



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS APLICADAS

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y REDES
DE COMUNICACIÓN**

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

TEMA:

**“DISEÑO DE UNA RED DE SENSORES (WSN) CON TECNOLOGÍA
802.15.4, BASADO EN EL CONCEPTO AGRICULTURA DE
PRECISIÓN PARA EL CONTROL Y MONITOREO DE CULTIVOS DE
HORTALIZAS BAJO INVERNADERO EN LA GRANJA LA PRADERA
DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE”**

Autora: JENNY ALEXANDRA PALACIOS ECHEVERRÍA

Director: MSC. EDGAR MAYA

IBARRA-ECUADOR

2017



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

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

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información.

DATOS DEL CONTACTO	
Cédula de identidad	100375415-5
Apellidos y Nombres	Palacios Echeverría Jenny Alexandra
Dirección	Otavalo – 13 de Junio y Ernesto Che Guevara
E-mail	japalacios@utn.edu.ec
Teléfono móvil	0988148904
DATOS DE LA OBRA	
Título	DISEÑO DE UNA RED DE SENSORES (WSN) CON TECNOLOGÍA 802.15.4, BASADO EN EL CONCEPTO AGRICULTURA DE PRECISIÓN PARA EL CONTROL Y MONITOREO DE CULTIVOS DE HORTALIZAS BAJO INVERNADERO EN LA GRANJA LA PRADERA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE.
Autor	Jenny Alexandra Palacios Echeverría
Fecha	Abril del 2017
Programa	Pregrado

Título	Ingeniero en Electrónica y Redes de Comunicación
Director	MSc. Edgar Maya

2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, Palacios Echeverría Jenny Alexandra, con cedula de identidad Nro. 100375415-5, en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en forma digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad de material y como apoyo a la educación, investigación y extensión, en concordancia con la ley de Educación Superior Artículo 144.

3. CONSTANCIAS

Yo, PALACIOS ECHEVERRÍA JENNY ALEXANDRA declaro bajo juramento que el trabajo aquí escrito es de mi autoría; y que este no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Universidad Técnica del Norte, según lo establecido por las leyes de propiedad intelectual, reglamentos y normatividad vigente de la Universidad Técnica del Norte.

En la ciudad de Ibarra, abril de 2017.

EL AUTOR:



Palacios Echeverría Jenny Alexandra
100375415-5



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

**CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO
A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

Yo, Palacios Echeverría Jenny Alexandra, con cedula de identidad Nro. 100375415-5, manifiesto ni voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador artículos 4,5 y 6, en calidad de autor del trabajo de grado con el tema: **DISEÑO DE UNA RED DE SENSORES (WSN) CON TECNOLOGÍA 802.15.4, BASADO EN EL CONCEPTO AGRICULTURA DE PRECISIÓN PARA EL CONTROL Y MONITOREO DE CULTIVOS DE HORTALIZAS BAJO INVERNADERO EN LA GRANJA LA PRADERA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE.** Que ha sido desarrollado con propósito de obtener el título de Ingeniero en Electrónica Redes de Comunicación de la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.


.....

Palacios Echeverría Jenny Alexandra

100375415-5

Ibarra, Abril 2017



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CERTIFICACIÓN

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

Que, el presente trabajo de Titulación “DISEÑO DE UNA RED DE SENSORES (WSN) CON TECNOLOGÍA 802.15.4, BASADO EN EL CONCEPTO AGRICULTURA DE PRECISIÓN PARA EL CONTROL Y MONITOREO DE CULTIVOS DE HORTALIZAS BAJO INVERNADERO EN LA GRANJA LA PRADERA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE”. Ha sido desarrollado por la señorita Palacios Echeverría Jenny Alexandra bajo mi supervisión.

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

MSc. Edgar Maya
DIRECTOR



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de tesis a Dios y a mis padres. A Dios porque ha estado conmigo a cada paso que doy, cuidándome y dándome fortaleza para continuar, a mi madre Concepción Echeverría y a mi padre Gonzalo Palacios, quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación siendo mi apoyo en todo momento. Depositando su entera confianza en cada reto que se me presentaba sin dudar, es por ellos que soy lo que soy ahora. Los amo con mi vida.

A mis abuelos que desde el cielo me han cuidado por muchos años y me han guiado a no caer a pesar de los tropiezos que he tenido.

A mis amigos y demás familiares por estar conmigo apoyándome en todo momento, los quiero mucho.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

AGRADECIMIENTO

Este proyecto es el resultado de un constante esfuerzo primeramente agradeciendo al Ing. Edgar Maya más que un guía fue un amigo, por compartir sus conocimientos y toda su colaboración brindada, durante la elaboración de este proyecto.

También me gustaría agradecer a mis profesores durante toda mi carrera profesional porque todos han aportado con un granito de arena a mi formación.

Un agradecimiento muy especial al Sr. Eduardo Gómez que con su calidez compartió conmigo su experiencia en el ámbito de la agricultura, y fue de mucha ayuda en mi proyecto; por último un eterno agradecimiento a una persona muy especial que sólo él sabe quién es.

CONTENIDO

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE.....	I
CONSTANCIAS	II
CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE	III
CERTIFICACIÓN.....	IV
DEDICATORIA.....	V
AGRADECIMIENTO.....	VII
CONTENIDO.....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS	XIV
ÍNDICE DE TABLAS.....	XVIII
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	XIX
RESUMEN.....	XX
ABSTRACT	XXI
CAPITULO I.....	1
ANTECEDENTES.....	1
1.1. TEMA	1
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.3. OBJETIVOS	2
1.3.1. <i>Objetivo General</i>	2
1.3.2. <i>Objetivos Específicos</i>	2
1.4. ALCANCE	3
1.5. JUSTIFICACIÓN.....	5

CAPÍTULO II.....	6
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	6
2.1. RED DE SENSORES (WSN)	6
2.1.1. <i>Elementos De Una Red De Sensores</i>	7
2.1.1.1. Nodo Sensor	8
2.1.1.2. Gateway	9
2.1.1.3. Estación Base	9
2.1.1.4. Red Inalámbrica	9
2.2. TOPOLOGÍA.....	9
2.2.1. <i>Topología Tipo Estrella</i>	9
2.2.2. <i>Topología Tipo Malla</i>	10
2.2.3. <i>Topología Híbrida Estrella-Malla</i>	10
2.3. INTERNET DE LAS COSAS.....	11
2.3.1. <i>Arquitectura de la IoT</i>	12
2.4. ESTÁNDAR IEEE 802.15.4.....	13
2.4.1. <i>Elementos Del Estándar IEEE 802.15.4</i>	14
2.4.2. <i>Arquitectura</i>	15
2.4.3. <i>Capa Física Modelo OSI</i>	16
2.4.4. <i>Capa Mac Modelo OSI</i>	18
2.4.5. <i>Descripción De Funciones</i>	19
2.4.5.1. Estructura de la Supertrama	19
2.4.5.2. Estructura de la Trama	21
2.4.5.3. Consideraciones de Consumo de Energía	21
2.4.5.4. Seguridad	22
2.5. AGRICULTURA DE PRECISIÓN	23
2.5.1. <i>Concepto Del Sistema</i>	23
2.5.2. <i>Herramientas Y Equipos</i>	25

2.5.2.1.	Tecnología con Sensores.....	25
2.5.3.	<i>Parámetros para el estudio.....</i>	25
2.5.3.1.	Humedad de suelo.....	25
2.5.3.2.	Humedad Relativa.....	26
2.5.3.3.	Temperatura Ambiente	26
2.5.3.4.	Cantidad de CO2.....	26
2.5.3.5.	Luminosidad	26
2.6.	CULTIVOS DE CICLO CORTO.....	27
2.7.	CULTIVO DE TOMATE RIÑÓN	27
2.7.1.	<i>Origen.....</i>	28
2.7.2.	<i>Taxonomía y Morfología.....</i>	28
2.8.	RIEGO	29
2.8.1.	<i>Tipos de Riego.....</i>	30
2.9.	SISTEMAS EMBEBIDOS.....	30
2.9.1.	<i>Características de un Sistema Embebido.....</i>	31
2.9.2.	<i>Estructura Básica de un Sistema Embebido</i>	31
2.10.	SENSORES	32
2.10.1.	<i>Sensores utilizados en Agricultura de Precisión</i>	32
2.11.	COMPUTACIÓN EN LA NUBE.....	33
2.11.1.	<i>Modelos de Presentación.....</i>	33
2.11.2.	<i>Modelos de Servicio.....</i>	34
CAPÍTULO III		36
DISEÑO DE HARDWARE Y SOFTWARE.....		36
3.1.	SITUACIÓN ACTUAL DEL INVERNADERO.....	36
3.2.	REQUERIMIENTOS PARA EL DISEÑO DE LA WSN.....	37
3.3.	DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA.....	37
3.4.	ARQUITECTURA.....	39

3.5.	HARDWARE DEL SISTEMA.....	41
3.5.1.	<i>Elección de componentes</i>	41
3.5.1.1.1.	Módulos XBee	49
3.5.1.1.2.	Circuito Regulador de Voltaje con un LM317.....	52
3.5.1.2.1.	Sensores de humedad de suelo.....	53
3.5.1.2.2.	Sensores de temperatura.....	55
3.5.1.2.3.	Sensores de luminosidad.....	57
3.5.1.2.4.	Sensores de CO2.....	58
3.5.2.	<i>Nodo Central</i>	60
3.5.2.1.	<i>Ensamblaje Nodo Central</i>	61
3.5.3.	<i>Nodos Sensores</i>	62
3.5.4.	<i>Ensamblaje</i>	63
3.5.4.1.	<i>Alimentación del circuito</i>	64
3.5.3.1.1	Cálculos de Alimentación	64
3.6.	DISEÑO DE LA RED DE SENSORES INALÁMBRICA.....	66
3.5.3	<i>Ubicación De Los Nodos</i>	68
3.6.1.	<i>Proceso de respuesta</i>	73
3.7.	DISEÑO DEL SOFTWARE.....	73
3.7.1.	<i>Diagramas de flujo</i>	73
3.7.1.1.	Diagrama de flujo Nodos Sensores.....	74
3.7.1.2.	Diagrama de flujo Nodo Central.....	75
3.7.1.3.	Diagrama de flujo de la Plataforma PAAS – 1	76
3.8.	PLATAFORMA PAAS	76
3.8.1.	<i>Interfaz de monitoreo</i>	77
3.8.2.	<i>Visualización</i>	78
3.8.3.	<i>Creación de Alertas</i>	83
3.9.	METODOLOGÍA DE COMPARACIÓN DEL RIEGO.....	85

CAPITULO IV	87
IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS	87
4.1. PRUEBAS DE SENSADO	87
4.1.1. <i>Pruebas en invernadero de Granja La Pradera</i>	87
4.1.1.1. Lectura del sensado.....	88
4.1.2. <i>Alarmas</i>	90
4.2. INSTALACIÓN DE LA RED DE SENSORES	90
4.2.1. <i>Instalación Nodos Sensores</i>	91
4.2.2. <i>Nodo Central</i>	94
4.3. PRUEBAS PREVIAS A LA INSTALACIÓN DEL RIEGO POR GOTEO EN AMBIENTES DIFERENTES.	96
4.3.1. <i>Aplicación de agua con ayuda de riego con manguera</i>	96
4.3.2. <i>Negación de agua</i>	97
4.3.3. <i>Aplicación de agua con sistema de riego por goteo</i>	98
4.3.4. <i>Aplicación de agua con el proyecto propuesto</i>	99
4.4. INSTALACIÓN DE RIEGO POR GOTEO	101
4.4.1. <i>Materiales para la instalación</i>	101
4.4.2. <i>Instalación</i>	102
CAPÍTULO V	105
ANÁLISIS COSTO BENEFICIO	105
5.1. ANÁLISIS COSTO BENEFICIO DE LA PROPUESTA.....	105
5.1.1. <i>Costos</i>	105
5.1.1.1. Costo de dispositivos	105
5.1.1.2. Costos de Infraestructura	106
5.1.1.3. Costos de Ingeniería.....	107
5.1.1.4. Costos de Software.....	107

5.1.1.5.	Costos de Mantenimiento.....	107
5.1.1.6.	Resumen.....	108
5.1.2.	<i>Beneficios</i>	108
5.2.	CONCLUSIONES.....	109
5.3.	RECOMENDACIONES	111
	REFERENCIAS	112
	GLOSARIO DE TÉRMINOS	115
	ANEXOS.....	116
	ANEXO A.....	117
	ANEXO B	119
	ANEXO C	120
	ANEXO D.....	123
	ANEXO E	125
	ANEXO F.....	128

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Arquitectura de una Red de Sensores constituida por sus cuatro elementos principales.....	7
Figura 2. Arquitectura de un Nodo Sensor detallando cada uno de los elementos que la compone.....	8
Figura 3. Topología tipo Estrella conformado del nodo central y sus dispositivos clientes alrededor.	10
Figura 4. Topología Tipo Malla interconectados entre todos para dar redundancia.....	10
Figura 5. Topología Híbrida entre una topología malla y una topología estrella.....	11
Figura 6. Arquitectura genérica de IoT para redes de sensores	13
Figura 7. Arquitectura LR-WPAN en redes de área personal dentro del estándar IEEE 802.15.4.....	16
Figura 8. Estructura Supertrama con GTSS	20
Figura 9. Estructura Supertrama sin GTSS.....	21
Figura 10. Estructura de un Sistema Embebido	32
Figura 11. Extensión del invernadero de la granja La Pradera, utilizando la herramienta regla de Google Earth.....	36
Figura 12. Dimensiones del invernadero, ubicando largo, ancho y altura.	38
Figura 13. Arquitectura del Sistema de monitoreo y control, detallando la WSN, la plataforma ubicada en la nube y el riego por goteo.....	40
Figura 14. Placa Arduino UNO.....	44
Figura 15. Especificación de pines	45
Figura 16. Arduino Mini-PRO.....	46
Figura 17. Arduino Ethernet Shield	47
Figura 18. Módulo Xbee S2C	50
Figura 19. Shield Xbee	51
Figura 20. LM317	52
Figura 21. Circuito regulador de tensión con un LM317	53
Figura 22. Sensor de Humedad de Suelo YL-38 y Sonda YL-69	54
Figura 23. Sensor Temperatura Ambiente y Humedad Relativa DHT11	56

Figura 24. Sensor de Luminosidad bh1750	57
Figura 25. Sensor CO2 MQ-135	59
Figura 26. Módulo Nodo Central.....	60
Figura 27. Nodo Central vista frontal	61
Figura 28. Nodo central vista lateral.....	61
Figura 29. Módulo Nodo Sensor.....	62
Figura 30. Placa Nodo Sensor.....	63
Figura 31. Nodo Sensor vista frontal	63
Figura 32. Circuito de alimentación a la batería con el panel solar	66
Figura 33. Circuito de alimentación de batería con panel solar	66
Figura 34. Diseño de la WSN, detallando cada uno de los elementos que se encuentra conformada. .	67
Figura 35. Ubicación del nodo central y nodos sensores en el invernadero de la granja La Pradera. ..	68
Figura 36. Coordenadas de la granja La Pradera ubicando la latitud y longitud de cada nodo.	69
Figura 37. Creación de los nodos con un nombre específico de cada nodo sensor	69
Figura 38. Creación de la red uniendo cada uno de los puntos, siendo estos los nodos sensores.....	70
Figura 39. Configuración de los parámetros de la antena de xbee.....	71
Figura 40. Resultado de la red mallada en el invernadero de la granja La Pradera.	71
Figura 41. Enlace entre Nodo Central y Nodo Sensor 1	72
Figura 42. Enlace entre Nodo Central y Nodo Sensor 3	72
Figura 43. Exportación a Google Earth de la posición de cada uno de los nodos en el actual invernadero de la granja La Pradera.	73
Figura 44. Diagrama de Flujo Nodos Sensores.....	74
Figura 45. Diagrama de flujo Nodo Central	75
Figura 46. Diagrama de flujo de la Plataforma PAAS.....	76
Figura 47. Captura de pantalla de página principal de Ubidots.	78
Figura 48. Captura de pantalla de la creación de una cuenta.	79

Figura 49. Captura de pantalla de la confirmación de cuenta en el correo que se ubicó en su creación.	79
Figura 50. Captura de pantalla de la creación de un nuevo Data Source	80
Figura 51. Captura de pantalla de la creación de variables.....	80
Figura 52. Captura de pantalla de la identificación de la variable con un ID	81
Figura 53. Captura de pantalla del ingreso a My Profile	81
Figura 54. Captura de pantalla de la página inicial de la plataforma API Keys	82
Figura 55. Captura de pantalla de la creación de un Token	82
Figura 56. Captura de pantalla del código de envío de datos a ubidots	83
Figura 57. Captura de pantalla de la visualización de datos en la plataforma Ubidots.....	83
Figura 58. Captura de pantalla de la creación de un evento para generar una alarma	84
Figura 59. Captura de pantalla de los parámetros de alerta.	84
Figura 60. Captura de pantalla de la ubicación del correo y Mensaje de aviso.	85
Figura 61. Captura de pantalla de la alerta creada.	85
Figura 62. Invernadero de tomate riñón de la granja La Pradera.....	87
Figura 63. Datos de la variable Iluminancia	88
Figura 64. Datos de la variable CO2.....	89
Figura 65. Datos de la variable Temperatura Ambiente	89
Figura 66. Datos de la variable Humedad Relativa.....	89
Figura 67. Datos de la variable Humedad de Suelo.....	90
Figura 68. Alerta a la cuenta de correo cuando ha sobrepasado el umbral de humedad.....	90
Figura 69. Instalación Nodo Sensor 1	92
Figura 70. Instalación Nodo Sensor 2.....	93
Figura 71. Instalación Nodo Sensor 3.....	94
Figura 72. Instalación Nodo central.....	95
Figura 73. Manguera para la distribución de riego	96

Figura 74. Base de agua en litros	96
Figura 75. Deformación de la forma de la planta.....	97
Figura 76. Consecuencias de falta de agua	98
Figura 77. Uso del riego por goteo	99
Figura 78. Lechuga con el suministro correcto	100
Figura 79. Frutos del cultivo.....	101
Figura 80. Flores del cultivo	101
Figura 81. Grifo con electroválvula	102
Figura 82. Red de distribución de agua.....	103
Figura 83. Mangueras de agua de riego	103
Figura 84. Ubicación de cada electroválvula en el sector de cada nodo sensor.....	104

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características del Estandar IEEE 802.15.4	14
Tabla 2. Comparativa de placas Arduino #1	42
Tabla 3. Comparativa de placas Arduino #2.....	43
Tabla 4. Características de Arduino UNO	44
Tabla 5. Características Arduino Mini PRO	47
Tabla 6. Características de los modelos XBee.....	49
Tabla 7. Especificaciones Xbee S2C	50
Tabla 8. Comparativa de las características de humedad de suelo	53
Tabla 9. Comparativa de las características de sensores de temperatura.....	55
Tabla 10. Especificaciones Técnicas del DTH11.	56
Tabla 11. Comparativa de las características de sensores de luminosidad	57
Tabla 12. Comparativa de las características de sensores de CO2	58
Tabla 13. Especificaciones Técnicas del MQ - 135.....	59
Tabla 14. Consumo de dispositivos de un nodo sensores	64
Tabla 15. Comparación Xibely, Exosite y Ubidots	77
Tabla 16. Comparación de Riego.....	86
Tabla 17. Costos de Hardware	106
Tabla 18. Costos de Infraestructura	106
Tabla 19. Costos de Ingeniería.....	107
Tabla 20. Costos de Software	107
Tabla 21. Costos de Mantenimiento	108
Tabla 22. Resumen de Costos.....	108

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Cálculo del voltaje de salida de alimentación al módulo Xbee.....	52
Ecuación 2. Fórmula del cálculo del consumo de la vida útil de una batería de litio	65
Ecuación 3. Cálculo de la vida de la batería en horas.....	65

RESUMEN

Un invernadero es una estructura cubierta de vidrio o plástico, destinado a la horticultura, que tiene la capacidad de cultivar plantas en climas no apropiados para su desarrollo. En la actualidad, se utiliza sistemas de riego automático para el ahorro de agua y dinero, principalmente basados en redes de sensores inalámbricas (WSN – *Wireless sensor network*). Dichas redes constan de un nodo sensor, un Gateway, una estación base y la red inalámbrica.

Particularmente, la granja La Pradera de la Universidad Técnica del Norte posee un invernadero que representa un valor agregado significativo para la carrera de Ingeniería Agropecuaria, dado que permite poner en práctica conceptos teóricos sobre la calidad y el desarrollo de los cultivos.

La granja La Pradera no cuenta con una WSN ni con un sistema de riego automatizado, propiamente dicho, y por tanto los cultivos carecen de un entorno para su adecuado desarrollo y crecimiento, además, el sistema pre-existente resulta costoso en términos de dinero y del recurso hídrico.

Con el propósito de contribuir a la mejora de las condiciones mencionadas anteriormente, el presente proyecto consiste en aplicar conceptos de agricultura de precisión en una WSN para optimizar el control de un sistema de riego por goteo y el monitoreo de agentes ambientales involucrados en un cultivo de hortalizas bajo invernadero de la granja “La Pradera”, con el fin de lograr un mejor aprovechamiento del agua de riego y obtener un sistema de almacenamiento de datos de los parámetros a ser estudiados y constituir una base de conocimiento para realizar la predicción de dichos parámetros.

ABSTRACT

A greenhouse is a structure covered with glass or plastic, intended for horticulture, which has the ability to grow plants in climates not suitable for development. Today, automatic irrigation systems are used to save water and money, being mainly based on wireless sensor networks (WSN). These networks consist of a sensor node, a Gateway, a base station and the wireless network.

In particular, “La Pradera” farm from the Universidad Técnica Del Norte has a greenhouse that represents a significant added value for the agricultural engineering career, since it allows to put into practice theoretical concepts on the quality and development of crops. La Pradera farm has no a WSN nor an automated irrigation system, and therefore the crops lack a proper environment for their development and growth, in addition, the pre-existing system is expensive in terms of both money and water resource consumption.

In order to contribute to the improvement of the aforementioned conditions, this project – founded on concepts of precision agriculture within a WSN context- is aimed to optimize the control of a drip irrigation system and the monitoring of environmental agents involved in a crop vegetables in the greenhouse of the farm "La Pradera". This is done to achieve a better use of the irrigation water and design a system for data storage of the parameters to be studied. As well, a knowledge base to carry out the prediction of these parameters is formed.

CAPITULO I

ANTECEDENTES

1.1. TEMA

“DISEÑO DE UNA RED DE SENSORES (WSN) CON TECNOLOGÍA 802.15.4, BASADO EN EL CONCEPTO AGRICULTURA DE PRECISIÓN PARA EL CONTROL Y MONITOREO DE CULTIVOS DE HORTALIZAS BAJO INVERNADERO EN LA GRANJA LA PRADERA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE”

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En los últimos años, en la granja La Pradera, propiedad de la Universidad Técnica del Norte, ubicada en el sector de Chaltura del Cantón Antonio Ante, se ha percibido una preocupación sobre la gestión de los cultivos de hortalizas para lograr producciones satisfactorias. Las plantaciones agrícolas existentes dentro del invernadero viven con temperaturas no apropiadas y sin un control de la disponibilidad de agua de riego; al no tener un mayor rendimiento de cada parcela. La granja La Pradera existe, con el fin de proveer una infraestructura de estudio en el área agrícola a estudiantes de Ingeniería Agropecuaria, pudiendo aplicar sus conocimientos en cultivos de hortalizas, verduras y plantaciones frutales dentro invernaderos y fuera de ellos, dando así un realce al crecimiento como carrera e institución del saber.

En la actualidad la granja La Pradera, cuenta con cultivos agrícolas de distintas especies, los cuales han presentado bajo aprovechamiento del suelo al no poder predecir los constantes cambios de luminosidad, temperatura ambiente, humedad relativa, humedad de suelo y la cantidad CO₂, que son los principales factores que intervienen en los cultivos y los que pueden llevar una mala calidad de producción en proporciones no adecuadas. El proceso utilizado

actualmente para el riego, es un goteo manual y obsoleto, el cual se realiza de forma empírica y sin metodología en base a los requerimientos del cultivo.

La agricultura de precisión tiene como fin mejorar el rendimiento de las plantaciones utilizando tecnología moderna basada en sensores, permitiendo así tener un almacenamiento de datos y accediendo a los mismos de manera que ayuden al agricultor a ver los cambios.

El tener una metodología adecuada para controlar el riego, monitorear los agentes ambientales que intervienen en el proceso de crecimiento de una planta, y poseer un registro de la información de las plantaciones, se podrá satisfacer las necesidades de los cultivos, lo que conlleva a mantener técnicas de cuidado de cultivos en base a la agricultura de precisión, que se apoya en el uso de tecnologías de la información para obtener el máximo rendimiento de cada plantación. Sosteniéndose en una solución basada en una serie de sensores, dispositivos y una aplicación informática permite obtener información detallada del cultivo, impactando directamente en la calidad de los productos así como en los procesos que se realizan.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo General

Diseñar una Red de Sensores (WSN) basada en agricultura de precisión; para controlar el riego, monitorear los agentes ambientales que participan, y poseer un registro automático de datos de la labranza, de los cultivos de hortalizas de un invernadero en la granja “La Pradera”.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Definir los agentes de la agricultura de precisión, que intervienen en el proceso de sembrío de hortalizas mediante una investigación que permita identificar como estos influyen en la plantación.
- Recopilar información de entorno que permita conocer las características del ambiente de estudio, obteniendo datos de la ubicación de cada nodo y que extensión abastecerá del terreno.

- Diseñar el hardware de control y monitoreo de los agentes implicados en agricultura de precisión de cultivo de hortalizas en un invernadero, mediante una red de sensores que permitan la recolección del porcentaje de información de cada uno y activar el sistema de control de cada parcela.
- Diseñar el software del sistema de monitoreo de luminosidad, temperatura ambiente, humedad relativa, humedad de suelo y la cantidad CO2 del cultivo de hortalizas en un invernadero utilizando herramientas web que posibiliten guardar la información registrada.
- Realizar pruebas del funcionamiento de hardware y software del diseño.
- Realizar un análisis Costo-Beneficio del sistema.

1.4. ALCANCE

El presente trabajo, consiste en la implementación de una red de sensores (WSN), para el control de riego y monitoreo de factores como humedad del suelo, temperatura ambiente, humedad relativa, CO2 y luminosidad existente en el cultivo de hortalizas dentro de un invernadero de la granja La Pradera, con el fin de obtener un registro de datos de forma automática, para tomar decisiones sobre las acciones a tomar en cada instante del cultivo.

Para el desarrollo de este trabajo primeramente se va a realizar un análisis de las características de cada uno de los agentes a monitorear dentro de agricultura de precisión y obtener los parámetros que se debe cumplir para que la plantación aumente la calidad del producto.

La plantación existente será optimizada con el concepto de agricultura de precisión, evolucionando con las nuevas tecnologías, como la Internet de las cosas (IoT), incluyendo como un estándar relevante IEEE 802.15.4, permitiendo la comunicación de cada uno de los nodos que recolectan la información de los sensores ubicados en el cultivo, proporcionando al

agricultor información en tiempo real, esto permite un mejor tope de decisiones, lo que resulta máxima eficiencia en las acciones.

Se diseñará un sistema que recopile datos mediante nodos de sensores inalámbricos que estarán ubicados estratégicamente dentro del invernadero. Los sensores enviarán la información a un dispositivo central basado en un microcontrolador el cual se encargará de procesar la información y enviarla a una plataforma en la nube en la cual se alojarán los datos para su posterior análisis.

El software que se encargará de recolectar los datos obtenidos del análisis de los parámetros involucrados en el cultivo, se efectuará mediante el uso de una base de datos estática con el propósito de almacenar información de lectura, al ser usada para el análisis del comportamiento de las características del cultivo, alojando toda la información en un cloud público que puede ser libre o pagado, dependiendo de las necesidades posteriores del presente proyecto.

El sistema de Control, se dará mediante una alerta de correos informando cuando sobrepasa el umbral óptimo de cada agente en el concepto de agricultura de precisión, dentro de la plantación de cultivos de hortalizas en un invernadero, brindando así en el momento de registrar los datos fuera del rango que necesita la plantación, la solución de proveer lo que necesita la labranza para su provechoso crecimiento y dar un riego controlado.

Para la comprobación que los agentes implicados en la agricultura de precisión estén actuando de manera que el cultivo sea provechoso, se realizará pruebas de funcionamiento de monitorización de cada elemento obteniendo como resultado mostrar las cantidades en las que se encuentren todos los factores a analizar; además del correcto abastecimiento del agua por cada parcela utilizando un sistema controlado.

Con el fin de evaluar la propuesta presente, se realizará un análisis costo-beneficio del proyecto, basado en un principio de obtener los mejores resultados con respecto al trabajo invertido.

1.5. JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo propuesto a ser realizado, tiene el fin de cumplir con uno de los objetivos del Plan Nacional del Buen Vivir, para contribuir con el aumento de la capacidad productiva y crecimiento económico del país, tomando en cuenta los objetivos propuestos en él y cumplirlos de manera que permita una forma de vida feliz (PNBV, 2013-2017).

La necesidad de desarrollar industrias propias y aportar con el crecimiento de la economía del país, genera ideas estratégicas de mejorar la producción dentro de uno de los mayores recursos que posee el país como es el sector agropecuario. El planteamiento del Gobierno Nacional de generar objetivos que permitan armonía en el país, se encuentra “Impulsar la transformación de la matriz productiva”, proponiendo métodos tecnológicos para optimizar las plantaciones y lograr calidad en la producción, conjuntamente con la misión de la Universidad Técnica del Norte de formar profesionales que se vinculen con la comunidad en criterios de sustentabilidad ecológica y económica de la región. (PNBV, 2013-2017), (UTN, 1989 - 2016)

La Agricultura de Precisión se basa en adaptar elementos de siembra para mejorar los procesos agrícolas llevando a cabo un registro automático almacenado en una plataforma, ayudará a los administradores de la granja a tener un continuo chequeo de cómo la plantación crece, pudiendo mantenerse alerta de cualquier altercado que se produzca y tomar acciones a tiempo; con la ayuda de tecnologías inalámbricas facilitando las tareas de los encargados de la granja obteniendo los datos en tiempo real de manera rápida y óptima.

La motivación personal que ha llevado a realizar este proyecto es aportar con el crecimiento de la economía del país, con la ayuda de la metodología de innovación por medio de la tecnología, ayudando a productores del sector agrícola a mejorar sus producciones implementando una Red de sensores (WSN), motivando a dejar atrás tecnologías obsoletas, mejorando la calidad del producto y siendo eficiente con respecto a conservar la energía y proteger el medio ambiente, optimizando recursos.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

El presente capítulo describe los principales conceptos, características, elementos de una red de sensores, conjuntamente con distintas topologías, que se puede trabajar dentro de una red de sensores; además describe el objetivo primordial del estándar IEEE 802.15.4, detallando sus características, componentes, arquitectura, capas en las que trabaja y el tipo de comunicación en la que se especializa. Posteriormente señala el concepto de Agricultura de precisión, señalando su propósito, el cual es optimizar la calidad de producción unida a la tecnología, con ayuda de algunos dispositivos que utiliza para lograr este objetivo. Para su solución se necesita de sensores que son desglosados uno por uno, y todo lo que conforma un sistema embebido para la consumación del proyecto, con lo que se obtendrá un registro de datos que se mantendrá alojado en el concepto de la Nube y sus distintos servicios y especificaciones.

2.1. RED DE SENSORES (WSN)

La tecnología ha permitido crear de una red de sensores adaptándose a la posibilidad de sostener ideas innovadoras mediante el almacenamiento de información relevante transmitiendo de un dispositivo a otro y así poder visualizarla de manera flexible y sencilla.

Una red de sensores está formada por un conjunto de sensores (nodos) que tienen una tarea en común por cumplir, con la ayuda de comunicación inalámbrica que permita comunicar con un nodo central. Los dispositivos de conforman una red de sensores tienen como fin controlar diversas características del entorno en que se vaya a trabajar, como: Humedad, temperatura, movimiento (Capella, 2011).

El autor indica lo siguiente acerca de una red de sensores:

La principal innovación consiste en sustituir sensores de elevada complejidad, costosos, con una limitación en número, por un conjunto mucho mayor de dispositivos sensores sencillos que

resultan considerablemente más baratos, obteniendo magnitudes físicas del entorno, pero que además dan soporte a las comunicaciones de otros nodos como elementos de infraestructura.

La característica principal de una WSN es su capacidad de adaptarse a lugares de difícil acceso. Gracias a esta característica es posible mantener la red en funcionamiento incluso cuando algunos nodos se encuentran fuera de servicio, debido a fallos, agotamiento baterías, modo bajo consumo, etc. En estos casos la red es capaz de reorganizarse y continuar funcionando.

2.1.1. Elementos De Una Red De Sensores

En la Figura 1, se observa una red de sensores que se constituye de cuatro elementos fundamentales:

- Nodos Sensor.
- Gateway.
- Estación Base.
- Red Inalámbrica.

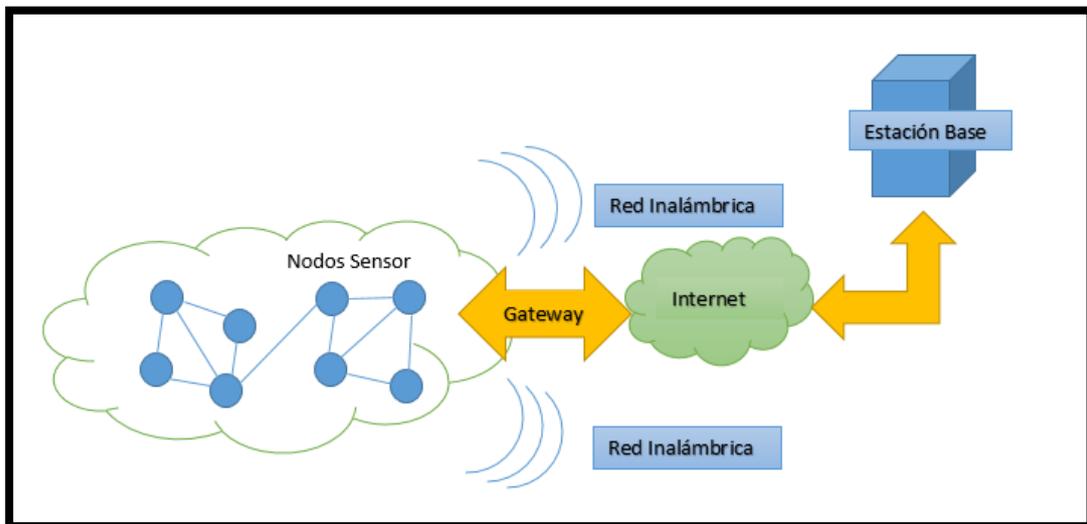


Figura 1. Arquitectura de una Red de Sensores constituida por sus cuatro elementos principales.

Fuente: Elaborado por el Autor

2.1.1.1. *Nodo Sensor*

El nodo sensor es una de las partes principales de una WSN. El hardware de un nodo sensor incluye generalmente cuatro partes como se observa en la Figura 2 cada uno de los elementos posteriormente definidos: La administración de la energía y el poder módulo, un sensor, un microcontrolador, y un inalámbrico transmisor-receptor. El módulo de potencia ofrece la energía confiable necesaria para el sistema. El sensor es el vínculo de un nodo WSN que puede obtener el estado del medio ambiente y el equipo. Un sensor es el encargado de recoger y transformar las señales, como la luz, la vibración y la química señales en señales eléctricas, y luego se transfieren ellos al microcontrolador. El microcontrolador recibe los datos desde el sensor y, en consecuencia, los procesa. El transceptor inalámbrico (RF módulo) transfiere los datos, de forma que la realización de la comunicación se puede lograr. Es importante que el diseño de los todas las partes de una nodo WSN debe tener en cuenta las características de nodos WSN de pequeño tamaño y potencia limitada (Integrantes del Grupo de Invesigación EDMANS, 2009).

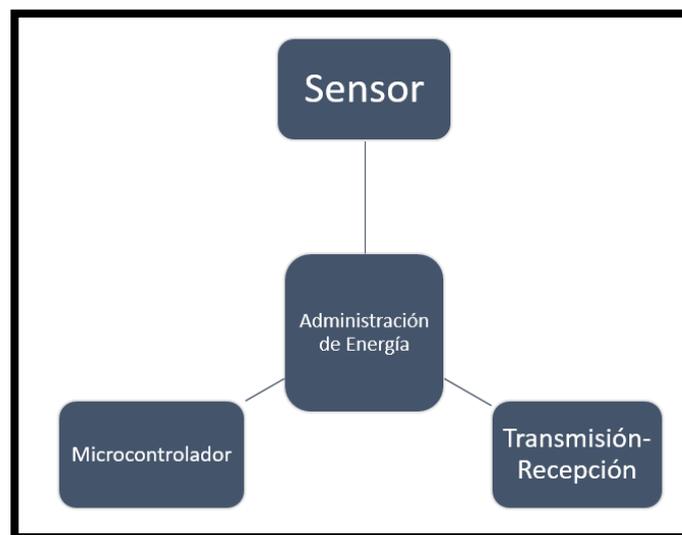


Figura 2. Arquitectura de un Nodo Sensor detallando cada uno de los elementos que la compone.

Fuente: Elaborado por el Autor

2.1.1.2. Gateway

Es un equipo que permite interconectar redes con protocolos y arquitecturas completamente diferentes a todos los niveles de comunicación. La traducción de las unidades de información reduce mucho la velocidad de transmisión a través de estos equipos.

2.1.1.3. Estación Base

Según (Integrantes del Grupo de Investigación EDMANS, 2009) una estación base es: Recolector de datos basado en un ordenador común donde toda la información va a parar a un equipo que se almacena en una base de datos, desde donde los usuarios acceden remotamente y observan el compartimiento de los datos.

2.1.1.4. Red Inalámbrica

La comunicación se logra mediante el uso de un dispositivo inalámbrico que recibe y envía datos vía radio para comunicarse con otros dispositivos que se encuentren dentro del rango establecido. Los sensores usan la banda ISM, que son no licenciadas y respetan reglas, utilizando las frecuencias desde 433MHz hasta 2.4GHz.

2.2. TOPOLOGÍA

Una topología es una descripción general esquemática de la disposición de una red, incluyendo sus nodos y líneas de conexión. Hay dos maneras de definir la geometría de la red: La topología física y la topología lógica. La topología física de una red es la disposición geométrica real de las estaciones de trabajo. Hay varias topologías físicas comunes, como son: Bus, estrella, malla, árbol, entre otras (Integrantes del Grupo de Investigación EDMANS, 2009).

2.2.1. Topología Tipo Estrella

En esta configuración, cada nodo se conecta a un dispositivo de red central, como un concentrador, conmutador o computadora. El dispositivo de red central actúa como un servidor y los dispositivos periféricos actúan como clientes como se indica en la Figura 3.

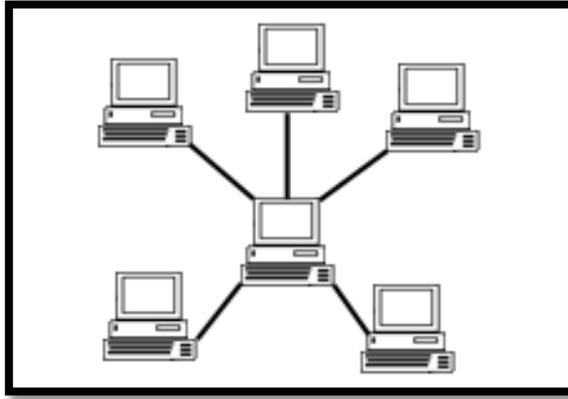


Figura 3. Topología tipo Estrella conformado del nodo central y sus dispositivos clientes alrededor.

Fuente: Elaborado por el Autor

2.2.2. Topología Tipo Malla

La Figura 4, es una configuración de red en la que cada ordenador y la red está interconectada con los otros, lo que permite para la mayoría de las transmisiones sean distribuidas, incluso si una de las conexiones se encuentra fuera de servicio.

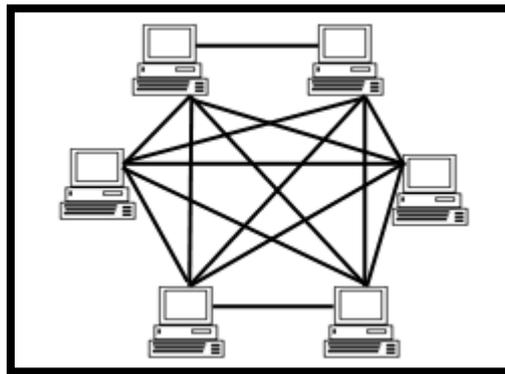


Figura 4. Topología Tipo Malla interconectados entre todos para dar redundancia.

Fuente: Elaborado por el Autor

2.2.3. Topología Híbrida Estrella-Malla

Este tipo de topología se observa en la Figura 5, une las cualidades de las dos topologías antes mencionadas, la simplicidad y el bajo consumo de una topología en estrella y la posibilidad de cubrir una gran extensión y organizar los fallos de la topología en malla.



Figura 5. Topología Híbrida entre una topología malla y una topología estrella.
Fuente: Elaborado por el Autor

2.3. INTERNET DE LAS COSAS

El término Internet de las Cosas define (Evans, 2011), concluyendo una serie de ideas.

Internet de las cosas (IoT), a veces referido como Internet de los objetos, cambiará todo, incluidos el mismo mundo. Se debe tener en cuenta el impacto de la Internet que ha tenido en la educación, la comunicación, los negocios, la ciencia, gobierno, y la humanidad. Claramente, la Internet es uno de las más importantes y de gran alcance creaciones en toda la historia humana.

Se debe considerar que la IoT representa la próxima evolución de Internet, teniendo un gran salto en su capacidad de reunir, analizar y distribuir datos que se pueden convertir en información, conocimiento, y, por consecuencia, en sabiduría.

IoT produce proyectos que están en marcha que prometen cerrar la brecha entre países pobres y ricos, mejorar la distribución de los recursos del mundo a los que más lo necesitan, y ayudará a entender al planeta para que pueda ser más proactivo y menos reactivo. Aun así, existen barreras que amenazan con frenar el desarrollo de la IoT, incluida la transición a IPv6, que tiene un conjunto de normas comunes, y el desarrollo de fuentes de energía.

Sin embargo, empresas, gobiernos, organismos de normalización, y el trabajo en conjunto para el mundo académico requiere resolver estos retos, la IoT seguirá progresando. El objetivo de este trabajo, por lo tanto, es educarle en términos claros y simples para que pueda estar bien

ilustrado en la IoT y entender su potencial para cambiar todo lo que se sabe que es cierto hoy en día.

2.3.1. Arquitectura de la IoT

Según (Rodríguez, 2013), la tendencia que toma la arquitectura para la IoT se encuentra aún en proceso, buscando dar solución a la integración de los elementos a la Internet y el acceso al medio.

A continuación se presenta un resumen de los principales proyectos, protocolos y arquitecturas para su proceso de estandarización:

- La IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) aporta con el protocolo 802.15.4, permitiendo comunicaciones de bajo costo y bajas velocidad de transmisión.
- La IETF (Internet Engineering Task Force) ofreciendo varios protocolos, como el CoAP (Constrained Application Protocol) permite comunicación a través de la Web; el protocolo RPL (IPv6 Routing Protocol for Lower and Lossy Networks), trabaja en la capa de red; el 6LoWPAN (IPv6 over Low power Wireless Personal Area Network).
- La W3C (World Wide Web Consortium) con el protocolo SOAP (Simple Object Access Protocol) su función es definir la comunicación que los objetos en distintos procesos.
- OMG (Object Management Group) brinda la habilidad de tener dos o más sistemas para utilizar la información intercambiada entre ellos con la ayuda de CORBA (Common Object Request Broker Architecture), WBEW (Web Based Enterprise Management), conjuntamente con protocolos CIM-XML (Common Information Model-Extensible Markup Language), WS-MAN (Web-Service Management) y WSDM (Web Service Distribution Management).

En la Figura 6 se indica la estructura de la arquitectura de IoT y cada una de sus capas.

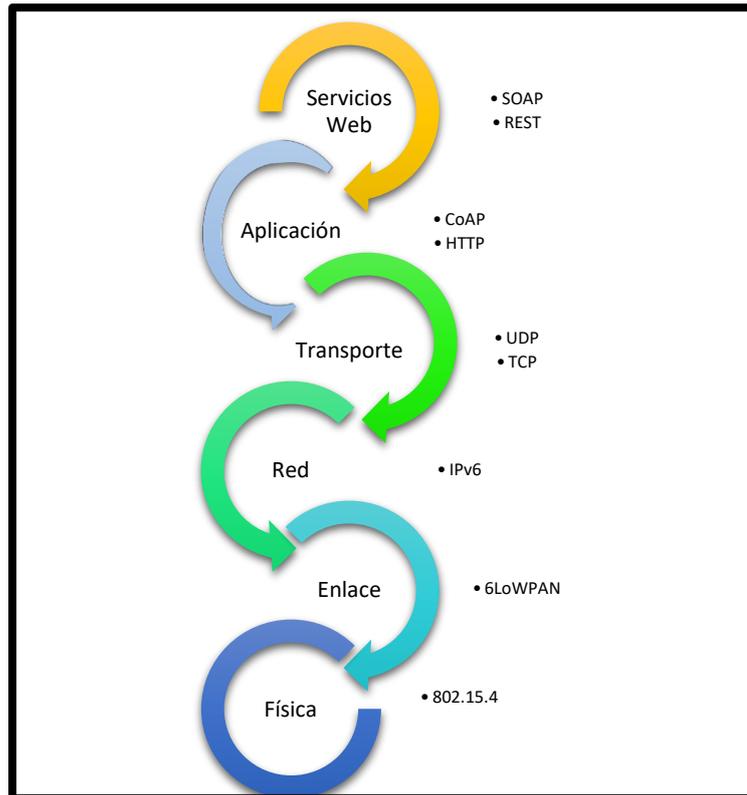


Figura 6. Arquitectura genérica de IoT para redes de sensores
Fuente: Elaborado por el Autor

2.4. ESTÁNDAR IEEE 802.15.4

Esta norma define una capa de comunicación en el nivel 2 del modelo OSI (Open System Interconnection). Su objetivo principal es permitir la comunicación entre dos dispositivos. Fue creado por el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE), entidad que la principal tarea es establecer normas para que los avances tecnológicos pueden contar con una plataforma común de normas que se establezcan por medio de la política (Gascón, 2009).

IEEE 802.15.4 define el protocolo y los parámetros para la interconexión de dispositivos a través de la comunicación por radio en una red de área personal (PAN). La norma utiliza detección de portadora de acceso múltiple con un medio de prevención de colisiones mecanismo de acceso y soportes en topologías estrella y malla. En la Tabla 1 se detalla las principales características del estándar.

Tabla 1*Características del Estándar IEEE 802.15.4*

CARACTERÍSTICAS	DETALLES
Rango de transmisión de datos	868 MHz: 20kb/s; 915 MHz: 40kb/s; 2.4 GHz: 250 kb/s.
Cobertura	10-20m
Tiempo de retardo	Menos de 15ms
Canales de trabajo	868/915 MHz: 11 canales. 2.4 GHz: 16 canales.
Frecuencias de Trabajo	Dos PHY: 868/915 MHz y 2.4 GHz.
Canal de acceso	CSMA-CA

Fuente: Estándar IEEE 802.15.4

2.4.1. Elementos Del Estándar IEEE 802.15.4

Un sistema conforme a la norma IEEE 802.15.4 consta de varios componentes según lo indica (Stanislav & Kresimir, 2006). Existen dos modos de operación que puede ser un RFD o un FFD.

Se indican cuáles son los elementos que conforman el estándar IEEE 802.15.4, y sus respectivas características:

- a) Dispositivo de funcionalidad completa (FFD): Se lo conoce como nodo activo. Puede funcionar en cualquier topología, es capaz de ser un comunicador de red y puede comunicarse con cualquier otro dispositivo.
- b) Dispositivo de funcionalidad reducida (RFD): Se lo conoce como nodo pasivo. Se limita a funcionar en la topología estrella, no puede ser un coordinador de red. Un RFD es destinado a las aplicaciones que son extremadamente simples, tal como un interruptor de la luz o un sensor infrarrojo pasivo; que no tienen la necesidad de enviar grandes cantidades de datos y sólo puede asociarse con un único FFD en un tiempo determinado. En consecuencia, RFD puede implementarse utilizando un mínimo de recursos y la capacidad de memoria.

Una red 802.15.4 requiere por lo menos un dispositivo de función completa como un coordinador de red, pero dispositivos de punto final pueden reducirse dispositivos de funcionalidad para reducir el costo del sistema.

Un área de cobertura bien definido no existe para los medios de comunicación inalámbrica, ya las características de propagación son dinámico e incierto. Pequeños cambios en la posición o dirección pueden dar lugar a diferencias drásticas en la fuerza de la señal o calidad del enlace de comunicación. Estos efectos se producen si un dispositivo es estático o móvil, dando que los objetos en movimiento puede afectar la propagación de estación a estación.

2.4.2. Arquitectura

La arquitectura LR-WPAN (baja tasa de transferencia en redes de área personal) se define en términos de un número de bloques con el fin de simplificar la norma. Estos bloques son llamados capas. Cada capa es responsable de una parte del estándar y ofrece servicios a capas superiores. La disposición de los bloques se basa en la interconexión de sistemas abiertos (OSI) de siete capas como se muestra en la Figura 7.

Las interfaces entre las capas sirven para definir los enlaces lógicos que se describen en esta norma. Un dispositivo de LR-WPAN comprende un físico, que contiene el transceptor de radiofrecuencia (RF), junto con su mecanismo de control de bajo nivel, y una subcapa MAC que proporciona acceso al canal físico para todos los tipos de la transferencia.

Las capas superiores, consisten en una capa de red, que proporciona configuración de red, la manipulación y el enrutamiento de mensajes, y una capa de aplicación, que proporciona la función prevista del dispositivo. La definición de estas capas superiores se encuentra fuera del alcance de esta norma. El control de enlace lógico (LLC) puede acceder a la subcapa MAC a través de la convergencia específica del servicio subcapa (SSCS). La arquitectura LR-WPAN se puede implementar ya sea introduciendo dispositivos o como dispositivos que requieren el apoyo de un dispositivo externo, como un ordenador (Jianliang & Myung, 2011).

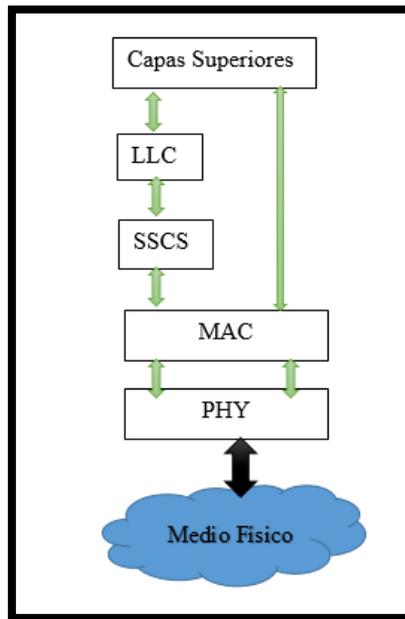


Figura 7. Arquitectura LR-WPAN en redes de área personal dentro del estándar IEEE 802.15.4

Fuente: Elaborado por el Autor

2.4.3. Capa Física Modelo OSI

La capa Física según (Jianliang & Myung, 2011), proporciona una interfaz entre la subcapa MAC y el canal físico de radio. Proporciona dos servicios. Estos son el servicio de datos físico y servicio de gestión físico. La capa física es responsable para las siguientes tareas.

- La activación y desactivación transceptor de radio: Apague el transceptor de radio en uno de los tres estados, es decir, transmitiendo, recibiendo, o apagado (dormido) de acuerdo con la petición de la subcapa MAC. El tiempo de respuesta desde transmisor al receptor, o viceversa, debe ser no más de 12 periodos de símbolo.
- Detección de Energía dentro del canal actual: Es una estimación de la potencia de la señal recibida dentro del ancho de banda de un canal de IEEE 802.15.4. No existe el intento de identificar o descodificar las señales del canal en este procedimiento. El tiempo de detección de energía será igual a 8 periodos de símbolo. El resultado a partir de la detección de energía, puede ser utilizado por una cada de la red, como parte de un algoritmo de selección de canal, o con el propósito de la evaluación de un canal libre.

- Indicación de la calidad del enlace para los paquetes recibidos: La medición de la calidad de un enlace se realiza para cada paquete recibido. La capa física utiliza detección de energía, la relación señal-ruido, o una combinación de éstos para medir la fuerza y / o la calidad de un enlace desde que un paquete es recibido.
- Valoración de una canal libre para la detección de portadora Acceso múltiple con prevención de colisiones (CSMA-CA): Para llevar a cabo esta característica la capa física necesita, detección de energía, detección de portadora, o una combinación de estos dos. En el modo de detección de energía, el medio se considera ocupado si cualquier energía sobrepasa a un umbral predefinido. En el modo de detección de portadora, el medio se considera ocupado si una señal con la modulación y características de ensanchamiento de IEEE 802.15.4 ha sido detectada. Y en el modo combinado, ambas condiciones antes mencionadas debe cumplirse con el fin, para concluir que el medio está ocupado.
- Selección de la frecuencia del canal: Los enlaces inalámbricos en los términos 802.15.4 puede operar en 27 canales diferentes (pero una red específica puede optar por apoyar parte de los canales). Por lo tanto la capa Física debe ser capaz de sintonizar su transmisor-receptor en un determinado canal a la recepción de la solicitud de subcapa MAC.
- Transmisión y recepción de datos: Esta es la tarea más esencial de la capa física. Modulación y técnicas de ensanchamiento se utilizan en esta parte. La banda 2,4 GHz emplea una modulación 16QPSK, en la que cada cuatro bits de información se asignan a un código pseudoaleatorio. La banda de 868/915 MHz emplea espectro de secuencia directa (DSSS) con desplazamiento de fase binaria (BPSK) que se utiliza para la modulación y codificación.

2.4.4. Capa Mac Modelo OSI

De acuerdo con (Jianliang & Myung, 2011), la subcapa MAC proporciona una interfaz entre el servicio de subcapa de convergencia específica (SSCS) y la capa física. Al igual que la capa física, la subcapa MAC también proporciona dos servicios, el servicio de datos MAC y el servicio de gestión MAC. La subcapa MAC es responsable de las siguientes tareas:

- Generación de beacons de red si el dispositivo es un coordinador: Un coordinador puede determinar que para trabajar es necesario en un modo activado de beacon (contienen toda la información sobre la red inalámbrica y son transmitidos periódicamente para anunciar la presencia de la red WLAN), en la que se utiliza una estructura de supertrama. La supertrama está delimitado por beacons de red y se divide en slots de números de supertramas (valor por defecto 16) igualmente slots de tamaño. Un coordinador envía periódicamente beacons para sincronizar los dispositivos conectados y para otros fines.
- Sincronización de beacons: Un dispositivo conectado a un coordinador que opera en un modo activo de beacons puede realizar un seguimiento de beacons para sincronizar con el coordinador. Esta sincronización es importante para el sondeo de datos, ahorro de energía, y la detección de portadoras.
- Soporte a la red de área personal (PAN), asociación y la disociación: Apoyar al auto configuración, 802.15.4 introduce funciones de asociación y disociación en su subcapa MAC. Esto no sólo permite una topología estrella para ser configurado automáticamente, también permite la creación de una auto-configuración, punto a punto.
- Empleo de la detección de portadora de acceso múltiple con prevención de colisiones (CSMA-CA) mecanismo para acceso al canal: Al igual que la mayoría de los otros protocolos diseñados para redes inalámbricas, 802.15.4 utiliza CSMA-CA como

mecanismo de acceso al canal. Sin embargo, el nuevo estándar no incluye la solicitud request-to-send (RTS) y clear-to-send (CTS) como mecanismo, teniendo en cuenta la baja velocidad de datos utilizada en LR-WPAN.

- Manejo y mantenimiento del mecanismo de slot de tiempo garantizado: Cuando se trabaja en un modo activo de beacons, un coordinador puede asignar porciones de la supertrama a un dispositivo. Estas porciones se llaman los GTSSs, y comprenden la afirmación gratuita del periodo de la supertrama.
- Proporcionar un vínculo fiable entre dos puntos de entidades MAC: La subcapa MAC emplea varios mecanismos para mejorar la fiabilidad de la conexión entre dos puntos, entre ellos se encuentran el reconocimiento de la trama y la verificación de retransmisión, los datos mediante el uso de un CRC de 16 bits, así como CSMA-CA.

2.4.5. Descripción De Funciones

Un breve resumen de las funciones generales de LR - WPAN se da en este punto, incluye información sobre la estructura de supertrama, la estructura de trama, consideraciones del consumo de energía, y la seguridad (Jianliang & Myung, 2011).

2.4.5.1. Estructura de la Supertrama

El estándar LR-WPAN permite el uso opcional de una estructura de supertrama. El formato de la supertrama es definido por el coordinador. La supertrama está delimitado por beacons de red, siendo enviado por el coordinador y se divide en 16 slots de igual tamaño. La trama de beacon se transmite en el primer slot de cada supertrama. Si un coordinador no desea utilizar una estructura de supertrama, se puede cancelar las transmisiones de beacons. Los beacons se utilizan para sincronizar los dispositivos conectados al mismo, para identificar la red de área personal, y para describir la estructura de las supertramas. Cualquier dispositivo que desea comunicarse durante el periodo de acceso de contención (CAP) entre dos beacons deberá competir con otros dispositivos que utilizan un mecanismo CSMA-CA ranurado.

Todas las transacciones deberán ser realizadas por el tiempo del siguiente beacon de red. La supertrama puede tener una parte activa e inactiva. Durante la parte inactiva, el coordinador no interactúa con su red de área personal y puede entrar en un modo de bajo consumo.

Para aplicaciones de baja latencia o aplicaciones que requieren un ancho de banda de datos específico, el coordinador de red de área personal puede dedicar partes activas de la supertrama a la aplicación. Estas partes se denominan intervalos de tiempo garantizados (GTSS). El GTSS forma el periodo libre de contención, que siempre aparece al final de la parte activa de la supertrama a partir de un límite de ranura inmediatamente después de la CAP. El PAN coordinador puede asignar hasta siete de estos GTSS, y un GTSS puede ocupar más de un periodo de la ranura. En la Figura 8 se observa la estructura de una supertrama con GTSS y en la Figura 9 sin GTSS.

Sin embargo, una porción suficiente de la CAP permanecerá para el acceso basado en contención de otros dispositivos de red o nuevos dispositivos que deseen unirse a la red. Todas las transacciones basadas en contención serán completadas antes de que comience el periodo libre de contención (CFP). También cada dispositivo de transmisión en un GTSS velará por que su transacción sea completada antes del tiempo de los próximos GTSS o el final del CFP.

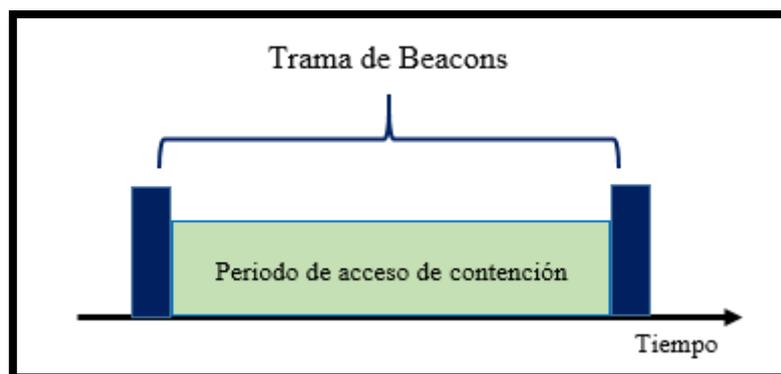


Figura 8. Estructura Supertrama con GTSS
Fuente: Elaborado por el Autor

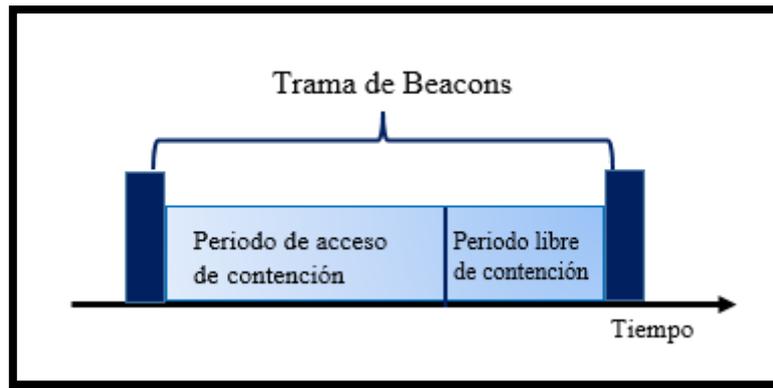


Figura 9. Estructura Supertrama sin GTSS
Fuente: Elaborado por el Autor

2.4.5.2. Estructura de la Trama

Las estructuras de las tramas se han diseñado para mantener la complejidad a un mínimo, mientras que al mismo tiempo haciéndolos suficientemente robusto para la transmisión en un canal ruidoso. Cada capa del protocolo añade a sucesivamente en cada estructura de encabezados y terminaciones. El LR - WPAN define cuatro estructuras de trama:

- Una trama de beacons, utilizado por un coordinador para transmitir beacons.
- Una trama de datos, que se utiliza para todas las transferencias de datos.
- Una trama de confirmación, que se utiliza para la confirmación de recepción de tramas con éxito.
- Una trama de instrucción MAC, que se utiliza para el manejo de todas las transferencias de control de entidad MAC

Los diagramas de estas subestructuras ilustran los campos que se agregan por cada capa del protocolo. La estructura de paquete ilustra por debajo de la capa física, representando los bits que se transmiten realmente en el medio físico.

2.4.5.3. Consideraciones de Consumo de Energía

En muchas aplicaciones que utilizan este estándar, los dispositivos se alimentan de la batería cuando la sustitución o recarga en intervalos relativamente cortos es poco práctico; por lo tanto el consumo de energía es de mucha preocupación. Este estándar fue desarrollado con la

disponibilidad de fuente de alimentación limitada. Sin embargo, la implementación física de esta norma requerirá consideraciones de administración de energía adicionales que van más allá del alcance de esta norma.

El protocolo ha sido desarrollado para favorecer a los dispositivos que funcionan con baterías. Sin embargo, en ciertas aplicaciones algunos de estos dispositivos podrían ser accionados en red. Dispositivos que funcionan con baterías requerirán ciclo obligatorio de reducir el consumo de energía. Estos dispositivos van a pasar la mayor parte de su vida útil en un estado de reposo; sin embargo, cada dispositivo debe escuchar periódicamente al canal de RF con el fin de determinar si un mensaje está pendiente.

Este mecanismo permite que el diseñador de la aplicación pueda decidir sobre el equilibrio entre el consumo de la batería y latencia mensaje. Dispositivos alimentados por la red tienen la opción de escuchar el canal de RF continuamente.

2.4.5.4. Seguridad

A pesar de la amplia gama de aplicaciones a las que se dirige esta norma impone limitaciones significativas en requerir una aplicación de seguridad básica en la subcapa MAC, alguna funcionalidad de seguridad requerida se necesita con el fin de proporcionar servicios básicos de seguridad y la interoperabilidad entre todos los dispositivos de ejecución en la norma. Esta línea de base incluye la capacidad de mantener una lista de control de acceso (ACL) y utilizar criptografía simétrica para proteger las tramas transmitidas.

Las capas superiores determinan cuando la seguridad debe ser utilizada en la subcapa MAC y proporcionar todo material clave y necesario para proporcionar los servicios de seguridad. La gestión de claves, la autenticación de dispositivos y protección pueden ser proporcionados por las capas superiores, pero están fuera del alcance de esta norma.

2.5. AGRICULTURA DE PRECISIÓN

Sistemas de producción agrícola, han tenido mucho éxito en el aumento de la productividad y eficiencia, gracias a la mejora genética, prácticas de agroquímicos, el riego y la maquinaria agrícola. Sin embargo, la población mundial sigue creciendo de manera constante, mientras que recursos para la producción agrícola disminuyen. Además, la presión económica resultante de la Organización Mundial de Comercio y el aumento de la degradación del medio ambiente amenazan sosteniblemente la producción en el siglo XXI.

En varios países del mundo se ha desarrollado el sistema de agricultura de precisión, surgiendo desde la principios de 1990 en diversas formas, dependiendo del conocimiento y la tecnología disponible. Agricultura de precisión se implementa en combinación con la tecnología avanzada de la información y completando con la mecanización agrícola. La información utiliza tecnología para recopilar, procesar y analizar múltiples datos para la toma de decisiones.

2.5.1. Concepto Del Sistema

Agricultura de Precisión, se basa en el reconocimiento espacial y temporal de la variación en la producción de cultivos. La variación se explica en el manejo de la plantación con el objetivo de aumentar la productividad y reducir los riesgos ambientales.

El sistema de agricultura de precisión dentro de un campo es también referido como el manejo del cultivo de un sitio en específico (SSCM). SSCM se refiere a un desarrollo agrícola de un sistema de gestión que promueve la variable de prácticas de gestión dentro de un campo de acuerdo las condiciones del suelo.

Sin embargo, de acuerdo con Batte y VanBuren (1999), SSCM no es una sola tecnología, sino una integración de tecnologías que permiten:

- Recopilación de datos a escala adecuada a una momento adecuado;

- Interpretación y análisis de datos para apoyar una gama de las decisiones de gestión; e implementación de una respuesta de la administración en una escala adecuada y en el momento adecuado.

En un estudio de la Agricultura de precisión en los países desarrollados, Segarra (2002) pone en relieve las siguientes ventajas a los agricultores:

- Aumento general de rendimiento: la selección precisa de las variedades de cultivos, la aplicación de tipos y dosis exactas de fertilizantes, pesticidas y herbicidas, riego adecuado satisfaciendo las demandas de los cultivos para el crecimiento y desarrollo óptimo. Esto lleva el aumento de producción, especialmente en las zonas o campos donde las prácticas del manejo del cultivo eran realizadas tradicionalmente.
- Mejora de la eficiencia: tecnologías avanzadas, incluyendo maquinaria, herramientas e información, ayuda a los agricultores para aumentar la eficiencia del trabajo, la tierra y la hora en la agricultura.
- Reducción de los costes de producción: la aplicación de exacta de cantidades en el momento oportuno reduce el coste de insumos agroquímicos en la producción de cultivos.
- Una mejor toma de decisiones en la gestión agrícola: maquinaria agrícola, equipos y herramientas de ayuda los agricultores a obtener información precisa, la cual es procesada y analizada para la toma de decisiones adecuada.
- Reducción del impacto ambiental: la oportuna aplicación de agroquímicos en una tasa exacta, evita residuos excesivos en los suelos y agua; por lo tanto reduce la contaminación del medio ambiente.
- La acumulación de conocimientos de los agricultores para una mejor gestión con el tiempo.

2.5.2. Herramientas Y Equipos

La agricultura de precisión, hace el uso de herramientas y equipamiento desarrollados en distintos países y localidades para lograr su objetivo.

2.5.2.1. Tecnología con Sensores

Varias tecnologías como electromagnética, conductividad, foto-eléctrica, ultrasonido; se utilizan para medir la humedad, la temperatura, el vapor, aire, etc (D.V. Tran; N.V. Nguyen, 2013).

El sondeo de datos se utilizan para: distinguir las especies de cultivos, descubrir plagas y malas hierbas y monitorear la sequía, el suelo y condiciones de la planta. Los sensores permiten la recopilación de inmensas cantidades de datos sin análisis de laboratorio. Los usos específicos de las tecnologías de sensores en la granja son los siguientes:

- Las características del suelo: textura, estructura física, carácter, humedad, nivel de nutrientes y la presencia de arcilla.
- Condiciones relacionadas con el sentido de los colores: población de plantas, la escasez de agua y nutrientes para las plantas.
- Monitoreo de rendimiento: el rendimiento del cultivo y de la humedad del cultivo.
- Sistema de tipos de variables: para controlar la migración de fertilizantes y descubrir la invasión de malezas.

2.5.3. Parámetros para el estudio

2.5.3.1. Humedad de suelo

Se denomina humedad del suelo a la cantidad de agua por volumen de tierra que hay en un terreno. Su medición exacta se realiza gravimétricamente, pesando una muestra de tierra antes y después del secado. Esta es de gran importancia debido a que el agua constituye un factor determinante en la formación, conservación, fertilidad y productividad del mismo, así como para la germinación, crecimiento y desarrollo de las plantas cultivadas.

2.5.3.2. Humedad Relativa

La humedad relativa es única por cada tipo de cultivo, es la cantidad de agua contenida en el aire, se encuentra relacionada a la humedad existente en el suelo y a la temperatura ambiente, siendo de esta última inversamente proporcional, esto quiere decir que si la temperatura aumenta la humedad relativa disminuye, al no poseer una cantidad correcta vital de humedad en las plantas se produce la baja de fotosíntesis.

La humedad promedio dentro de un invernadero para un cultivo de hortalizas es de 55% a 70%. (Iglesias, 2009).

2.5.3.3. Temperatura Ambiente

La temperatura existente en las plantas influye directamente con el proceso de la fotosíntesis, crecimiento y desarrollo de las mismas; de forma que es el parámetro más importante del control climático dentro de un invernadero.

La temperatura ideal para el proceso vital de hortalizas dentro de un invernadero se encuentra en los rangos de 15°C a 25°C (Iglesias, 2009).

2.5.3.4. Cantidad de CO₂

(Lorenzo, 2012) Sostiene que la cantidad de CO₂ se presente en el tejido vegetal por medio del proceso de fotosíntesis, su concentración óptima para que exista este proceso es de 800 a 1000 ppm.

El anhídrido carbónico de la atmosfera es la materia prima que no puede faltar en la función de producir clorofila en las plantas. Dentro de los invernaderos los niveles de este gas son muy variados ya que tiene una estrecha relación con la luminosidad, la ventilación, la humedad y temperatura; esto dependerá mucho del tipo de cultivo que se vaya a realizar.

2.5.3.5. Luminosidad

La radiación solar es la fuente principal de energía para el crecimiento y desarrollo de los cultivos, al tener una gran influencia en la producción y reproducción de las plantaciones.

Dentro de un invernadero cuando la cantidad de luz aumenta, se logra aumentar la temperatura, la humedad relativa y la cantidad de CO₂, teniendo un proceso de fotosíntesis óptimo.

El nivel promedio de luz con las que necesitan sobrevivir los cultivos de hortalizas dentro de un invernadero esta entre los 10000 a 40000 lux. (Iglesias, 2009)

2.6. CULTIVOS DE CICLO CORTO

Los cultivos de ciclo corto son aquellos cultivos cuyo ciclo vegetativo es menor a un año, incluso de sólo unos pocos meses, y que se debe volver a sembrar inmediatamente después de que se cosecha. Algunos de estos cultivos son los cereales (maíz, trigo, cebada, arroz), los tubérculos (papa), las oleaginosas (el ajonjolí y el algodón), hortalizas (tomate, cebolla, brócoli, zanahoria, remolacha) y algunas especies de flores a cielo abierto. Wil (2011) expone que en el desarrollo de cultivos de ciclo corto la rotación de cultivos es ideal para reducir el agotamiento del suelo. Los cultivos de ciclo corto se pueden dividir en dos grupos:

- Gramíneas plantas que exigen mucho del suelo.
- Leguminosas plantas que aportan nitrógeno al suelo a través de la fijación de nitrógeno del aire.

En la rotación de cultivos se alternan los cultivos de los dos grupos, así después de un cultivo que exige mucho del suelo, sembramos otro que aportara nutrientes. Así por ejemplo, en la misma parcela se siembran primero arroz, después soya, después maíz, luego maní, trigo, y frejol. La rotación de cultivos también nos ayuda a controlar plagas y enfermedades, porque al cambiar las plantas hospederas se rompe el ciclo de reproducción de las plagas de insectos.

2.7. CULTIVO DE TOMATE RIÑÓN

Los invernaderos de tomate pueden ubicarse desde los 3 200msnm, pudiendo ser cultivado en todas las épocas del año, al no depender de factores externos para su producción. El tomate necesita de un cuidado minucioso tomando en cuenta desde la selección hasta la cosecha.

Según la Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (2010), del INEC en los últimos años la superficie plantada es alrededor de 613 hectáreas, teniendo una producción de 20,685 millones toneladas.

La mayor parte de la producción de tomate riñón a nivel nacional en las provincias es a campo abierto, sin embargo se estima que alrededor de 1250 hectáreas de tomate riñón se cultivan bajo cubierta plástica, estas plantaciones se ubican principalmente en las Provincias de Pichincha, Tungurahua, Cotopaxi, Azuay y la Región Amazónica

2.7.1. Origen

El tomate es originario de América del Sur, es considerado una legumbre – fruta. Su consumo esta difundido a nivel mundial.

2.7.2. Taxonomía y Morfología

De acuerdo con (CENTA, 2011) las características de un cultivo de tomate riñón se presenta a continuación:

- Familia: Solanaceae
- Especie: *Lycopersicon esculentum* Mill
- Raíz: Generalmente se extiende superficialmente sobre un diámetro de 1.5 m y alcanza más de 0.5 m de profundidad; sin embargo, el 70% de las raíces se localizan a menos de 0.20 m de la superficie.
- Tallo principal: Velos tallos son ligeramente angulosos, semileñosos, de grosor mediano y con tricomas (pilosidades), simples y glandulares. Eje con un grosor que oscila entre 2-4 cm en su base, sobre el que se van desarrollando las hojas, tallos secundarios e inflorescencias. En la parte distal se encuentra el meristemo apical, donde se inician los nuevos primordios foliares y florales.

- Hojas: Las hojas son compuestas e imparipinnadas, con foliolos peciolados, lobulados y con borde dentado, en número de 7 a 9 y recubiertos de pelos glandulares. Las hojas se disponen de forma alternada sobre el tallo.
- Flor: La flor del tomate es perfecta. Consta de 5 o más sépalos, de igual número de pétalos de color amarillo dispuestos de forma helicoidal y de igual número de estambres que se alternan con los pétalos. Los estambres están soldados por las anteras y forman un cono estaminal que envuelve al gineceo y evitan la polinización cruzada. El ovario es bi o plurilocular. Las flores se agrupan en inflorescencias denominadas comúnmente como “racimos”. La primera flor se forma en la yema apical y las demás se disponen lateralmente por debajo de la primera, alrededor del eje principal. Las inflorescencias se desarrollan cada 2-3 hojas en las axilas.
- Fruto: baya bi o plurilocular que puede alcanzar un peso que oscila entre unos pocos miligramos y 600 gramos. Está constituido por el pericarpio, el tejido placentario y las semillas.

2.8. RIEGO

El riego es el proceso el cual se llevó agua a tierra firme a través de medios artificiales, tales como tuberías, mangueras o zanjas. La tierra que está siendo irrigada por lo general contiene cultivos, pastos o vegetación que no suelen recibir suficiente agua de lluvia o de otras fuentes naturales. A veces la razón para el riego de una porción de tierra es que pasa a ser una estación seca, con cantidades menores que el promedio de precipitaciones, o puede ser que sea necesario hacerlo, ya que la tierra nunca se recibe suficiente agua en su propio ser fértil. El agua que se utiliza para el riego pueda ser tomada de lagos cercanos, embalses, ríos o pozos.

2.8.1. Tipos de Riego

- Riego por superficie: En el riego de superficie, el agua se mueve sobre y a través de la tierra por simple gravedad para mojar e infiltrarse en el suelo. El riego de superficie se puede dividir en surco, o cuenca de irrigación
- El riego por aspersión: El riego por aspersión es otro popular método, las tuberías dispersan una cantidad fija de agua a los campos, directamente sobre los cultivos con un alto aspersores de presión. La cantidad del agua puede ser estrechamente controlada, lo cual es un gran beneficio.
- Riego por goteo: El riego por goteo, funciona como su nombre sugiere. El agua se suministra cerca de la zona de las raíces de las plantas, gota a gota. Este método puede ser el más eficiente con respecto al cuidado del agua, si se gestiona adecuadamente, ya que la evaporación se reduce al mínimo. En la moderna la agricultura, el riego por goteo es a menudo combinado con una cobertura de plástico, además la reducción de la evaporación, y es también un medio de suministro de fertilizantes.

2.9. SISTEMAS EMBEBIDOS

Como su nombre indica, Embebidos significa algo un algo que está unido a otro algo. Un sistema embebido puede ser pensado como un sistema de hardware por ordenador que tiene introducido software en eso. Un sistema embebido puede ser un sistema independiente o puede ser una parte de un sistema de gran tamaño. Un sistema embebido es un sistema basado en microcontrolador o microprocesador, que está diseñado para realizar una tarea específica. Un sistema incorporado tiene tres componentes:

- Hardware.
- Software de aplicación.
- Cuenta con sistema operativo en tiempo real (RTOS) que supervisa el software de aplicación y proporciona un mecanismo para permitir que el procesador ejecute por

programación siguiendo un plan para controlar las latencias. RTOS define la forma en que funciona el sistema. En él se establecen las normas durante la ejecución del programa de aplicación. Un sistema embebido a pequeña escala no puede tener RTOS.

2.9.1. Características de un Sistema Embebido

- Funcionalidad Simple: Un sistema embebido en general lleva a cabo una operación especializada y hace lo mismo en varias ocasiones.
- Fuertemente Restringido: Todos los sistemas informáticos tienen restricciones sobre los parámetros de diseño, pero los de un sistema embebido puede ser especialmente encogido. Las métricas de diseño es una medida de una característica de ejecución, tales como su coste, tamaño, potencia y rendimiento. Debe ser de un tamaño exacto para caber en un único chip, debe realizarse lo suficientemente rápido para procesar los datos en tiempo real y consumir energía mínima para prolongar la vida útil de la batería.
- Tiempo real y reactivo: Muchos sistemas embebidos deben reaccionar continuamente a los cambios en el entorno del sistema y deben calcular ciertos resultados en tiempo real sin ningún retraso.
- Memoria: Debe tener una memoria necesaria, como su software por lo general se incrusta en la ROM, en caso contrario necesitará alguna memoria secundaria en el ordenador.
- Conexión: Debe de haber conectado periféricos para conectar los dispositivos de entrada y de salida.
- HW-SW sistemas: EL Software se utiliza para más características y flexibilidad. Y el Hardware se utiliza para el rendimiento y la seguridad.

2.9.2. Estructura Básica de un Sistema Embebido

Un sistema embebido se conforma de elementos mostrados en la Figura 10 y detallados a continuación:

- Sensor: Mide la cantidad física y la convierte en una señal eléctrica que puede ser leído por cualquier otro instrumento electrónico, como un convertidor A/D. Un sensor almacena la cantidad medida en la memoria.
- Convertido Análogo-Digital: Un convertidor A/D, convierte la señal analógica enviada por el sensor en una señal digital.
- Procesador y Circuito integrado de aplicación específica (ASICs): Procesan los datos para medir la salida y almacenarla en la memoria.
- Convertidor Digital-Análogo: Un convertidor de digital a analógico convierte los datos digitales alimentados por el procesador de datos analógicos.
- Actuador: Un actuador compara la salida propuesta por el convertidor D/A la actual.

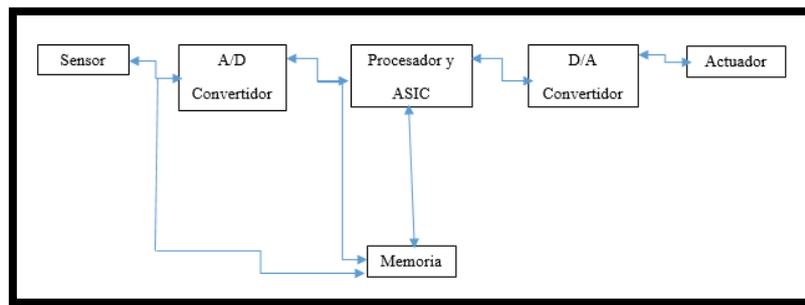


Figura 10. Estructura de un Sistema Embebido
Fuente: Elaborado por el Autor

2.10. SENSORES

Un sensor adquiere una cantidad física y la convierte en una señal adecuada para el procesamiento (por ejemplo, óptico, eléctrico, mecánico). En la actualidad sensores comunes convierten la medición de fenómenos físicos en una señal eléctrica.

2.10.1. Sensores utilizados en Agricultura de Precisión

- Sensor de temperatura: Los sensores de temperatura son dispositivos que transforman los cambios de temperatura en cambios en señales eléctricas que son procesados por un equipo eléctrico o electrónico.

- Sensor de Humedad relativa: Este sensor medirá el vapor de agua que se forma a causa de la evaporación del agua presente en la naturaleza: El vapor de agua producido es absorbido por el aire en cantidades que dependen de las condiciones ambientales, provocando un aumento del contenido de humedad.
- Sensor de Humedad de suelo: El sensor devuelve una tensión proporcional al nivel de humedad medido. De esta manera se puede saber con relativa precisión si la tierra está seca, húmeda o tiene demasiada agua.
- Sensor de Luminosidad: Sensor que mide la cantidad de luz o de energía que algún objeto irradia en un tiempo determinado.
- Sensor de Cantidad de CO₂: Sensor que mide los niveles de CO₂, siendo un gas sin color ni olor pero vital para la vida dentro de la Tierra.

2.11. COMPUTACIÓN EN LA NUBE

De acuerdo con (Huth & Cebula, 2011), Computación en la nube es un servicio basado en una suscripción donde se puede obtener espacio de almacenamiento en red y recursos informáticos. La computación en nube permite a los individuos y empresas a utilizar el software y hardware que son gestionados por terceros en ubicaciones remotas. Ejemplos de servicios en la nube incluyen el almacenamiento de archivos en línea, sitios de redes sociales, correo electrónico y los negocios en línea. El modelo de computación en nube permite el acceso a la información y a los recursos desde cualquier lugar que exista una conexión de red disponible. Computación en la nube proporciona un conjunto compartido de recursos, incluyendo el espacio de almacenamiento de datos, redes, la potencia de computación y aplicaciones corporativas y de usuarios especializados.

2.11.1. Modelos de Presentación

(Mell & Grance, 2011) Sostiene cada uno de los modelos de presentación mencionados a continuación:

- Nube privada: La infraestructura de la nube está preparada para el uso exclusivo de una sola organización que comprende varios consumidores. Puede ser de propiedad, gestionado y operado por la organización, un tercero, o alguna combinación de ellos, y que puede existir dentro o fuera de los locales.
- Nube comunitaria: La infraestructura de la nube está preparada para el uso exclusivo de un determinado grupo de consumidores de las organizaciones que han compartido ideas. Puede ser de propiedad, administrado y operado por una o más de las organizaciones en la comunidad, un tercer grupo, o alguna combinación de ellos, y que pueden existir dentro o fuera de los locales.
- Nube pública: La infraestructura de la nube está preparada para el uso abierto por el público en general. Puede ser propiedad, administrado y operado por una empresa, o una organización gubernamental académica, o alguna combinación de ellos. Existe en las instalaciones del proveedor de la nube.
- Nube híbrida: La infraestructura de la nube es una composición de dos o más nubes de distintas infraestructuras (privada, comunitaria o pública) que siguen siendo entidades únicas.

2.11.2. Modelos de Servicio

(Information Commissioner's Office, 2012) Indica cada uno de los modelos de servicio mencionados a continuación:

- Infraestructura como Servicio (IaaS): Una nube IaaS ofrece acceso a los recursos puros de computación como servicio en la nube. En lugar de comprar el hardware en sí, la nube de compras de los clientes el acceso al proveedor de la nube de hardware de acuerdo con la capacidad requerida.
- Plataforma como servicio (PaaS): Una nube PaaS ofrece el acceso a una plataforma de computación que permite que la nube cliente escriba aplicaciones que se ejecutan

dentro de esa plataforma, u otra instancia del mismo. La plataforma puede ser a su vez alojado en una nube IaaS.

- Software como Servicio (SaaS) - Una nube de SaaS ofrece el acceso a una aplicación de software completa que la nube usuario accede a través de un navegador web u otro software. El acceso a los programas de esta forma elimina o reduce la necesidad de instalar software en la máquina cliente y permite el servicio para apoyar una gama más amplia de dispositivos. El software puede a su vez estar alojado en una plataforma de nube o infraestructura.

CAPÍTULO III

DISEÑO DE HARDWARE Y SOFTWARE

En el presente capítulo se indica el proceso de diseño y construcción de hardware y software del sistema de monitoreo para la red WSN, describiendo técnicamente cada uno de los elementos necesarios utilizados en cada nodo, además del uso de la plataforma ubicada en la nube la cual tiene la función de almacenar los datos recolectados.

3.1. SITUACIÓN ACTUAL DEL INVERNADERO

El área de trabajo, en este caso un invernadero, se encuentra ubicado en el Cantón de Antonio Ante, en la parroquia San José de Chaltura justo en las instalaciones de la granja “La Pradera”. Para la demostración de la presente labor, se toma en cuenta un invernadero ubicado dentro de la granja muy cerca a las oficinas, que tiene una extensión de 323 m², dedicados exclusivamente al cultivo de hortalizas, como se encuentra en la Figura 11.



Figura 11. Extensión del invernadero de la granja La Pradera, utilizando la herramienta regla de Google Earth.

Fuente: Mapa de Google Earth

Por el momento el cultivo que se encuentra en el invernadero es de tomate, que no posee ningún sistema de medición de parámetros para la toma de decisiones correctas con respecto al manejo de la producción; el sistema de riego utilizado es totalmente tradicional de manera manual con el fin de suministrar agua a las plantas para que reciban la humedad suficiente y se desarrollen de manera artesanal.

3.2. REQUERIMIENTOS PARA EL DISEÑO DE LA WSN

Para lograr cumplir con las expectativas de la producción del invernadero, y obtener una solución factible, se busca un diseño de la red de sensores que se adapte a las características del lugar de trabajo. Con el diseño se procederá a recolectar datos de los distintos agentes definidos previamente, a cargo de los nodos sensores capaces de monitorear, procesar y comunicarse inalámbricamente a un nodo central.

El diseño de una WSN requiere de características que se deben cumplir para lograr el objetivo de implementarla, tomando en cuenta los siguientes:

- Cada uno de los nodos sensores sea capaz de medir las 5 variables ya definidas.
- Cada nodo sensores tenga una cobertura inalámbrica de 100m².
- Que exista una comunicación entre todos los nodos sensores y nodo central
- Los datos deben encontrarse en tiempo real, ser almacenados y fácilmente de interpretarlos.
- Que sea de fácil instalación.
- Que el sistema sea de fácil manejo, bajo costo, y totalmente autónomo.

3.3. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA

Los requerimientos previamente descritos permiten tomar en cuenta las consideraciones del diseño; se comienza con las dimensiones del lugar de trabajo que sería el invernadero de un cultivo de tomate como se observa en la Figura 12.



Figura 12. Dimensiones del invernadero, ubicando largo, ancho y altura.
Fuente: Elaborado por el Autor

El sistema consta de un nodo central y varios nodos remotos, el nodo central se representa como Gateway entre la red de sensores y la estación central que puede ser una PC, una red LAN o la Internet. El nodo central tiene como función almacenar toda la información recolectada por cada uno de los nodos sensores, y que el encargado del invernadero tomar esa información e interpretarla para que pueda tomar las decisiones del trato del cultivo. Los nodos sensores recogen las variables que vienen del cultivo, para posteriormente enviar al nodo central por medio de la ayuda de la comunicación Zigbee.

Los nodos sensores constan de una unidad de adquisición de datos con sus sensores, una unidad de procesamiento y envío de datos. Su trabajo es adquirir las variables y enviarlas a la estación base.

La estación base es una interfaz entre la red LAN y la comunicación inalámbrica y tiene como función recibir la información tomada de cada nodo sensor.

Uno de los principales requerimientos para el diseño del sistema es que todos los nodos sensores tengan comunicación entre sí, es decir que exista redundancia de comunicación, la topología elegida para cumplir esa característica es de tipo malla, su principal objetivo es que todos los dispositivos estén comunicados permitiendo que la comunicación nunca se interrumpa por todas sus conexiones existentes.

Uno de los objetivos del presente diseño es tener un sistema controlado de riego, que permita el suficiente suministro de agua, con la cantidad necesaria de humedad que permita el crecimiento óptimo de la planta y el ahorro de agua.

3.4. ARQUITECTURA

La arquitectura del sistema se subdivide en tres etapas primordiales que son:

- La WSN: Etapa que comprende la topología tipo malla, los nodos sensores, el nodo central y la transmisión de datos IEEE 802.15.4.
- Sistema de control: Se trata del sistema de riego controlado.
- Computación en la nube: Comprende el Gateway y la plataforma PAAS.

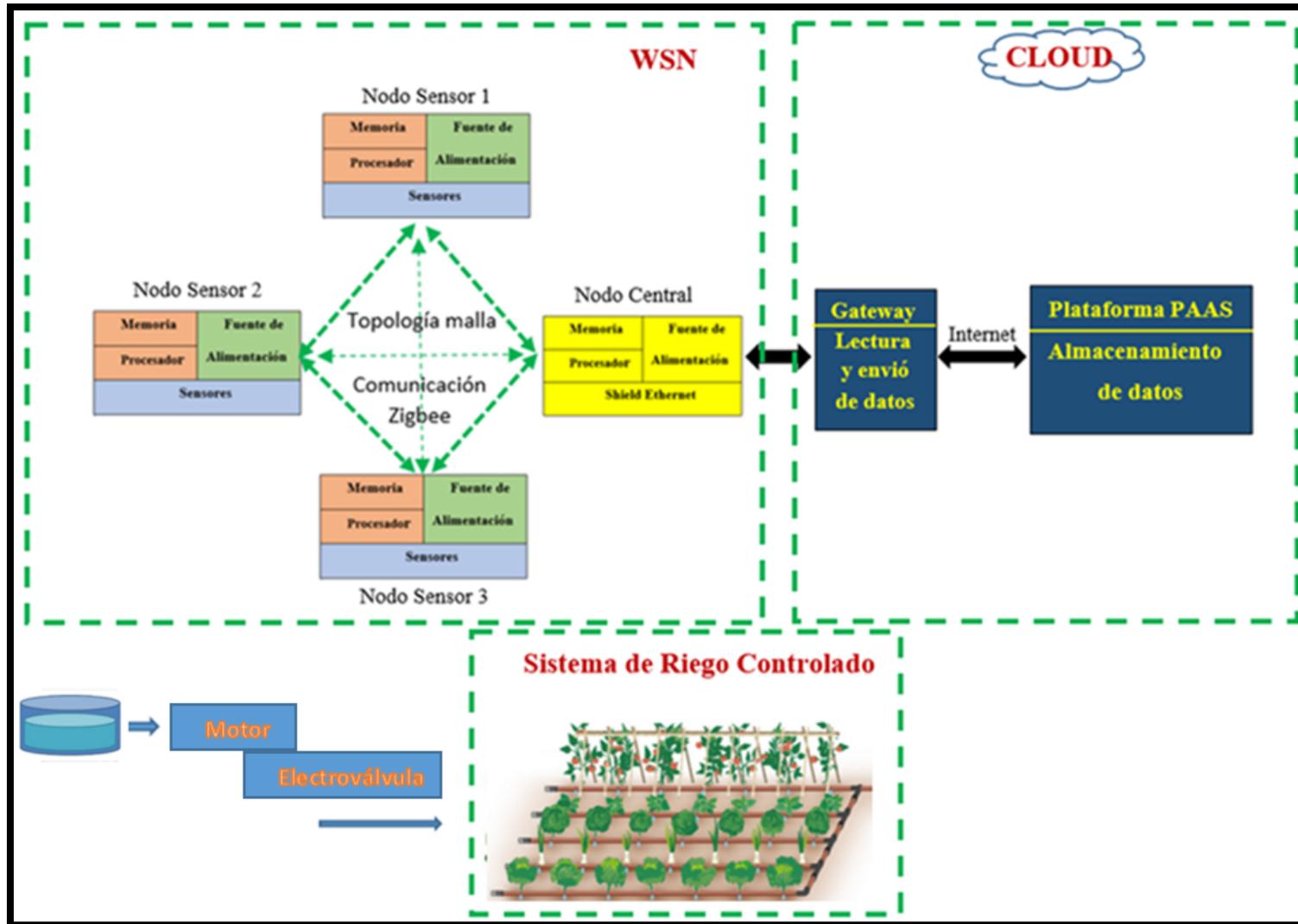


Figura 13. Arquitectura del Sistema de monitoreo y control, detallando la WSN, la plataforma ubicada en la nube y el riego por goteo.
Fuente: Elaborado por el Autor

3.5. HARDWARE DEL SISTEMA

De acuerdo a las especificaciones y requerimientos del invernadero, el hardware del sistema está compuesto por tres nodos sensores, los cuales permitirán medir y obtener información de los principales parámetros de la agricultura de precisión como son la humedad de suelo, la temperatura ambiental, la humedad relativa, la luminosidad y la cantidad de CO₂ de la zona en la que se encuentra el cultivo; un nodo central o Gateway, se encarga de recolectar de forma inalámbrica la información enviada desde los nodos sensores a través de Ethernet, los datos recolectados hacia la plataforma PaaS y controlar el riego a través de una electroválvula.

3.5.1. Elección de componentes

3.5.1.1. Placa Arduino

Para la realización del proceso de transmisión de datos dentro del sistema de monitoreo, se ha utilizado placas Arduino, que mediante un exhaustivo proceso de elección, se encontró las adecuadas para el nodo central y los nodos sensores.

Los criterios que se tomaron en cuenta para escoger las placas Arduino son los siguientes:

- Disponibilidad en el mercado.
- Adaptabilidad al sistema.
- Precio.
- Tamaño.

En la Tabla 2 y Tabla 3, se observa las principales características de los modelos de placas Arduino más sobresalientes.

Tabla 2
Comparativa de placas Arduino #1

CARACTERÍSTICAS	ARDUINO UNO	ARDUINO MEGA2560	ARDUINO NANO	ARDUINO YUN	ARDUINO MINI-PRO
Microcontrolador	Atmega328	Atmega2560	Atmega2560	Atmega 32u4	Atmega 328
Tensión de funcionamiento	5 voltios	5 voltios	5 voltios	5 voltios	5 voltios
Voltaje de entrada recomendando	7-12 voltios	7-12 voltios	7-12 voltios	5 voltios	7-12 voltios
Voltaje de entrada límite	6-20 voltios	6-20 voltios	6-20 voltios	5 voltios	5-12voltios
Pines de entrada/salida digitales	14 los cuales 6 proporcionan salida PWM	54 los cuales 15 proporcionan salida PWM	54 los cuales 15 proporcionan salida PWM	20 los cuales 7 proporcionan salida PWM	14 los cuales 6 proporcionan salida PWM
Pines de entrada analógicos	6	16	16	12	6
Corriente DC por pin de entrada/salida	40Ma	40mA	40mA	40mA	40mA
Corriente DC del pin de 3.3 Voltios	50Ma	50mA	50mA	50mA	50mA
SRAM	2 KB de memoria flash	128 KB de memoria flash	256 KB de memoria flash	2,5 KB	2KB
EEPROM	1 KB	4 KB	4 KB	1 KB	1 KB
Velocidad de reloj	16 MHz	16MHz	16MHz	16 MHz	16 MHz
Precio aproximado	28 dólares	35 dólares	20 dólares	110 dólares	9 dólares

Fuente: Datasheet de los modelos

Tabla 3*Comparativa de placas Arduino #2*

CARACTERÍSTICAS	ARDUINO MICRO	ARDUINO ETHERNET	ARDUINO FIO	ARDUINO ROBOT Control - Motor	ARDUINO EXPLORA	ARDUINO LILYPAD	
Microcontrolador	Atmega32u4	Atmega328	Atmega328P	Atmega 32u4	Atmega 32u4	Atmega 128V-328V	
Tensión de funcionamiento	5 voltios	5 voltios	3.3 voltios	5 voltios	5 voltios	2.7 a 5.5 voltios	
Voltaje de entrada recomendando	7-12 voltios	7-12 voltios	3,7-7 voltios	5 voltios	9 voltios	5 voltios	2.7 a 5.5 voltios
Voltaje de entrada límite	6-20 voltios	6-20 voltios	3,35-12 voltios	5 voltios	9 voltios	5 voltios	2.7 a 5.5 voltios
Pines de entrada/salida digitales	20 y 7 proporcionan salida PWM	14 y 4 proporcionan salida PWM	14 y 6 proporciona salida PWM	5 los cuales 6 proporcionan salida PWM	4 y 1 proporciona salida PWM	--	14 los cuales 6 son salida PWM
Pines de entrada analógicos	12	6	16	4 de los pines de E/S	4	--	6
Corriente DC por pin de entrada/salida	40Ma	40mA	40mA	40mA	40mA	--	40mA
Corriente DC del pin de 3.3 Voltios	50mA	50Ma	--	--	--	--	--
Memoria Flash	32 KB	32 KB	32 KB (2KB arranque)	32 KB (4Kb arranque)	32 KB (4Kb arranque)	32 KB (4 KB arranque)	16 KB (2 KB arranque)
SRAM	2,5 KB	2 KB	2 KB	2,5 KB	2,5 KB	2,5 KB	1 KB
EEPROM	1 KB	4 KB	1 KB	1 KB	1 KB	1 KB	512 bytes
Velocidad de reloj	16 MHz	16 MHz	8 MHz	16 MHz	16 MHz	16 MHz	8 MHz
Precio aproximado	28 dólares	20 dólares	25 dólares	110 dólares		60 dólares	16 dólares

Fuente: Datasheet de los modelos

Para el nodo central se empleó la placa Arduino UNO, donde receptorá toda la información de los nodos sensores por medio de un módulo Zigbee, utilizando un Shield construido adecuadamente para adaptarlo al diseño del Arduino; así mismo para el proceso de envío hacia la base de datos se utiliza un Ethernet Shield que permite la unión a un puerto Ethernet y por ende la comunicación.

Arduino UNO



Figura 14. Placa Arduino UNO
Fuente: (farnell, 2014)

La placa Arduino UNO basada en el ATmega328p como se indica en la Figura 14, y es una de las primeras series creadas dentro de la plataforma Arduino. Sus principales características se detallan a continuación:

Tabla 4
Características de Arduino UNO

PARÁMETRO	CONDICIÓN TÉCNICA
Microcontroladores	ATmega328
Tensión de funcionamiento	5V
Voltaje de entrada (recomendado)	7-12V
Voltaje de entrada (límite)	6-20V
Pines de entrada y salida digitales	14 (de los cuales 6 proporcionan PWM)
Pines de entrada analógica	6
Pines de entrada y salida DC	40 mA
Pin 3.3V para DC	50 mA

Memoria Flash	32 KB (Atmega328) de los cuales 0,5 KB utilizado por el gestor de arranque
SRAM	2 KB (Atmega328)
EEPROM	1 KB (Atmega328)
Velocidad del reloj	16 MHz

Fuente: Datasheet Arduino UNO

Diagrama

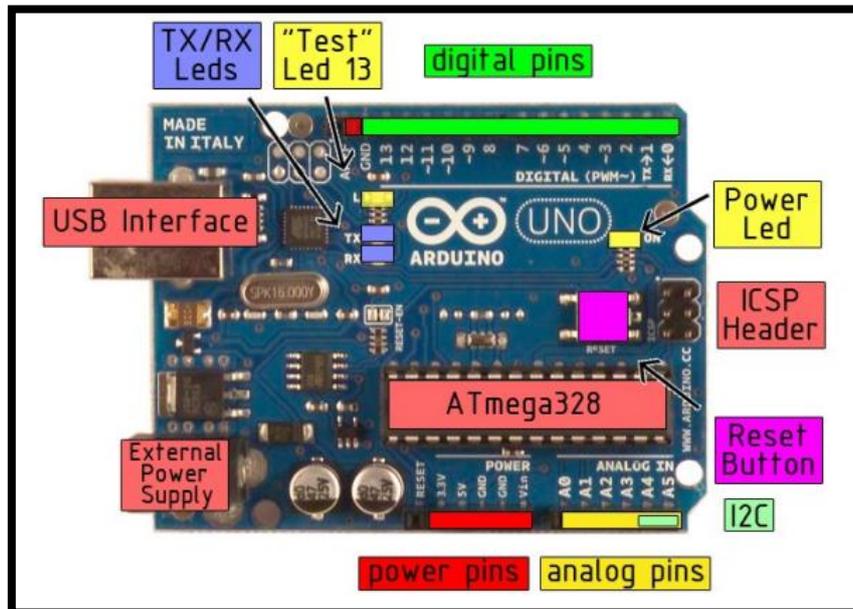


Figura 15. Especificación de pines

Fuente: (digital.csic, 2016)

Alimentación

Para la alimentación de la placa Arduino UNO se utiliza la conexión USB o una fuente externa indicada en la Figura 15, siendo esta con un adaptador de AC-DC, el rango recomendado es de 7 a 12 voltios.

La alimentación se encuentra en los siguientes pines:

- VIN: Este pin suministra tensión a la placa Arduino por medio de una fuente externa de alimentación.
- 5V: Pin para alimentar a la placa con 5 voltios siendo regulado por el regulador de la placa.
- 3V3: Pin para suministrar 3,3 voltios a la placa.

- GND: Conexión a tierra.

Pines de Entrada y Salida

Los 14 pines digitales que se encuentran en la placa trabajan a 5 voltios y tienen funciones específicas:

- Comunicación Serial: Para la transmisión y recepción RX (0) y TX (1).
- Interrupciones Externas: 2 y 3.
- PWM: 3, 5, 6, 9, 10 y 11.
- LED: Pin digital 13.
- Posee 6 entradas analógicas nombradas A0 a A5.

Comunicación UART

Para lograr la comunicación de la placa con un ordenador u otras placas, este Arduino ofrece el módulo USART que permite la comunicación de forma asíncrona o sincrónica. UART es un componente esencial para lograr la comunicación de los subsistemas de una computadora, toma datos y los transmite de forma secuencial.

Arduino MINI-PRO

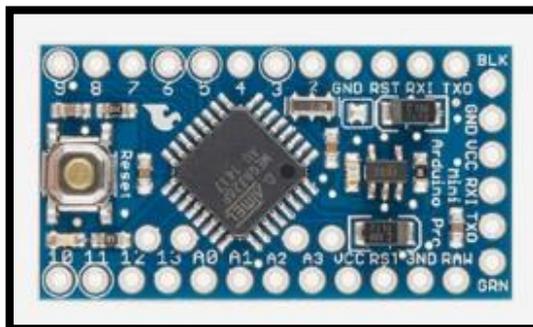


Figura 16. Arduino Mini-PRO
Fuente: (Arduino, 2016)

Para el desarrollo de cada uno de los nodos sensores se hará uso de la placa electrónica basada en el ATmega 328 Arduino Mini Pro, la cual cuenta con 14 pines de entradas y salidas digitales, 6 entradas analógicas y un botón de reinicio.

La placa Arduino Mini Pro no tiene zócalos pre-instalados, lo que permite el uso de algunos tipos de conectores, posee 6 pines al costado de la placa para poder ser conectado a un cable FTDI y proporcionar alimentación USB y su comunicación.

Tabla 5
Características Arduino Mini PRO

PARÁMETRO	DETALLES
Microcontrolador	ATMEGA 328
Pines Digitales	14 Entrada y Salida (6 PWM)
Pines Analógicos	6 Entradas Analógicas (8 bits de resolución)
Voltaje De Funcionamiento	5 - 12 Voltios
Corriente Por Pin	40 Miliamperios
Memoria Flash	32 Kb
Memoria SRAM	8 Kb
Memoria EEPROM	1Kb
Frecuencia	16 MHz
Dimensiones	33 x 18 mm

Fuente: Datasheet Arduino Mini PRO

Arduino Ethernet Shield



Figura 17. Arduino Ethernet Shield
Fuente: (Arduino, 2016)

El Arduino Ethernet Shield se encuentra formado por el chip Wiznet W5100 como se indica en la Figura 17, siendo de mucha utilidad capaz de conectarse a la red IP. Su infraestructura permite conectarse con el Arduino UNO y Arduino Megas sin uso de dispositivos extras, provee de cuatro conexiones simultáneamente.

Arduino Ethernet Shield cuenta con un conector Ethernet RJ45, un lector de tarjeta Micro SD, un botón de reset y leds indicadores cuya información se detalla a continuación:

- PWR: indica que la placa y la Shield están alimentadas.
- LINK: indica la presencia de un enlace de red y parpadea cuando la Shield envía o recibe datos.
- FULLD: indica que la conexión de red es full dúplex.
- 100M: indica la presencia de una conexión de red de 100 Mb/s (de forma opuesta a una de 10Mb/s).
- RX: parpadea cuando la Shield recibe datos.
- TX: parpadea cuando la Shield envía datos.

3.5.1.1.1. Módulos XBee

Tabla 6

Características de los modelos XBee

CARACTERÍSTICAS	XBEE SERIE 1	XBEE SERIE 2	XBEE ZB S2C
Alcance interior / Urbano	Hasta 100 ft. (30 m)	Hasta 133 ft. (40 m)	hasta 200 pies (60 m)
RF al aire libre la línea de visión rango	Hasta 300 ft. (100 m)	Hasta 400 ft. (120 m)	hasta 4000 pies (1200 metros)
La potencia de transmisión	1 mW (0 dBm)	2 mW (+ 3DBM)	6.3mW (+ 8dBm) modo Boost
Velocidad de datos de RF	250 Kbps	250 Kbps	250 Kbps
Tensión de alimentación	2.8 a 3.4 V	2.8 a 3.6 V	2,1 - 3,6 V
Transmitir corriente (típico)	45 mA (@ 3.3 V)	40 mA (@ 3.3 V)	45 mA (+ 8dBm) Modo Boost
Corriente de apagado	10 uA	1 uA	<1uA
Frecuencia	ISM de 2,4 GHz	ISM de 2,4 GHz	ISM de 2,4 GHz
Temperatura de funcionamiento	-40 A 85 C	-40 A 85 C	-40 A 85 C
Opciones de antena	PCB, integrado Whip, U.FL, RPSMA	PCB, integrado Whip, U.FL, RPSMA	A través de orificios: PCB, integrado Whip, U.FL, RPSMA
Las topologías de red	Punto a punto	Punto a punto, estrella, malla	Punto a punto, estrella, malla
número de canales	16 canales de secuencia directa	16 canales de secuencia directa	16 canales de secuencia directa

Fuente: http://knowledge.digi.com/articles/Knowledge_Base_Article/The-Major-Differences-in-the-XBee-Series-1-vs-the-XBee-Series-2

Módulo Xbee S2C

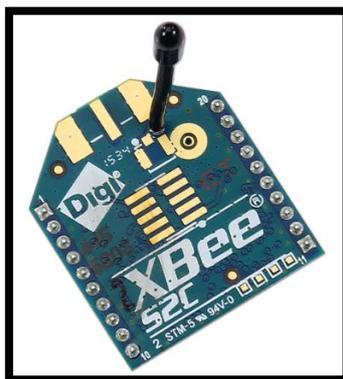


Figura 18. Módulo Xbee S2C
Fuente: (parallax, 2016)

Los módulos Xbee S2C de radio frecuencia utilizados para la comunicación inalámbrica de todos los nodos como se indica en la Figura 18, soportan topologías de multipunto y malla, además de las que incluyen la serie 1, conjuntamente en las frecuencias de 2,4GHz y 900MHz. Su fabricante Digi International cumple con el estándar IEEE 802.15.4, aumentando su potencia con respecto a la serie 1, con una antena wire y con un alcance de 60 metros en interiores y 1200 metros en exteriores con línea de vista.

Los módulos Xbee de la Serie 1 y Serie 2 poseen similar pin-out, pero no se puede comunicar entre ellos. La serie 2c mejora en el protocolo de salida de energía y datos, permitiendo una comunicación fiable y simple soportando inclusive redes punto a punto y multi-punto. Para su correcta configuración se debe cargar el firmware apropiado y aprovechar de manera óptima su funcionamiento.

Características Técnicas

Tabla 7

Especificaciones Xbee S2C

ESPECIFICACIONES	VALORES
Alcance en Interiores	60 metros
Alcance en Exteriores	1200 metros con línea de vista
Potencia de salida de transmisión	8dBm
Sensibilidad de Recepción	-100 dBm

Banda de Frecuencia	ISM 2.4GHz
Entradas ADC	4 entradas de 10 bits
Alimentación	3.3v – 33mA
Pines Digitales	15
Método de Configuración	Comandos AT o API

Fuente: Datasheet Xbee S2C

Shield Xbee para Arduino

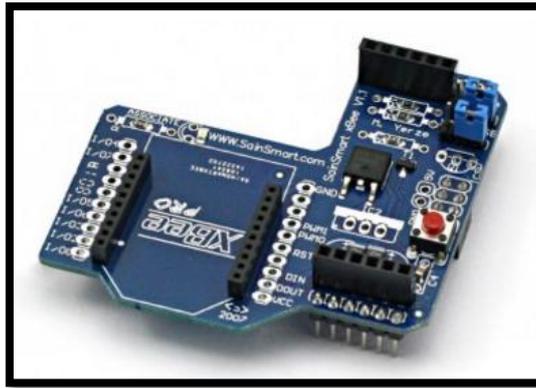


Figura 19. Shield Xbee
Fuente: (sainsmart, 2013)

Shield Xbee como se observa en la Figura 19, permite la comunicación inalámbrica mediante zigbee con la placa Arduino, teniendo un rango de 100 pies en interiores y 300 pies al exterior con línea de vista. Proporciona conectores machos y hembra para pines digitales y entradas analógicas.

Shield Xbee posee dos puentes que se ubican en dos de los tres pines marcados con Xbee/USB, estos determinan como la comunicación serial del Xbee se conecta a la comunicación serial entre el microcontrolador y el chip-USB del Arduino.

3.5.1.1.2. Circuito Regulador de Voltaje con un LM317

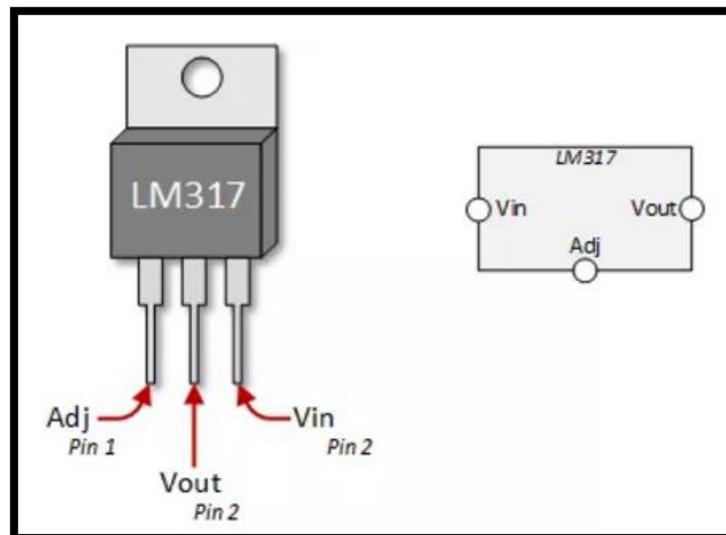


Figura 20. LM317

Fuente: (henrysbench.capnfatz, 2015)

Un LM317 es un regulador de tensión que posee 3 terminales con un rango de tensiones de salida desde 1.25 hasta 37 voltios como se observa en la Figura 20. Las patillas son: Entrada (IN), Salida (OUT) y Ajuste (ADJ). Para lograr una variación de tensión se necesita únicamente de dos resistencias externas, la tensión entre la patilla de ajuste y de salida es siempre de 1.25 voltios; después de varias ecuaciones basadas en la ley de Ohm y sus respectivos reemplazos que como última fórmula indicada en la ecuación 1, para obtener la tensión de salida requerida.

$$V_{out} = 1.25V (1+R2/R1).$$

Ecuación 1. Cálculo del voltaje de salida de alimentación al módulo Xbee

Fuente: <http://www.learningaboutelectronics.com/Articles/LM317-resistor-and-voltage-calculator.php>

Todo el circuito compuesto por cada uno de los nodos sensores se alimentan con un voltaje mínimo de 5 voltios, este pequeño conjunto de elementos electrónicos permite bajar el un voltaje similar al necesario para la alimentación de los módulos Xbee, ubicando adecuadamente las resistencias como se muestra en la Figura 21, y así obtener el voltaje deseado.

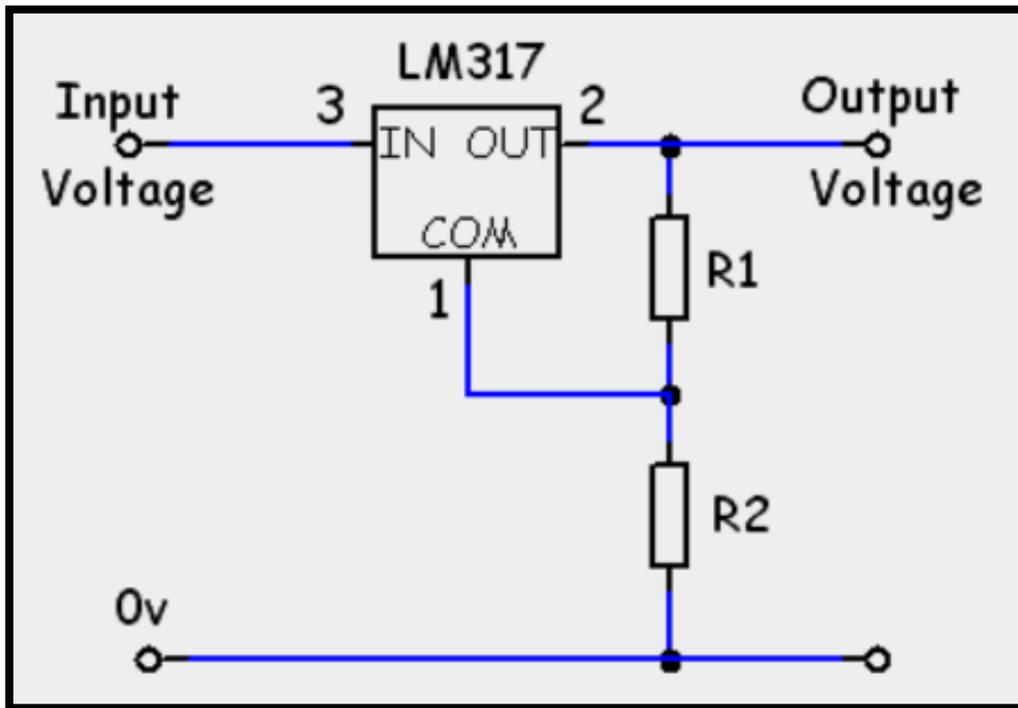


Figura 21. Circuito regulador de tensión con un LM317
Fuente: (pcsilencioso, 2014)

El voltaje de salida necesario es muy similar al voltaje de alimentación del módulo Xbee se prosigue a realizar la ecuación con las resistencias correctas.

$$V_{out} = 1.25V (1 + R2/R1).$$

$$V_{out} = 1.25V (1 + 330\text{ohm}/220\text{ohm}).$$

$$V_{out} = 3.13V.$$

3.5.1.2. Sensores

En el proceso de obtención de datos por medio de los sensores, se determina características técnicas de cada uno de los sensores a ser utilizados en el sistema.

3.5.1.2.1. Sensores de humedad de suelo

Tabla 8

Comparativa de las características de sensores de humedad de suelo

CARÁCTERÍSTICAS	SENSOR EC-5	SENSOR YL-69 - YL-38	SENSOR FC-28
Aplicación	Macetas	Red de sensores	Red de sensores
Voltaje	2.5 – 3.6V	3.3 – 5V	3.3 – 5V
Precio	\$135	\$8	\$194

Salidas	Análoga	Análoga y Digital	Análoga y Digital
Disponibilidad en el mercado nacional	No	Si	No

Fuente: Datasheet EC-5, Datasheet YL-69 YL-38 y Datasheet FC-28

En la Tabla 8, se muestra las características de diferentes sensores de humedad de suelo, pero por las ventajas que lleva el sensor yl-69 – yl-38, como en la aplicación, precio y disponibilidad con respecto los otros, se escogió este sensor para ser implementado en el sistema de monitoreo.

Sensor de Humedad de Suelo YL-69 - YL-38

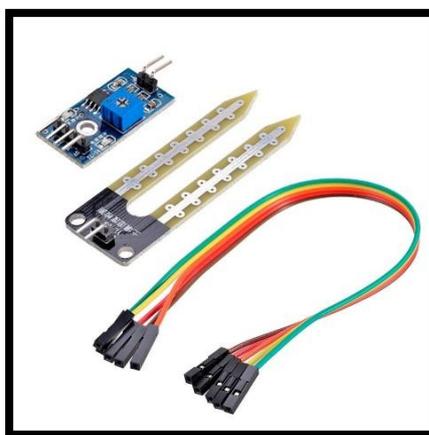


Figura 22. Sensor de Humedad de Suelo YL-38 y Sonda YL-69

Fuente: <http://www.maxelectronica.cl/temperatura-y-humedad/44-sensor-de-humedad-de-suelo-yl-38-y-sonda-yl-69.html>

El conjunto YL-69 YL-38 se encarga de la lectura de humedad reciente en el suelo, muy apto para trabajos dentro de un invernadero.

El sensor YL-38 trabaja con un módulo comparador LM393, su función es identificar el nivel de resistencia para adquirir la cantidad de humedad, el suelo que contenga más agua es mucho mejor conductor de la electricidad; el cual dispone de un potenciómetro para ajustar el umbral de la salida digital, además posee dos pines para alimentación VCC (de 3,3v a 5v), GND y una salida analógica. Para lograr pasar corriente a través del suelo se utiliza las sondas del sensor YL-69, como se indica en la Figura 22.

Características Módulo YL-69

- Dimensión del Módulo YL-69: 60mm x 30mm.

Características Módulo YL-38

- Dimensión del Módulo YL-38: 30mm x 16mm.
- Pin 1 – VCC: Alimentación a 3,3V a 5V.
- Pin 2 – GND: Alimentación GND.
- Pin 3 – DO: Salida Digital.
- Pin 4 – AO: Salida Analógica.
- Potenciómetro Ajustable.
- LED de encendido Y LED en salida digital.

3.5.1.2.2. *Sensores de temperatura*

Tabla 9

Comparativa de las características de sensores de temperatura

CARÁCTERÍSTICAS	SENSOR LM35	SENSOR TMP36	SENSOR DTH-11
Voltaje	4 – 30V	2.7– 5.5V	3.3 – 5.5V
Precio	\$2.50	\$2.7	\$8
Salidas	Análoga	Análoga	Análoga y Digital
Rango de Temperaturas	-55°C a 150°C	-40° C a 150° C	0° C a 50° C
Tiempo de respuesta	4 minutos	8 minutos	2 segundos
Función	Temperatura	Temperatura	Temperatura y Humedad relativa
Extra			Incorpora una librería dth.h con Arduino para más facilidad

Fuente: Datasheet de cada sensor

El sensor DTH11 posee ventajas relevantes con respecto a los demás sensores que miden la temperatura, además de tener una función extra de medir la humedad relativa, un tiempo de respuesta muy bajo y una librería para Arduino que sirve de facilidad en su configuración, en

la Tabla 3 se observa cada uno de los detalles por los cuales se ha escogido este sensor para monitorear el cultivo.

Sensor de Temperatura Ambiente y Humedad Relativa DHT11

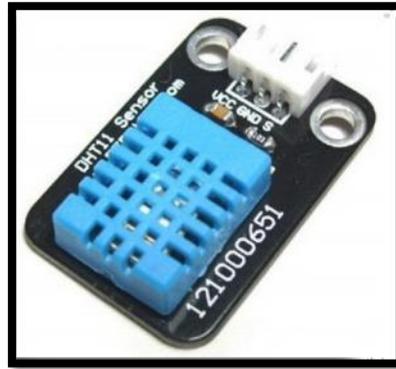


Figura 23. Sensor Temperatura Ambiente y Humedad Relativa DHT11
Fuente: (micropik, 2013)

La Figura 23 muestra el sensor DHT11, cuenta con un sensor de temperatura y humedad que posee una salida de señal digital calibrada, su tecnología compleja permite que la señal obtenida sea exclusiva y asegura una alta fiabilidad y estabilidad a largo plazo. Este sensor incluye una medición de humedad de tipo resistivo ofreciendo una gran calidad dando una respuesta rápida y con poca interferencia.

También hay un chip muy básico dentro que realiza la conversión análogo a digital y da como resultado una señal digital con la temperatura y la humedad. La señal digital es bastante fácil de leer utilizando cualquier microcontrolador.

Tabla 10
Especificaciones Técnicas del DHT11

PARÁMETRO	DHT11
Alimentación	3Vdc ≤ VCC ≤ 5Vdc
Corriente	1mA
Señal de Salida	Digital
Rango de medida	De 0 a 50 °C
Temperatura	
Precisión Temperatura	±2 °C
Resolución Temperatura	0.1°C

Rango de medida Humedad	De 20% a 90% RH
Precisión Humedad	4% RH
Resolución Humedad	1%RH
Tiempo de respuesta	1s
Tamaño	12 x 15.5 x 5.5mm

Fuente: Datasheet DHT11

3.5.1.2.3. Sensores de luminosidad

Tabla 11

Comparativa de las características de sensores de luminosidad

CARÁCTERÍSTICAS	SENSOR LDR	SENSOR TSL2561	SENSOR BH1750
Voltaje	12V	2.7– 3.6V	3.3 – 6V
Precio	\$0.80	\$15	\$10
Salidas	Análoga	Análoga y Digital	Análoga y Digital
Consumo	10Ma		7mA
Resolución	10 a 100lx	0,1 a 40000 lx	1 a 65535lx

Fuente: Datasheet de cada sensor

El sensor elegido para medir la cantidad de luz en el cultivo es el bh1750 por las ventajas con respecto a los demás como su consumo y su resolución, se observa en la Tabla 11.

Sensor de Luminosidad BH1750

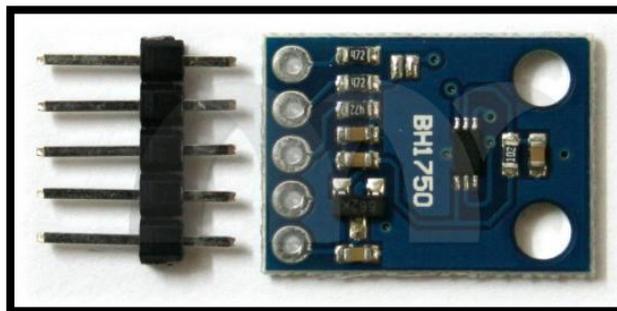


Figura 24. Sensor de Luminosidad bh1750
Fuente: (saber.patagoniatec, 2016)

El chip BH1750FVI es la base de un módulo sensor digital que mide la luminosidad como se observa en la Figura 24, posee un conversor análogo-digital de 16bits, entregando un valor directamente en lux sin la necesidad de realizar conversiones de voltaje para obtener datos mejor estructurados, mejorando así la función de un sensor de luz basado en una LDR. La

respuesta de salida digital se interpreta con la ayuda del bus I2C con la posibilidad de seleccionar 2 Address. El sensor el ideal para medir el flujo de luminosidad por metro cuadrado de un ambiente.

Características Técnicas

- Funcionamiento de Voltaje: 3.3v – 6v.
- Corriente: 7mA.
- Interfaz de bus I2C puede seleccionar entre 2 direcciones de esclavo.
- Consumo bajo de energía.
- Rango de resolución 1 – 65535 lx.
- La influencia de infrarrojo es pequeña.
- Pequeña variación de la medida (+/- 20%).
- Respuesta espectral similar a la del ojo humano.

3.5.1.2.4. Sensores de CO2

Tabla 12

Comparativa de las características de sensores de CO2

CARÁCTERÍSTICAS	SENSOR MG811	SENSOR MQ135
Voltaje	5V	5V
Precio	\$80	\$14
Salidas	Análoga	Análoga
Consumo de Calefacción	1200mW	800mW
Detección de partes por millón	350 a 10000ppm	10 a 1000ppm

Fuente: Datasheet de cada sensor

La Tabla 12 muestra las características más relevantes para la elección de un sensor de medición de CO2, lo que más predominó fue el precio.

Sensor de Medición de Dióxido de Carbono (CO2) MQ-135

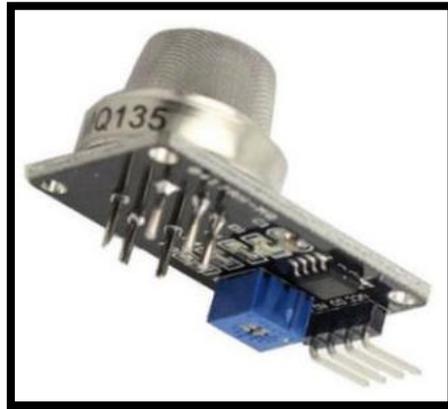


Figura 25. Sensor CO2 MQ-135
Fuente: (dreamgreenhouse, 2016)

El sensor MQ-135 permite el control de calidad de aire, adecuado para la detección de gases peligrosos como NH₃, NO_x, el alcohol, el benceno, el humo, CO₂, etc. Este sensor no proporciona valores absolutos, sino que simplemente proporciona una salida variada que debe ser supervisado y se compara con valores de umbral.

El valor de la resistencia de MQ-135 es distinta para diversos tipos y diversas concentraciones de gases. Por lo tanto, cuando se usa este ajuste de los componentes, la sensibilidad es muy necesario.

Posee dos pines para alimentación VCC (2,5V a 5V), GND, un pin para una salida análoga y un pin para una salida digital; en total cuatro pines, como se muestra en la Figura 25.

Tabla 13

Especificaciones Técnica del MQ-135

SÍMBOLO	PARÁMETRO	CONDICIÓN TÉCNICA	OBSERVACIÓN
VC	Voltaje del Circuito	5V ± 0.1	AC o DC
VH	Voltaje de Calentamiento	5V ± 0.1	AC o DC
RL	Resistencia de Carga	Se puede ajustar	
RH	Humedad Relativa	Menor a 95%RH	

PH	Consumo de Calefacción	Menor que 800mW	
Tao	Temperatura de uso	-10°C -45°C	
DPP	Detección de Partes por Millón	10ppm – 1000ppm	
Rs	Resistencia a superficies sensibles	30k – 200k Ohmios	100ppm en Amoníaco

Fuente: Datasheet MQ-135

3.5.2. Nodo Central

El nodo central es el dispositivo encargado de recolectar y procesar toda la información obtenida por cada uno de los nodos sensores; consta de un sistema electrónico compuesto por una placa Arduino, un módulo de comunicación inalámbrica Zigbee, un módulo de comunicación Ethernet.

Una vez elegidos los dispositivos y componentes a utilizar se procede a realizar la unión de todos los elementos para formar el nodo central y verificar su funcionamiento.

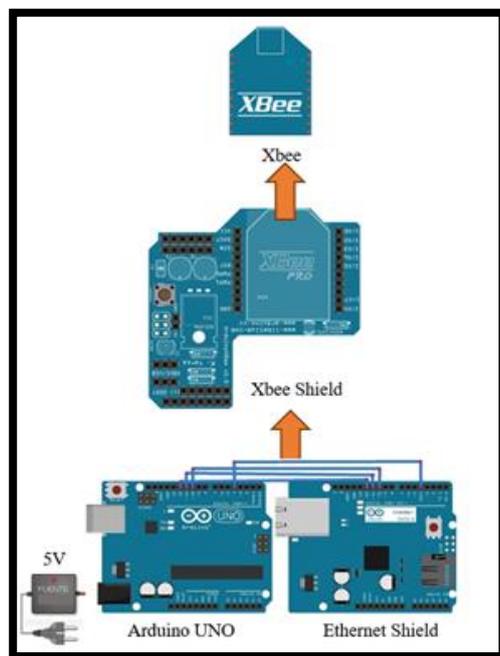


Figura 26. Módulo Nodo Central
Fuente: Elaborador por el Autor – Fritzing

3.5.2.1. *Ensamblaje Nodo Central*

El nodo central se encarga de la recepción de datos de cada uno de los nodos sensores, por medio del uso de los módulos xbee; además del envío de datos recolectados por los mismos hacia la plataforma web.

La Figura 27 muestra el módulo central que está compuesto por un Arduino UNO, unido a un Ethernet Shield, un Shield para ubicar el módulo xbee y un adaptador de alimentación de 9V.

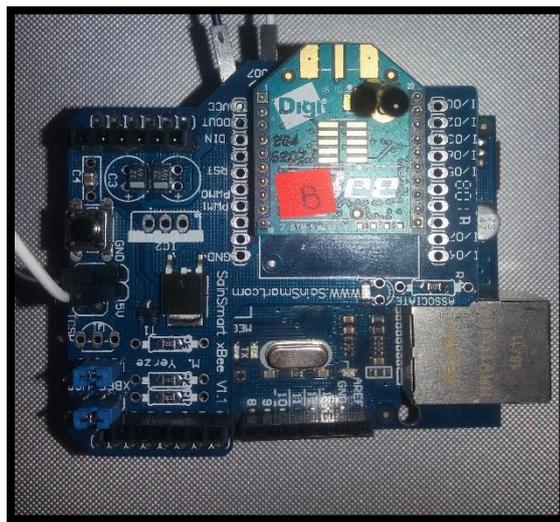


Figura 27. Nodo Central vista frontal
Fuente: Elaborado por el Autor

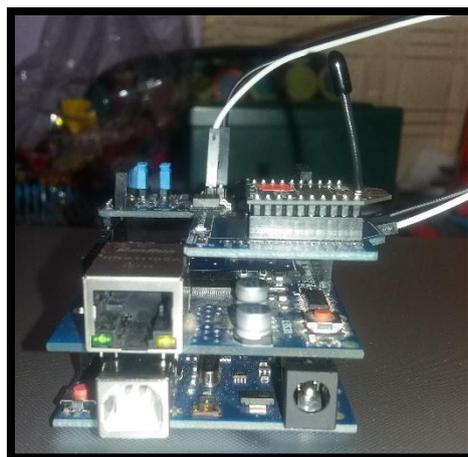


Figura 28. Nodo central vista lateral
Fuente: Elaborado por el Autor

3.5.3. Nodos Sensores

En cada uno de los módulos sensores se utiliza el Arduino mini-pro, incluyendo una adaptación de Shield para la ubicación del módulo Xbee que posee un pequeño circuito regulador de voltaje para suministrar el voltaje al que trabaja el módulo Xbee, además de la ubicación de cada uno de los sensores.

La realización de los diagramas esquemáticos se hizo mediante la ayuda del software libre Fritzing que colabora con el diseño de los nodos sensores y nodo central, ubicando cada uno de los dispositivos necesarios, conjuntamente con el programa Eagle cumpliendo la función de diseño de las placas de los nodos sensores.

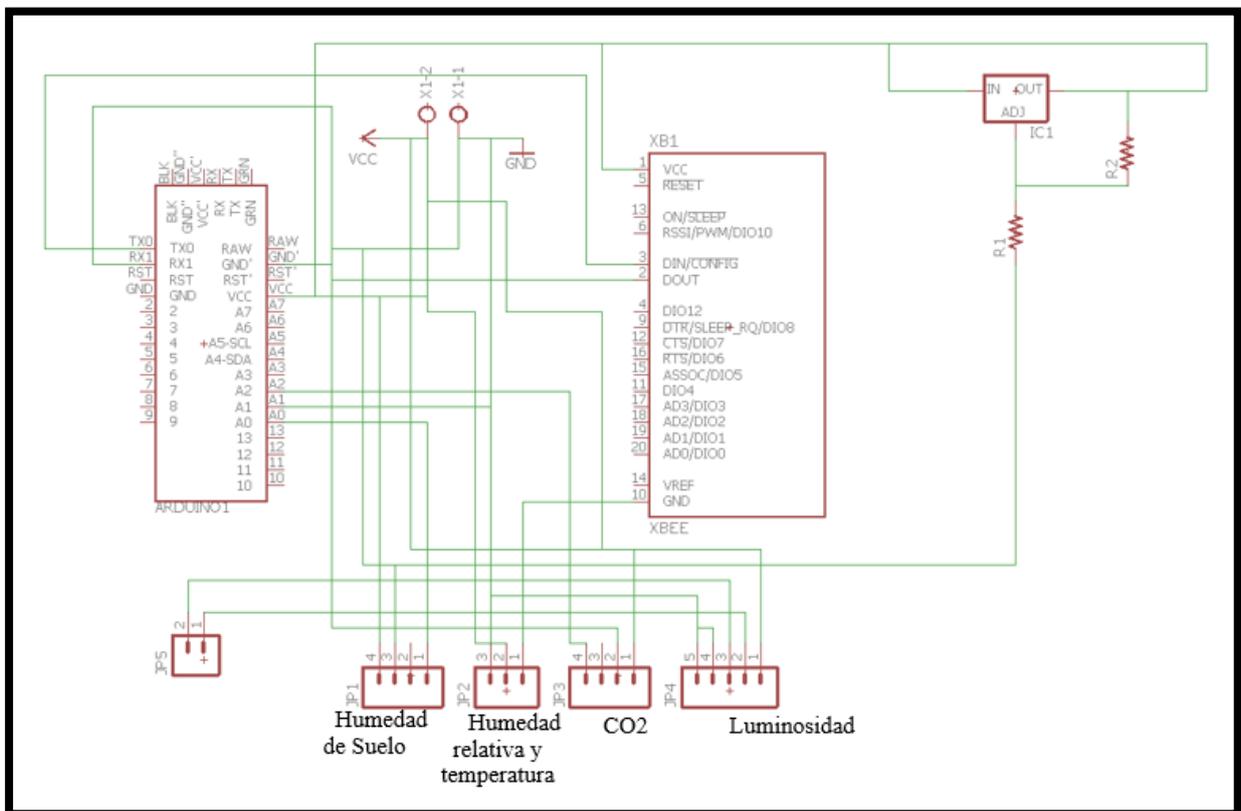


Figura 29. Módulo Nodo Sensor
Fuente: Elaborado por Autor – Eagle

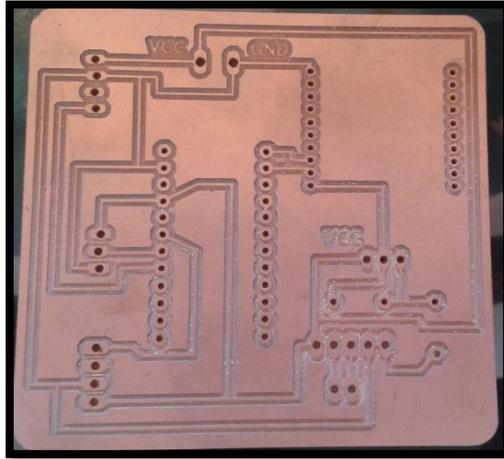


Figura 30. Placa Nodo Sensor
Fuente: Elaborado por el Autor – Eagle

3.5.4. Ensamblaje

El módulo sensor consta de una placa como se muestra en la Figura 31, que posee los sensores de: humedad de suelo, humedad relativa y temperatura ambiente, luminosidad y CO₂; la placa tiene los sócalos para la ubicación del Arduino mini-pro y el módulo xbee que permite el envío de datos hacia el nodo central. La placa posee una bornera por donde será alimentada por medio de la batería Litio. Los tres nodos sensores serán iguales de forma que se describe uno.

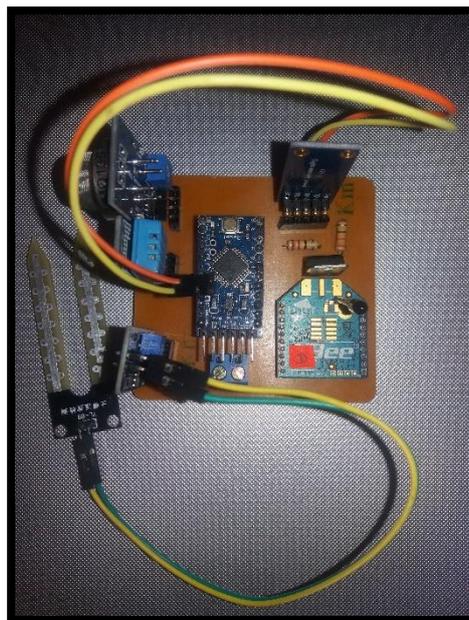


Figura 31. Nodo Sensor vista frontal
Fuente: Elaborado por el Autor

Se encuentra compuesto un sensor de humedad de suelo, un sensor de temperatura ambiente, un sensor de humedad relativa, un sensor de luminosidad y un sensor que mida la cantidad de CO2. La señal analógica que emite los sensores, ingresa a la placa electrónica y por medio de la comunicación UART los datos se transmiten de manera inalámbrica a través de los módulos Zigbee hacia el nodo central.

Los dos módulos sensores restantes se encuentran conformados de la misma manera, funcionalidad, transmisión y recepción de datos que el modulo sensor 1, se encuentran ubicados en sitios que cubran toda la extensión de la plantación.

3.5.4.1. Alimentación del circuito

Para que exista un funcionamiento de los nodos sensores de la red WSN, se necesita de una fuente de alimentación. Para este caso se decido tomar en cuenta el hecho que son nodos sensores inalámbricos, así que se utiliza baterías de litio para proporcionar energía a los nodos y sean netamente nodos inalámbricos.

3.5.3.1.1 Cálculos de Alimentación

Para la alimentación de los nodos sensores se escogió baterías Litio de 3,7 V a 800 mAh, teniendo en cuenta las características de la batería, los cálculos de la vida útil son los siguientes.

Tabla 14

Consumo de dispositivos en un nodo sensor

Elemento	Modo Normal (mA)	Modo Dormido (mA)
Sensor dht11	1	1
Sensor bh1750	7	7
Xbee	33	0,001
Arduino Mini Pro	40	40
TOTAL	81	48,001

Fuente: Autor

Tcn = Tiempo Consumo Normal

Tcd = Tiempo Consumo Dormido

Icn = Intensidad de Corriente Consumo Normal

Icd = Intensidad Corriente Consumo Dormido

Se aplica que el consumo es para calcular el consumo de la vida de una batería como se indica en la ecuación 2:

$$\text{Consumo} = \frac{Tcn * Icn + Tcd * Icd}{Tcn + Tcd}$$

Ecuación 2. Fórmula del cálculo del consumo de la vida útil de una batería de litio
Fuente: <http://www.taringa.net/posts/info/14154065/Formula-sobre-el-Tiempo-de-Carga-de-la-Bateria.html>

Para el desarrollo del proyecto se toma en cuenta:

Tcd = 30 segundos, Tcn = 5 segundos, Icn = 81 mA, Icd = 48,001 mA

Con los datos detallados anteriormente se tiene:

$$\text{Consumo} = \frac{5*81+30*48,001}{5+30}$$

$$\text{Consumo} = 52,71mA.$$

Se tiene disponible una batería de 3,7 V con 800 mAh, el cálculo de la vida de la batería sería como se muestra en la ecuación 3:

$$\text{Vida Bateria} = \frac{\text{Capacidad Bateria}}{\text{Consumo}}$$

Ecuación 3. Cálculo de la vida de la batería en horas
Fuente: <http://www.cavadevices.com/archivos/FOLLETOS/calculo%20de%20bateria.pdf>

$$\text{Vida Bateria} = \frac{800mAh}{52,71mA}$$

$$\text{Vida Bateria} = 15,17h .$$

Alimentación de un circuito con batería y un panel solar que recarga la batería.

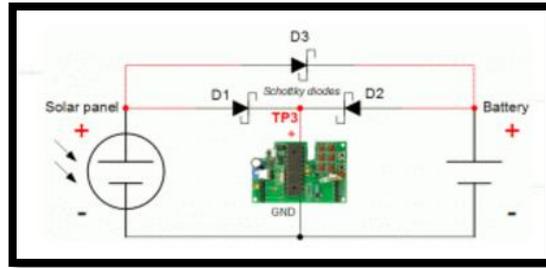


Figura 32. Circuito de alimentación a la batería con el panel solar
Fuente: (pesadillo, 2016)

Para recargar la batería con la ayuda de un panel solar se realizó un circuito conformado por 3 diodos Schottky de tipo 1N5817, además de un condensador que permite estabilizar la fuente de alimentación y rectificar la señal.

El panel solar proporciona la energía al dispositivo por medio del D1, o la batería proporciona energía a través del D2, dependiendo del tipo de fuente de alimentación, tiene un voltaje más alto. Cuando el panel solar tiene la tensión más alta, flujos de energía solar pasan a través del D1 para hacer funcionar el dispositivo por medio del D3 y recargar la batería. En la Figura 33 se observa el circuito en real.

El oficio en sí del circuito, es alimentar por medio de un panel solar tanto a la batería como a cada uno de los nodos sensores, cumpliendo así con 2 funciones al mismo tiempo sin dejar a lado de la alimentación del nodo sensor.

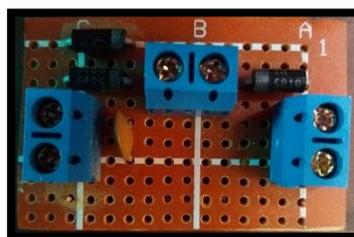


Figura 33. Circuito de alimentación de batería con panel solar
Fuente: Elaborado por el Autor

3.6. DISEÑO DE LA RED DE SENSORES INALÁMBRICA

La red de WSN se construye básicamente de tres nodos sensores y un nodo central o Gateway que actúa como medio para la comunicación de los módulos sensores y la estación

base, permitiendo que los datos extraídos por los nodos sean transmitidos a la nube con el uso de la plataforma PaaS, como se detalla en la Figura 34.

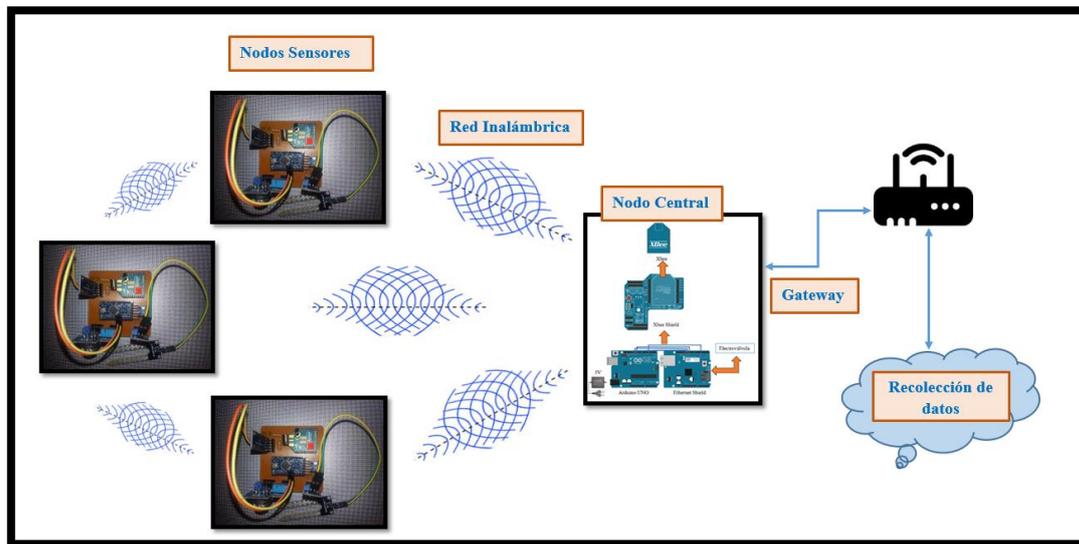


Figura 34. Diseño de la WSN, detallando cada uno de los elementos que se encuentra conformada.

Fuente: Elaborado por el Autor

El propósito del sistema de riego controlado, teniendo un rango estimado de las magnitudes adecuadas para la dar el suministro de agua que necesite el invernadero.

En el sistema se mide la humedad de suelo, temperatura ambiente, humedad relativa, luminosidad y cantidad de CO₂, que son parte de los parámetros más sobresalientes que se encuentra en el concepto de Agricultura de Precisión, dando la facilidad para que los estudiantes de la granja lleven un registro de datos mediante el uso de una interfaz hacia un escenario ubicado en la nube.

La variable primordial para llevar a cabo el control del sistema de riego, es la humedad de suelo, que luego del proceso de sensado se transmite al nodo principal y da un signo de respuesta para activar el sistema.

Los demás parámetros a analizarse tienen con función dar una respuesta del comportamiento del cultivo que servirá como ayuda a los estudiantes y docentes que se encuentran laborando en la granja y a su carrera, dando información obtenida de todas las variables, almacenándolas en una base de datos.

Como parte de aviso que el invernadero necesita de suministro de agua y dar la respuesta de activación al sistema de riego, se envía un correo al encargado del invernadero como alerta de la falta de líquido vital en la plantación, y que el personal pueda estar informada del suceso.

3.5.3 Ubicación De Los Nodos

El área de estudio es de 323m² y se encuentra conformada por un cultivo de tomate riñón dentro de un invernadero, el presente proyecto se ha desarrollado a estas características.

La topología a ser usada es tipo malla, la posición de cada elemento es primordial, su cobertura en exteriores es de 1200m en teoría, es necesario evitar la pérdida de información de forma que la topología permite redundancia teniendo una comunicación entre todos los nodos para llegar al nodo central por cualquier camino. Se simulará si existe línea de vista y una zona de fresnel entre nodos, donde la posición de los nodos se encuentre sin obstáculos.

Como requerimiento se dio que cada uno de los nodos cubra 100m² aproximadamente, así que se ubicó 3 nodos para cubrir toda la extensión como se indica en la Figura 35, y el nodo central se encuentra en las oficinas del cuarto de telecomunicaciones a 63m del invernadero, gracias a la aplicación google Earth.



Figura 35. Ubicación del nodo central y nodos sensores en el invernadero de la granja La Pradera.

Fuente: Obtenido de Google Earth

Para la simulación que exista línea de vista sin obstrucciones y una zona de fresnel se obtuvo la ayuda del simulador Radio Mobile.

Para garantizar que no existan pérdidas de información, se establece los sitios de posición adecuados de los nodos sensores dentro del área del invernadero, se inicia con la ubicación de las coordenadas del área de trabajo mostrada en la Figura 36.

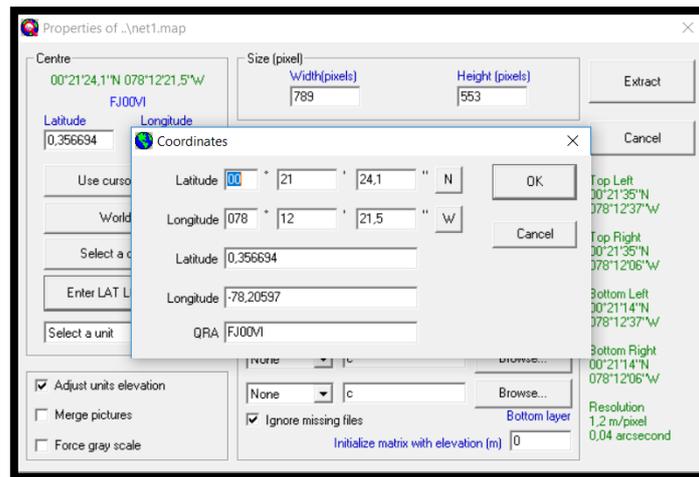


Figura 36. Coordenadas de la granja La Pradera ubicando la latitud y longitud de cada nodo.

Fuente: Diseño de la WSN en Radio Mobile

El siguiente paso a dar es crear cada uno de los nodos sensores y el nodo central que forman parte de la red sensores.

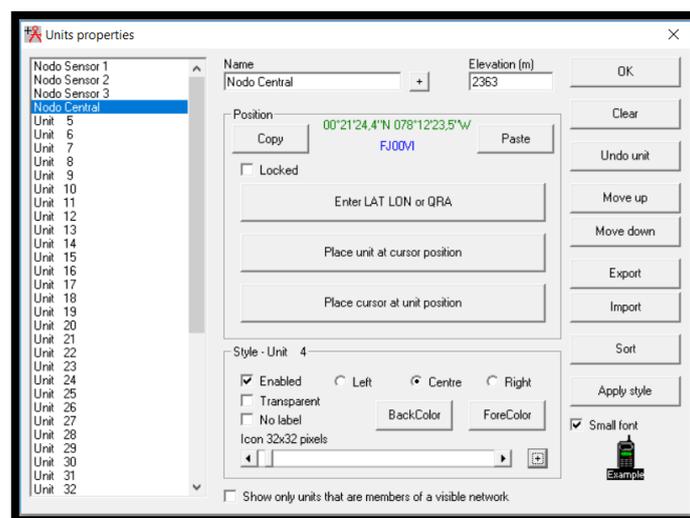


Figura 37. Creación de los nodos con un nombre específico de cada nodo sensor

Fuente: Diseño de la WSN en Radio Mobile

Al ser ya creados cada uno de los nodos se procede a crear la red tipo malla, para garantizar el envío de la información desde los nodos sensores al nodo central.

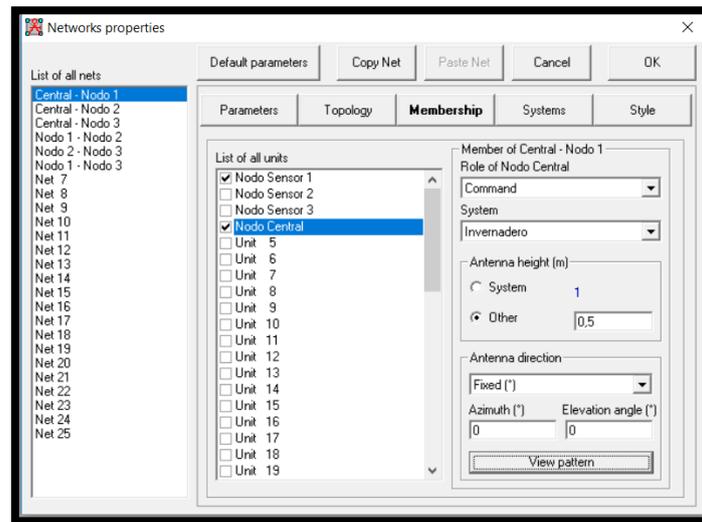


Figura 38. Creación de la red uniendo cada uno de los puntos, siendo estos los nodos sensores.

Fuente: Diseño de la WSN en Radio Mobile

Para lograr obtener la correcta ubicación de los nodos sensores se procede a trabajar con las características reales de la antena de los xbee serie 2 como son:

- Frecuencia de operación: 900MHz – 2400MHz
- Polarización horizontal
- Potencia de transmisión: 8dBm
- Ganancia de la antena: 3dBi
- Antena dipolo
- Umbral de recepción: -100dBm

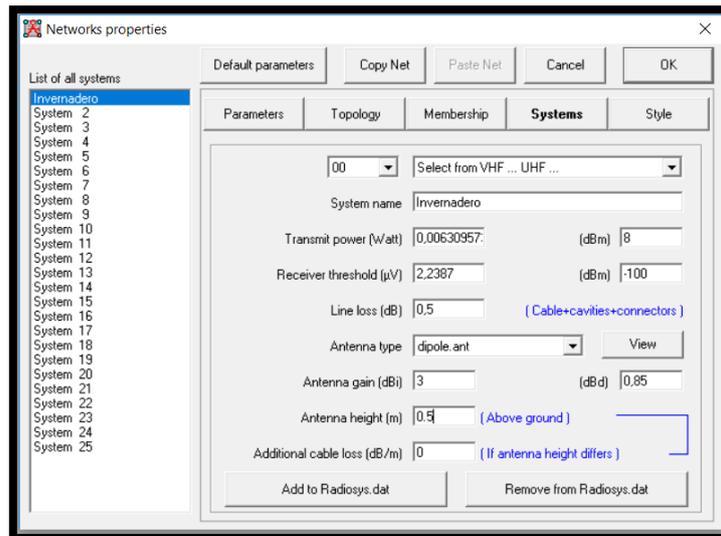


Figura 39. Configuración de los parámetros de la antena de xbee
Fuente: Diseño de la WSN en Radio Mobile

El resultado se observa en la Figura 40, donde se muestra la red tipo malla, lo que implica que la comunicación entre los nodos será óptima, y no existirá pérdida de la información.

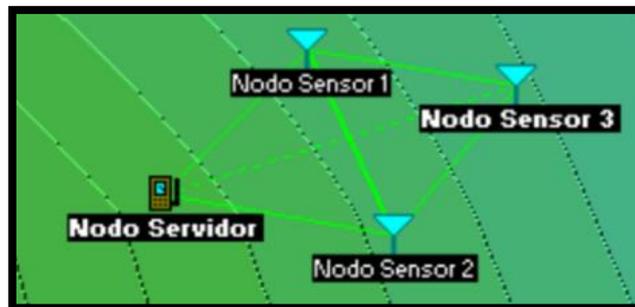


Figura 40. Resultado de la red mallada en el invernadero de la granja La Pradera.
Fuente: Diseño de la WSN en Radio Mobile

La herramienta que permite observar la línea de vista y Zona de Fresnel entre los nodos de la WSN como se observa en la Figura 41, 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 -65,8 dBm.

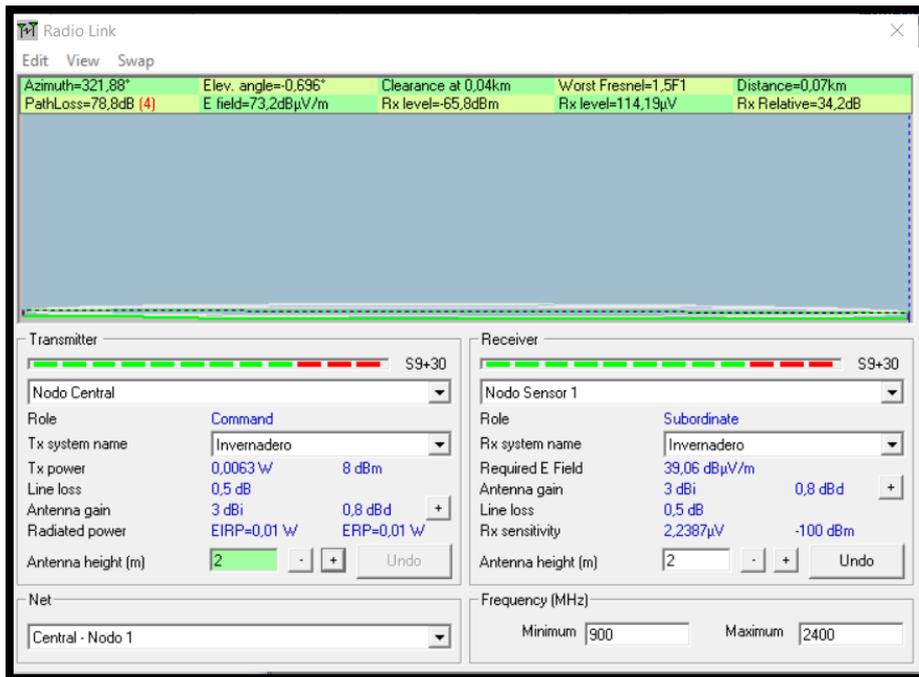


Figura 41. Enlace entre Nodo Central y Nodo Sensor 1
Fuente: Diseño de la WSN en Radio Mobile

La altura de los nodos se ha establecido ubicar a 2 metros de altura sobre el nivel del suelo como se indica en la Figura 42, para cumplir con un rango aceptable de recepción, teniendo así un óptimo enlace de envío y recepción de datos dentro del invernadero.

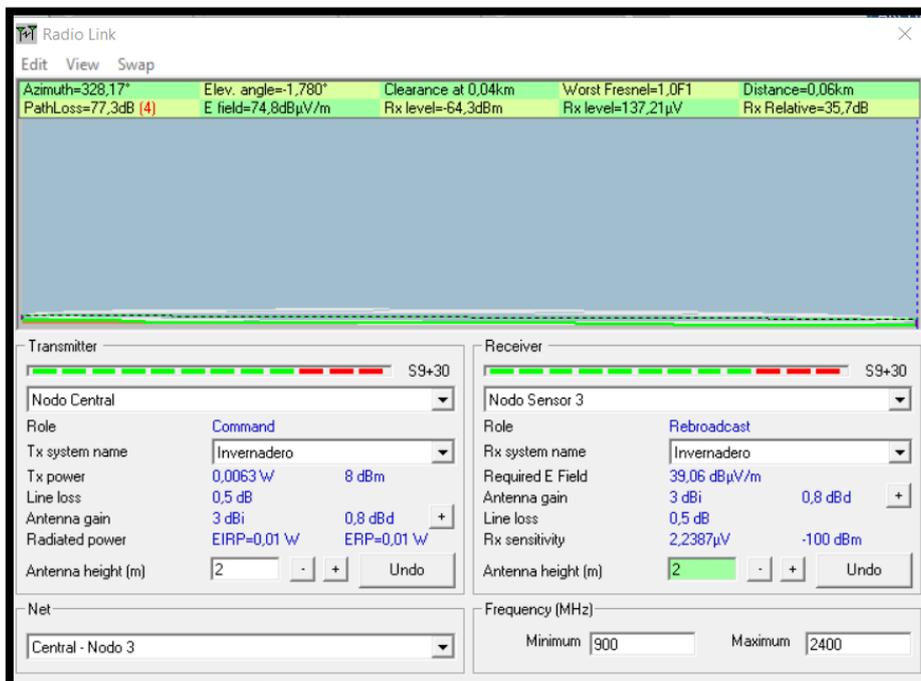


Figura 42. Enlace entre Nodo Central y Nodo Sensor 3
Fuente: Diseño de la WSN en Radio Mobile

Se exportó hacia Google Earth para ver la ubicación real de los nodos sensores como se observa en la Figura 43.

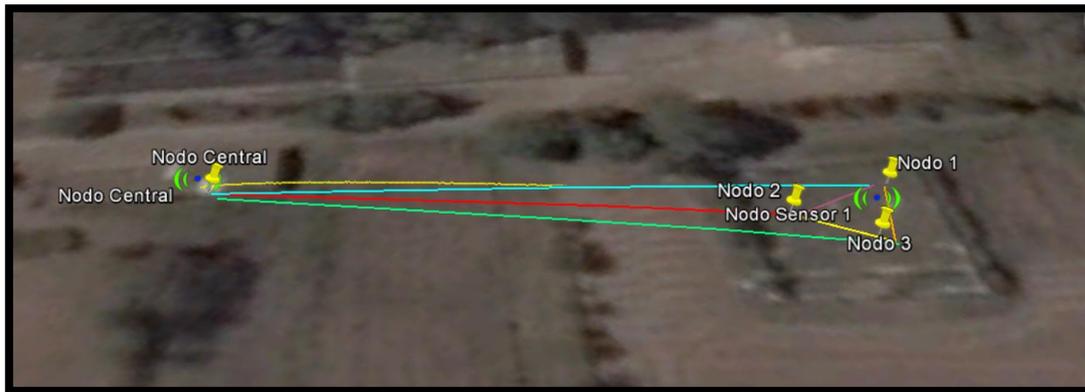


Figura 43. Exportación a Google Earth de la posición de cada uno de los nodos en el actual invernadero de la granja La Pradera.
Fuente: Google Earth

3.6.1. Proceso de respuesta

Dentro del proceso de respuesta se encuentran los actuadores bomba, electroválvula encargados de mantener la variable humedad de suelo, además de generar un alarma mediante un correo electrónico según los datos obtenidos de los nodos sensores, manteniendo los valores de las variables a sensor, dentro del parámetro de referencia propuesto desde la interfaz web.

3.7. DISEÑO DEL SOFTWARE

La programación de las placas de Arduino utilizadas en el presente proyecto es basado en el lenguaje C, siendo propietario del IDE de Arduino. La recolección de datos y envío hacia el nodo central se lo realiza por medio de los Arduino Mini-Pro, y el almacenamiento de los mismos en el nodo central con la ayuda del Arduino UNO, adaptándose a un Shield Ethernet para el despacho hacia internet y almacenamiento en la nube.

3.7.1. Diagramas de flujo

El proceso de desarrollo del software requiere de la descripción de cada uno de los pasos previamente realizados para culminar con el trabajo que cumplen los nodos con la ayuda de diagramas de flujo, que permiten el mejor entendimiento del transcurso de las tareas.

3.7.1.1. Diagrama de flujo Nodos Sensores

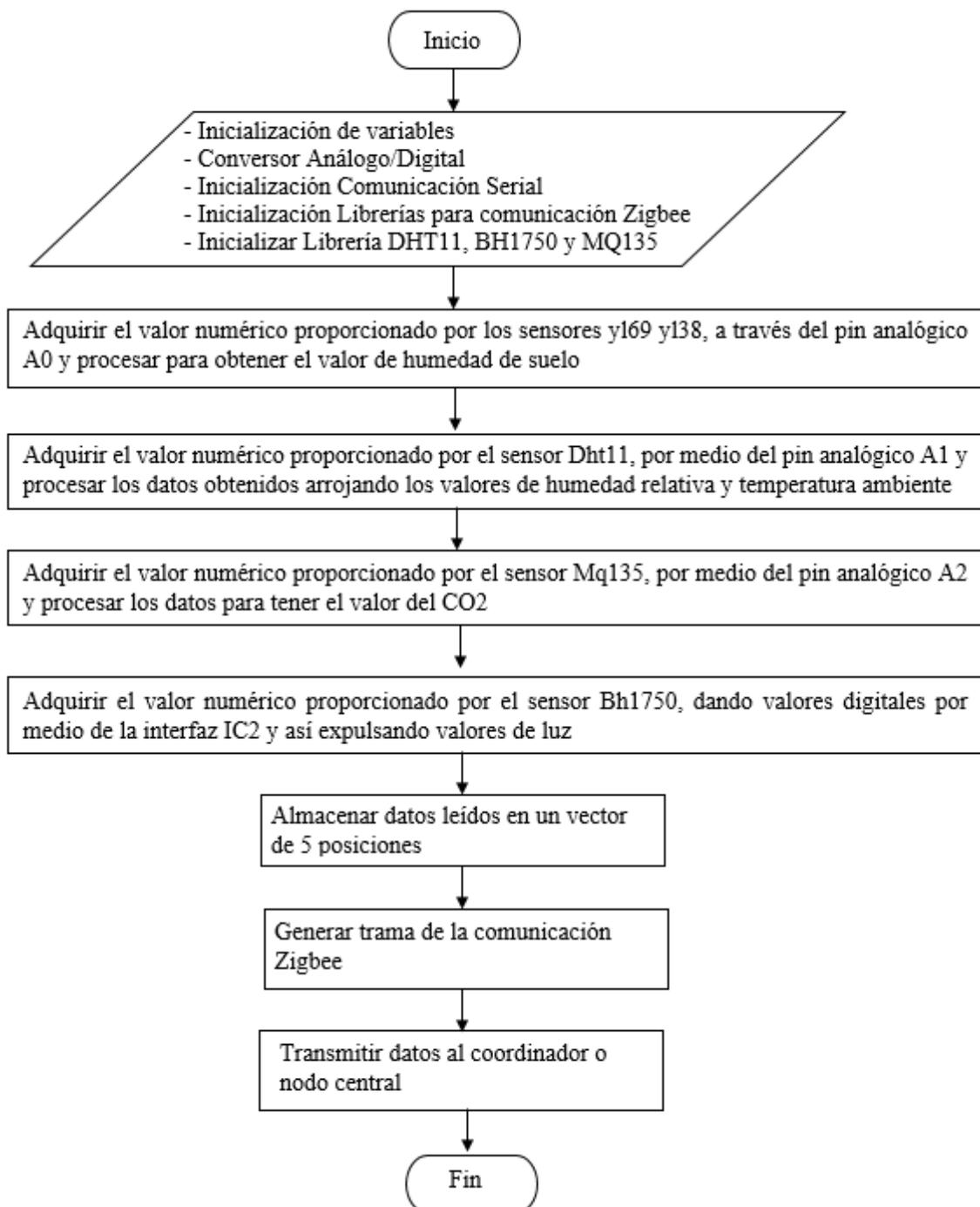


Figura 44. Diagrama de Flujo Nodos Sensores

Fuente: Elaborado por el Autor

3.7.1.2. Diagrama de flujo Nodo Central

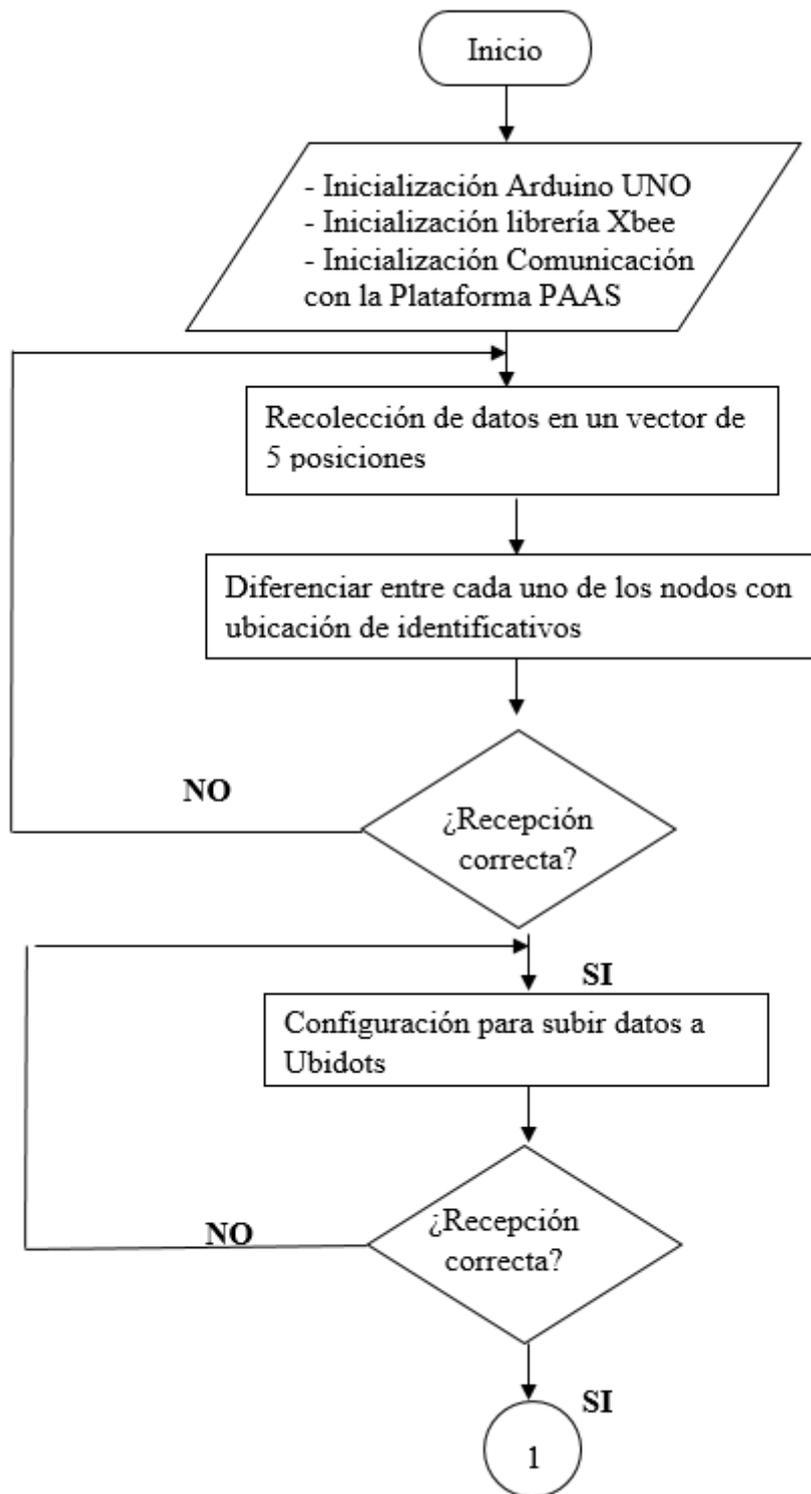


Figura 45. Diagrama de flujo Nodo Central
Fuente: Elaborador por el Autor

3.7.1.3. Diagrama de flujo de la Plataforma PAAS – 1

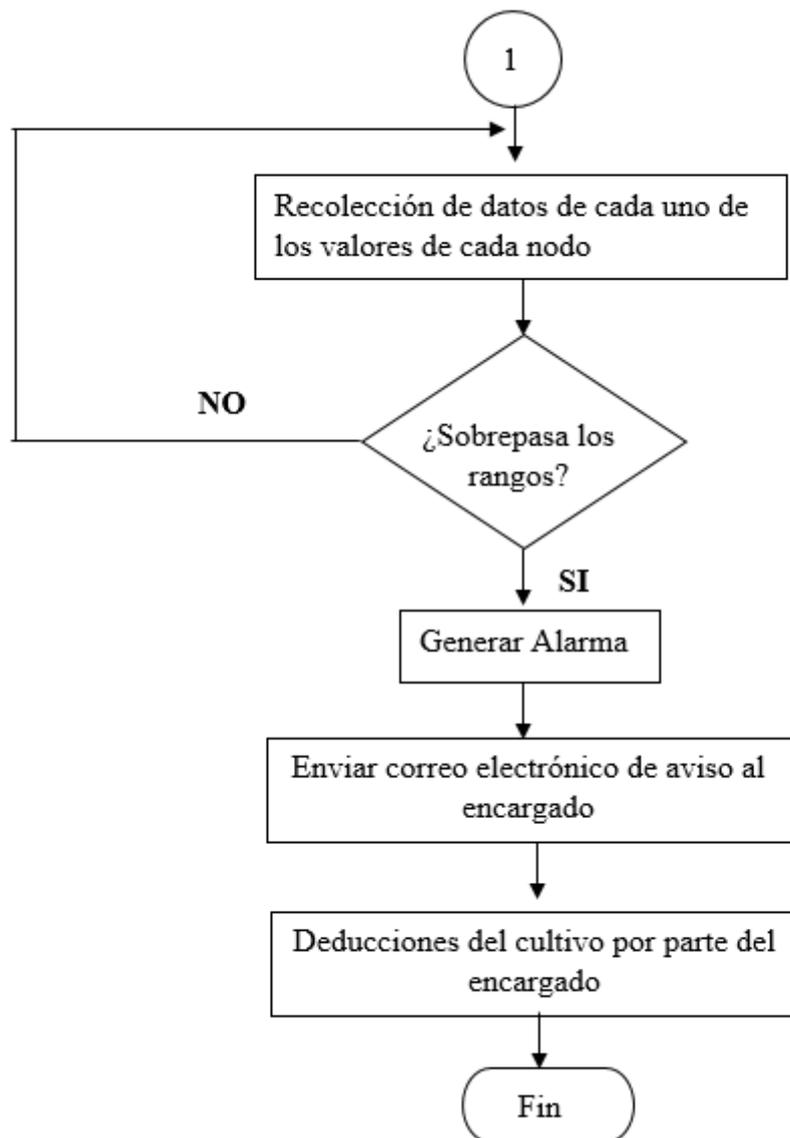


Figura 46. Diagrama de flujo de la Plataforma PAAS
Fuente: Elaborado por el Autor

3.8. PLATAFORMA PaaS

Plataforma como servicio (PaaS) en el presente trabajo da un entorno de desarrollo e implementación completo en la nube, con el recurso de dar una aplicación sencilla basada en la nube para el almacenamiento de información e interpretación de los datos.

3.8.1. Interfaz de monitoreo

La interfaz que permite al usuario observar los datos que son recolectados de los nodos sensores, se tomará en cuenta 3 plataformas de almacenamiento de datos en la nube.

Xibely, Exosite y Ubidots son sitios gratuitos y los cuales permiten administrar datos en tiempo real, permitiendo visualizar la información enviada desde algún dispositivo, en la Tabla 15, se realiza una comparación entre las 3 plataformas para establecer diferencias relevantes y escoger la mejor.

Tabla 15
Comparación Xibely, Exosite y Ubidots

XIVELY	EXOSITE	UBIDOTS
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Formas muy limitadas de visualizar datos, no configurables por el usuario. ➤ Envío de datos consume poca memoria. ➤ Soporte de Arduino. ➤ Variables se declaran en el código. ➤ Ayuda con la conexión de diferentes tipos de servidores en Internet. ➤ Se necesita de extras para creación de alertas 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Formas muy variadas de visualizar los datos. ➤ Envío de datos consume mucha memoria. ➤ Soporte de Arduino. ➤ Variables se declaran en código y en la plataforma. ➤ Únicamente puede conectarse con un servidor de correo electrónico. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Pocas líneas de código en cada dispositivo. ➤ Seguridad de los datos. ➤ Ahorro de tiempo y dinero. ➤ Soporte de Arduino. ➤ Formas variadas de visualizar los datos. ➤ Varias formas de crear alertas de aviso. ➤ Realizar prototipos y aplicaciones 100% funcionales. ➤ Variables se declaran en el código. ➤ Generar un ejemplo de aplicación con HTML5, para poder modificar el entorno gráfico de la aplicación.

Fuente: Características de cada plataforma

Para el proyecto se adoptó utilizar la plataforma Ubidots, por su facilidad al crear una línea de código en cada dispositivo, además de sus varias formas de mandar alertas sin necesidad de aplicaciones extras.

3.8.2. Visualización

Para lograr el monitoreo por parte de la o las personas encargadas del invernadero, Ubidots será la plataforma que ayude a este presente trabajo, como primer paso se debe crear una cuenta ingresando a su página oficial <https://ubidots.com>, dando un clic en SIGN UP como se indica en la Figura 47.

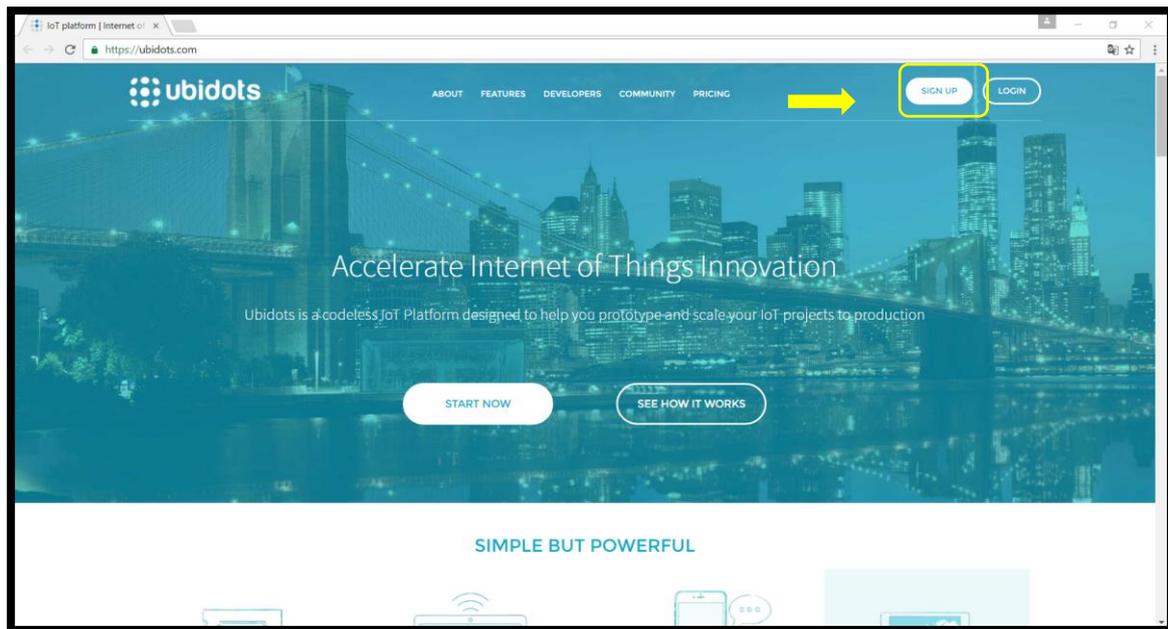


Figura 47. Captura de pantalla de página principal de Ubidots.
Fuente: (ubidots, 2016)

En la pantalla de registro, introducir los datos previos para la creación de la cuenta, como un nombre de usuario, un correo y una contraseña como se observa en la Figura 48. Se creó una cuenta de correo exclusivo para el presente trabajo.

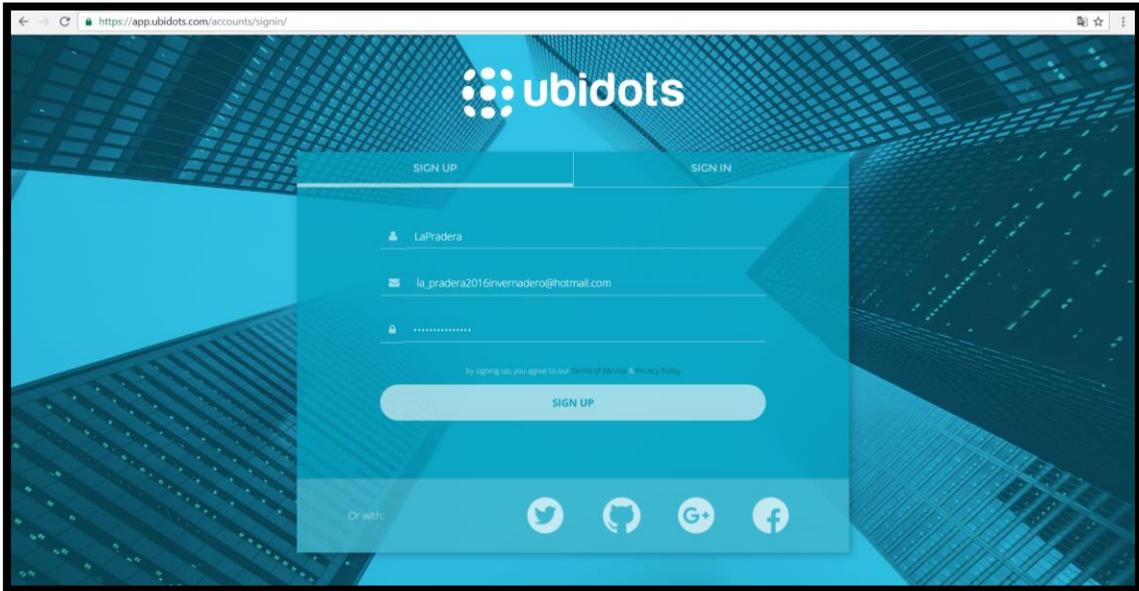


Figura 48. Captura de pantalla de la creación de una cuenta.
Fuente: (ubidots, 2016)

Al crear la cuenta, se enviará un mensaje a la cuenta de correo de bienvenida a la plataforma como se encuentra en la Figura 49.

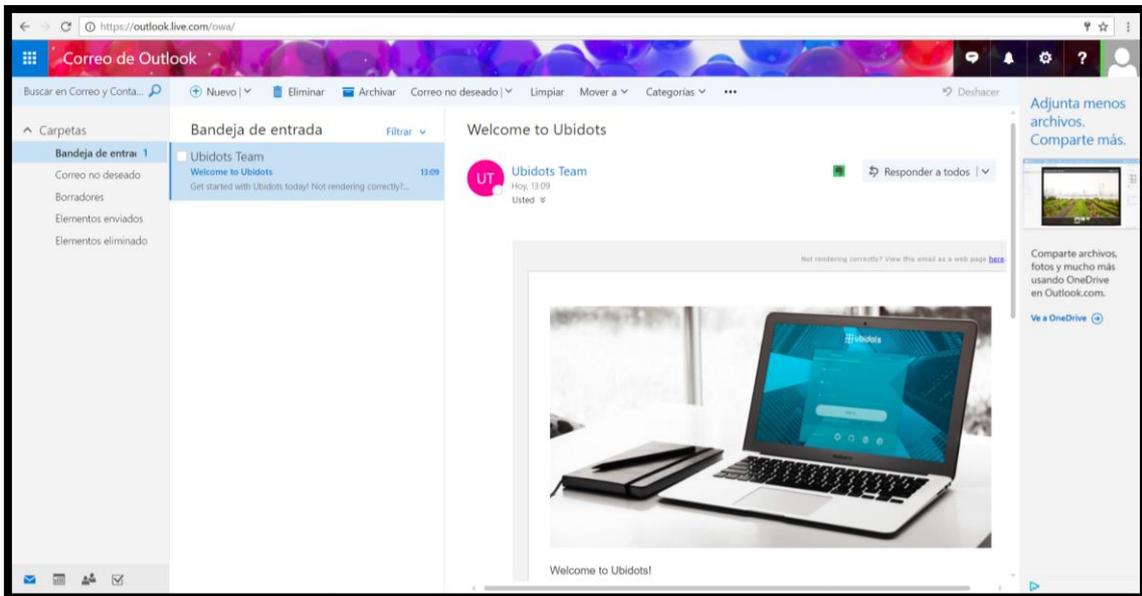


Figura 49. Captura de pantalla de la confirmación de cuenta en el correo que se ubicó en su creación.
Fuente: (ubidots, 2016)

Al ingresar a la página inicial de la plataforma de Ubidots, se muestra algunas opciones de configuración, para crear la plantilla que almacena los datos de cada sensor, se da clic en Sources para tener nuestra primera fuente de información. Como se muestra en la Figura 50,

se encuentra un ejemplo para una mejor guía; como siguiente paso se da clic en Add Data Source para establecer los datos de nodos sensores a ser creados.

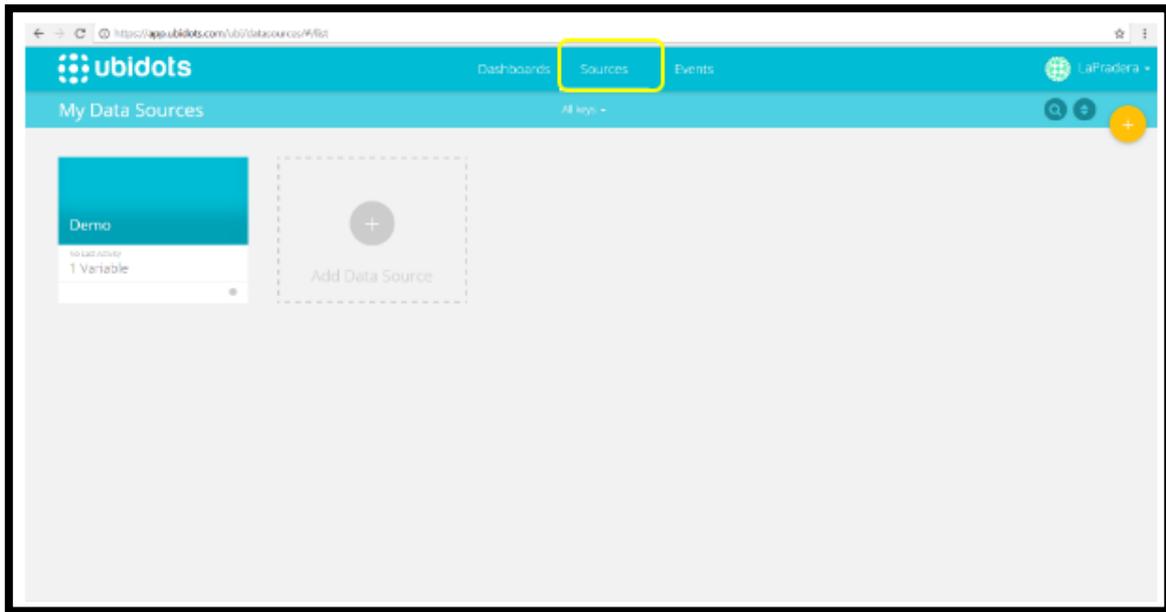


Figura 50. Captura de pantalla de la creación de un nuevo Data Source
Fuente: (ubidots, 2016)

Una vez creado el nuevo Data Source con el nombre de Nodo 1, se verá más detalles y la posibilidad de crear las variables de cada nodo sensor. Para añadir una variable se ubica en Add Variable como se indica en la Figura 51.

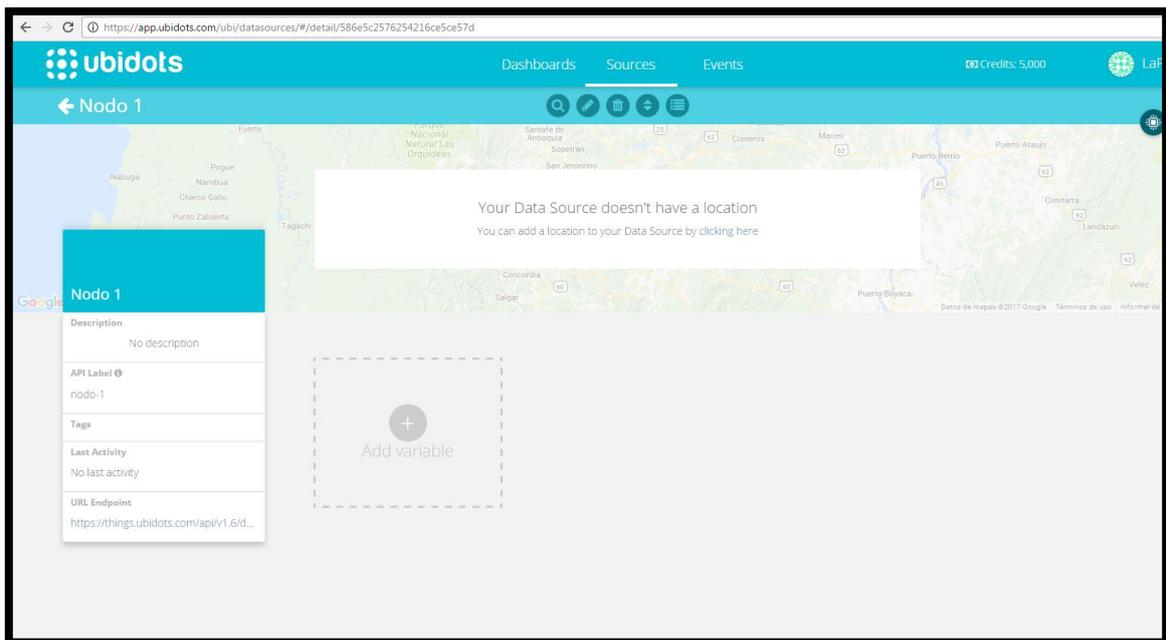


Figura 51. Captura de pantalla de la creación de variables
Fuente: (ubidots, 2016)

Cada variable creada dentro de un DataSource nuevo, posee un ID identificativo del elemento con que se desea trabajar, en el caso la variable ha sido llamada Sensor 1, correspondiente a la medición de humedad de suelo.

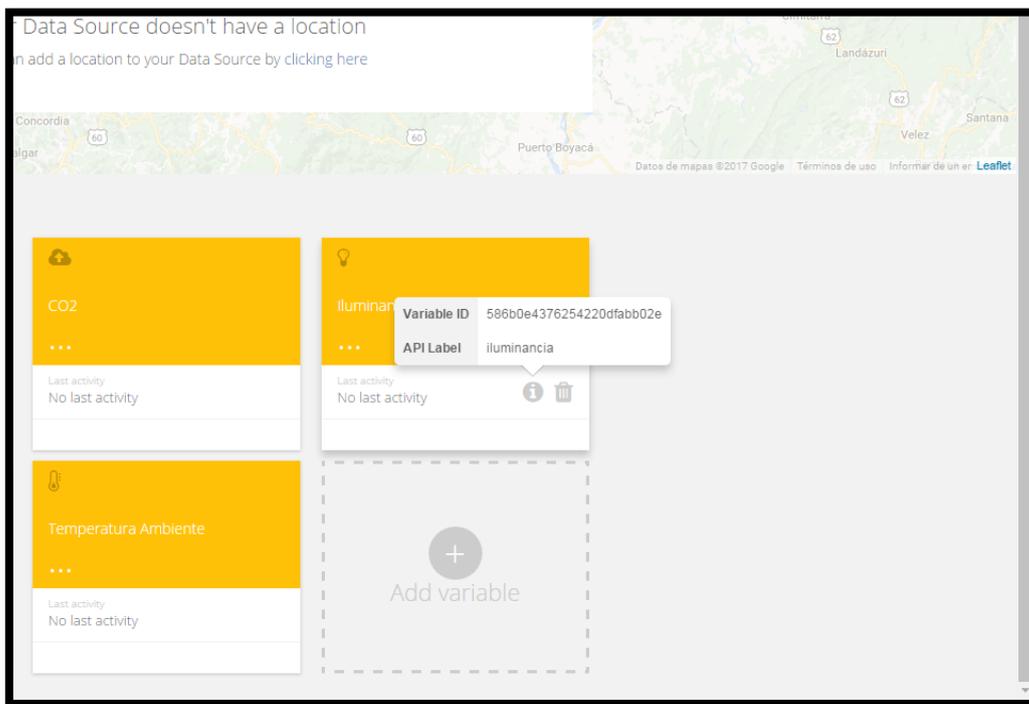


Figura 52. Captura de pantalla de la identificación de la variable con un ID
Fuente: (ubidots, 2016)

La creación de un Token de autenticación se hace necesario ya que funciona como una contraseña para que asegure la comunicación con la plataforma de Ubidots. Se ingresa a My Profile como se indica en la Figura 53.

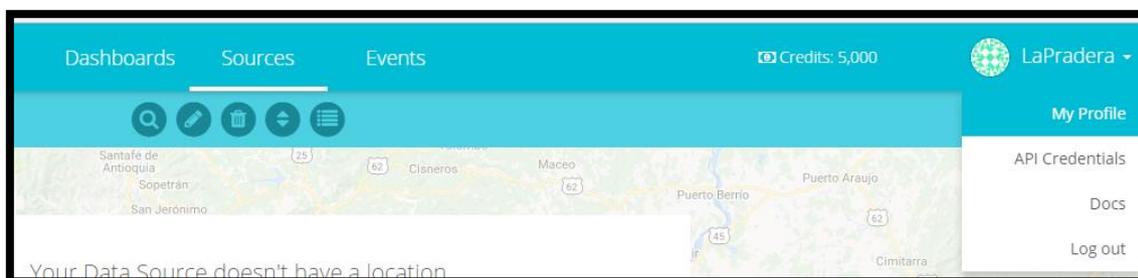


Figura 53. Captura de pantalla del ingreso a My Profile
Fuente: (ubidots, 2016)

En la Figura 54, se observan algunas pestañas, se procede a dar clic en API Keys para obtener la contraseña del Token.

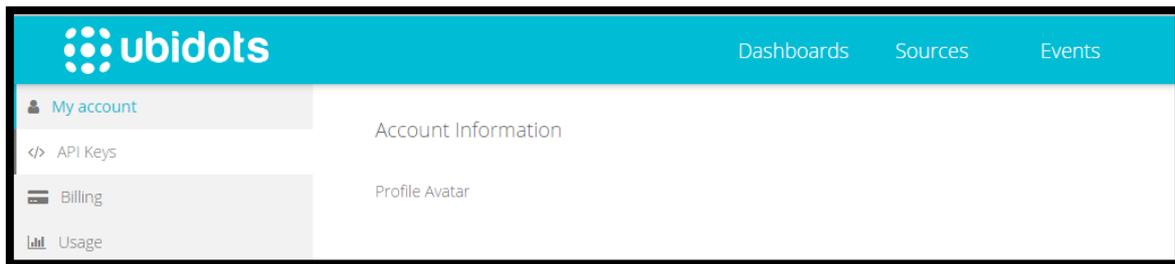


Figura 54. Captura de pantalla de la página inicial de la plataforma API Keys
Fuente: (ubidots, 2016)

En la Figura 55 se observa un API key y un Token, la primera no se necesita en el caso, ya que es una llave principal única por cada cuenta, mientras que los Tokens son llaves temporales que se generan depende de lo que el usuario desee.

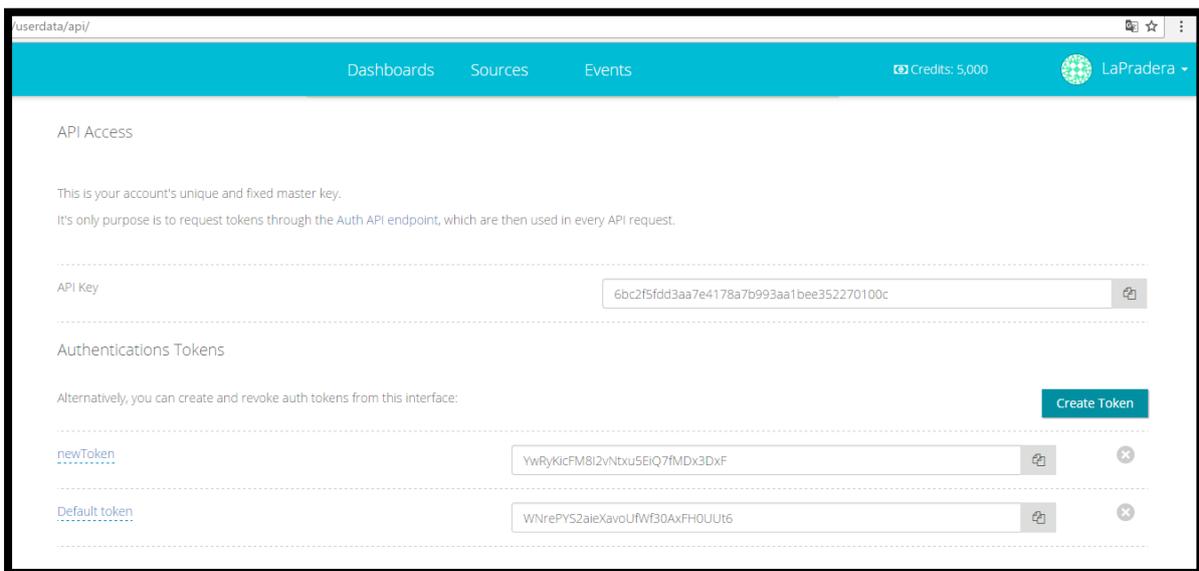


Figura 55. Captura de pantalla de la creación de un Token
Fuente: (ubidots, 2016)

Ahora con la ID de la variable y la contraseña creada por el Token, está listo para enviarse datos Ubidots, el software que permite la comunicación será Arduino IDE, con la ayuda de las librerías previamente descargadas se creará un programa que permita enviar a la nube todos los datos de cada sensor.

```
#include <Ethernet.h>
#include <SPI.h>
#include <UbidotsEthernet.h>
#define ID "Your_variable_ID_here" // Put here your Ubidots variable ID
#define ID2 "Your_variable_ID2_here"
#define ID3 "Your_variable_ID3_here"
#define ID4 "Your_variable_ID4_here"
#define TOKEN "Your_token_here" // Put here your Ubidots TOKEN

// Enter a MAC address for your controller below.
// Newer Ethernet shields have a MAC address printed on a sticker on the shield
byte mac[] = { 0xDE, 0xAD, 0xBE, 0xEF, 0xFE, 0xED };
// Set the static IP address to use if the DHCP fails to assign
IPAddress ip(192, 168, 0, 177);

Ubidots client(TOKEN);

void setup(){
  Serial.begin(9600);
  // start the Ethernet connection:
  if (Ethernet.begin(mac) == 0) {
    Serial.println("Failed to configure Ethernet using DHCP");
    // try to configure using IP address instead of DHCP:
    Ethernet.begin(mac, ip);
  }
  // give the Ethernet shield a second to initialize:
  delay(1000);
}

void loop(){
  float value = analogRead(A0);
  float value2 = analogRead(A1);
  float value3 = analogRead(A2);
  float value4 = analogRead(A3);
  client.add(ID, value);
  client.add(ID2, value2);
  client.add(ID3, value3);
  client.add(ID4, value4);
  client.sendAll();
}
```

Figura 56. Captura de pantalla del código de envío de datos a ubidots
Fuente: (ubidots, 2016)

Una vez realizada la recepción del dato, se visualiza en la plataforma de Ubidots como se muestra en la Figura 57.

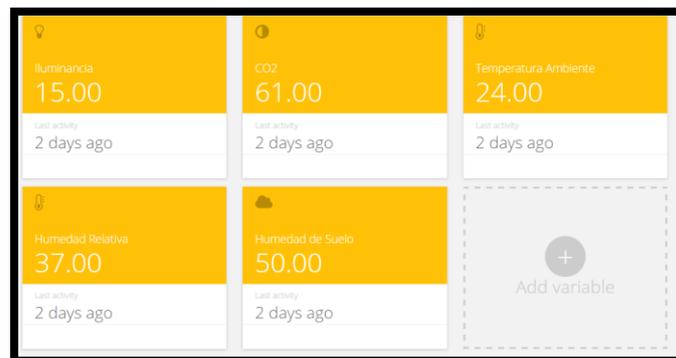


Figura 57. Captura de pantalla de la visualización de datos en la plataforma Ubidots
Fuente: (ubidots, 2016)

3.8.3. Creación de Alertas

Una gran ventaja que posee la plataforma Ubidots aparte de almacenar información en la nube, es permitir crear alarmas dependiendo de los valores que proveen los sensores. Ubidots genera envío de Emails y SMS a cualquier lugar.

Para la creación de estas alarmas se dirige a la sección de Events y se genera un clic en Add event como se indica en la Figura 58.

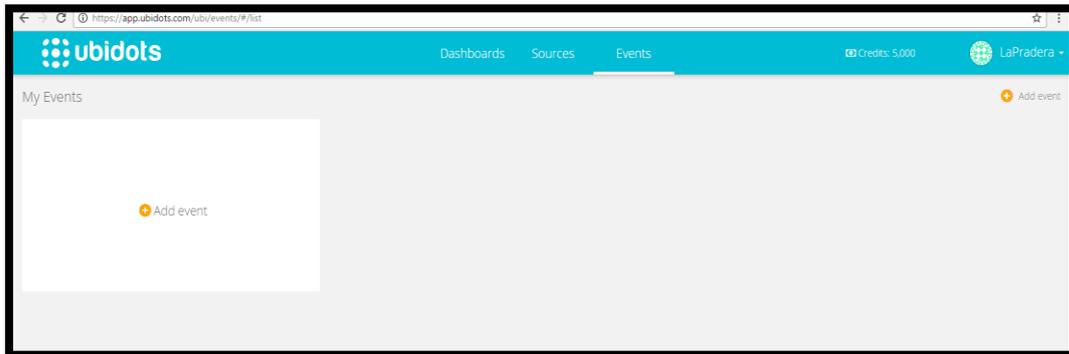


Figura 58. Captura de pantalla de la creación de un evento para generar una alarma
Fuente: (ubidots, 2016)

La pantalla que se muestra se debe escoger cuál de los DataSource creados se necesita generar la alarma, la variable a la que quiere monitorear, y una ecuación para permitir el rango de los valores para dar la alerta, como se puede ver en la Figura 59.

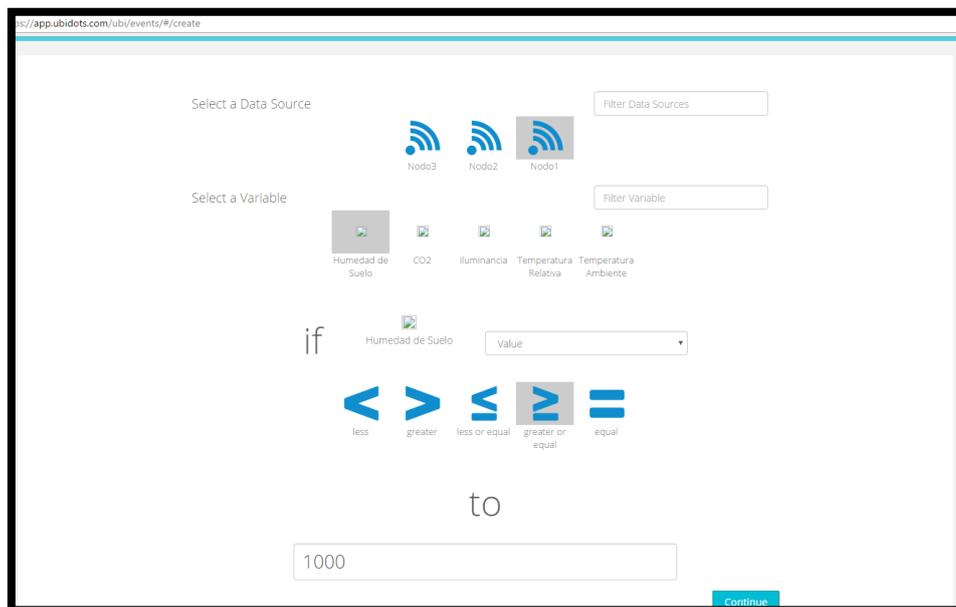


Figura 59. Captura de pantalla de los parámetros de alerta.
Fuente: (ubidots, 2016)

Al ubicar los parámetros de la configuración de las alertas, se da un clic en continuar para mostrar en la Figura 60, a donde mandar la alerta y con qué mensaje debe llegar. En el presente caso se dará un aviso a la cuenta de correo propia del invernadero.



Figura 60. Captura de pantalla de la ubicación del correo y Mensaje de aviso.
Fuente: (ubidots, 2016)

Los eventos creados se mostrarán en la sección de eventos, como se puede observar en la Figura 61.

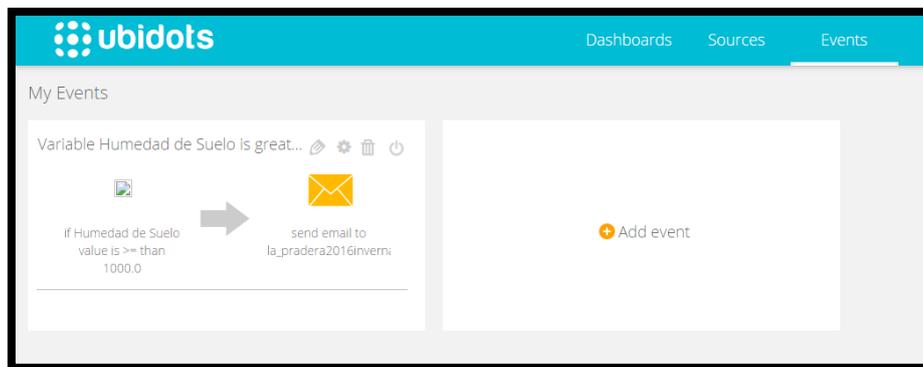


Figura 61. Captura de pantalla de la alerta creada.
Fuente: (ubidots, 2016)

3.9. METODOLOGÍA DE COMPARACIÓN DEL RIEGO

Un método de comparación consiste en ubicar dos o más procesos, para mostrar a la persona interesada en el tema las características básicas, similitudes y diferencias, obteniendo al final del estudio, conclusiones que le permitan tomar decisiones de cuál será el mejor camino a recorrer, o mejorar alguno de los ya planteados.

Para deducir cual será el mejor método de riego a dar a un cultivo de hortalizas dentro de un invernadero se hizo pruebas de 3 metodologías de riego, donde con el pasar de los días se logró analizar el comportamiento del cultivo, a continuación una tabla resumen de los métodos utilizados.

Para realizar el proceso de comparación de cada riego, se observó durante un tiempo estimado de 15 minutos por 7 días, tomando los datos que arrojaban cada uno de los sensores y almacenándolos en Xampp, que es en un sistema de gestión de bases de datos MySQL, donde se descargaba hacia Excel todos los datos obtenidos de la medición. La Tabla 16 muestra las conclusiones adquiridas del trabajo de campo.

Tabla 16
Comparación de Riego

Método de Riego	Cantidad de plantas	Cantidad de Agua	Rango de días	de	Comportamiento
Riego con Manguera	5	4 litros	Cada días	4	A los 4 días las plantas pasaban de húmedo a seco y se volvía a proveer la misma cantidad de agua. Las plantas crecían pero sin la forma correcta, lograron su maduración muy rápido y su deterioro.
Riego por Goteo	5	3 litros	Cada días	4	Al segundo surco se distribuyó el agua con riego por goteo, la cantidad de agua era menor durante 15 minutos que se lograba conseguir el porcentaje de húmedo a la planta, el ahorro del agua era alrededor de un litro y su distribución era cada similar a la de manguera, pero la ventaja era el ahorro del agua, el crecimiento y la calidad de las hojas y tallos era muy agradable a la vista.
Sin riego	5	0 litros	7 días	sin riego	El tercer surco no se le dio agua por 7 días para lograr analizar su comportamiento, se observó que su crecimiento no era el adecuado o normal para una planta de su tipo, su calidad de hojas y tallos se observaban deteriorados y frágiles, el color de sus hojas era opaco, por lo tanto no cumplía con su desarrollo óptimo vital.

Fuente: Elaborado por el Autor

CAPITULO IV

IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS

En este capítulo se detalla todo el proceso y pasos a seguir para implementar todo el hardware, realizando las pruebas con la red WSN, logrando subir los datos a la nube y verificar el correcto funcionamiento de todo el diseño.

4.1. PRUEBAS DE SENSADO

4.1.1. Pruebas en invernadero de Granja La Pradera

El invernadero que se encuentra en la granja La Pradera ubicada en la parroquia rural de Chaltura, tiene una extensión de 323 m² cultivado con tomate.

Como se investigó en el fundamento teórico se debe cumplir con los valores óptimos del cultivo de hortalizas bajo un invernadero siendo estos los siguientes:

- Humedad Relativa: 55% a 70%
- Temperatura Ambiente: 15°C a 25°C
- Cantidad de CO₂: 800ppm a 1000ppm
- Luminosidad: 10000 a 40000 lx
- Humedad de Suelo: 0 – 30 seco, 31 a 70 húmedo, 71 a 100 agua.



Figura 62. Invernadero de tomate riñón de la granja La Pradera
Fuente: Elaborado por el Autor

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

- Sensor de humedad: Este tipo de sensor se calibró de manera que la referencia se realizó con un vaso de agua para representar al 100% de humedad y una porción de tierra seca para indicar un valor de 0%, se usó el porcentaje ya que es la unidad mayormente usada para medir la cantidad de agua contenida en el suelo.
- Humedad Relativa y Temperatura Ambiente: Los sensores de este tipo se programaron de tal manera con la librería del sensor DHT11 que ya viene con los valores predeterminados para su sensado.
- Luminosidad y CO2: Los sensores q miden lux y cantidad de CO2 respectivamente, al igual que el DHT11 poseen librerías con las que se puede basar la medición de cada uno

4.1.1.1. Lectura del sensado

Los sensores correctamente calibrados recolectan los datos de cada parámetro a monitorear, los módulos xbee permite la comunicación con el nodo central, el cual se encarga de subir a la plataforma de ubidots y almacenar la información adquirida, las figuras puestas a continuación se observa los datos de las medidas monitoreadas incluyendo fecha y hora.

Date	Value
2017-01-14 15:12:40 -0500	22
2017-01-14 15:12:19 -0500	16
2017-01-14 15:11:59 -0500	14
2017-01-14 15:11:38 -0500	60

Figura 63. Datos de la variable Iluminancia
Fuente: Elaborado por el Autor

Date	Value
2017-01-14 15:12:40 -0500	66
2017-01-14 15:12:19 -0500	66
2017-01-14 15:11:59 -0500	69
2017-01-14 15:11:38 -0500	74

Figura 64. Datos de la variable CO2
Fuente: Elaborado por el Autor

Date	Value
2017-01-14 15:12:40 -0500	25
2017-01-14 15:12:19 -0500	24
2017-01-14 15:11:59 -0500	24
2017-01-14 15:11:38 -0500	23

Figura 65. Datos de la variable Temperatura Ambiente
Fuente: Elaborado por el Autor

Date	Value
2017-01-14 15:12:40 -0500	46
2017-01-14 15:12:19 -0500	47
2017-01-14 15:11:59 -0500	47
2017-01-14 15:11:38 -0500	48

Figura 66. Datos de la variable Humedad Relativa
Fuente: Elaborado por el Autor

Date	Value
2017-01-14 15:12:40 -0500	1
2017-01-14 15:12:19 -0500	1
2017-01-14 15:11:59 -0500	1
2017-01-14 15:11:38 -0500	1

Figura 67. Datos de la variable Humedad de Suelo
Fuente: Elaborado por el Autor

4.1.2. Alarmas

El proyecto tendrá una alarma externa que se pone a prueba por la configuración realizada en la plataforma de ubidots, la variable a ocasionar esta alarma es humedad de suelo, siendo la principal para proveer el riego por goteo previamente escogido. Cuando el valor de la humedad sea igual o menor al 30% se genera un envío de email a la cuenta de correo creada únicamente para el proyecto del invernadero, en la Figura 68 se muestra como llega el mensaje al mail de alerta se su valor está en el umbral limite.

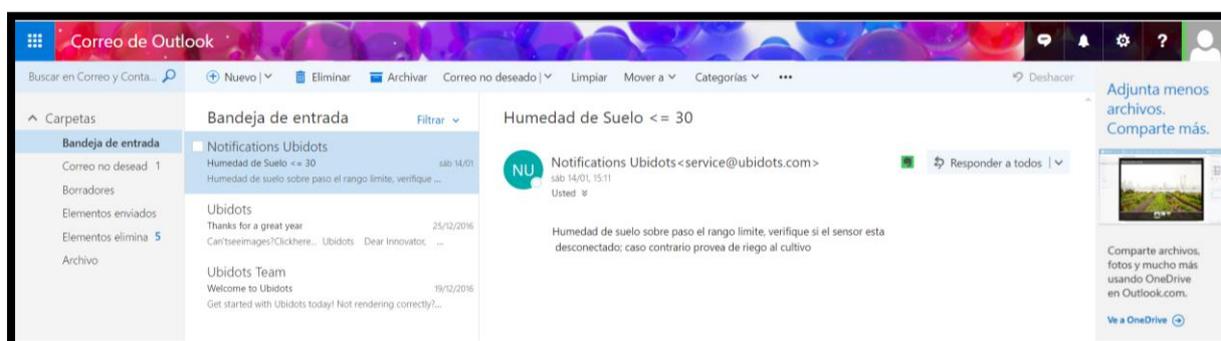


Figura 68. Alerta a la cuenta de correo cuando ha sobrepasado el umbral de humedad.
Fuente: Elaborado por el Autor

4.2. INSTALACIÓN DE LA RED DE SENSORES

Al terminar el ensamblado de cada módulo sensor, lo siguiente es instalar todo el sistema con sus cases como protecciones de las placas y las bases respectivas.

4.2.1. Instalación Nodos Sensores

Los tres módulos sensores se ubicaron cada uno en partes estratégicas para lograr cubrir toda el área del terreno, los nodos han sido cubiertos por cases hechos en acrílico resistente, sobrepuestos en bases hechas de madera se encuentran 2 metros sobre el suelo como se observó en la simulación para lograr mejor recepción de datos y evitar tener contacto directo con el suelo; además que cada planta de tomate llego a la altura de 1m con 70cm, será la estatura apropiada para recolectar los datos.

- Ubicación Nodo Sensor 1: En la Figura 69 se observa una recopilación de distintos algunos del case que guarda a los elementos del nodo 1, además de la alimentación que se trata de una batería de litio y de su respectivo panel solar para cargarlo cuando se acabe el tiempo de duración; incluyendo la foto de la base que sostiene al nodo.



Figura 69. Instalación Nodo Sensor 1
Fuente: Elaborado por el Autor

- Ubicación Nodo Sensor 2: En la Figura 70 al igual que el nodo sensor 1 se observa una recopilación de distintos algunos del case que guarda a los elementos del nodo 2, además de la alimentación que se trata de una batería de litio y de su respectivo panel solar para cargarlo cuando se acabe el tiempo de duración; incluyendo la foto de la base que sostiene al nodo.



Figura 70. Instalación Nodo Sensor 2
Fuente: Elaborado por el Autor

- Ubicación Nodo Sensor 3: Su descripción es similar a la del nodo sensor 1 y 2, se observa en la Figura 71.



Figura 71. Instalación Nodo Sensor 3
Fuente: Elaborado por el Autor

4.2.2. Nodo Central

El módulo central se ubicó en la residencia de los estudiantes donde se encuentra el cuarto de telecomunicaciones, con un case de protección donde tendrá agujeros para la entrada de adaptador de alimentación y del cable Ethernet a conectar al router inalámbrico que provee el internet a la granja.

El módulo se encuentra muy cerca al rack donde está el router que provee el internet a la granja. La computadora del administrador le permite observar el monitoreo de los datos

recolectados de los nodos sensores que se alberga en la nube por medio de la ayuda de la plataforma de Ubidots.



Figura 72. Instalación Nodo central
Fuente: Elaborado por el Autor

4.3. PRUEBAS PREVIAS A LA INSTALACIÓN DEL RIEGO POR GOTEO EN AMBIENTES DIFERENTES.

Para evaluar el objetivo de lograr optimizar el recurso del riego en un cultivo de hortalizas, se realizaron pruebas previas a la instalación del proyecto en distintos ambientes para lograr obtener diferentes comportamientos de las plantas y sacar conclusiones al respecto.

4.3.1. Aplicación de agua con ayuda de riego con manguera

La primera prueba de distribución de riego se dio con la utilización de una manguera que por 5 minutos se lograba una base de 4 litros en la cantidad de plantas ubicadas en un surco. Logrando de manera visual alcanzar que el cultivo reciba la humedad adecuada. La Figura 73 y 74 muestra la manguera y la base en litros.



Figura 73. Manguera para la distribución de riego
Fuente: Elaborado por el Autor



Figura 74. Base de agua en litros
Fuente: Elaborado por el Autor

El primer surco donde se suministró agua con la ayuda de una manguera, su ubicación era muy accesible a la vista de la luz solar, sus temperaturas llegaron a 30 grados centígrados en un horario de 10am. Al no ser la temperatura adecuada el cultivo no formo el repollo, tomando un aspecto nada similar al normal como se observa en la Figura 75.



Figura 75. Deformación de la forma de la planta
Fuente: Elaborado por el Autor

- ✓ En el primer surco su distribución de agua se lo realizó con la ayuda de una manguera, y en horarios de 10am, 4pm y 7pm del día, logrando así obtener distintos tipos de datos al respecto de cada uno de los agentes monitoreados. Con respecto a la temperatura se obtuvo en el primer horario rangos hasta 30 grados Centígrados, teniendo como humedad relativa en 24%, la luz se encontraba en 18000 lx, CO2 en 200ppm y su humedad de suelo estaba dentro del porcentaje óptimo.

Con el pasar de la tarde se observaba que su temperatura, luz, CO2 bajaban los rangos y su humedad relativa subía, por consecuencia daba que la humedad del suelo es cada vez más alta. Logrando así recuperar todo la humedad pérdida por la luz solar ser recuperada en la noche ayudándose de los cambios de los demás parámetros.

4.3.2. Negación de agua

La segunda dosis de aplicación de agua al cultivo fue de negar del líquido vital de 7 días para observar el comportamiento. Las plantas dejaron de desarrollar follaje cayendo en el

denominado estrés hídrico, dando como consecuencias que la raíz se malogre secándose, que las hojas pierdan el color natural, entre otros como se puede observar en la Figura 76.



Figura 76. Consecuencias de falta de agua
Fuente: Elaborado por el Autor

- ✓ En el surco que no se dio agua por 7 días, tenía un caso particular que la cantidad de luz era muy poca ya que se encontraba en un lugar difícil de llegar, tanto que logró soportar dichos días sin agua teniendo un rango de humedad de suelo dentro del rango de humedad óptima, su temperatura se mantenía entre los 22 grados centígrados durante todo el día y por la noche era menor, su humedad relativa era muy alta y su cantidad de CO₂ similar a los demás surcos.

4.3.3. Aplicación de agua con sistema de riego por goteo

Con la activación manual del sistema de riego por goteo, se realizó de igual manera el método visual, le determino que se consumió 3 litros por 15 minutos. Se redujo un litro al consumo anterior que fue con el uso de la manguera.

Con este método de aplicación se logró mejoría en la producción del cultivo pero no de la manera esperada, su tiempo de espera de crecimiento fue muy lento y de menor tamaño.



Figura 77. Uso del riego por goteo
Fuente: Elaborado por el Autor

- ✓ El surco fue distribuido por goteo su temperatura se capturo en 26 grados centígrados al encontrarse en el horario de las 10am, pero la cantidad de luz que lograba captar era mucho menor que con el riego por manguera llegaba a 3000 lx, defecto su humedad relativa era mucho mayor llegando a 30%, su cantidad de CO₂ llegaba a 600ppm y su humedad de suelo era muy parecida al primer surco.
Por la noche se capturó datos y su temperatura a 19 grados centígrados, teniendo una cantidad de luz totalmente nula, una humedad relativa de 55% y como consecuencia una humedad de suelo como si hubiera sido suministrada en ese momento del líquido vital.

4.3.4. Aplicación de agua con el proyecto propuesto

El método aplicando todo el proyecto de control y monitoreo en el cultivo de lechuga para posteriormente hacerlo en el invernadero de tomates usando la red WSN.

Se comprobó el uso del agua aplicando al cultivo de lechuga los 3 litros por 15 minutos para lograr cubrir que el suelo se encuentre húmedo.

De igual manera en el caso del sistema automático no se activa debido a que se registra una excesiva humedad impidiendo que la electroválvula comience a funcionar. El sistema se

activara cuando la cantidad de humedad sobrepase su rango óptimo para el cultivo con las previas alertas.

En la Figura 78, se observa como con el adecuado suministro de líquido vital sin existir desperdicio la planta tiene un follaje normal, su repollo se está formando normalmente, su color es verdosa brillante.



Figura 78. Lechuga con el suministro correcto
Fuente: Elaborado por el Autor

En la Granja La Pradera se realizó las pruebas con el cultivo de tomate y se observó que su comportamiento fue como en los otros cultivos previamente realizados, la aplicación del líquido fue por una hora hasta lograr que los 20 centímetros que conforma la raíz se encuentre húmedos, con un total de 30 litros.

El sistema permite cumplir con la optimización del recurso del agua, economizando su utilización y mejorando su producción, obteniendo frutos de calidad con peso óptimo y sus flores cumpliendo con sus características descritas en el fundamento.



Figura 79. Frutos del cultivo
Fuente: Elaborado por el Autor



Figura 80. Flores del cultivo
Fuente: Elaborado por el Autor

4.4. INSTALACIÓN DE RIEGO POR GOTEO

4.4.1. Materiales para la instalación

- Suministro de agua.
- Un regulador de presión: Es muy útil conectarlo a la salida grifo para que disminuya la presión a la que sale el agua del grifo (la presión que necesitan los goteros es menor, así se protege la instalación).

- Red de distribución: tuberías con goteros integrados o un conjunto de tubos sin goteros en los que realizaremos orificios donde sea necesario.
- Piezas auxiliares como llaves, codos para unir los tubos en curvas o ángulos, etc.

4.4.2. Instalación

El regulador de presión de agua como se describió permite disminuir la presión para lograr suministrar agua con el método de riego por goteo, se ubica en grifo o toma de agua como indica la Figura 81.



Figura 81. Grifo con electroválvula
Fuente: Elaborado por el Autor

La red de distribución de lo realiza con manguera PVC por donde el agua se dirige a cada una de las plantas de tomate, se hace el uso de codos para las curvaturas como se indica en la Figura 82.



Figura 82. Red de distribución de agua
Fuente: Elaborado por el Autor



Figura 83. Mangueras de agua de riego
Fuente: Elaborado por el Autor

La ubicación de cada electroválvula fue en cada sector que se encuentran ubicados los nodos sensores como se indica en la Figura 84.

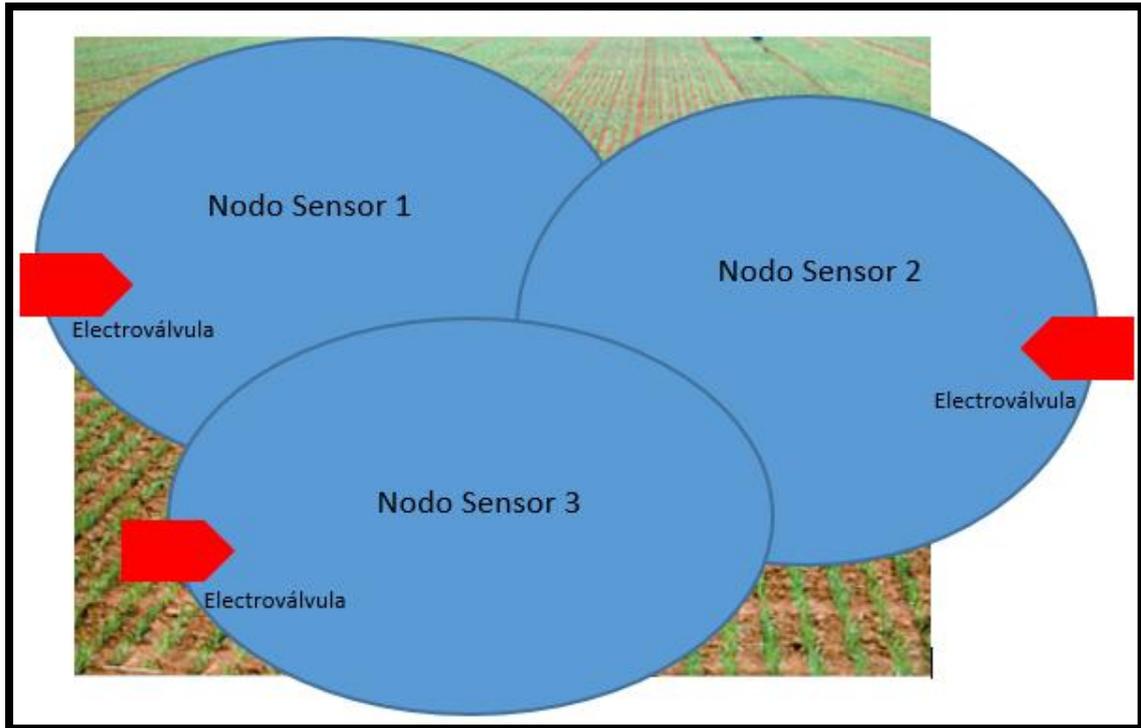


Figura 84. Ubicación de cada electroválvula en el sector de cada nodo sensor.
Fuente: Elaborado por el Autor

CAPÍTULO V

ANÁLISIS COSTO BENEFICIO

El capítulo trata ver que tan viable es el proyecto con la ayuda de un análisis costo – beneficio, ubicando los distintos materiales de la red WSN, el riego por goteo y su costo respectivo; teniendo un presupuesto referencial del montaje del diseño y su beneficio respecto al capital gastado. Además se tiene las conclusiones y recomendaciones respectivas de todo el trabajo realizado.

5.1. ANÁLISIS COSTO BENEFICIO DE LA PROPUESTA

El análisis costo – beneficio es una técnica que se utiliza para comparar los costos totales de un proyecto a punto del beneficio que se pueda tener, con el fin de obtener el mejor enfoque y aprovechar las oportunidades del negocio.

El presente proyecto se desarrolla en consideración de gastos involucrados con la implementación del prototipo, incluyendo los gastos de ubicarlo en toda el área previamente estudiada siendo la granja La Pradera, por consiguiente, se procede a detallar el beneficio que se obtendrá para justificar si el proyecto es factible.

5.1.1. Costos

El costo es la cantidad monetaria que se necesita para la creación del proyecto, los grupos a ser analizados en el capítulo son equipos de hardware, software, infraestructura y trabajo de ingeniería.

5.1.1.1. Costo de dispositivos

El costo de elementos empleados para la implementación del sistema de monitoreo y control, interviene todo el hardware que construye la red de sensores, incluyendo los nodos sensores, el nodo central y toda la infraestructura para la ejecución del riego por goteo; además de la alimentación basada en paneles solares.

Tabla 17
Costos de Hardware

Equipos	Cantidad	Precio Unitario (USD)	Subtotal (USD)
Arduino UNO	1	17	17
Arduino Mini Pro	3	7	21
Módulo Xbee S2C	4	60	240
Xbee Shield	1	17	17
Sensor humedad de suelo YL69 – YL38	3	8	24
Sensor de temperatura y humedad relativa DTH11	3	8	24
Sensor de CO2 MQ135	3	14	42
Sensor de iluminancia BH1750	3	10	30
Elementos electrónicos varios	1	30	30
Batería de litio	3	10	30
Panel Solar	3	10	30
Regulador de presión de agua	3	50	150
Red de distribución	1	50	50
TOTAL			705

Fuente: Elaborado por el Autor

5.1.1.2. Costos de Infraestructura

Entre los costos de infraestructura se encuentran el consumo de energía eléctrica por parte del Gateway, los cases y las bases de los nodos sensores y el costo del servicio de internet (el consumo eléctrico y servicio de internet se los excluyen ya que son financiados por la universidad).

Tabla 18
Costos de Infraestructura

Infraestructura	Cantidad	Precio Unitario (USD)	Subtotal (USD)
Case nodos	4	10	40
Soportes de madera	3	10	30
Materiales puntos de energía + instalación	1	15	15
Cables y extras	1	40	40
TOTAL			125

Fuente: Elaborado por el Autor

5.1.1.3. Costos de Ingeniería

En los costos de ingeniería se consideran los honorarios de la persona encargada de todo el diseño del sistema y estudio de campo, el cual es valorado con la dificultad del caso y las condiciones climáticas del lugar donde se ejecutará.

En el presente caso el costo del diseño se lo valora con un costo de 600 dólares mensuales, asumiendo que lo realiza una egresada de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Redes de Comunicación, además de la elaboración de la documentación respectiva.

Tabla 19
Costos de Ingeniería

Ingeniería	Cantidad	Precio Unitario (USD)	Subtotal (USD)
Estudio de campo, diseño y verificación de infraestructura	1	600	600
Documentación	1	250	250
TOTAL			850

Fuente: Elaborado por el Autor

5.1.1.4. Costos de Software

En el análisis el presupuesto del software es de 0.00 USD debido a que los programas utilizados se basan en la Arquitectura Open Source y acceso libre, pero se detallan en la tabla siguiente.

Tabla 20
Costos de Software

Software	Cantidad	Precio Unitario (USD)	Subtotal (USD)
IDE de Arduino	1	0	0
Ubidots	1	0	0
XCTU (Xbee)	1	0	0
TOTAL			0

Fuente: Elaborado por el Autor

5.1.1.5. Costos de Mantenimiento

Costos de Mantenimiento es el precio pagado por concepto de las acciones realizadas para conservar o restaurar un bien o un producto a un estado específico. Detallado en la tabla 21.

Tabla 21
Costos de Mantenimiento

Mantenimiento	Detalle	Subtotal (USD)
Coste de personal	Por hora, 2 veces al mes	50
Coste en repuestos	Vida útil: 4 años	300

Fuente: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/spe.626/full>

5.1.1.6. Resumen

Tabla 22
Resumen de Costos

Costos de Equipos	705
Costos de Infraestructura	125
Costos de Ingeniería	850
Costos de Software	0
Costos de Mantenimiento	50
TOTAL \$	1730

Fuente: Elaborado por el Autor

5.1.2. Beneficios

A continuación se detallan los beneficios que obtiene de implementar el diseño de un sistema de control y monitoreo en un cultivo de hortalizas dentro de un invernadero.

- ❖ El presente proyecto consistió en la implementación de una Red de sensores en un cultivo de hortalizas en el caso tomate riñón, se basa en el concepto de agricultura de precisión que permite desplegar redes inalámbricas para monitorear parámetros previamente descritos que influyen en la calidad de los cultivos sin necesidad de invertir mayormente en infraestructura.
- ❖ La utilización de este diseño permite al agricultor o persona encargada de los cultivos mejorar en la toma de decisiones basándose en los datos numéricos de los distintos parámetros que se haya tomado en cuenta.
- ❖ Este tipo de investigaciones consigue mejorar la eficiencia de la siembra, también es posible el cálculo del rendimiento.

- ❖ Si los agricultores ven resultados y se consiguen unos precios que puedan estar satisfechos tanto técnicos como agricultores, esta metodología podría ser muy atractiva para todos, siendo de la forma de conseguir resultados más eficientes, tanto en el uso de abonos y fertilizantes, como en la lucha contra las plagas, reduciendo costes y mejorando la gestión de los recursos, y generando un nuevo nicho de mercado.
- ❖ La principal razón por la que se utiliza el método de riego por goteo es el ahorro del líquido vital que es el agua, este proceso como su nombre lo dice abastece de agua al cultivo gota a gota, lo que permite un ahorro exclusivo del agua, permitiendo como consecuencia ahorro económico y dando así ayuda al medio ambiente que tanto lo necesita.
- ❖ La granja La Pradera paga por el consumo de agua en sus cultivos 50/l/s/ha/año, con el sistema se tiene un 30% de ahorro, reduciendo a 35/l/s/ha/año mensualmente.

5.2. CONCLUSIONES

- Para conocer cuáles eran los principales parámetros a ser sensados en un cultivo de hortalizas dentro de un invernadero, se realizó una investigación de los principales agentes que se involucran en el crecimiento de una planta, la misma que permitió entender que dichos agentes repercuten de vital importancia en su evolución como ser vivo y la relación estrecha que existe entre uno y otro.
- El invernadero ubicado en la parroquia de Chaltura tiene un área de extensión de 323m², la comunicación entre los nodos sensores se realiza por medio de los módulos xbee de serie 2, con su nueva versión tipo c, teóricamente alcanzan rangos hasta 1200m en un área libre de obstrucciones como es el caso.
- La comunicación entre los nodos sensores y el nodo central se hizo muy eficiente con las pruebas que se realizó del alcance de cada uno, al existir tanta cercanía entre

todos los nodos y sin obstáculos que impidan su línea de vista se logra cubrir todo el espacio del invernadero a ser monitoreado.

- La red de sensores está desarrollada con el fin de monitorear los agentes previamente identificados, para obtener un registro de datos y permitir que a futuro el agricultor o encargado del invernadero pueda tomar decisiones para mejorar la producción con respecto a la información recolectada.
- El diseño de una red de sensores representa una de las tecnologías que destaca su uso en la agricultura de precisión, tomando en cuenta que para implementar soluciones de monitoreo en distintas zonas de cultivo, que no requieran infraestructura ya que se encuentran formadas principalmente de nodos inalámbricos y con fuentes autónomas de energía.
- Ubidots como plataforma web ha sido de gran utilidad en el presente proyecto, al permitir almacenar datos e interpretarlos, gracias a esta herramienta el tiempo y el dinero serán ahorrados al máximo.
- En las primeras pruebas realizadas con los sensores ubicados en la proto, con respecto al sistema de control se observó que el cultivo puede vivir alrededor de 10 días sin riego en un ambiente con variables distintas a las que debe cumplir para su desarrollo, como consecuencia causó daño en su calidad del producto.
- El riego por goteo ha permitido el ahorro de un 30% de agua alrededor de 30 litros se utiliza por cada vez que se necesite regar, de forma que se convierte en una de sus principales ventajas para su implementación ayudando así al impacto del calentamiento global optimizando recursos.
- Luego de realizar un levantamiento de toda la información involucrada en el desarrollo del proyecto, investigar el funcionamiento de todos los dispositivos integrados en el sistema y realizar las pruebas de campo del prototipo desarrollado,

se logró capturar datos sobre los parámetros ambientales como: humedad de suelo, humedad relativa, temperatura ambiente, luminosidad y CO₂; destacando además del buen desempeño de la red con respecto al consumo de energía que poseen paneles solares.

- La agricultura de precisión está teniendo en la actualidad un impacto en la producción agrícola alrededor del mundo. Es claro que los principios de este concepto son los mismos para todos los cultivos pero la implementación depende del tipo de cultivo y país que lo realiza.

5.3. RECOMENDACIONES

- Se debe considerar de suma importancia la extensión del lugar a trabajar si se hace uso de los módulos xbee, para lograr una cobertura completa del terreno en el caso menor a 1200m, además de tomar en cuenta las influencias que alteren su funcionamiento y no permitan su mayor alcance.
- Previamente antes de la manipulación de cada uno de los dispositivos empaparse de las hojas de datos técnicos para un manejo adecuado de los mismos y lograr su funcionamiento al máximo.
- La correcta calibración de los sensores permitirá obtener los datos lo más realmente posible y que no exista falla en la información recolectada
- Para optimizar el uso del espacio en la herramienta web que almacena los datos se debe mantener un tiempo de monitoreo alrededor de 10 a 20 minutos.
- Para lograr un mejor uso de la vida de las baterías, se debe configurar a los nodos sensores en modo sleep, y lograr prenderlos cuando la transmisión de datos llegue a los picos de sus rangos.

REFERENCIAS

- Alessandro Bassi (HEU), P. G. (15 de Septiembre de 2013). <http://www.meet-iot.eu/>.
Obtenido de http://www.meet-iot.eu/deliverables-IOTA/D3_4.pdf
- Alexandru Serbanati (CATTID), Y. B. (11 de Junio de 2013). <http://www.meet-iot.eu/>.
Obtenido de http://www.meet-iot.eu/deliverables-IOTA/D3_6.pdf
- Berger, A. S. (2012). <http://dsp-book.narod.ru/>. Obtenido de <http://dsp-book.narod.ru/ESDIPTT.pdf>
- Capella, J. (2011). *Redes inalámbricas de sensores: una nueva arquitectura eficiente y robusta basada en jerarquía dinámica de grupos*. Valencia: Editorial Universitat Politècnica de València.
- D.V. Tran; N.V. Nguyen. (2013). Obtenido de <http://www.fao.org/>:
<http://www.fao.org/3/a-a0869t/a0869t04.pdf>
- EIP-AGRI Focus Group. (Noviembre de 2015). <https://ec.europa.eu>. Obtenido de https://ec.europa.eu/eip/agriculture/sites/agri-eip/files/eip-agri_focus_group_on_precision_farming_final_report_2015.pdf
- Evans, D. (Abril de 2011). <https://www.cisco.com>.
- Gascón, D. (abril de 2009). *Libelium World*. Obtenido de <http://www.libelium.com/802-15-4-vs-zigbee/>
- Huth, A., & Cebula, J. (2011). <https://www.us-cert.gov>. Obtenido de <https://www.us-cert.gov/sites/default/files/publications/CloudComputingHuthCebula.pdf>
- Iglesias, N. (2009). <http://inta.gob.ar/>. Obtenido de http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_produccion-de-hortalizas-bajo-cubierta_2006.pdf

- Information Commissioner's Office. (2012). <https://ico.org.uk>. Obtenido de https://ico.org.uk/media/for-organisations/documents/1540/cloud_computing_guidance_for_organisations.pdf
- Integrantes del Grupo de Investigación EDMANS. (2009). *REDES INALÁMBRICAS DE SENSORES: TEORÍA Y APLICACIÓN PRÁCTICA*. Logroño: Universidad de la Rioja.
- Internet Society. (Octubre de 2015). <https://www.internetsociety.org>.
- Jianliang, Z., & Myung, J. L. (2011). <http://hackipedia.org/>. Obtenido de <http://hackipedia.org/Hardware/Zigbee/A%20Comprehensive%20Study%20Of%20Ieee%20802.15.4%20And%20Zigbee%20506.pdf>
- Lee, E. A., & Seshia, S. A. (2011). *Introduction to Embedded Systems - A Cyber-Physical Systems Approach*,. LeeSeshia.org.
- Lorenzo, P. (Julio de 2012). <http://www.publicacionescajamar.es/>. Obtenido de <http://www.publicacionescajamar.es/pdf/publicaciones-periodicas/cuadernos-de-estudios-agroalimentarios-cea/3/3-536.pdf>
- MARWEDEL, P. (2006). *Embedded System Design*. The Netherlands: Springer.
- Mell, P., & Grance, T. (Septiembre de 2011). <http://faculty.winthrop.edu/>. Obtenido de <http://faculty.winthrop.edu/domanm/csci411/Handouts/NIST.pdf>
- Qing, L., & Carolyn, Y. (2013). <http://www2.fsr.ba/>. Obtenido de <http://www2.fsr.ba/nastava/sven/sven.pdf>
- QNX Software Systems Limited. (2014). *Building Embedded Systems*. Ottawa: Electronic edition published: Thursday, February 20, 2014.
- Rodríguez, D. (diciembre de 2013). <http://revistatelematica.cujae.edu.cu/>. Obtenido de <http://revistatelematica.cujae.edu.cu/index.php/tele/article/viewFile/119/115>

- Singh, A. K. (2012). <http://www.iasri.res.in/>. Obtenido de <http://www.iasri.res.in/design/ebook/EBADAT/6-Other%20Useful%20Techniques/14-Precision%20Farming%20Lecture.pdf>
- Stanislav, S., & Kresimir, M. (Junio de 2006). <http://webpages.uncc.edu/>. Obtenido de http://webpages.uncc.edu/~jmconrad/ECGR6185-2007-01/notes/IEEE_ZigBee.pdf
- Torres, W., Malavé, K., & Marquis, D. (mayo de 2012). <https://www.researchgate.net>. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/265377410_Aplicacion_de_las_Redess_Inalambricas_de_Sensores_para_implementar_la_Agricultura_de_Precision_en_Vinedos?enrichId=rgreq-d4cb6805a248ecf16ebb24ea5782a86b-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzI2NTM3NzQxMDtBUzoxMz
- Zarco, P. J., Hubbard, N., & Loudjani, P. (Junio de 2014). <http://www.europarl.europa.eu/>. Obtenido de [http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/note/join/2014/529049/IPOL-AGRI_NT\(2014\)529049_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/note/join/2014/529049/IPOL-AGRI_NT(2014)529049_EN.pdf)

GLOSARIO DE TÉRMINOS

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, detección ambiental.

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

PaaS: Plataforma como servicio en la nube, es un ambiente de cómputo al que se obtiene acceso (según sea necesario) a través de una red de un proveedor de servicios.

UART: Transmisor-receptor asincrónico universal, mediante este se puede realizar la comunicación serial entre dispositivos sea PC con alguna placa en particular.

LR-WPAN: Baja tasa de transferencia en redes de área personal.

FFD: Dispositivo de funcionalidad completa, se lo conoce como nodo activo. Puede funcionar en cualquier topología, es capaz de ser un comunicador de red y puede comunicarse con cualquier otro dispositivo.

RFD: Dispositivo de funcionalidad reducida, se lo conoce como nodo pasivo. Se limita a funcionar en la topología estrella, no puede ser un coordinador de red.

ANEXOS

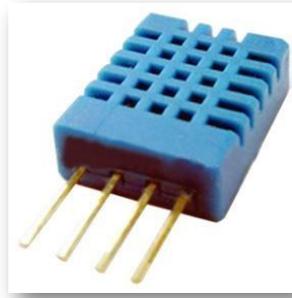
ANEXO A

HOJA DE DATOS DEL SENSOR DHT11

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.

Technical Specifications:

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
------------	------------	---------	---------	---------

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

Electrical Characteristics

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

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

ANEXO B

HOJA DE DATOS DEL SENSOR MQ135

Sensitive material of MQ135 gas sensor is SnO₂, which with lower conductivity in clean air. When the target combustible gas exist, The sensor's conductivity is more higher along with the gas concentration rising. Please use simple electrocircuit, Convert change of conductivity to correspond output signal of gas concentration.

MQ135 gas sensor has high sensitivity to Ammonia, Sulfide and Benze steam, also sensitive to smoke and other harmful gases. It is with low cost and suitable for different application.

Model No.		MQ135	
Sensor Type		Semiconductor	
Standard Encapsulation		Bakelite (Black Bakelite)	
Detection Gas		Ammonia, Sulfide, Benze steam	
Concentration		10-10000ppm (Ammonia, Benze, Hydrogen)	
Circuit	Loop Voltage	V _c	≤24V DC
	Heater Voltage	V _H	5.0V±0.2V AC or DC
	Load Resistance	R _L	Adjustable
Character	Heater Resistance	R _H	31Ω±3Ω (Room Tem.)
	Heater consumption	P _H	≤900mW
	Sensing Resistance	R _s	2KΩ-20KΩ(in 100ppm NH ₃)
	Sensitivity	S	R _s (in air)/R _s (100ppm NH ₃)≥5
	Slope	α	≤0.6(R100ppm/R50ppm NH ₃)
Condition	Tem. Humidity	20°C±2°C; 65%±5%RH	
	Standard test circuit	V _c :5.0V±0.1V; V _H : 5.0V±0.1V	
	Preheat time	Over 48 hours	

ANEXO C

HOJA DE DATOS DEL SENSOR BH1750

Descriptions

BH1750FVI is an digital Ambient Light Sensor IC for I²C bus interface. This IC is the most suitable to obtain the ambient light data for adjusting LCD and Keypad backlight power of Mobile phone. It is possible to detect wide range at High resolution. (1 - 65535 lx).

Features

- I²C bus Interface (f / s Mode Support)
- Spectral responsibility is approximately human eye response
- Illuminance to Digital Converter
- Wide range and High resolution. (1 - 65535 lx)
- Low Current by power down function
- 50Hz / 60Hz Light noise reject-function
- 1.8V Logic input interface

Applications

Mobile phone, LCD TV, NOTE PC, Portable game machine, Digital camera, Digital video camera, PDA, LCD display

Absolute Maximum Ratings

Parameter	Symbol	Ratings	Units
Supply Voltage	Vmax	4.5	V
Operating Temperature	Topr	-40~85	°C
Storage Temperature	Tstg	-40~100	°C
SDA Sink Current	I _{max}	7	mA
Power Dissipation	Pd	260 [※]	mW

Operating Conditions

Parameter	Symbol	Ratings			Units
		Min.	Typ.	Max.	
VCC Voltage	Vcc	2.4	3.0	3.6	V

I ² C Reference Voltage	VDVI	1.65	-	VCC	V
------------------------------------	------	------	---	-----	---

Electrical Characteristics (VCC = 3.0V, DVI = 3.0V, Ta = 25°C, unless otherwise noted)

Parameter	Symbol	Limits			Units	Conditions
		Min.	Typ.	Max.		
Supply Current	Icc1	—	120	190	μA	Ev = 100 lx ^{※1}
Powerdown Current	Icc2	—	0.01	1.0	μA	No input Light
Peak Wave Length	λp	—	560	—	nm	
Measurement Accuracy	S/A	0.96	1.2	1.44	times	Sensor out / Actual lx EV = 1000 lx ^{※1} , ^{※2}
Dark (0 lx) Sensor out	S0	0	0	3	count	H-Resolution Mode ^{※3}
H-Resolution Resolution	rHR	—	1	—	lx	
L-Resolution Resolution	rLR	—	4	—	lx	
H-Resolution Measurement Time	tHR	—	120	180	ms	
L-Resolution Measurement Time	tLR	—	16	24	ms	
Incandescent / Fluorescent Sensor out ratio	rIF	—	1	—	times	EV = 1000 lx
ADDR Input 'H' Voltage	VAH	0.7 * VCC	—	—	V	
ADDR Input 'L' Voltage	VAL	—	—	0.3 * VCC	V	
DVI Input 'L' Voltage	VDVL	—	—	0.4	V	

SCL, SDA Input 'H' Voltage 1	VIH1	0.7 * DVI	—	—	V	$DVI \geq 1.8V$
SCL, SDA Input 'H' Voltage 2	VIH2	1.26	—	—	V	$1.65V \leq DVI < 1.8V$
SCL, SDA Input 'L' Voltage 1	VIL1	—	—	0.3 * DVI	V	$DVI \geq 1.8V$
SCL, SDA Input 'L' Voltage 2	VIL2	—	—	DVI – 1.26	V	$1.65V \leq DVI < 1.8V$
SCL, SDA, ADDR Input 'H' Current	I _{IH}	—	—	10	μA	
SCL, SDA, ADDR Input 'L' Current	I _{IL}	—	—	10	μA	
I ² C SCL Clock Frequency	f _{SCL}	—	—	400	kHz	
I ² C Bus Free Time	t _{BUF}	1.3	—	—	μs	
I ² C Hold Time (repeated) START Condition	t _{HDSTA}	0.6	—	—	μs	
I ² C Set up time for a Repeated START Condition	t _{SUSTA}	0.6	—	—	μs	
I ² C Set up time for a Repeated STOP Condition	t _{SUSTD}	0.6	—	—	μs	
I ² C Data Hold Time	t _{HDDAT}	0	—	0.9	μs	
I ² C Data Setup Time	t _{SUDAT}	100	—	—	ns	
I ² C 'L' Period of the SCL Clock	t _{LOW}	1.3	—	—	μs	
I ² C 'H' Period of the SCL Clock	t _{HIGH}	0.6	—	—	μs	
I ² C SDA Output 'L' Voltage	V _{OL}	0	—	0.4	V	$I_{OL} = 3 \text{ mA}$

ANEXO D

HOJA DE DATOS DEL MÓDULO XBEE S2C

Performance specifications

This table describes the performance specifications for the devices.

Specification	XBee ZigBee S2C	XBee-PRO ZigBee S2C	XBee ZigBee S2D
Indoor/urban range	Up to 60 m (200 ft)	Up to 90 m (300 ft)	Up to 60 m (200 ft)
Outdoor RF lineof-sight range	Up to 1200 m (4000 ft)	Up to 3200 m (2 mi)	Up to 1200 m (4000 ft)
Transmit power output (maximum)	6.3 mW (+8 dBm), boost mode 3.1 mW (+5 dBm), normal mode channel 26 max power is +3 dBm	63 mW (+18 dBm)	6.3 mW (+8 dBm) channel 26 max power is +1 dBm
RF data rate	250,000 b/s		
Receiver sensitivity	-102 dBm, boost mode -100 dBm, normal mode	-101 dBm	-102 dBm, boost mode -100 dBm, normal mode

Power requirements

The following table describes the power requirements for the devices.

Specification	XBee ZigBee S2C	XBee-PRO ZigBee S2C	XBee ZigBee S2D
Adjustable power	Yes		
Supply voltage	2.1 - 3.6 V 2.2 - 3.6 V for programmable version	2.7 - 3.6 V	2.1 - 3.6 V
Operating current (transmit)	45 mA (+8 dBm, boost mode) 33 mA (+5 dBm, normal mode)	120 mA @ +3.3 V, +18 dBm	45 mA
Operating current (receive)	31 mA (boost mode) 28 mA (normal mode)	31 mA	31 mA

Power-down current	< 1 μ A @ 25°C		< 3 uA @ 25°C
--------------------	--------------------	--	---------------

General specifications

The following table describes the general specifications for the devices.

Specification	XBee ZigBee S2C	XBee-PRO ZigBee S2C	XBee ZigBee S2D
Operating frequency band	ISM 2.4 - 2.5 GHz		
Form factor	through-hole, surface-mount		surface-mount

Specification	XBee ZigBee S2C	XBee-PRO ZigBee S2C	XBee ZigBee S2D
Dimensions	through-hole: 2.438 x 2.761 cm (0.960 x 1.087 in) surface-mount: 2.199 x 3.4 x 0.305 cm (0.866 x 1.33 x 0.120 in)	through-hole: 2.438 x 3.294 cm (0.960 x 1.297 in) surface-mount: 2.199 x 3.4 x 0.305 cm (0.866 x 1.33 x 0.120 in)	surface-mount: 2.199 x 3.4 x 0.305 cm (0.866 x 1.33 x 0.120 in)
Operating temperature	-40 to 85°C (industrial)		
Antenna options	through-hole: PCB antenna, U.FL connector, RPSMA connector, or integrated wire surface-mount: RF pad, PCB antenna, or U.FL connector		

Networking and security specifications

Specification	XBee ZigBee S2C	XBee-PRO ZigBee S2C	XBee ZigBee S2D
Supported network topologies	Point-to-point, point-to-multipoint, peer-to-peer, and DigiMesh		
Number of channels	16 Direct sequence channels	15 Direct sequence channels	16 Direct sequence channels
Interface immunity	Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS)		
Channels	11 to 26		
Addressing options	PAN ID and addresses , cluster IDs and endpoints (optional)		

ANEXO E

CODIGO NODO CENTRAL ARDUINO UNO

```
/*DISEÑO DE UNA RED DE SENSORES (WSN) CON TECNOLOGÍA 802.15.4,  
BASADO EN EL CONCEPTO AGRICULTURA DE PRECISIÓN PARA EL CONTROL  
Y MONITOREO DE CULTIVOS DE HORTALIZAS BAJO INVERNADERO EN LA  
GRANJA LA PRADERA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE*/
```

```
/* Jenny Palacios */  
/* FICA - CIERCOM */  
/* NODO CENTRAL */
```

```
// Librerias
```

```
#include <XBee.h> // libreria xbee  
#include <SoftwareSerial.h>  
SoftwareSerial mySerial(10, 11); // RX, TX conecta el ftdi  
XBee xbee = XBee();  
ZBRxResponse zbRx = ZBRxResponse();  
uint8_t text[10] = { 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0};  
int XBee_Addr16;  
long XBee_Addr64_MS;  
long XBee_Addr64_LS;  
String dataString = "";  
int contador = 0;  
int HumedadSuelo;  
int HumedadRelativa;  
int TemperaturaAmbiente;  
int CO2;  
int Lux;
```

```
int sensorI [5];  
void setup () {
```

```
  Serial.begin(9600); //Inicio Cx Serial  
  mySerial.begin(9600);  
  mySerial.print("Esperando Datos");  
  xbee.begin(Serial);  
}
```

```
void loop () {
```

```
  // se habilita la lectura de datos a recibir  
  xbee.readPacket();  
  // se comprueba si es q hay datos recibidos
```

```

if (xbee.getResponse().isAvailable()) {
  if (xbee.getResponse().getApild() == ZB_RX_RESPONSE) {
    xbee.getResponse().getZBRxResponse(zbRx);

    for (int i = 0; i < zbRx.getDataLength(); i++) {

      text [i] = zbRx.getData(i);
    }
    // se reconstruye los 10 bits seaprados en bytes.

    XBee_Addr64_MS = (uint32_t(zbRx.getFrameData()[0]) << 24) + (uint32_t(zbRx.getFrameData()[1]) << 16) +
(uint16_t(zbRx.getFrameData()[2]) << 8) + zbRx.getFrameData()[3];

    if ( XBee_Addr64_LS == 1092983757 ) // Se compara el xbbe correspondiente a cada nodo con el ID que
        // provee las variables de ubidots
    {
      mySerial.println();
      mySerial.println("---NODO 1---");
      mySerial.print("Humedad de Suelo = ");
      mySerial.print(HumedadSuelo);
      mySerial.println(" %");

      mySerial.print("Humedad Relativa = ");
      mySerial.print(HumedadRelativa);
      mySerial.println(" %");

      mySerial.print("Temperatura Ambiente = ");
      mySerial.print(TemperaturaAmbiente);
      mySerial.println(" Grados Centigrados");

      mySerial.print("CO2 = ");
      mySerial.print(CO2);
      mySerial.println(" ppm");

      mySerial.print("Iluminancia = ");
      mySerial.print(Lux);
      mySerial.println(" lux");
    }

    else{

      if ( XBee_Addr64_LS == 1092983791 ) //1092983791
      {

        mySerial.println();
        mySerial.println("---NODO 2---");
        mySerial.print("Humedad de Suelo = ");
        mySerial.print(HumedadSuelo);
        mySerial.println(" %");
      }
    }
  }
}

```

```

mySerial.print("Humedad Relativa = ");
mySerial.print(HumedadRelativa);
mySerial.println(" %");

mySerial.print("Temperatura Ambiente = ");
mySerial.print(TemperaturaAmbiente);
mySerial.println(" Grados Centigrados");

mySerial.print("CO2 = ");
mySerial.print(CO2);
mySerial.println(" ppm");

mySerial.print("Iluminancia = ");
mySerial.print(Lux);
mySerial.println(" lux");
}
else{
if ( XBee_Addr64_LS == 1092983787 ) // 1092983787
{

mySerial.println();
mySerial.println("---NODO 3---");
mySerial.print("Humedad de Suelo = ");
mySerial.print(HumedadSuelo);
mySerial.println(" %");

mySerial.print("Humedad Relativa = ");
mySerial.print(HumedadRelativa);
mySerial.println(" %");

mySerial.print("Temperatura Ambiente = ");
mySerial.print(TemperaturaAmbiente);
mySerial.println(" Grados Centigrados");

mySerial.print("CO2 = ");
mySerial.print(CO2);
mySerial.println(" ppm");

mySerial.print("Iluminancia = ");
mySerial.print(Lux);
mySerial.println(" lux");
}
}
}
}

```

ANEXO F

CODIGO NODOS SENSORES ARDUINO MINI – PRO

```
/*DISEÑO DE UNA RED DE SENSORES (WSN) CON TECNOLOGÍA 802.15.4,  
BASADO EN EL CONCEPTO AGRICULTURA DE PRECISIÓN PARA EL CONTROL  
Y MONITOREO DE CULTIVOS DE HORTALIZAS BAJO INVERNADERO EN LA  
GRANJA LA PRADERA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE*/
```

```
/* Jenny Palacios */  
/* FICA - CIERCOM */  
/* NODO CENTRAL */
```

```
//Librerias  
#include <XBee.h>  
XBee xbee = XBee();
```

```
unsigned long start = millis();  
uint8_t payload[] = { 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0};
```

```
// libreria sensor de luz BH1750/////
```

```
#include "Wire.h"  
#include "BH1750.h"  
BH1750 lightMeter;  
// librerias DHT II sensor de humedad relativa y temperatura ambiente  
#include "DHT.h"  
#define DHTPIN A1  
#define DHTTYPE DHT11  
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);  
// librerias DHT II sensor de humedad relativa y temperatura ambiente  
// variables de sensor de CO2 mq135  
unsigned int s_analogica_mq135=0;  
int aire =12;  
int CO2=11;  
int gas=10;  
// variables de sensor de CO2 mq135  
void setup()  
{
```

```
    // sensor de humedad de suelo y169 y138  
    Serial.begin(9600);  
    xbee.setSerial(Serial);  
    pinMode(A0, INPUT);  
    // sensor de humedad de suelo y169 y138  
    // DHT II sensor de humedad relativa y temperatura ambiente  
    dht.begin();
```

```

// DHT II sensor de humedad relativa y temperatura ambiente
// sensor de CO2 mq135
// sensor de CO2 mq135
//sensor de luz BH1750///
lightMeter.begin();

}

void loop()
{
// sensor de humedad de suelo y169 y138 ///////

unsigned int SensorValue = map (analogRead(A0), 0, 1023, 100, 0); //take a sample
unsigned int h = dht.readHumidity();// Lee la humedad
unsigned int t= dht.readTemperature();//Lee la temperatura
s_analogica_mq135 = analogRead(A2);
unsigned int lux = lightMeter.readLightLevel();
// proceso para subir los datos a la nube todos al mismo tiempo

if (millis() - start > 2000) {
  payload[0] = (SensorValue >> 8) & 0xff;
  payload[1] = SensorValue & 0xff;

  payload[2] = (h >> 8) & 0xff;
  payload[3] = h & 0xff;

  payload[4] = (t >> 8) & 0xff;
  payload[5] = t & 0xff;

  payload[6] = (s_analogica_mq135 >> 8) & 0xff;
  payload[7] = s_analogica_mq135 & 0xff;

  payload[8] = (lux >> 8) & 0xff;
  payload[9] = lux & 0xff;

  delay(20000);

}
}

```