en la gráfica la mayoría de encuestados fueron estudiantes de la carrera de Ingeniería Agropecuaria y Docentes de la misma carrera.

2. ¿Usa tecnología para el monitoreo del cultivo de alfalfa?



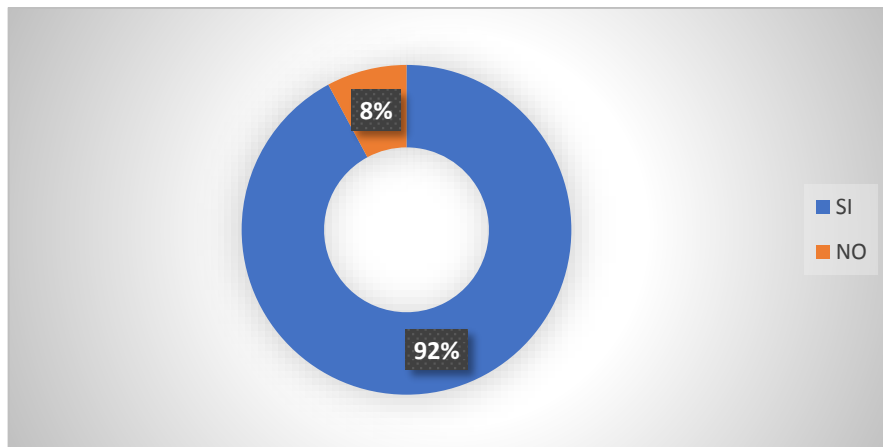
De las personas encuestadas, el 100% de ellos no usan una tecnología para el monitoreo de la alfalfa, solo se basan en razones tradicionales del cultivo obtenidos de la experiencia.

3. ¿Conoce sobre la Agricultura de Precisión?



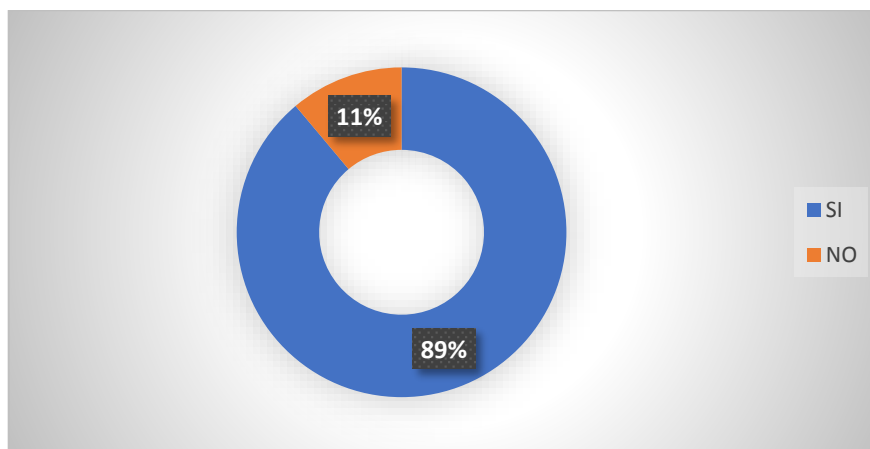
Solo un 9% de los encuestados conocen sobre la agricultura de precisión, lo que conlleva a una falta de conocimiento en cuanto a tecnologías en la agricultura.

4. ¿Estaría dispuesto a implementar tecnología que ayude a monitorear los cultivos en la Granja?



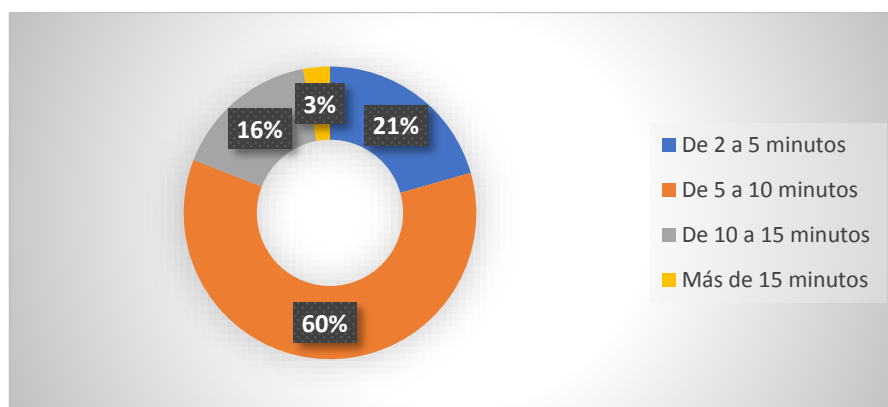
Se muestra que la mayoría con un 92% de encuestados optan por implementar la tecnología y sobre todo la agricultura de precisión para los cultivos.

5. ¿Le gustaría observar la medición de los parámetros del cultivo en cualquier momento desde una PC en la oficina central de la Granja?



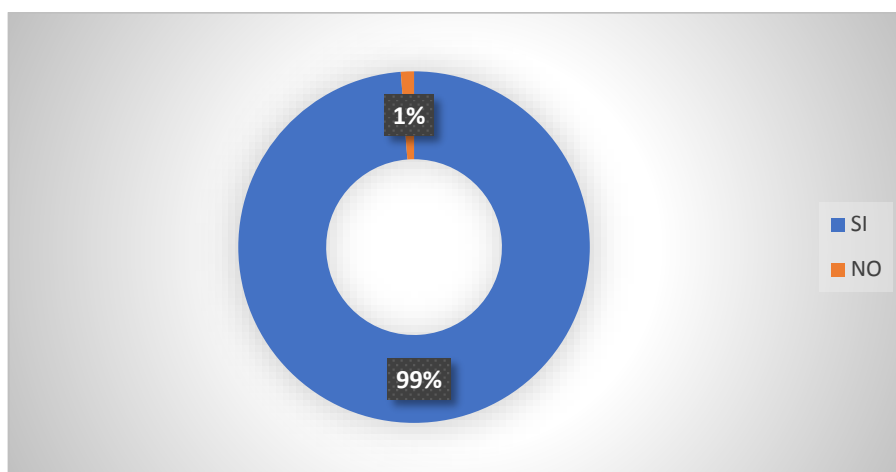
Solo un 11% están es desacuerdo, ya que ellos están acostumbrados a dirigirse hacia el cultivo y comprobar en persona como se desarrolla el producto.

6. ¿Cuál es el tiempo que se demora en llegar hacia los cultivos que se encuentran a varios kilómetros para observar si se encuentra desarrollándose en óptimas condiciones?



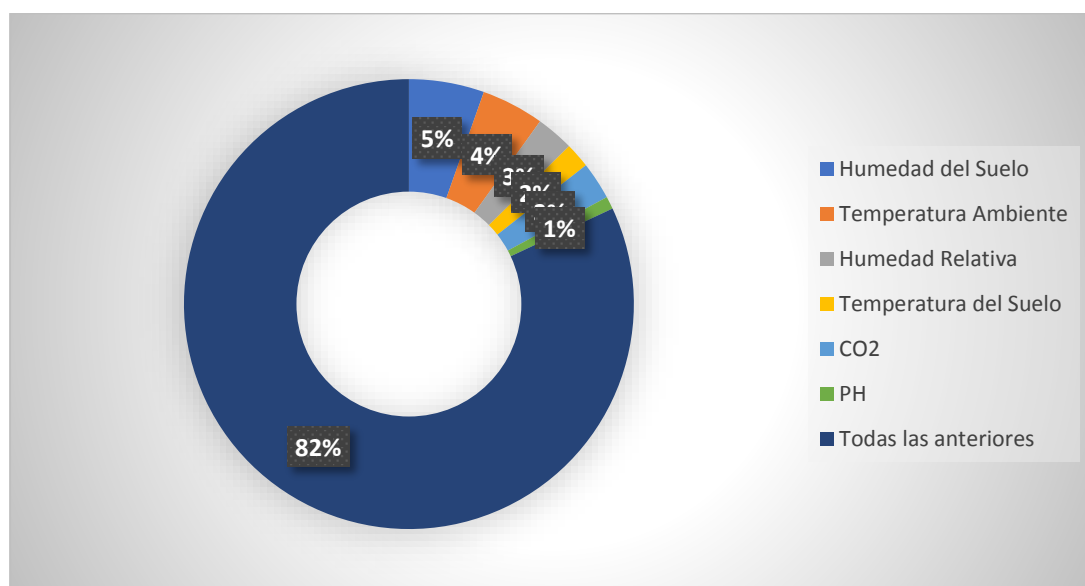
Con un aproximado de entre 5 a 10 minutos se demora un tanto del 60% de los encuestados, ya que la granja cuenta con una extensión aproximada de 40 hectáreas, siendo un área muy extensa para caminar con las herramientas para el mantenimiento de los cultivos.

7. ¿Es importante para usted disminuir el tiempo que tarda en revisar cada cultivo?



El 99% de los encuestados concluyeron en que es importante disminuir el tiempo que se demora en dirigirse hacia este, aplicando un sistema inteligente para no tener que dirigirse hacia el cultivo.

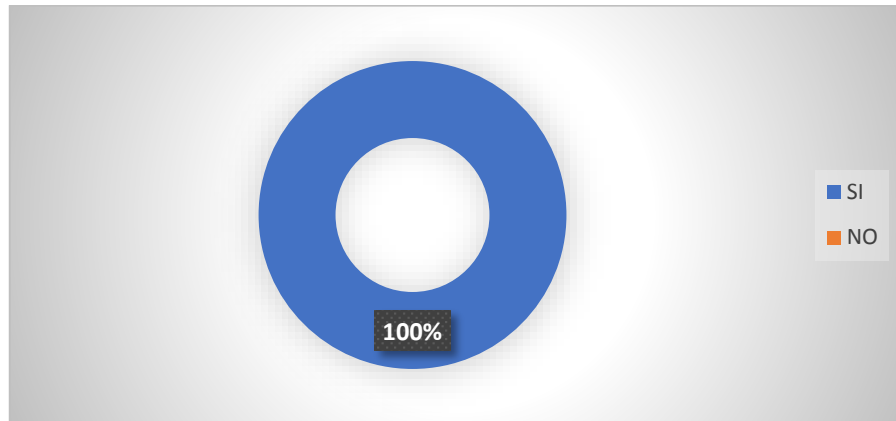
8. ¿De acuerdo a su criterio, que condiciones ambientales cree usted que serían adecuadas monitorear?



Al ser estudiantes de agropecuaria, conocen todos los parámetros necesarios para que un cultivo se desarrolle de una manera adecuada, por lo cual el 82% de los encuestados están

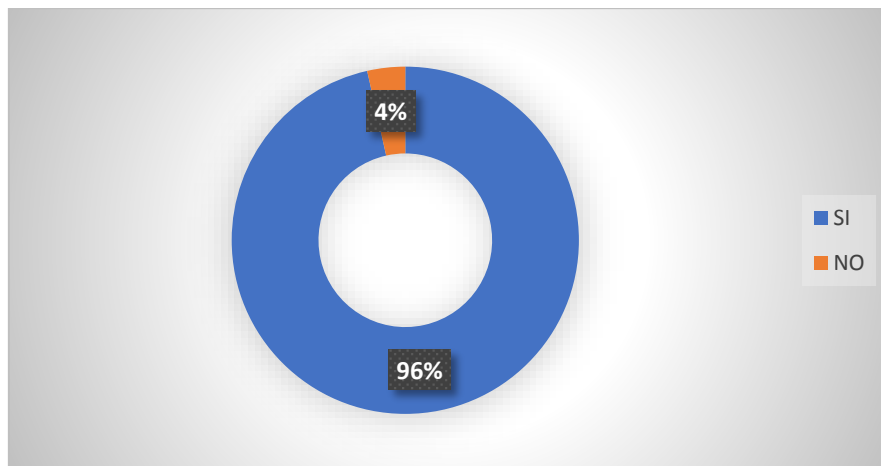
de acuerdo en incluir en el sistema las mediciones de Humedad del Suelo, Temperatura Ambiente, Humedad Relativa, Temperatura del Suelo, CO2 y PH.

9. ¿Cree que, si la Granja pudiera contar con un sistema que ayude a medir los parámetros necesarios para el desarrollo de un cultivo, usted podría ahorrar tiempo y obtener mejores resultados?



El 100% de los encuestados están de acuerdo en que la Granja pueda implementar un sistema inteligente en el que se pueda medir parámetros de una manera más sencilla, precisa y con buenos resultados.

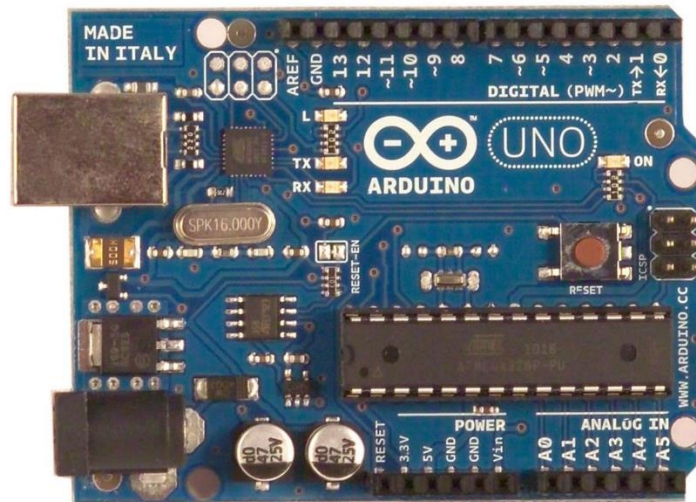
10. ¿Cree usted que es viable y factible el uso de las tecnologías para el desarrollo de cultivos?



Solo un 4% de personas creen que no es factible el uso de tecnologías en la parte de la agricultura, ya que están acostumbradas a hacerlo por el método tradicional sin ningún problema, pero hay un 96% que quiere experimentar el uso de nuevas maneras de producción.

## ANEXO 3: Datasheet Arduino Uno

# Arduino UNO



## Product Overview

The Arduino Uno is a microcontroller board based on the ATmega328 ([datasheet](#)). It has 14 digital input/output pins (of which 6 can be used as PWM outputs), 6 analog inputs, a 16 MHz crystal oscillator, a USB connection, a power jack, an ICSP header, and a reset button. It contains everything needed to support the microcontroller; simply connect it to a computer with a USB cable or power it with a AC-to-DC adapter or battery to get started. The Uno differs from all preceding boards in that it does not use the FTDI USB-to-serial driver chip. Instead, it features the Atmega8U2 programmed as a USB-to-serial converter.

"Uno" means one in Italian and is named to mark the upcoming release of Arduino 1.0. The Uno and version 1.0 will be the reference versions of Arduino, moving forward. The Uno is the latest in a series of USB Arduino boards, and the reference model for the Arduino platform; for a comparison with previous versions, see the [index of Arduino boards](#).

## Index

Technical  
Specifications

Page 2



# Technical Specification

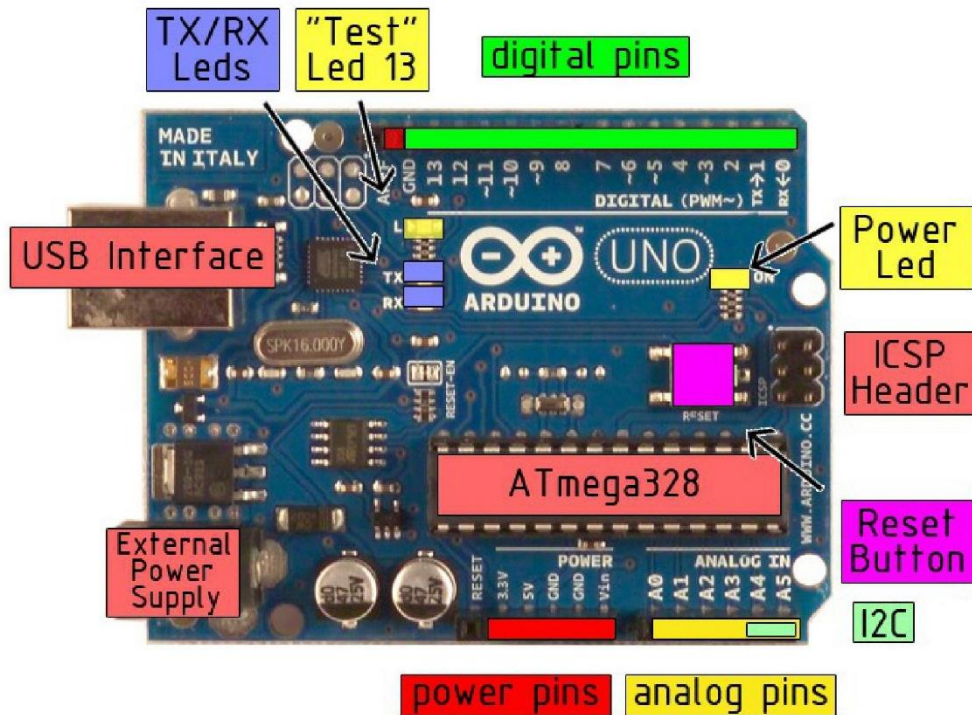


EAGLE files: [arduino-duemilanove-uno-design.zip](#) Schematic: [arduino-uno-schematic.pdf](#)

## Summary

Microcontroller	ATmega328
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB of which 0.5 KB used by bootloader
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Clock Speed	16 MHz

## the board



## Power

The Arduino Uno can be powered via the USB connection or with an external power supply. The power source is selected automatically.

External (non-USB) power can come either from an AC-to-DC adapter (wall-wart) or battery. The adapter can be connected by plugging a 2.1mm center-positive plug into the board's power jack. Leads from a battery can be inserted in the Gnd and Vin pin headers of the POWER connector.

The board can operate on an external supply of 6 to 20 volts. If supplied with less than 7V, however, the 5V pin may supply less than five volts and the board may be unstable. If using more than 12V, the voltage regulator may overheat and damage the board. The recommended range is 7 to 12 volts.

The power pins are as follows:

- **VIN.** The input voltage to the Arduino board when it's using an external power source (as opposed to 5 volts from the USB connection or other regulated power source). You can supply voltage through this pin, or, if supplying voltage via the power jack, access it through this pin.
- **5V.** The regulated power supply used to power the microcontroller and other components on the board. This can come either from VIN via an on-board regulator, or be supplied by USB or another regulated 5V supply.
- **3V3.** A 3.3 volt supply generated by the on-board regulator. Maximum current draw is 50 mA.
- **GND.** Ground pins.

## Memory

The Atmega328 has 32 KB of flash memory for storing code (of which 0,5 KB is used for the bootloader); It has also 2 KB of SRAM and 1 KB of EEPROM (which can be read and written with the [EEPROM library](#)).

## Input and Output

Each of the 14 digital pins on the Uno can be used as an input or output, using [pinMode\(\)](#), [digitalWrite\(\)](#), and [digitalRead\(\)](#) functions. They operate at 5 volts. Each pin can provide or receive a maximum of 40 mA and has an internal pull-up resistor (disconnected by default) of 20-50 kOhms. In addition, some pins have specialized functions:

- **Serial: 0 (RX) and 1 (TX).** Used to receive (RX) and transmit (TX) TTL serial data. These pins are connected to the corresponding pins of the ATmega8U2 USB-to-TTL Serial chip .
- **External Interrupts: 2 and 3.** These pins can be configured to trigger an interrupt on a low value, a rising or falling edge, or a change in value. See the [attachInterrupt\(\)](#) function for details.
- **PWM: 3, 5, 6, 9, 10, and 11.** Provide 8-bit PWM output with the [analogWrite\(\)](#) function.
- **SPI: 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK).** These pins support SPI communication, which, although provided by the underlying hardware, is not currently included in the Arduino language.
- **LED: 13.** There is a built-in LED connected to digital pin 13. When the pin is HIGH value, the LED is on, when the pin is LOW, it's off.

## ANEXO 4: Datasheet Módulo RN2483



# RN2483

## Low-Power Long Range LoRa® Technology Transceiver Module

### General Features

- On-Board LoRaWAN™ Protocol Stack
- ASCII Command Interface over UART
- Compact Form Factor: 17.8 x 26.7 x 3.34 mm
- Castellated SMT Pads for Easy and Reliable PCB Mounting
- Environmentally Friendly, RoHS Compliant
- European RED Certified Radio Module
- Device Firmware Upgrade (DFU) over UART, see "RN2483 LoRa® Technology Module Command Reference User's Guide" (DS40001784)

### Operational

- Single Operating Voltage: 2.1V to 3.6V (3.3V typical)
- Temperature Range: -40°C to +85°C
- Low-Power Consumption
- Programmable RF Communication Bit Rate up to 300 kbps with FSK Modulation, 10937 bps with LoRa Technology Modulation
- Integrated MCU, Crystal, EUI-64 Node Identity Serial EEPROM, Radio Transceiver with Analog Front End, Matching Circuitry
- 14 GPIOs for Control and Status, Shared with 13 Analog Inputs

### RF/Analog Features

- Low-Power Long Range Transceiver Operating in the 433 MHz and 868 MHz Frequency Bands
- High Receiver Sensitivity: Down to -146 dBm
- TX Power: Adjustable up to +14 dBm high Efficiency PA
- FSK, GFSK, and LoRa Technology Modulation
- IIP3 = -11 dBm
- Up to 15 km Coverage at Suburban and up to 5 km Coverage at Urban Area



### Description

Microchip's RN2483 Low-Power Long Range LoRa Technology Transceiver module provides an easy-to-use, low-power solution for long range wireless data transmission. The advanced command interface offers rapid time to market.

The RN2483 module complies with the LoRaWAN Class A protocol specifications. It integrates RF, a baseband controller, command Application Programming Interface (API) processor, making it a complete long range solution.

The RN2483 module is suitable for simple long range sensor applications with external host MCU.

### Applications

- Automated Meter Reading
- Home and Building Automation
- Wireless Alarm and Security Systems
- Industrial Monitoring and Control
- Machine to Machine (M2M)
- Internet of Things (IoT)

# RN2483

## 1.0 DEVICE OVERVIEW

The RN2483 transceiver module features LoRa Technology RF modulation, which provides long range spread spectrum communication with high interference immunity.

Using LoRa Technology modulation technique, RN2483 can achieve a receiver sensitivity of -146 dBm. The high sensitivity combined with the integrated +14 dBm power amplifier yields industry leading link budget, which makes it optimal for applications requiring extended range and robustness.

LoRa Technology modulation also provides significant advantages in both blocking and selectivity compared to the conventional modulation techniques, solving the traditional design compromise between extended range, interference immunity, and low-power consumption.

The RN2483 module delivers exceptional phase noise, selectivity, receiver linearity, and IIP3 for significantly lower power consumption. Figure 1-1, Figure 1-2, and Figure 1-3 show the top view, the pinout, and the block diagram of the module.

FIGURE 1-1: RN2483 TOP VIEW

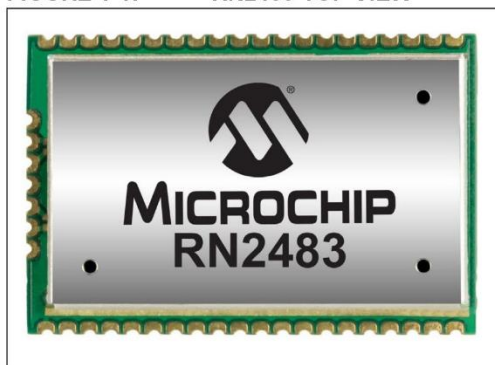


FIGURE 1-2: RN2483 PIN DIAGRAM

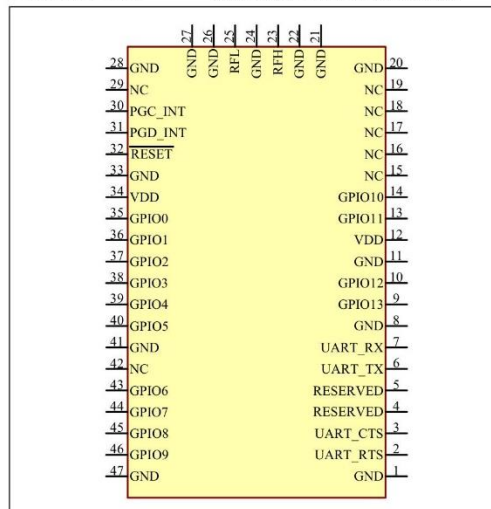
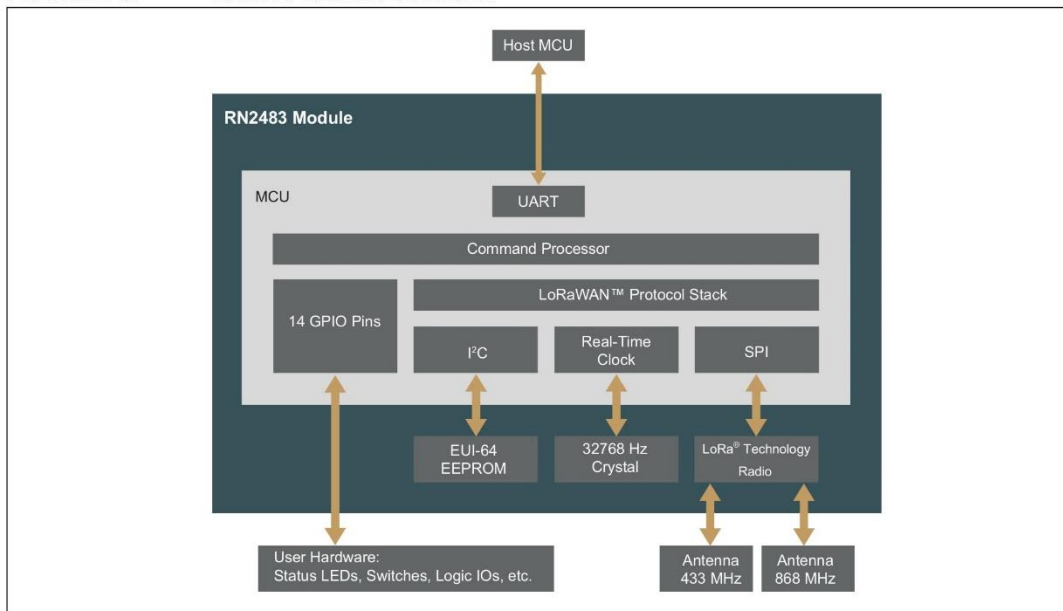


FIGURE 1-3: RN2483 BLOCK DIAGRAM



# RN2483

Table 1-1 describes the RN2483 pins.

**TABLE 1-1: PIN DESCRIPTION**

Pin	Name	Type	Description
1	GND	Power	Ground supply terminal
2	UART_RTS	Output	Communication UART RTS signal <sup>(1)</sup> , or GPIO
3	UART_CTS	Input	Communication UART CTS signal <sup>(1)</sup> , or GPIO
4	RESERVED	—	Do not connect
5	RESERVED	—	Do not connect
6	UART_TX	Output	Communication UART Transmit (TX)
7	UART_RX	Input	Communication UART Receive (RX)
8	GND	Power	Ground supply terminal
9	GPIO13	Input/Output	General purpose I/O pin or analog input
10	GPIO12	Input/Output	General purpose I/O pin or analog input
11	GND	Power	Ground supply terminal
12	VDD	Power	Positive supply terminal
13	GPIO11	Input/Output	General purpose I/O pin or analog input
14	GPIO10	Input/Output	General purpose I/O pin or analog input
15	NC	—	Not connected
16	NC	—	Not connected
17	NC	—	Not connected
18	NC	—	Not connected
19	NC	—	Not connected
20	GND	Power	Ground supply terminal
21	GND	Power	Ground supply terminal
22	GND	Power	Ground supply terminal
23	RFH	RF analog	RF signal pin for high band
24	GND	Power	Ground supply terminal
25	RFL	RF analog	RF signal pin for low band
26	GND	Power	Ground supply terminal
27	GND	Power	Ground supply terminal
28	GND	Power	Ground supply terminal
29	NC	—	Not connected
30	PGC_INT	Input/Output	Internal MCU ICSP program clock or general purpose I/O pin <sup>(2)</sup>
31	PGD_INT	Input/Output	Internal MCU ICSP program data or general purpose I/O pin <sup>(2)</sup>
32	$\overline{\text{RESET}}$	Input	Active-low device Reset input
33	GND	Power	Ground supply terminal
34	VDD	Power	Positive supply terminal
35	GPIO0	Input/Output	General purpose I/O pin or analog input
36	GPIO1	Input/Output	General purpose I/O pin or analog input
37	GPIO2	Input/Output	General purpose I/O pin or analog input
38	GPIO3	Input/Output	General purpose I/O pin or analog input
39	GPIO4	Input/Output	General purpose I/O pin
40	GPIO5	Input/Output	General purpose I/O pin or analog input
41	GND	Power	Ground supply terminal
42	NC	—	Not connected

# RN2483

**TABLE 1-1: PIN DESCRIPTION (CONTINUED)**

Pin	Name	Type	Description
43	GPIO6	Input/Output	General purpose I/O pin or analog input
44	GPIO7	Input/Output	General purpose I/O pin or analog input
45	GPIO8	Input/Output	General purpose I/O pin or analog input
46	GPIO9	Input/Output	General purpose I/O pin or analog input
47	GND	Power	Ground supply terminal

**Note 1:** Optional handshake lines are supported in future firmware releases.

**2:** The “RN2483 LoRa® Technology Module Command Reference User’s Guide” (DS40001784) uses the pin name TEST0 for PGC\_INT and TEST1 for PGD\_INT.

# RN2483

## 2.0 GENERAL SPECIFICATIONS

Table 2-1 provides the general specifications for the module. Table 2-2, Table 2-3, and Table 2-4 provide the electrical characteristics, current consumption, and

dimensions of the module, respectively. Table 2-5 shows the RF output power calibration data. Table 2-6 shows the RF output power at different supply voltages and temperatures.

**TABLE 2-1: GENERAL SPECIFICATIONS**

Specification	Description
Frequency Band	863.000 MHz to 870.000 MHz; 433.050 MHz to 434.790 MHz
Modulation Method	FSK, GFSK, and LoRa <sup>®</sup> Technology modulation
Maximum Over-the-Air Data Rate	300 kbps with FSK modulation; 10937 bps with LoRa Technology modulation
RF Connection	Board edge connection
Interface	UART
Operation Range	Up to 15 km coverage at suburban; up to 5 km coverage at urban area
Sensitivity at 1% PER	-146 dBm <sup>(1)</sup>
RF TX Power	Adjustable up to max. 10 dBm on 433 MHz band (limited to meet regulations); max. 14 dBm on the 868 MHz band <sup>(2)</sup>
Temperature (operating)	-40°C to +85°C
Temperature (storage)	-40°C to +115°C
Humidity	10% ~ 90% non-condensing

**Note 1:** Dependent on modulation settings, Receiver Bandwidth (RBW), and Spreading Factor (SF).

**2:** TX power is adjustable. For more information, refer to the “RN2483 LoRa<sup>®</sup> Technology Module Command Reference User’s Guide” (DS40001784).

**TABLE 2-2: ELECTRICAL CHARACTERISTICS**

Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units
Supply Voltage	2.1	—	3.6	V
Voltage on any pin with respect to VSS (except VDD) and RESET	-0.3	—	VDD + 0.3	V
Voltage on VDD with respect to VSS	-0.3	—	3.9	V
Voltage on RESET with respect to VSS	0	—	+11	V
Input Clamp Current (I <sub>IK</sub> ) (V <sub>I</sub> < 0 or V <sub>I</sub> > VDD)	—	—	+/-20	mA
Output Clamp Current (I <sub>OK</sub> ) (V <sub>O</sub> < 0 or V <sub>O</sub> > VDD)	—	—	+/-20	mA
GPIO sink/source current each	—	—	25/25	mA
Total GPIO sink/source current	—	—	200/185	mA
RAM Data Retention Voltage (in Sleep mode or Reset state)	1.5	—	—	V
VDD Start Voltage to ensure internal Power-on Reset signal	—	—	0.7	V
VDD Rise Rate to ensure internal Power-on Reset signal	0.05	—	—	V/ms
Brown-out Reset Voltage	1.75	1.9	2.05	V
Logic Input Low Voltage	—	—	0.15 x VDD	V
Logic Input High Voltage	0.8 x VDD	—	—	V
Input Leakage at <25°C (VSS < V <sub>PIN</sub> < VDD, Pin at high-impedance)	—	0.1	50	nA
Input Leakage at +60°C (VSS < V <sub>PIN</sub> < VDD, Pin at high-impedance)	—	0.7	100	nA
Input Leakage at +85°C (VSS < V <sub>PIN</sub> < VDD, Pin at high-impedance)	—	4	200	nA
RF Input Level	—	—	+10	dBm

**RN2483****TABLE 2-3: CURRENT CONSUMPTION**

Mode	Temperature (°C)	Typical Current (mA)		
		VDD = 2.1V	VDD = 3.3V	VDD = 3.6V
Idle	-40 to +85	1.7	2.8	3.1
Transmit	25	28.6	38.9	44.5
Sleep	-40	0.0011	0.0013	0.0014
	25	0.0015	0.0016	0.0016
	85	0.002	0.0026	0.0026

**TABLE 2-4: MODULE DIMENSIONS**

Parameter	Value
Dimensions	17.8 x 26.7 x 3.34 mm
Weight	2.05g

**TABLE 2-5: OUTPUT POWER OF TX POWER SETTING**

Band	TX Power Setting	Output Power (dBm)	Typical Supply Current at 3.3V (mA)
868 MHz	-3	-4.0	17.3
	-2	-2.9	18.0
	-1	-1.9	18.7
	0	-1.7	20.2
	1	-0.6	21.2
	2	0.4	22.3
	3	1.4	23.5
	4	2.5	24.7
	5	3.6	26.1
	6	4.7	27.5
	7	5.8	28.8
	8	6.9	30.0
	9	8.1	31.2
	10	9.3	32.4
	11	10.4	33.7
12	11.6	35.1	
13	12.5	36.5	
14	13.5	38.0	
15	14.1	38.9	



# RN2483

**TABLE 2-5: OUTPUT POWER OF TX POWER SETTING (CONTINUED)**

Band	TX Power Setting	Output Power (dBm)	Typical Supply Current at 3.3V (mA)
433 MHz	-3	-3.5	14.7
	-2	-2.3	15.1
	-1	-1.3	15.6
	0	-2.3	15.8
	1	-1.2	16.4
	2	-0.1	17.0
	3	1.0	17.7
	4	2.1	18.5
	5	3.2	19.4
	6	4.3	20.3
	7	5.4	21.4
	8	6.5	22.3
	9	7.6	23.3
	10	8.8	24.5
	11	9.9	25.8
12	10.9	27.3	
13	11.9	28.8	
14	12.9	30.7	
15	13.6	32.9	

**TABLE 2-6: OUTPUT POWER OF SUPPLY VOLTAGE AND TEMPERATURE**

Temperature (°C)	Typical Output Power at 868 MHz (dBm)		
	VDD = 2.1V	VDD = 3.3V	VDD = 3.6V
-40	10.5	13.8	13.7
25	10.0	14.1	14.6
85	9.1	13.4	13.7

**TABLE 2-7: OUTPUT POWER OF SUPPLY VOLTAGE AND TEMPERATURE**

Temperature (°C)	Typical Output Power at 434 MHz (dBm)		
	VDD = 2.1V	VDD = 3.3V	VDD = 3.6V
-40	10.1	13.2	13.2
25	9.7	13.6	14.2
85	9.3	13.0	13.4

## ANEXO 5: Datasheet Sensor Capacitivo

### SENSOR CAPACITIVO

#### Introducción

Nuestro **sensor de humedad del suelo** mide los niveles de **humedad del** suelo mediante sensores capacitivos en lugar de sensores resistivos como otros sensores en el mercado. Está hecho de material resistente a la corrosión que le brinda una excelente vida útil. Insértelo en el suelo alrededor de sus plantas e impreso a sus amigos con datos de humedad del suelo en tiempo real! Este módulo incluye un regulador de voltaje incorporado que le da un rango de voltaje operativo de 3.3 ~ 5.5V. Es perfecto para MCU de bajo voltaje, tanto 3.3V como 5V. Para compatibilidad con una frambuesa Pi necesitará un convertidor ADC. Este sensor de humedad del suelo es compatible con nuestra interfaz "Gravity" de 3 pines, que se puede conectar directamente al protector de expansión Gravity I / O.

#### Especificación

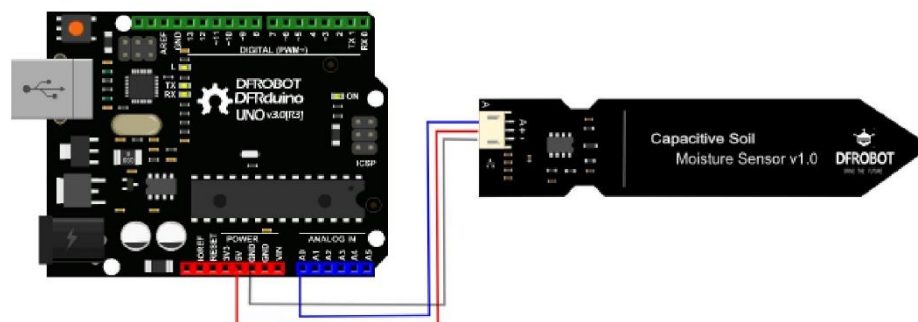
- Voltaje de funcionamiento: 3.3 ~ 5.5 VDC
- Voltaje de salida: 0 ~ 3.0VDC
- Corriente de funcionamiento: 5 mA
- Interfaz: PH2.0-3P
- Dimensiones: 3.86 x 0.905 pulgadas (L x W)
- Peso: 15g

#### Tutorial

##### Requisitos

- Hardware
  - DFRduino UNO x1
  - Sensor capacitivo de humedad del suelo x1
  - Cable de puente x3
- Software
  - [Arduino IDE V1.6.5](#) Haga clic para descargar [Arduino IDE](#)

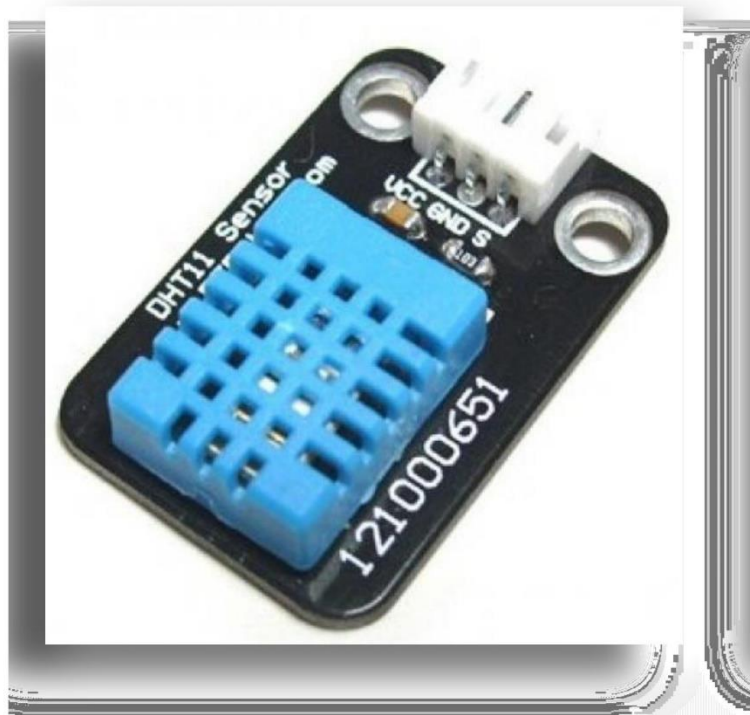
##### Diagrama de conexión



**ANEXO 6: Datasheet Sensor DHT-11**

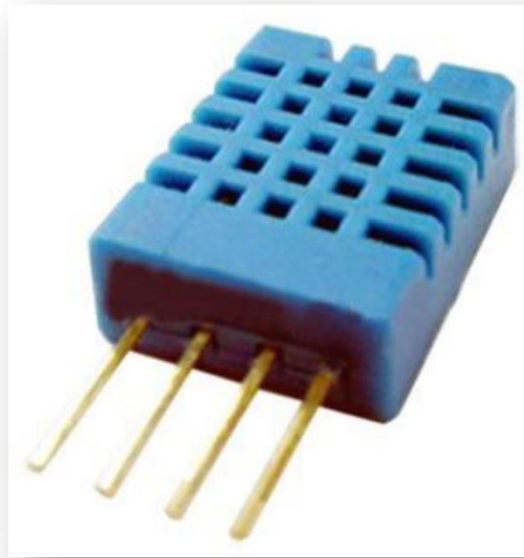
# DHT 11 Humidity & Temperature Sensor

---



## 1. Introduction

This DFRobot DHT11 Temperature & Humidity Sensor features a temperature & humidity sensor complex with a calibrated digital signal output. By using the exclusive digital-signal-acquisition technique and temperature & humidity sensing technology, it ensures high reliability and excellent long-term stability. This sensor includes a resistive-type humidity measurement component and an NTC temperature measurement component, and connects to a high-performance 8-bit microcontroller, offering excellent quality, fast response, anti-interference ability and cost-effectiveness.



Each DHT11 element is strictly calibrated in the laboratory that is extremely accurate on humidity calibration. The calibration coefficients are stored as programmes in the OTP memory, which are used by the sensor's internal signal detecting process. The single-wire serial interface makes system integration quick and easy. Its small size, low power consumption and up-to-20 meter signal transmission making it the best choice for various applications, including those most demanding ones. The component is 4-pin single row pin package. It is convenient to connect and special packages can be provided according to users' request.

## 2. Technical Specifications:

### Overview:

Item	Measurement Range	Humidity Accuracy	Temperature Accuracy	Resolution	Package
DHT11	20-90%RH 0-50 °C	± 5%RH	± 2°C	1	4 Pin Single Row

### Detailed Specifications:

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

## ANEXO 7: Datasheet PH Básico

 **AtlasScientific**<sup>TM</sup>  
Environmental Robotics

V 4.0

Revised 12/19

Gen 2

# Lab Grade pH Probe

Double junction silver / silver chloride  
with EXR Glass

Reads	pH
Range	0 – 14
Resolution	+/- 0.001
Accuracy	+/- 0.002
Response time	95% in 1s
Temperature range °C	-5 – 99 °C
Max pressure	100 PSI
Max depth	60m (197 ft)
Connector	<b>Female SMA / Male BNC</b>
Cable length	<b>1 meter</b>
Internal temperature sensor	<b>No</b>
Time before recalibration	<b>~1 Year</b>
Life expectancy	<b>~2.5 Years +</b>



## Specifications

Reference electrode	Silver / silver chloride
Double junction	Yes
Max depth	60m (197 ft)
Cable length	1 meter
Weight	49 grams
Speed of response	95% in 1 second
Isopotential point	pH 7.00 (0 mV)
Dimensions	12mm x 150.6mm (0.5" x 6")
SMA connector	Female
Sterilization	Chemical only
Food Safe	Yes
Included with probe	SMA to BNC adapter



## Materials



This pH probe can be **fully submerged** in fresh or salt water, up to the SMA connector **indefinitely**.

## Typical applications

- Standard lab use
- Field use
- Soil
- High pH solutions (up to 14 pH)
- Samples containing heavy metals
- Hydroponics / aquaponics
- Beer, wine, alcohol, and food production

## ANEXO 8: Datasheet Sonda DS18B20



www.maxim-ic.com

## DS18B20

### Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer

#### FEATURES

- Unique 1-Wire<sup>®</sup> interface requires only one port pin for communication
- Each device has a unique 64-bit serial code stored in an onboard ROM
- Multidrop capability simplifies distributed temperature sensing applications
- Requires no external components
- Can be powered from data line. Power supply range is 3.0V to 5.5V
- Measures temperatures from  $-55^{\circ}\text{C}$  to  $+125^{\circ}\text{C}$  ( $-67^{\circ}\text{F}$  to  $+257^{\circ}\text{F}$ )
- $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  accuracy from  $-10^{\circ}\text{C}$  to  $+85^{\circ}\text{C}$
- Thermometer resolution is user-selectable from 9 to 12 bits
- Converts temperature to 12-bit digital word in 750ms (max.)
- User-definable nonvolatile (NV) alarm settings
- Alarm search command identifies and addresses devices whose temperature is outside of programmed limits (temperature alarm condition)
- Available in 8-pin SO (150mil), 8-pin  $\mu\text{SOP}$ , and 3-pin TO-92 packages
- Software compatible with the DS1822
- Applications include thermostatic controls, industrial systems, consumer products, thermometers, or any thermally sensitive system

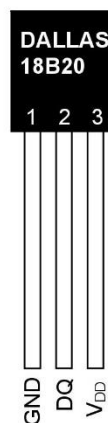
#### DESCRIPTION

The DS18B20 Digital Thermometer provides 9 to 12-bit centigrade temperature measurements and has an alarm function with nonvolatile user-programmable upper and lower trigger points. The DS18B20 communicates over a 1-Wire bus that by definition requires only one data line (and ground) for communication with a central microprocessor. It has an operating temperature range of  $-55^{\circ}\text{C}$  to  $+125^{\circ}\text{C}$  and is accurate to  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  over the range of  $-10^{\circ}\text{C}$  to  $+85^{\circ}\text{C}$ . In addition, the DS18B20 can derive power directly from the data line ("parasite power"), eliminating the need for an external power supply.

Each DS18B20 has a unique 64-bit serial code, which allows multiple DS18B20s to function on the same 1-wire bus; thus, it is simple to use one microprocessor to control many DS18B20s distributed over a large area. Applications that can benefit from this feature include HVAC environmental controls, temperature monitoring systems inside buildings, equipment or machinery, and process monitoring and control systems.

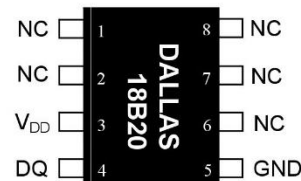
*1-Wire is a registered trademark of Dallas Semiconductor.*

#### PIN ASSIGNMENT

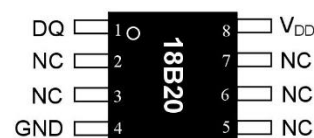


(BOTTOM VIEW)

TO-92  
(DS18B20)



8-Pin 150mil SO  
(DS18B20Z)



8-Pin  $\mu\text{SOP}$   
(DS18B20U)

#### PIN DESCRIPTION

- GND - Ground  
 DQ - Data In/Out  
 V<sub>DD</sub> - Power Supply Voltage  
 NC - No Connect



**ORDER INFORMATION**

ORDERING NUMBER	PACKAGE MARKING	DESCRIPTION
DS18B20	18B20	DS18B20 in 3-pin TO92
DS18B20/T&R	18B20	DS18B20 in 3-pin TO92, 2000 Piece Tape-and-Reel
DS18B20+	18B20 (See Note)	DS18B20 in Lead-Free 3-pin TO92
DS18B20+T&R	18B20 (See Note)	DS18B20 in Lead-Free 3-pin TO92, 2000 Piece Tape-and-Reel
DS18B20U	18B20	DS18B20 in 8-pin uSOP
DS18B20U/T&R	18B20	DS18B20 in 8-pin uSOP, 3000 Piece Tape-and-Reel
DS18B20U+	18B20 (See Note)	DS18B20 in Lead-Free 8-pin uSOP
DS18B20U+T&R	18B20 (See Note)	DS18B20 in Lead-Free 8-pin uSOP, 3000 Piece Tape-and-Reel
DS18B20Z	DS18B20	DS18B20 in 150 mil 8-pin SO
DS18B20Z/T&R	DS18B20	DS18B20 in 150 mil 8-pin SO, 2500 Piece Tape-and-Reel
DS18B20Z+	DS18B20 (See Note)	DS18B20 in Lead-Free 150 mil 8-pin SO
DS18B20Z+T&R	DS18B20 (See Note)	DS18B20 in Lead-Free 150 mil 8-pin SO, 2500 Piece Tape-and-Reel

Note: A “+” symbol will also be marked on the package.

**DETAILED PIN DESCRIPTIONS Table 1**

SO*	μSOP*	TO-92	SYMBOL	DESCRIPTION
5	4	1	GND	<b>Ground.</b>
4	1	2	DQ	<b>Data Input/Output pin.</b> Open-drain 1-Wire interface pin. Also provides power to the device when used in parasite power mode (see “Parasite Power” section.)
3	8	3	V <sub>DD</sub>	<b>Optional V<sub>DD</sub> pin.</b> V <sub>DD</sub> must be grounded for operation in parasite power mode.

\*All pins not specified in this table are “No Connect” pins.

**OVERVIEW**

Figure 1 shows a block diagram of the DS18B20, and pin descriptions are given in Table 1. The 64-bit ROM stores the device’s unique serial code. The scratchpad memory contains the 2-byte temperature register that stores the digital output from the temperature sensor. In addition, the scratchpad provides access to the 1-byte upper and lower alarm trigger registers (T<sub>H</sub> and T<sub>L</sub>), and the 1-byte configuration register. The configuration register allows the user to set the resolution of the temperature-to-digital conversion to 9, 10, 11, or 12 bits. The T<sub>H</sub>, T<sub>L</sub> and configuration registers are nonvolatile (EEPROM), so they will retain data when the device is powered down.

The DS18B20 uses Dallas’ exclusive 1-Wire bus protocol that implements bus communication using one control signal. The control line requires a weak pullup resistor since all devices are linked to the bus via a 3-state or open-drain port (the DQ pin in the case of the DS18B20). In this bus system, the microprocessor (the master device) identifies and addresses devices on the bus using each device’s unique 64-bit code. Because each device has a unique code, the number of devices that can be addressed on one bus is virtually unlimited. The 1-Wire bus protocol, including detailed explanations of the commands and “time slots,” is covered in the *1-WIRE BUS SYSTEM* section of this datasheet.

## OPERATION — MEASURING TEMPERATURE

The core functionality of the DS18B20 is its direct-to-digital temperature sensor. The resolution of the temperature sensor is user-configurable to 9, 10, 11, or 12 bits, corresponding to increments of 0.5°C, 0.25°C, 0.125°C, and 0.0625°C, respectively. The default resolution at power-up is 12-bit. The DS18B20 powers-up in a low-power idle state; to initiate a temperature measurement and A-to-D conversion, the master must issue a Convert T [44h] command. Following the conversion, the resulting thermal data is stored in the 2-byte temperature register in the scratchpad memory and the DS18B20 returns to its idle state. If the DS18B20 is powered by an external supply, the master can issue “read time slots” (see the *I-WIRE BUS SYSTEM* section) after the Convert T command and the DS18B20 will respond by transmitting 0 while the temperature conversion is in progress and 1 when the conversion is done. If the DS18B20 is powered with parasite power, this notification technique cannot be used since the bus must be pulled high by a strong pullup during the entire temperature conversion. The bus requirements for parasite power are explained in detail in the *POWERING THE DS18B20* section of this datasheet.

The DS18B20 output temperature data is calibrated in degrees centigrade; for Fahrenheit applications, a lookup table or conversion routine must be used. The temperature data is stored as a 16-bit sign-extended two’s complement number in the temperature register (see Figure 2). The sign bits (S) indicate if the temperature is positive or negative: for positive numbers S = 0 and for negative numbers S = 1. If the DS18B20 is configured for 12-bit resolution, all bits in the temperature register will contain valid data. For 11-bit resolution, bit 0 is undefined. For 10-bit resolution, bits 1 and 0 are undefined, and for 9-bit resolution bits 2, 1 and 0 are undefined. Table 2 gives examples of digital output data and the corresponding temperature reading for 12-bit resolution conversions.

### TEMPERATURE REGISTER FORMAT Figure 2

	bit 7	bit 6	bit 5	bit 4	bit 3	bit 2	bit 1	bit 0
LS Byte	2 <sup>3</sup>	2 <sup>2</sup>	2 <sup>1</sup>	2 <sup>0</sup>	2 <sup>-1</sup>	2 <sup>-2</sup>	2 <sup>-3</sup>	2 <sup>-4</sup>
	bit 15	bit 14	bit 13	bit 12	bit 11	bit 10	bit 9	bit 8
MS Byte	S	S	S	S	S	2 <sup>6</sup>	2 <sup>5</sup>	2 <sup>4</sup>

### TEMPERATURE/DATA RELATIONSHIP Table 2

TEMPERATURE	DIGITAL OUTPUT (Binary)	DIGITAL OUTPUT (Hex)
+125°C	0000 0111 1101 0000	07D0h
+85°C*	0000 0101 0101 0000	0550h
+25.0625°C	0000 0001 1001 0001	0191h
+10.125°C	0000 0000 1010 0010	00A2h
+0.5°C	0000 0000 0000 1000	0008h
0°C	0000 0000 0000 0000	0000h
-0.5°C	1111 1111 1111 1000	FFF8h
-10.125°C	1111 1111 0101 1110	FF5Eh
-25.0625°C	1111 1110 0110 1111	FE6Fh
-55°C	1111 1100 1001 0000	FC90h

\*The power-on reset value of the temperature register is +85°C

# ANEXO 9: Datasheet Sensor MQ135

www.HANWEI ELCETRONICS CO.,LTD

MQ-135

http://www.hwsensor.com

## TECHNICAL DATA

## MQ-135 GAS SENSOR

### FEATURES

Wide detecting scope                      Fast response and High sensitivity  
 Stable and long life                      Simple drive circuit

### APPLICATION

They are used in air quality control equipments for buildings/offices, are suitable for detecting of NH<sub>3</sub>,NO<sub>x</sub>, alcohol, Benzene, smoke,CO<sub>2</sub>,etc.

### SPECIFICATIONS

#### A. Standard work condition

Symbol	Parameter name	Technical condition	Remarks
V <sub>c</sub>	Circuit voltage	5V±0.1	AC OR DC
V <sub>H</sub>	Heating voltage	5V±0.1	ACOR DC
R <sub>L</sub>	Load resistance	can adjust	
R <sub>H</sub>	Heater resistance	33Ω ±5%	Room Tem
P <sub>H</sub>	Heating consumption	less than 800mw	

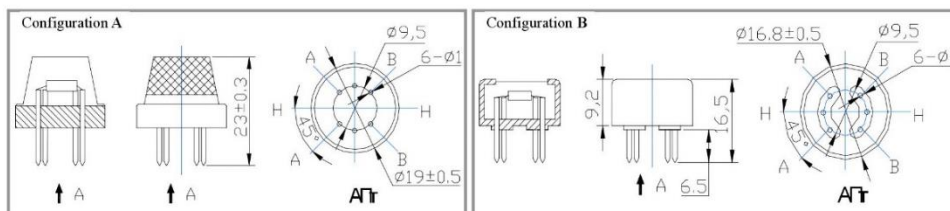
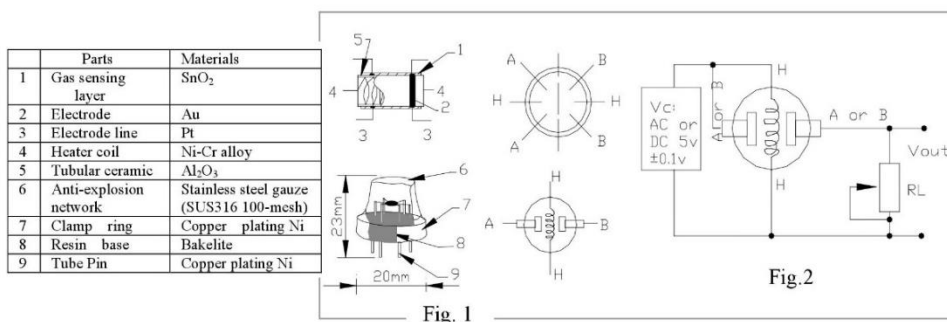
#### B. Environment condition

Symbol	Parameter name	Technical condition	Remarks
Tao	Using Tem	-10℃...+45℃	
Tas	Storage Tem	-20℃...+70℃	
R <sub>H</sub>	Related humidity	less than 95%Rh	
O <sub>2</sub>	Oxygen concentration	21%(standard condition)Oxygen concentration can affect sensitivity	minimum value is over 2%

#### C. Sensitivity characteristic

Symbol	Parameter name	Technical parameter	Remark 2
R <sub>s</sub>	Sensing Resistance	30KΩ -200KΩ (100ppm NH <sub>3</sub> )	Detecting concentration scope : 10ppm-300ppm NH <sub>3</sub> 10ppm-1000ppm Benzene 10ppm-300ppm Alcohol
α (200/50) NH <sub>3</sub>	Concentration Slope rate	≤ 0.65	
Standard Detecting Condition	Temp: 20℃±2℃ Humidity: 65%±5%	V <sub>c</sub> :5V±0.1 V <sub>H</sub> : 5V±0.1	
Preheat time	Over 24 hour		

#### D. Structure and configuration, basic measuring circuit



Structure and configuration of MQ-135 gas sensor is shown as Fig. 1 (Configuration A or B), sensor composed by micro Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ceramic tube, Tin Dioxide (SnO<sub>2</sub>) sensitive layer, measuring electrode and heater are fixed into a crust made by plastic and stainless steel net. The heater provides necessary work conditions for work of

sensitive components. The enveloped MQ-135 have 6 pins ,4 of them are used to fetch signals, and other 2 are used for providing heating current.

Electric parameter measurement circuit is shown as Fig.2

E. Sensitivity characteristic curve

Fig.2 sensitivity characteristics of the MQ-135

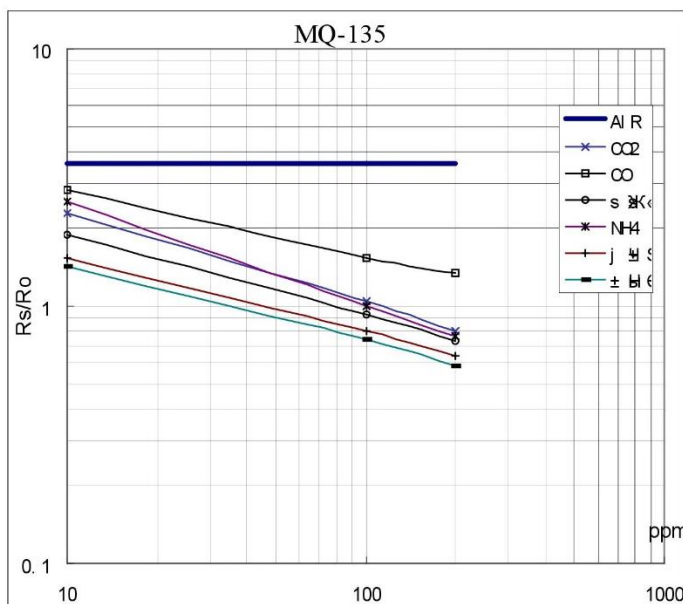


Fig.3 is shows the typical sensitivity characteristics of the MQ-135 for several gases.

in their: Temp: 20℃,  
Humidity: 65%,  
O<sub>2</sub> concentration 21%  
RL=20kΩ

Ro: sensor resistance at 100ppm of NH<sub>3</sub> in the clean air.

Rs: sensor resistance at various concentrations of gases.

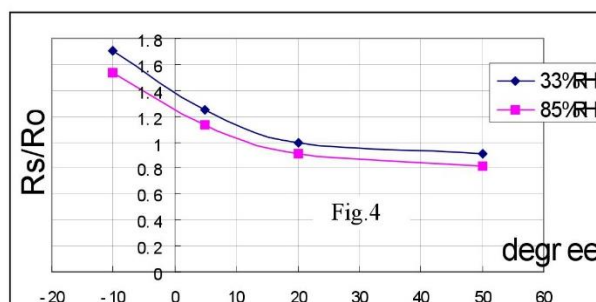


Fig.4 is shows the typical dependence of the MQ-135 on temperature and humidity.

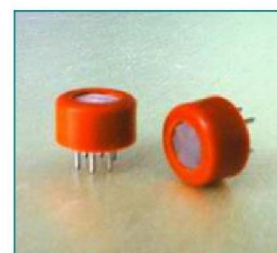
Ro: sensor resistance at 100ppm of NH<sub>3</sub> in air at 33%RH and 20 degree.

Rs: sensor resistance at 100ppm of NH<sub>3</sub> at different temperatures and humidities.

**SENSITIVITY ADJUSTMENT**

Resistance value of MQ-135 is difference to various kinds and various concentration gases. So,When using this components, sensitivity adjustment is very necessary. we recommend that you calibrate the detector for 100ppm NH<sub>3</sub> or 50ppm Alcohol concentration in air and use value of Load resistance that ( R<sub>L</sub> ) about 20 KΩ (10KΩ to 47 KΩ ).

When accurately measuring, the proper alarm point for the gas detector should be determined after considering the temperature and humidity influence.



## ANEXO 10: Datasheet Raspberry Pi 3



Raspberry Pi

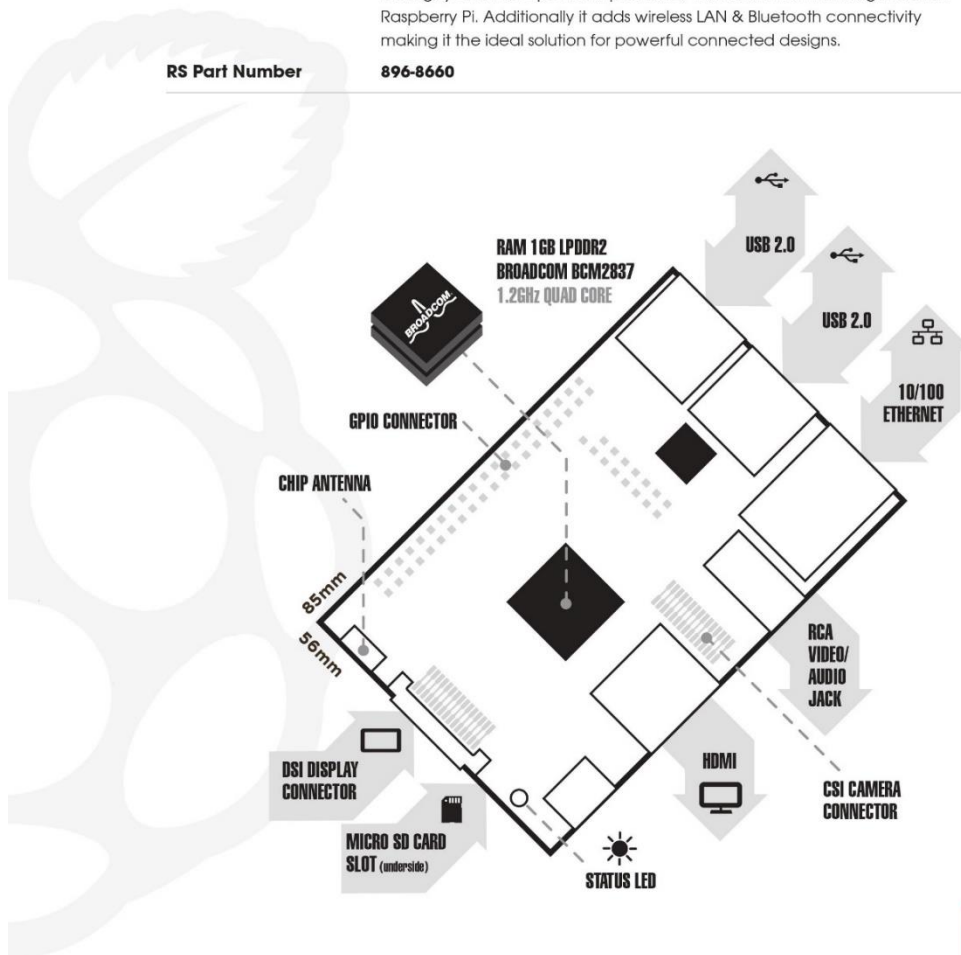


## Raspberry Pi 3 Model B

**Product Name** Raspberry Pi 3

**Product Description** The Raspberry Pi 3 Model B is the third generation Raspberry Pi. This powerful credit-card sized single board computer can be used for many applications and supersedes the original Raspberry Pi Model B+ and Raspberry Pi 2 Model B. Whilst maintaining the popular board format the Raspberry Pi 3 Model B brings you a more powerful processor, 10x faster than the first generation Raspberry Pi. Additionally it adds wireless LAN & Bluetooth connectivity making it the ideal solution for powerful connected designs.

**RS Part Number** 896-8660





# Raspberry Pi

## Raspberry Pi 3 Model B

### Specifications

<b>Processor</b>	Broadcom BCM2387 chipset. 1.2GHz Quad-Core ARM Cortex-A53 802.11 b/g/n Wireless LAN and Bluetooth 4.1 (Bluetooth Classic and LE)
<b>GPU</b>	Dual Core VideoCore IV@ Multimedia Co-Processor. Provides Open GL ES 2.0, hardware-accelerated OpenVG, and 1080p30 H.264 high-profile decode.  Capable of 1Gpixel/s, 1.5Gtexel/s or 24GFLOPs with texture filtering and DMA infrastructure
<b>Memory</b>	1GB LPDDR2
<b>Operating System</b>	Boots from Micro SD card, running a version of the Linux operating system or Windows 10 IoT
<b>Dimensions</b>	85 x 56 x 17mm
<b>Power</b>	Micro USB socket 5V1, 2.5A

### Connectors:

<b>Ethernet</b>	10/100 BaseT Ethernet socket
<b>Video Output</b>	HDMI (rev 1.3 & 1.4) Composite RCA (PAL and NTSC)
<b>Audio Output</b>	Audio Output 3.5mm jack, HDMI USB 4 x USB 2.0 Connector
<b>GPIO Connector</b>	40-pin 2.54 mm (100 mil) expansion header: 2x20 strip Providing 27 GPIO pins as well as +3.3 V, +5 V and GND supply lines
<b>Camera Connector</b>	15-pin MIPI Camera Serial Interface (CSI-2)
<b>Display Connector</b>	Display Serial Interface (DSI) 15 way flat flex cable connector with two data lanes and a clock lane
<b>Memory Card Slot</b>	Push/pull Micro SDIO

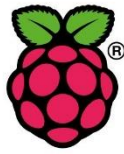
### Key Benefits

- Low cost
- 10x faster processing
- Consistent board format
- Added connectivity

### Key Applications

- Low cost PC/tablet/laptop
- Media centre
- Industrial/Home automation
- Print server
- Web camera
- Wireless access point
- Environmental sensing/monitoring (e.g. weather station)
- IoT applications
- Robotics
- Server/cloud server
- Security monitoring
- Gaming





# Raspberry Pi Frequently Asked Questions

## What is a Raspberry Pi?

Created by the Raspberry Pi Foundation, the Raspberry Pi is an open-source, Linux based, credit card sized computer board. The Pi is an exciting and accessible means of improving computing and programming skills for people of all ages. By connecting to your TV or monitor and a keyboard, and with the right programming, the Pi can do many things that a desktop computer can do such as surf the internet and play video. The Pi is also great for those innovative projects that you want to try out - newer models are ideal for Internet of Things projects due to their processing power. With Pi 3, Wireless LAN and Bluetooth Low Energy are on-board too.

## What are the differences between the models?

Current versions of the Raspberry Pi are the Pi A+, Pi B+, Pi 2 B, Pi 3 B and Compute Module.

	Pi A+	Pi B+	Pi 2 B	Pi 3 B	Compute Module
Dimensions	66 x 56 x 14mm	85 x 56 x 17mm	85 x 56 x 17mm	85 x 56 x 17mm	67.5 x 30mm
SoC	BCM2835	BCM2835	BCM2836	BCM2837	BCM2835
Processor Core	ARM11	ARM11	ARM Cortex-A7	ARM Cortex-A53	ARM11
Processing Power	700 MHz	700 MHz	900 MHz	1.2 GHz	700 MHz
Memory	256 MB	512 MB	1 GB	1GB LPDDR2	512 MB
Ports	1x USB 2.0	4x USB 2.0 1x 10/100 Ethernet	4x USB 2.0 1x 10/100 Ethernet	4x USB 2.0 1x 10/100 Ethernet	N/A
GPIO	40	40	40	40	N/A

## What do I get with my Raspberry Pi?

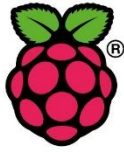
A Raspberry Pi board only.

Each Raspberry Pi customer is unique. You may already have cables, power supplies, keyboards, SD memory cards or monitors. However, if you do require additional products to start with your Pi or to really get creative, we can help.

Our expanding range of accessories includes:

Protective Cases	Power Supplies	NOOBS microSD Cards	Keyboards & Mice	Printers
Cables	Displays & Camera Boards	Wireless Connectivity	Add-on Boards	RS Pi Bundles





## Raspberry Pi Frequently Asked Questions

### How do I get connected?

To get started with your Pi you will need;

- A monitor or TV screen to set-up your Pi
- A keyboard to interact with your Pi
- A mouse to navigate your Pi
- A power supply
- An SD card with the latest version of New Out Of Box Software (NOOBS), to install the operating system that you would like to use.

To get **sound** and **video** you will need cables to suit what your screen or monitor accepts. For those with monitors that accept VGA, a HDMI to VGA adaptor is needed in addition to a HDMI cable, unless you use the composite video output from the Pi.

For an **internet connection**, the Pi B+ and Pi 2 B have an ethernet port. You also have the option of adding a WiFi Adapter/Dongle which may mean that you need a USB Hub if you have run out of USB ports. The Pi 3 already has 802.11 b/g/n wireless LAN and Bluetooth 4.1 (Bluetooth Classic and Low Energy).

---

### Powering my Pi

The Pi has a 5 V microUSB power socket, located on the bottom left hand corner of your Pi board.

Version	Recommended Power Supply Current Capacity
Pi B	1.2 A
Pi A+	700 mA
Pi B+	1.8 A
Pi 2 B	1.8 A
Pi 3 B	2.5 A

Generally, the more USB ports and interfaces you use on your Pi, the more power you are going to need - be careful.

We advise to look at buying a powered USB hub - this means less pressure on your Pi whilst still being able to incorporate all the features and functionality that you want to. When connecting any devices to your Pi, it is advisable to always check the power rating.

Batteries are not a recommended power supply for your Pi.

Note: The Official Raspberry Power Supply Unit for Pi 3 is not a general purpose power supply and must only be used for the Pi 3.





**ANEXO 11: MANUAL RN2483**

Para acceder al manual del módulo RN2483, se lo puede hacer ingresando al siguiente link.

[https://drive.google.com/file/d/1kPEjTL-oZNiSK5bY4XvQYUuoREet-\\_yQ/view?usp=sharing](https://drive.google.com/file/d/1kPEjTL-oZNiSK5bY4XvQYUuoREet-_yQ/view?usp=sharing)

## ANEXO 12: Proforma de Costos de Hardware



## CORPORACIÓN WOLF S.A.

RUC 1792725984001

Av. Los Chasquis y Río Cutuchi frente a UTA Huachi  
Ambato, Tungurahua

0996779364

info@corpwolf.com

[www.corpwolf.com](http://www.corpwolf.com)

Obligado a llevar contabilidad

PAGADA

Factura 004-004-000000012

Junio 11, 2019

Estado: En proceso en el SRI

Clave de acceso:



1102201801179272598400120040040000000125796737011

## Universidad Técnica del Norte

RUC 1060001070001

skdominguezp@utn.edu.ec

Ibama

Tel. 062997800

Forma de pago	Plazo	Monte
Sin utilización del sistema financiero		\$-902,95

Cantidad	Código	Descripción	Precio unitario	Descuento	Total
4	WE00150	ARDUINO UNO	\$11.61	\$0.00	\$46.44
5	WE00147	BATERIA DE LITIO	\$10.00	\$0.00	\$50.00
3	WE00107	MODULO SENSOR DE TEMPERATURA Y HUMEDAD DEL SUELO	\$4.02	\$0.00	\$12.06
4	WE00110	MODULO SENSOR DE TEMPERATURA Y HUMEDAD DHT11V(LARGO)	\$3.57	\$0.00	\$14.28
1	WE002016	SENSOR DE TEMPERATURA Y HUMEDAD DEL SUELO SHT10	\$45.00	\$0.00	\$45.00
3	WE002017	SENSOR DE PH	\$60.00	\$0.00	\$180.00
5	WE002018	MODULO LORA WIRELESS 433/868/915MHz Y EXPANSION GPS	\$90.00	\$0.00	\$450.00
1	WE002019	MODULO SENSOR MQ-135 NH3, NOx, alcohol, benceno, humo, CO2	\$5.357	\$0.00	\$5.357
4	WE00726	PANEL SOLAR	\$10.00	\$0.00	\$40.00
1	WE00032	RASPBERRY PI3	\$59.82	\$0.00	\$59.82
				<b>Valor total</b>	<b>\$905.95</b>

## ANEXO 13: Proforma de Costos de Ingeniería



Quito D.M, 06 de enero de 2020

Señores.  
.....  
Presente.-

A continuación, adjunto la pro forma solicitada: Levantamiento de Red de Sensores + Almacenamiento de información + Diseño de Página Web, con el siguiente detalle:

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	Estudio de Campo, diseño y revisión de la infraestructura -Levantamiento de Red de Sensores -Almacenamiento de información (En la Nube y Servidor Local) -Diseño de Página Web	\$650.00	\$650.00
1	Documentación	\$250.00	\$250.00
	<b>Total</b>		<b>\$900.00</b>

Total: Novecientos con 00/100 dólares americanos

**Validez de la oferta:** 30 días calendario  
**Plazo de entrega:** 3 semanas  
**Forma de pago:** 60% de inicio y 40% en la entrega (Efectivo o Transferencia)  
**Lugar de entrega:** A

CONVENIR. Atentamente:

Razón Social:  
HOME ELECTRONICS  
1753488442  
Dirección: Colon Oe2-36 y Versalles

### ANEXO 14: Código Nodo Central-Raspberry Pi 3

```

import time                    #librería de tiempo
import requests                #librería para conexiones HTTP
import serial                  #librería puerto serial
import mysql.connector         #librería para conexiones a
MySQL
lora = serial.Serial('/dev/ttyUSB0', 57600) #configuración del puerto serial

// Configuraciones para conexión a Ubidots
TOKEN = "BBFF-237oviR9GaNrV9lXS2CfwipBEmej0i" #Token para
conectarse con la plataforma ubidots
DEVICE_LABEL = "tesisensores"                # Nombre del dispositivo

# Carga de variables a Ubidots
def build_payload ( variable_2, variable_3, variable_4, variable_5, variable_6,
variable_7, variable_8, variable_9, variable_10 ):

#Asignación de variables recibidas de la WSN a las variables creadas
payload = {
    "SenHum": variable_2,
    "SenHR": variable_3,
    "SenTem": variable_4,
    "SenPH": variable_5,
    "SenCO2": variable_6,
    "SenTemS": variable_7,
    "SenHum2": variable_8,
    "SenHR2": variable_9,
    "SenTem2": variable_10}

def post_request(payload):
    # Crea los encabezados para solicitudes HTTP
    url = "http://industrial.api.ubidots.com"

def main():
    # Configuración de parámetros del módulo LoRaWAN
    print("VERSION")
    lora.write(b'sys get ver\r\n')          #Muestra la versión del módulo
    print(str(lora.readline()))

    print("SETEO wdt")
    lora.write(b'radio set wdt 105000 \r\n') #Tiempo de espera de Recepción en
ms
    print(str(lora.readline()))

    print("SETEO pwr")
    lora.write(b'radio set pwr 14\r\n') #Asignación de potencia de Transmisión

```

```

print(str(lora.readline()))

print("SETEO sf")
lora.write(b'radio set sf 12\r\n') #Asignación del factor de propagación usado
durante la Transmisión
print(str(lora.readline()))

print("MAC PAUSE")
lora.write(b'mac pause\r\n') #Permite cambiar al módulo de Receptor a
Transmisor y viceversa
print(str(lora.readline()))

while True: #Ciclo While

lora.write(b'radio tx 11111111111\r\n') #Envía la petición de datos al Nodo 1
print("SOLICITUD AL RN1")
print(str(lora.readline())) #Imprime la respuesta del módulo
RN2483
print(str(lora.readline()))

time.sleep(1)

print("CAMBIO A Rx")
lora.write(b'radio rx 0\r\n') #Cambio a modo de Recepción
if(str(lora.readline()) != "busy"): #Evalúa que el módulo este libre
a= str(lora.readline()) #Variable del paquete recibido

#Separación bit a bit de los datos recibidos
A2=a[14]+a[15]+a[16]+a[17] #Variable para el sensor de humedad del suelo
A3=a[18]+a[19]+a[20]+a[21] #Variable para el sensor de humedad Relativa
A4=a[22]+a[23]+a[24]+a[25] #Variable para el sensor de temperatura amb.
A5=a[26]+a[27]+a[28]+a[29] #Variable para el sensor de PH

#Conversión de valores analógicos a digitales de los sensores
sensor2=(A2) # Sensor de Humedad del Suelo
s2=float(sensor2) #Conversión de tipo string a tipo float
SenHum=((s2-1023)*(100-1)/(1-1023)+1) #ecuación para la calibración
SenHum("%.1f" % SenHum) #Muestra el valor con un solo decimal

sensor3=(A3) # Sensor de Humedad Relativa
s3=float(sensor3) #Convierte de string a tipo float
SenHR=(s3) #Imprime valor del sensor
SenHR("%.1f" % SenHR) #Muestra el valor con un solo decimal

sensor4=(A4) # Sensor de Temperatura Ambiente
s4=float(sensor4) #Convierte de tipo string a tipo float
SenTem=(s4) #Imprime valor del sensor
SenTem("%.1f" % SenTem) #Muestra el valor con un solo decimal

```

```

        sensor5=(A5)                # Sensor de PH
        s5=float(sensor5)           #Convierte de tipo string a tipo
float
        SenPH=(s5*14.0)/1023.0     #ecuación para la calibración
        SenPH("%.1f" % SenPH)     #Muestra el valor con un solo
decimal
        #Muestra el valor con un solo decimal
        print("LECTURAS VARIABLE SENSORES")
        print(SenHum)
        print(SenHR)
        print(SenTem)
        print(SenPH)

        #Almacenamiento En La Base De Datos Del Servidor Local
connection=
mysql.connector.connect(user='root',password='tesis123',database='Tesis') #Se crea
una conexión con las credenciales de acceso
        cursor = connection.cursor() #Se crea un cursor para la conexión

        sql = """INSERT INTO Nodo1(tempA,humA,humS,ph) VALUES
(%s,%s,%s,%s,%s)""" #Accede a la tabla donde se va a almacenar los datos
        datos = (SenTem,SenHR,SenHum,SenPH) #Datos para guardar en la
base de datos
        cursor.execute(sql, datos)    #se ejecuta el cursor
        cursor.close()                #Se cierra el cursor
        connection.close()            #se cierra la conexión a
MySQL
        time.sleep(1)

        lora.write(b'radio tx 222222222222\r\n') #Envía la petición de datos al Nodo
        print("SOLICITUD AL RN2")
        print(str(lora.readline()))      #Imprime la respuesta del módulo
RN2483

        time.sleep(1)

        print("CAMBIO A Rx")
        lora.write(b'radio rx 0\r\n')    #Cambio a modo de Receptor
        if(str(lora.readline()) != "busy"): #Evalúa que el módulo este libre
            b= str(lora.readline())      #Variable del paquete recibido

        #Separación bit a bit de los datos recibidos
        B1=b[10]+b[11]+b[12]+b[13] #Variable para el sensor de CO2
        B3=b[18]+b[19]+b[20]+b[21]#Variable para el sensor de temperatura del suelo
        B4=b[22]+b[23]+b[24]+b[25]#Variable para el sensor de humedad del suelo
        B5=b[26]+b[27]+b[28]+b[29]#Variable para el sensor de humedad relativa
        B6=b[30]+b[31]+b[32]+b[33]#Variable para el sensor de temperatura ambiente

        #Conversión de valores analógicos a digitales de los sensores

```

```

sen1=(B1) #Sensor de CO2
p1=float(sen1) #Convierte de tipo string a tipo float
SenCO2=(p1-1)*(1000-270)/(1023-1)+270 #ecuación para la calibración
SenCO2("%.1f" % SenCO2) #Muestra el valor con un solo decimal

sen3=(B3) #Sensor de temperatura del suelo
p3=float(sen3) #Convierte de tipo string a tipo float
SenTemS=(p3) #Imprime valor del sensor
SenTemS("%.1f" % SenTemS) #Muestra el valor con un solo decimal

sen4=(B4) #Sensor de humedad de suelo
p4=float(sen4) #Convierte de string a tipo float
SenHum2=(p4-1023)*(100-1)/(1-1023)+1 #ecuación para la calibración
SenHum2("%.1f" % SenHum2) #Muestra el valor con un solo decimal

sen5=(B5) #Sensor de Humedad Relativa
p5=float(sen5) #Convierte de string a tipo float
SenHR2=(p5) #Imprime el valor del sensor
SenHR2("%.1f" % SenHR2) #Muestra el valor con un solo decimal

sen6=(B6) #Sensor de Temperatura Ambiente
p6=float(sen6) #Convierte de tipo string a tipo float
SenTem2=(p6) #Imprime valor del sensor
SenTem2("%.1f" % SenTem2) #Muestra el valor con un solo decimal

#Imprime los valores digitales calculados
print("LECTURAS VARIABLE SENSORES")
print(SenCO2)
print(SenTemS)
print(SenHum2)
print(SenHR2)
print(SenTem2)

#Almacenamiento En La Base De Datos Del Servidor Local
connection=
mysql.connector.connect(user='root',password='tesis123',database='Tesis') #Se crea una
conexión con las credenciales de acceso
    cursor = connection.cursor() #Se crea un cursor para la conexión
    sql = """INSERT INTO Nodo2(co,tempS,humS,humA,tempA) VALUES
(%s,%s,%s,%s,%s)""" #Accede a la tabla donde se va a almacenar los datos
    datos = (SenCO2,SenTemS,SenHum2,SenHR2,SenTem2)#Datos para guardar en
la base de datos
    cursor.execute(sql, datos) #se ejecuta el cursor
    cursor.close() () #Se cierra el cursor
    connection.close() #se cierra la conexión a MySQL

payload = build_payload(SenHum, SenHR, SenTem, SenPH, SenCO2, SenTemS,
SenHum2, SenHR2, SenTem2) #Construye la trama de datos a almacenar en
Ubidots

```

```
print(payload)
post_request(payload)
time.sleep(30)

if __name__ == '__main__':
    while (True):
        main()
        time.sleep(1)
```

Ubidots

#Se envía la trama de datos a

#Ciclo While

#Se ejecuta la subrutina main()



### ANEXO 15: Código Nodo Sensor Cultivo de Alfalfa-Arduino Uno

```

#include <SoftwareSerial.h>           //inicialización de comunicación serial
#include "DHT.h"                     //librería sensor DHT
#define DHTPIN 8                     //pin de lectura de sensor DHT
#define DHTTYPE DHT11               //especificación del tipo de sensor DHT
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);

SoftwareSerial loranode(10, 11);     //Pines para comunicación serial con el módulo
RN2483

String str;                          //Variable para comunicación con módulo LoRa
int temperatura = 0;                 //Temperatura Ambiente
int humedad = 0;                     //Humedad Relativa
int capacitive = 0;                  // Humedad De Suelo
int ph;                              // Medidor De Ph

void setup() {
  Serial.begin(9600);                //Velocidad de Transmisión de datos por puerto serial
  loranode.begin(57600);             //Velocidad de Transmisión de datos por puerto serial
  Wire.begin();                      //Inicializa sensor DHT11
  dht.begin();

  while (!loranode);                 //Inicializa al módulo RN2483
  pinMode(3,OUTPUT);                 // Declaración del puerto para led indicador
  digitalWrite(3,HIGH);              // Enciende el led indicador

  //Resetea el módulo RN2483
  pinMode(7,OUTPUT);                 //Puerto para el pin Reset del módulo RN2483
  digitalWrite(7,HIGH);              //Puerto encendido
  delay(500);
  digitalWrite(7,LOW);               //Puerto apagado
  delay(2000);

  //Configuración de parámetros del módulo RN2483
  loranode.setTimeout(100);          //establece 100 milisegundos para esperar datos
  por puerto serial
  str = loranode.readStringUntil('\n');
  Serial.println(str);
  loranode.println("radio set wdt 0");//Tiempo de espera en milisegundos para recepción
  de datos
  str = loranode.readStringUntil('\n');
  Serial.println(str);
  loranode.println("radio set pwr 14");//Asignación de potencia de Transmisión del
  módulo RN2483
  str = loranode.readStringUntil('\n');
  Serial.println(str);

```

```

loranode.println("radio set sf sf12"); //Asignación del factor de propagación
usado durante la Transmisión
str = loranode.readStringUntil('\n');
Serial.println(str);
loranode.println("mac pause"); //Permite cambiar al módulo de Recepción
a Transmisión y viceversa
str = loranode.readStringUntil('\n');
Serial.println(str);
digitalWrite(3,LOW); //Apaga el Led indicador
}
void loop() {

    loranode.println("radio rx 0"); //pone al módulo en modo receptor
    str = loranode.readStringUntil('\n'); //lee la respuesta del módulo por
puerto serial
    Serial.println(str); //imprime la respuesta del módulo
    if ( str.indexOf("ok") == 0 ) { //evalúa si el módulo cambió a
modo de recepción
        int ok=0; //a la respuesta del módulo se le
asigna un valor de 0
        while ( ok == 0 ) {
            str = loranode.readStringUntil('\n');
            if ( str.length() > 1 ) { //evalúa si se recibe algún dato
(petición)
                if ( str.indexOf("radio_rx") >= 0 ) { // evalúa si sigue en modo de
recepción
                    if ( str.indexOf("111111111111") >= 0 ) { // evalúa si la etiqueta de
petición le corresponde a este nodo
                        Serial.println("Conectándose a la Red LoRa");
                        Serial.println("Petición de datos Recibida");
                        Serial.println("Recolectando información...");

                        capacitive = analogRead(0); //Mide el nivel de humedad de suelo
(valor analógico)
                        humedad = dht.readHumidity(); //Lee la humedad relativa
temperatura= dht.readTemperature(); //lee la temperatura
ambiente
                        ph = analogRead(2); //lee nivel de PH en el suelo
                        delay(1000); //Tiempo de espera de 1
segundo

                        String cadena2 = String(capacitive, DEC); //la variable de la humedad
del suelo se le convierte a tipo string
                        String cadena3 = String(humedad, DEC); //la variable de la humedad
relativa se le convierte a tipo string
                        String cadena4 = String(temperatura, DEC); //la variable de
temperatura ambiente se le convierte a tipo string
                        String cadena5 = String(ph, DEC); //la variable de ph se la
convierte a tipo string

```

//Se hace en envío de las variables con un tamaño de 4 caracteres por lo que a los caracteres faltantes se les completa con "0"

```
if(capacitive <= 0) cadena2 = "0000";
if(capacitive >=1 && capacitive <= 99){cadena2 = "00" + cadena2;}
if(capacitive >=100 && capacitive <= 999){cadena2 = "0" + cadena2;}
```

```
if(humedad <= 0) cadena3 = "0000";
if(humedad >=1 && humedad <= 99){cadena3 = "00" + cadena3;}
if(humedad >=100 && humedad <= 999){cadena3 = "0" + cadena3;}
```

```
if(temperatura <= 0) cadena4 = "0000";
if(temperatura >=1 && temperatura <= 99){cadena4 = "00" + cadena4;}
if(humedad >=100 && temperatura <= 999){cadena4 = "0" + cadena4;}
```

```
if(humedad <= 0) cadena5 = "0000";
if(humedad >=1 && ph <= 99){cadena5 = "00" + cadena5;}
if(humedad >=100 && ph <= 999){cadena5 = "0" + cadena5;}
```

// Cambia al modo de Transmisión y envía el paquete de datos con las variables ambientales

```
loranode.println("radio tx " + cadena2 + cadena3 + cadena4 + cadena5);
```

```
digitalWrite(3,HIGH); //Enciente el led indicador de Transmisión
```

str = loranode.readStringUntil('\n'); //Lee la respuesta del módulo LoRa después del envío del paquete

```
digitalWrite(3,LOW); //Apaga el led indicador de Recepción
```

```
}
```

```
ok = 1; //Cambia el módulo a modo de Recepción nuevamente
```

```
}
```

## ANEXO 16: Código Nodo Sensor Materia Orgánica-Arduino Uno

```

#include <OneWire.h>           //librería del sensor DS18B20
#include <DallasTemperature.h> //librería del sensor DS18B20
#include <SoftwareSerial.h>    //inicialización de comunicación serial
#include "DHT.h"              //librería sensor DHT
#define DHTPIN 8              //pin de lectura de sensor DHT
#define DHTTYPE DHT11        //especificación del tipo de sensor DHT
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);

SoftwareSerial loranode(10, 11); //Pines para comunicación serial con el módulo RN2483

String str;                   //Variable para comunicación con módulo LoRa
int co2 = 0;                   //co2
int temp_suelo = 0;           //Temperatura Del Suelo
int capacitive = 0;           // Humedad De Suelo
int humedad = 0;              // Humedad Relativa
int temperatura = 0;          //Temperatura Ambiente

void setup() {
  Serial.begin(9600); //Velocidad de Transmisión de datos por puerto serial Arduino
  loranode.begin(57600); //Velocidad de Transmisión de datos por puerto serial Arduino-LoRaWAN

  sensorDS18B20.begin(); //Inicialización Del Sensor Ds18b20
  Wire.begin();
  dht.begin();           //Inicializa sensor DHT11

  while (!loranode);    //Inicializa al módulo RN2483
  pinMode(3,OUTPUT);    // Declaración del puerto para led indicador
  digitalWrite(3,HIGH); // Enciende el led indicador

  // Resetea El Módulo RN2483
  pinMode(7,OUTPUT);    //Puerto para el pin Reset del módulo RN2483
  digitalWrite(7,LOW);  //Puerto apagado
  delay(500);
  digitalWrite(7,HIGH); //Puerto encendido
  delay(2000);

  //Configuración de parámetros del módulo RN2483
  loranode.setTimeout(100); //establece 100 milisegundos para esperar datos
  por puerto serial
  str = loranode.readStringUntil('\n');
  Serial.println(str);
  loranode.println("radio set wdt 105000"); //Tiempo de espera en milisegundos para
  recepción de datos
  str = loranode.readStringUntil('\n');
  Serial.println(str);
  loranode.println("mac pause"); //Permite cambiar al módulo de Receptor a
  Transmisor y viceversa

```

```

str = loranode.readStringUntil('\n');
Serial.println(str);
digitalWrite(3,LOW);          //Apaga el Led indicador
}
void loop() {

loranode.println("radio rx 0"); //pone al módulo en modo receptor
str = loranode.readStringUntil('\n'); //lee la respuesta del módulo por puerto serial
Serial.println(str);           //imprime la respuesta del módulo
if ( str.indexOf("ok") == 0 ) { //evalúa si el módulo cambió a modo de recepción
  int ok=0;                    //a la respuesta del módulo se le asigna un valor de 0
  while ( ok == 0 ) {
    str = loranode.readStringUntil('\n');
    //Serial.println(str);
    if ( str.length() > 1 ) { // evalúa si se recibe algún dato (petición)
      if ( str.indexOf("radio_rx") >= 0 ) { // evalúa si sigue en modo de recepción
        if ( str.indexOf("222222222222") >= 0 ) { //evalúa si la etiqueta de petición le
corresponde a este nodo
          Serial.println("ME HABLAN A MI");

          co2 = analogRead(0); //Mide el valor de CO2 (valor analógico)
          temp_suelo = sensorDS18B20.getTempCByIndex(0); //Lee La Temperatura Del
Suelo
          capacitive = analogRead(3); //Lee La Humedad Del Suelo
          humedad = dht.readHumidity(); //Lee La Humedad Relativa
          temperatura= dht.readTemperature(); //Lee La Temperatura Ambiente
          delay(1000); //Tiempo De Espera De 1 Segundo
          String cadena1 = String(co2, DEC); //la variable de CO2 se le convierte a tipo
string
          String cadena3 = String(temp_suelo, DEC); //la variable de temperatura del suelo se
le convierte a tipo string
          String cadena4 = String(capacitive, DEC); //la variable de la humedad del suelo se le
convierte a tipo string
          String cadena5 = String(humedad, DEC); //la variable de la humedad relativa se le
convierte a tipo string
          String cadena6 = String(temperatura, DEC); //la variable de temperatura ambiente se
le convierte a tipo string

          if(co2 <= 0) cadena1 = "0000";
          if(co2 >=1 && co2 <= 99){cadena1 = "00" + cadena1;}
          if(co2 >=100 && co2 <= 999){cadena1 = "0" + cadena1;}

          if(temp_suelo <= 0) cadena3 = "0000";
          if(temp_suelo >=1 && temp_suelo <= 99){cadena3 = "00" + cadena3;}
          if(temp_suelo >=100 && temp_suelo <= 999){cadena3 = "0" + cadena3;}

          if(capacitive <= 0) cadena4 = "0000";
          if(capacitive >=1 && capacitive <= 99){cadena4 = "00" + cadena4;}
          if(capacitive >=100 && capacitive <= 999){cadena4 = "0" + cadena4;}

```

```
if(humedad <= 0) cadena5 = "0000";
if(humedad >=1 && humedad <= 99){cadena5 = "00" + cadena5;}
if(humedad >=100 && humedad <= 999){cadena5 = "0" + cadena5;}

if(temperatura <= 0) cadena6 = "0000";
if(temperatura >=1 && temperatura <= 99){cadena6 = "00" + cadena6;}
if(temperatura >=100 && temperatura <= 999){cadena6 = "0" + cadena6;}

// Cambia al modo de Transmisión y envía el paquete de datos con las variables
ambientales
    loranode.println("radio tx " + cadena1 + cadena3 + cadena4 + cadena5 + cadena6);
    str = loranode.readStringUntil('\n'); //Lee la respuesta del módulo LoRa
después del envío del paquete
}
```