



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS
DE LA COMPUTACIÓN**

**CARRERA DE TECNOLOGÍAS DE LA
INFORMACIÓN
(SISTEMAS E INFORMÁTICA)**

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO EN SISTEMAS E INFORMÁTICA**

**TEMA: DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN BASADA EN
REDES WSN Y ESPECIALIZADA EN MONITOREO DE
PRODUCCIÓN DE ROSAS**

AUTOR: PALACIOS LLERENA, MARCO ANTONIO

**DIRECTOR: ING. GUALOTUÑA ÁLVAREZ, TATIANA
MARISOL PHD.**

SANGOLQUÍ

2017

CERTIFICADO



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA
COMPUTACION

CARRERA DE TECNOLOGÍAS DE LA
INFORMACIÓN
(SISTEMAS E INFORMÁTICA)

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, "**Desarrollo de una aplicación basada en redes WSN y especializada en monitoreo de producción de rosas**" realizado por el señor **Marco Antonio Palacios Llerena**, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar al señor **Marco Antonio Palacios Llerena** para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 04 de septiembre del 2017

Ing. Tatiana Marisol Gualotuña Álvarez. PhD
DIRECTORA

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA
COMPUTACION

CARRERA DE TECNOLOGÍAS DE LA
INFORMACIÓN
(SISTEMAS E INFORMATICA)

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Marco Antonio Palacios Llerena**, con cédula de identidad N° 1722790795, declaro que este trabajo de titulación "**Desarrollo de una aplicación basada en redes WSN y especializada en monitoreo de producción de rosas**" ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas. Consecuentemente declaro que este trabajo es de mi autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Sangolquí, 04 de septiembre del 2017

Una firma manuscrita en tinta azul que parece leer 'Marco Antonio Palacios Llerena'.

Marco Antonio Palacios Llerena
C. C: 1722790795

AUTORIZACIÓN



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA
COMPUTACION

CARRERA DE TECNOLOGÍAS DE LA
INFORMACIÓN
(SISTEMAS E INFORMÁTICA)

AUTORIZACIÓN

Yo, **Marco Antonio Palacios Llerena**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación "**Desarrollo de una aplicación basada en redes WSN y especializada en monitoreo de producción de rosas**" cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

Sangolquí, 04 de septiembre del 2017

Marco Antonio Palacios Llerena
C. C: 1722790795

DEDICATORIA

A mis padres a quien les debo todos mis logros y que con su apoyo, sacrificio y abnegación lograron forjarme en ese ser que soy ahora, a mis abuelitos Teresa y Marcelo que con su sencillez y humildad me criaron desde pequeño convirtiéndose en mi segunda familia y de los cuales aprendí que no existe un mayor título que el de señor.

Marco Palacios

AGRADECIMIENTO

A los grandes profesores que formaron parte de mi vida estudiantil a lo largo de toda mi formación académica, a ese apoyo incondicional de mis compañeros que con su camaradería estuvieron siempre presentes, a mi directora de tesis por su constancia, apoyo y guía en el desarrollo de este proyecto, a la Ingeniera Elizabeth Urbano que sin su guía en tópicos relacionados a la agricultura no hubiera conseguido este objetivo.

Marco Palacios

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICADO	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT	xvi
CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Planteamiento del Problema.....	1
1.3. Justificación.....	2
1.3.1. Objetivo General	3
1.3.2. Objetivos Específicos.....	3
CAPÍTULO II	5
ESTADO DE LA CUESTIÓN Y ESTADO DEL ARTE.....	5
2.1. Estado de la cuestión	5
2.1.1. Producción de rosas en invernaderos	5
2.1.1.1. Generalidades	5
2.1.2.1 Factores que se consideran en el control climático del suelo en invernaderos.....	5
2.1.2. Control de Temperatura y Humedad del suelo en invernaderos.....	6
2.1.2.1. Temperatura.....	6
2.1.2.2. Humedad	6
2.1.3 Agricultura de Precisión.....	7
2.1.4 Redes de Sensores Inalámbricos	8
2.1.4.1 Generalidades	8
2.1.4.2 Arquitectura y Topología	8
2.1.4.3 Aplicaciones	10
2.1.4.4 Protocolos de comunicación.....	11
2.1.4.4.1. Estándar IEEE 802.15.4	11
2.1.4.4.2. ZigBee	12
2.1.5 Componentes de Hardware	13
2.1.5.1. Microcontrolador Arduino Uno	13
2.1.5.2. Módulos Xbee Series 2	14

2.1.5.3. Xbee Shield para Arduino	15
2.1.5.4. Rapsberry Pi	16
2.1.5.5. Xbee Explorer USB.....	17
2.1.5.6. Sensor de Temperatura y Humedad de Suelo SHT10.....	18
2.1.6 Internet de las Cosas.....	21
2.1.7. Componentes de Software.....	22
2.1.7.1. Lenguajes de Programación	22
2.1.7.1.1. Arduino IDE.....	22
2.1.7.1.2. Python	23
2.1.7.2. Base de Datos	24
2.1.7.2.1 MySQL.....	24
2.1.7.3. Back-end.....	24
2.1.7.3.1. Node Js.....	24
2.1.7.4. Front-end	25
2.1.7.4.1. React Js	25
2.1.7.5. Software como servicio (SaaS)	26
2.1.7.5.1. Weaved.....	26
2.1.7.6. Software Estadístico	26
2.1.7.6.1. R versión 3.3.3.....	26
2.1.7.7. Plataforma Analítica.....	27
2.1.7.7.1. QlikSense	27
2.1.7.8. Metodología de Desarrollo.....	27
2.1.7.8.1. XP.....	27
2.1.8. Correlación y Regresión Lineal	28
2.1.8.1. Correlación Lineal	28
2.1.8.1.2. Fórmula del Coeficiente de Pearson	29
2.1.8.2. Regresión Lineal.....	29
2.2. Estado del arte	30
2.2.1. Redes de Sensores inalámbricos (WSN).....	30
2.2.2. Arduino como arquitectura de hardware en las redes WSN	32
2.2.3. Sensores de Temperatura y Humedad.....	33
2.2.4. Cloud Computing para aplicaciones basadas en WSN	34
2.2.5. Redes de Sensores inalámbricos en la agricultura	35
2.2.6. El Internet de las cosas (IoT) y las redes WSN.....	37
2.1.7. Aplicaciones web basadas en WSN	39
CAPÍTULO III.....	41

ANÁLISIS Y DISEÑO	41
3.1. Modelos UML de la aplicación.....	41
3.1.1. Historias de Usuario.....	41
3.1.2. Requisitos no funcionales	43
3.1.3. Diagramas de Casos de Uso.....	44
3.1.3.1. Descripción de casos de uso subsistema WSN	45
3.1.3.2. Diagrama de casos de uso subsistema visualización y análisis de la información	48
3.1.3.3. Diagrama de Secuencia subsistema WSN.....	52
3.1.4. Diagrama de secuencia subsistema de visualización	54
3.1.5. Diagrama de secuencia subsistema de análisis de la información	55
3.1.6. Base de datos.....	56
CAPÍTULO IV.....	57
IMPLANTACIÓN	57
4.1. Arquitectura del prototipo.....	57
4.1.1. Diagrama de hardware	57
4.1.2. Diagrama de red	58
4.1.3. Diagrama de arquitectura	59
4.2. Construcción del prototipo.....	61
4.2.1. Montaje del hardware.....	61
4.2.2. Configuración de la comunicación inalámbrica.....	64
3.2.2.1. Configuración Nodos de datos 1	64
3.2.2.2. Configuración Nodos de datos 2	65
3.2.2.3. Configuración Nodo Coordinador	66
3.2.2.4. Pruebas de Comunicación	67
4.3. Implantación	68
4.3.1. Nodos de datos	68
4.3.2. Nodo Coordinador.....	70
CAPÍTULO V	71
PRUEBAS, ANÁLISIS Y RESULTADOS.....	71
5.1. Pruebas unitarias	71
5.1.1. Prueba unitaria [IOTINV-PU-001]	71
5.1.2. Prueba unitaria [IOTINV-PU-002]	72
5.1.3. Prueba unitaria [IOTINV-PU-003]	73
5.1.4. Prueba unitaria [IOTINV-PU-004]	73
5.1.5. Prueba unitaria [IOTINV-PU-005]	74
5.1.6. Prueba unitaria [IOTINV-PU-006]	75

5.1.7. Prueba unitaria [IOTINV-PU-007]	76
5.1.8. Prueba unitaria [IOTINV-PU-008]	77
5.2. Plan de riesgos	78
5.3. Resultados	78
5.3.1. Tratamiento de la información	79
5.3.2. Análisis de correlación y regresión lineal	81
5.3.2.1. Primer mes	81
5.3.2.2. Segundo mes	84
5.3.2.3. Tercer mes	87
5.3.2.4. Análisis Total	90
5.3.2.5. Resumen	92
5.3.3. Análisis de comportamiento e indicadores principales del prototipo. .	93
5.3.3.1. Análisis de indicadores principales	93
5.3.3.1.1 Análisis de temperatura	95
5.3.3.1.2. Análisis de Humedad	97
5.3.3.2. Análisis exploratorio de los datos	99
5.3.3.2.1. Resumen Temperatura	101
5.3.3.2.2. Resumen Humedad	102
CAPÍTULO VI.....	103
CONCLUSIONES Y LÍNEAS DE TRABAJO FUTURO.....	103
6.1. Conclusiones	103
6.2. Recomendaciones	103
6.3. Trabajos Futuros	104
BIBLIOGRAFIA	105

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Historias de Usuario 1 y 2.....	41
Tabla 2 Historias de Usuario 3 y 4.....	42
Tabla 3 Historias de Usuario 5 y 6.....	42
Tabla 4 Historias de Usuario 7 y 8.....	43
Tabla 5 Requisitos no funcionales	43
Tabla 6 CU-Realizar la medición.....	46
Tabla 7 CU-Recibir datos.....	46
Tabla 8 CU-Enviar trama de datos.....	47
Tabla 9 CU-Recibir trama de datos.....	47
Tabla 10 CU-Enviar trama a la BDD	48
Tabla 11 CU-Ingresar a la Aplicación	49
Tabla 12 CU-Seleccionar información.....	49
Tabla 13 CU-Visualizar Información actual e histórica	50
Tabla 14 CU-Visualizar análisis de la información	50
Tabla 15 CU-Iniciar Sesión.....	51
Tabla 16 CU-Seleccionar Vista.....	51
Tabla 17 CU-Observar el análisis de los dashboards.....	52
Tabla 18 Explicación diagrama de secuencia WSN	53
Tabla 19 Explicación diagrama de secuencia visualización.	55
Tabla 20 Explicación diagrama de secuencia análisis de datos.	56
Tabla 21 Descripción de componentes de hardware.....	58
Tabla 22 Descripción de componentes de la arquitectura.....	60
Tabla 23 Resumen componentes de hardware nodo de datos 1 y 2.....	61
Tabla 24 Resumen componentes de hardware nodo coordinador.....	63
Tabla 25 Resumen configuración Nodo de datos 1	65
Tabla 26 Resumen configuración Nodo de datos 2	65
Tabla 27 Resumen configuración Nodo coordinador	66
Tabla 28 Prueba unitaria [IOTINV-PU-001]	71
Tabla 29 Prueba unitaria [IOTINV-PU-002]	72
Tabla 30 Prueba unitaria [IOTINV-PU-003]	73
Tabla 31 Prueba unitaria [IOTINV-PU-004]	73
Tabla 32 Prueba unitaria [IOTINV-PU-005]	74
Tabla 33 Prueba unitaria [IOTINV-PU-006]	75
Tabla 34 Prueba unitaria [IOTINV-PU-007]	76
Tabla 35 Prueba unitaria [IOTINV-PU-008]	77
Tabla 36 Plan de riesgos	78
Tabla 37 Correlación de Pearson primer mes	82
Tabla 38 Regresión lineal primer mes	83
Tabla 39 Correlación de Pearson segundo mes.....	85
Tabla 40 Regresión lineal segundo mes.....	86
Tabla 41 Correlación de Pearson tercer mes.....	88
Tabla 42 Regresión lineal tercer mes	89
Tabla 43 Correlación de Pearson total	91
Tabla 44 Regresión lineal total	91
Tabla 45 Resumen de datos estadísticos	92

Tabla 46 Máximos y mínimos de temperatura.....	96
Tabla 47 Promedios de temperatura.....	96
Tabla 48 Máximos y mínimos de humedad	98
Tabla 49 Promedios de humedad	98
Tabla 50 Estadísticos humedad.....	99
Tabla 51 Estadísticos temperatura	100
Tabla 52 Rangos de aceptación.....	101
Tabla 53 Rango de valores temperatura.....	101
Tabla 54 Rango de valores humedad	102

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Estructura de una red de sensores inalámbricos.....	8
Figura 2: Ejemplo de una arquitectura WSN.....	9
Figura 3: Topologías de red WSN comunes.....	10
Figura 4: Posicionamiento de nodos en campo de cultivos.....	11
Figura 5: Comunicación ZigBee entre nodos.....	12
Figura 6: Arquitectura básica ZigBee.....	13
Figura 7: Arduino Uno.....	14
Figura 8: XBee XB24-Z7WIT004 Serie 2.....	15
Figura 9: PIN en módulo Xbee.....	15
Figura 10: Montaje de un nodo utilizando la Xbee Shield.....	16
Figura 11: Raspberry Pi 3 Modelo B.....	17
Figura 12: Xbee Explorer USB.....	18
Figura 13: Sensor SHT1x.....	19
Figura 14: Aplicación típica del Sensor SHT10.....	19
Figura 15: Rango de precisión de humedad sensor SHTx.....	20
Figura 16: Rango de precisión de temperatura sensor SHTx.....	20
Figura 17: Sonda sensor SHT10.....	21
Figura 18: Internet de las Cosas.....	22
Figura 19: Interfaz gráfica de Arduino IDE.....	23
Figura 20: Arquitectura Flux.....	25
Figura 21: Fases de la Metodología XP.....	28
Figura 22: Tipos de correlación lineal.....	28
Figura 23: Análisis de resultados del coeficiente de Pearson.....	29
Figura 24: Recta de mínimos cuadrados.....	30
Figura 25: Diagrama de casos de uso subsistema WSN.....	44
Figura 28: Diagrama de casos de uso subsistema visualización y análisis de la información.....	45
Figura 27: Diagrama de secuencia de Envío.....	52
Figura 28: Diagrama de secuencia subsistema de visualización.....	54
Figura 29: Diagrama de secuencia subsistema de análisis de la información.....	55
Figura 30: Tabla de almacenamiento.....	56
Figura 31: Diagrama de hardware de la solución propuesta.....	57
Figura 32: Diagrama de red de la solución propuesta.....	59
Figura 35: Diagrama de arquitectura de la solución propuesta.....	60
Figura 34: Montaje de hardware nodo de datos 1.....	62
Figura 35: Montaje de hardware nodo de datos 2.....	62
Figura 36: Montaje de hardware nodo coordinador.....	63
Figura 37: X-CTU configuración nodo de datos 1.....	64
Figura 38: X-CTU configuración nodo de datos 2.....	65
Figura 39: X-CTU configuración nodo coordinador.....	66
Figura 40: Pruebas de comunicación entre Nodo 1 y Coordinador.....	67
Figura 41: Pruebas de comunicación entre Nodo 2 y Coordinador.....	67
Figura 42: Invernadero de rosas del IASA.....	68

Figura 43: Camas seleccionadas para el estudio	69
Figura 44: Nodo de datos 1 implantado	69
Figura 47: Nodo de datos 2 implantado	70
Figura 46: Ubicación nodo coordinador	70
Figura 47: Datos almacenados de la red WSN	72
Figura 48: Últimas 3 mediciones registradas en la aplicación	74
Figura 49: Gráfico de líneas de las mediciones realizadas durante el día ...	75
Figura 50: Filtro de fecha implantado en la aplicación	76
Figura 51: Información del análisis de indicadores principales Nodo 1	77
Figura 52: Incidente 20 de Marzo del 2017	80
Figura 53: Incidente 5 de Abril del 2017	80
Figura 54: Incidente 30 de Mayo del 2017	81
Figura 55: Gráfico de dispersión primer mes Nodo 1	81
Figura 56: Gráfico de dispersión primer mes Nodo 2	82
Figura 57: Estado del cultivo primer mes nodo 1	83
Figura 58: Estado del cultivo primer mes nodo 2	84
Figura 59: Gráfico de dispersión segundo mes Nodo 1	84
Figura 60: Gráfico de dispersión segundo mes Nodo 2	85
Figura 61: Estado cultivo segundo mes nodo 1	86
Figura 64: Estado cultivo segundo mes nodo 2	87
Figura 63: Gráfico de dispersión tercer mes Nodo 1	87
Figura 64: Gráfico de dispersión tercer mes Nodo 2	88
Figura 65: Estado cultivo tercer mes Nodo 1	89
Figura 66: Estado cultivo tercer mes Nodo 2	89
Figura 67: Gráfico de dispersión total Nodo1	90
Figura 68: Gráfico de dispersión total Nodo 2	90
Figura 69: Resultado ciclo de cosecha	92
Figura 70: Tendencia coeficiente de Pearson	92
Figura 71: Interfaz de análisis de indicadores principales	94
Figura 72: Gráfica general de temperatura	95
Figura 73: Humedad promedio Nodo 1	97
Figura 74: Humedad promedio Nodo	97
Figura 75: Gráfico caja – bigote para la variable humedad	99
Figura 76: Gráfico caja – bigote para la variable temperatura	100

RESUMEN

La agricultura de precisión en los últimos años ha propuesto soluciones enfocadas a mejorar los procesos de cultivo en la agroindustria, en este ámbito entra la automatización de invernaderos inteligentes. Varias plataformas en la nube permiten el control y monitoreo externo de dispositivos conectados a la red y uno de los sistemas más usados y conocidos en la automatización de actividades agrícolas son las redes WSN, las cuales crean un entorno de recolección de datos constante que permite la toma de decisiones al usuario final. Pero para que esta información sea optimizada los resultados finales deben pasar por un proceso de análisis y estudio, las plataformas analíticas permiten diseñar visualizadores de información y definir los indicadores principales de un estudio, este proceso obtiene conocimientos que influyen en la toma de decisiones de un entorno. Este proyecto se enfoca en diseñar una red de sensores inalámbricos que permita medir dos de los factores climáticos de suelo más importantes, temperatura y humedad y con esto llevar un monitoreo externo a través de una herramienta de computación en la nube con el objetivo de recolectar información en un invernadero de rosas del Instituto Agropecuario Superior Andino (IASA). Este prototipo generará data que permitirá un estudio de correlación y regresión lineal entre las variables estudiadas además de crear un visualizador de datos utilizando una plataforma analítica que dará como resultado los indicadores principales y el comportamiento de temperatura y humedad de suelo durante el periodo de implantación en el ciclo de cosecha de la rosa. Posteriormente con estos resultados se desarrolló una aplicación web que permite el monitoreo de los factores e indicadores climáticos de suelo.

Palabras Clave:

- Agricultura de precisión, Redes de sensores inalámbricos, Internet de las cosas, Computación en la nube.

ABSTRACT

Precision agriculture in recent years has proposed solutions focused on improving the processes of cultivation in agro-industry, in this area enters the automation of intelligent greenhouses. Several cloud platforms allow the external control and monitoring of networked devices and one of the most widely used and well-known systems in agricultural automation are the WSN networks, which create a constant data collection environment that allows the decision-making to the end user. But for this information to be optimized the final results must go through a process of analysis and study, the analytical platforms allow to design information visualizers and define the main indicators of a study, this process obtains knowledge that influence the decision making of a environment. This project focuses on designing a wireless sensor network to measure two of the most important soil climate factors, temperature and humidity, and to carry out external monitoring through a cloud computing tool in order to collect information in a greenhouse of roses of the Higher Andean Agricultural Institute (IASA). This prototype will generate data that will allow a study of correlation and linear regression between the variables studied besides creating a data visualizer using an analytical platform that will result in the main indicators and the behavior of temperature and soil moisture during the implementation period in the harvest cycle of the rose. Subsequently with these results a web application was developed that allows the monitoring of climatic soil factors and indicators.

KeyWords:

- Precision Agriculture, Wireless Sensor Networks, Internet of Things, Cloud Computing.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

Dentro de los campos de estudio correspondientes al sector agropecuario se tiene como principal componente y área de estudio el suelo, el cual es un recurso indispensable para la vida ya que permite el desarrollo de las plantas y por consecuentemente de los animales y del hombre. Sin embargo, aún no se reconocen todas las funciones del suelo y los factores que intervienen en la adecuada producción de cultivos. Por este motivo resulta necesario llevar a cabo un control de los niveles de las principales variables climáticas de suelo como temperatura y humedad.

“En los últimos años se han propuesto nuevas definiciones que integran las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos, así como su capacidad de ser sostenibles, producir alimentos sanos y mitigar la polución medioambiental” (Y. García W. R., 2012). Dentro de los componentes mencionados anteriormente es de suma importancia incluir los factores climáticos que conjuntamente influyen en la salud del suelo.

De acuerdo a (Vladivieso, 2013) “el desarrollo de los cultivos, en sus diferentes fases de crecimiento, está condicionado por cuatro factores ambientales o climáticos tales como: temperatura, humedad relativa, luz y CO₂.”

1.2. Planteamiento del Problema

Por la importancia que representa los factores ambientales o climáticos dentro del proceso de cultivo en la producción de rosas, el Instituto Superior Agropecuario Andino (IASA) cuenta con una estación meteorológica dentro de sus instalaciones para medir y monitorear los niveles de variables como: temperatura ambiente, humedad relativa, velocidad / dirección de viento y radiación solar. El problema radica en que estas mediciones son realizadas con una frecuencia de dos veces al día lo que dificulta el proceso de monitoreo y control de los factores ambientales.

En este contexto el invernadero en donde se va a realizar el estudio al ser un ambiente cerrado puede ser susceptible a cambios en las mediciones hechas internamente como las realizadas externamente. En el caso particular de medidas de factores climáticos de suelo los invernaderos no cuentan con un dispositivo que les permita llevar un control y monitoreo de los niveles tomados constantemente tanto de temperatura como de humedad por lo que es necesario diseñar un prototipo que permita realizar esta labor durante el ciclo de cosecha, el cual es según (Sánchez & Calvache, 2002) en más susceptible.

De acuerdo a (Monroy, Pérez, & Cure, 2001) otro punto importante dentro del estudio del impacto de los factores ambientales en el desarrollo del cultivo de la producción de rosas es la incidencia que tienen las variables climáticas internas del suelo en relación una a otra. Actualmente en el IASA es necesario realizar un estudio sobre este impacto por lo que se ha propuesto realizar un análisis correlacional de los datos generados por medio de un sistema de redes de sensores inalámbricos (WSN); el mismo que se encargue de tomar medidas constantes de factores ambientales de suelo tales como temperatura y humedad.

1.3. Justificación

Con el resultado de la investigación previa se puede dar a conocer que la importancia de mantener un control en este tipo de cultivos incide en el resultado de la cosecha. Además de que con un porcentaje adecuado de indicadores climáticos como temperatura y humedad se podría obtener un suelo apto para el cultivo en la producción de rosas.

Debido a que el invernadero de rosas del IASA no cuenta con un mecanismo que facilite realizar mediciones constantes y además lleve un control de monitoreo de variables climáticas de suelo es necesario implantar un prototipo que realice ésta función y además permita conocer el comportamiento de estos factores durante un determinado periodo en el proceso de cultivo.

El presente proyecto ha desarrollado una aplicación web basada en un prototipo de sistema empotrado de redes de sensores inalámbricos (WSN)

que permite medir factores climáticos de suelo tales como temperatura y humedad obteniendo resultados constantemente con una frecuencia de 10 minutos y facilitando el monitoreo en futuras implantación a través de una interfaz de usuario que permita visualizar los indicadores principales máximos, mínimos y promedios con un rango de aceptación de acuerdo a la información receptada anteriormente.

El proceso de implantación del mismo se lo realizó durante el ciclo de cosecha de la rosa que tuvo una duración de 90 días y en el cual se monitoreo la aplicación a través de una plataforma de servicio en la nube, el resultado de esto generó información que fue almacenada en un servidor de base de datos.

Con la información recolectada de suelo se realizó un estudio de correlación y regresión lineal entre ambas variables. Por otro lado los resultados del comportamiento del prototipo así como los indicadores principales fueron presentados en un visor de información diseñado en una plataforma analítica. Con esto el usuario final podrá visualizar el comportamiento de temperatura y humedad de suelo durante el periodo de implantación del sistema, además de entender la relación existente entre ambas variables con el objetivo de predecir el comportamiento de un factor en relación a otro y tomar decisiones en futuros ciclos de cosecha de la rosa.

1.3.1. Objetivo General

Desarrollar una aplicación web que permita visualizar mediciones de temperatura y humedad de suelo por medio del uso de redes de sensores inalámbricos (WSN) con el fin de conocer los niveles e indicadores principales resultantes del análisis previo de implantación.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Diseñar un prototipo de red de sensores inalámbricos (WSN) que permita medir niveles de temperatura y humedad de suelo en invernaderos.
- Implantar el prototipo WSN en los invernaderos de rosas del IASA durante el ciclo de cosecha y monitorearlo remotamente durante el periodo de implantación.

- Realizar un análisis de la información en base a un estudio de correlación, regresión lineal y el uso de una plataforma analítica que permita definir los indicadores principales el comportamiento del prototipo.
- Desarrollar una aplicación web basada en la información resultante de la red WSN que permita visualizar niveles de temperatura, humedad e indicadores principales de acuerdo al análisis realizado.

CAPÍTULO II

ESTADO DE LA CUESTIÓN Y ESTADO DEL ARTE

2.1. Estado de la cuestión

2.1.1. Producción de rosas en invernaderos

2.1.1.1. Generalidades

La rosa es por excelencia la flor ornamental más popular en el mundo por este motivo su producción posee una demanda altísima en el mercado internacional según (Yong, 2004). Las condiciones climáticas y medioambientales de Latinoamérica prestan para que aquí se encuentren grandes productores de flores como los son Ecuador y Colombia, ambos países copan mercados tan grandes como el Norteamericano y el de la Unión Europea. Es por este motivo la importancia de generar nuevos mecanismos de controles agrícolas dentro de la producción.

Por otro lado la producción de rosas en invernaderos permite al agricultor cultivar la flor en lugares donde los factores climáticos son adversos llevando así un control adecuado de los parámetros ideales establecidos para el cultivo. Estos invernaderos deben cumplir con condiciones mínimas para ello, por este motivo existen algunos indicadores como son: temperatura y humedad (tanto ambiental como de suelo), intensidad lumínica y concentración de CO₂.

El agricultor necesita mecanismos que le permitan controlar los niveles de estos factores dentro de los invernaderos. El suelo por su parte presenta sus propias características para nutrientes y parámetros ambientales, los indicadores que más sobresalen dentro de este grupo son temperatura y humedad.

2.1.2.1 Factores que se consideran en el control climático del suelo en invernaderos.

El suelo es la parte indispensable de cualquier cultivo y los factores climáticos que intervienen definirán la viabilidad con que un producto puede

ser producido. En un invernadero estos factores pueden ser controlados por medio de tecnologías de riego y ambientación climática. Un suelo correctamente humectado y templado generará una producción exitosa del cultivo evitando posibles pérdidas del producto.

2.1.2. Control de Temperatura y Humedad del suelo en invernaderos.

2.1.2.1. Temperatura

La temperatura del suelo es un factor climático muy importante incluso más que la temperatura ambiente del aire, esto se debe a que un suelo templado es indispensable para que pueda germinar una semilla. Según lo describe (Infojardín, 2017) temperaturas muy bajas del suelo (por debajo de los 7 °C) pueden conllevar a un crecimiento más lento de las raíces de la planta, mientras que una temperatura elevada (mayor a 25 °C) puede producir resecaión de la raíz.

“La temperatura ideal para la germinación de la mayoría de las semillas es 18-25°C” (Infojardín, 2017). Es por esto que dentro de los invernaderos es necesario controlar los niveles por medio de algún mecanismo como puede ser un termómetro especializado para suelo. Este monitoreo debería ser constante para evitar posibles imprevistos que alteren la temperatura del suelo y puedan echar a perder la cosecha.

2.1.2.2. Humedad

“Se denomina humedad del suelo a la cantidad de agua por volumen de tierra que hay en un terreno.” (Infoclima, 2017). La humedad del suelo es tan indispensable como la temperatura, un porcentaje ideal garantiza el éxito del cultivo convirtiéndolo así en un factor ambiental importante a tomar en cuenta en los invernaderos. Este parámetro necesita ser medido y monitoreado constantemente para controlar sus niveles.

En los cultivos de rosas es indispensable mantener la humedad en el suelo para esto es recomendable enriquecer el suelo con materia orgánica que complementado con un buen sistema de riego ayudaría a mantener los niveles adecuados de humectación. La humedad del suelo esta netamente

ligada a la humedad del aire por lo que también es indispensable llevar un control de ambos parámetros.

Existe otra manera de poder medir los indicadores de suelo en corto tiempo y a costos relativamente reducidos. De acuerdo a (Adafruit, 2017) la humedad del aire es la cantidad de vapor ambiente que depende de la temperatura que penetra en la superficie porosa del suelo, un porcentaje de 100% indicaría que el agua en el aire no puede evaporarse por lo que las raíces de la planta estarían absorbiendo dicha humedad, de bajar estos niveles el agua comenzaría a evaporarse y el suelo tendría una pérdida de humectación. Un sensor de humedad relativa impregnado al suelo mediría constantemente estos niveles llevando un control de este factor climático al identificar una alerta cuando el dispositivo marque valores muy apartados al 100%.

2.1.3 Agricultura de Precisión

La agricultura de precisión de acuerdo a (García & Flego, Agricultura de Precisión, 2016) representa “el uso de la tecnología de la información para adecuar el manejo de suelos y cultivos a la variabilidad presente dentro de un lote”. Es decir se enfoca en el control de los parámetros o factores que intervienen dentro de un cultivo para garantizar la correcta producción de los mismos. Utiliza los recursos de TI para procesos de monitoreo, estas tecnologías pueden ser: sistemas de control ambiental por GPS, sensores, sistemas automatizados de invernaderos inteligentes, entre otros.

Las redes de sensores inalámbricos (WSN) y el internet de las cosas son tecnologías que pueden ser aplicables a la agricultura de precisión, por medio de una red de sensores se puede extraer información para controlar un campo de cultivo o invernadero, de la misma manera de acuerdo a (Ibrahim, Mohamed, Mohd, Nizar, & Mat, 2016) estos dispositivos conectados a la nube pueden crear un sistema de monitoreo constante en tiempo real por medio de un aplicativo web o bien una tecnología de cloud computing.

2.1.4 Redes de Sensores Inalámbricos

2.1.4.1 Generalidades

“Una red de sensores inalámbricos (Wireless Sensor Networks- WSN) consiste en dispositivos distribuidos espaciados libremente utilizando sensores para monitorear condiciones físicas de un fenómeno.” (Pottie & Kaiser, 2000). Es decir una red WSN permite comunicar dispositivos inalámbricamente en una cierta área de aplicación, con el objetivo de monitorear cierto fenómeno que puede ser de carácter ambiental. Cada nodo o dispositivo cuenta con sensores especializados que ayudan a recolectar información para posteriormente ser enviada y analizada por el usuario final.

Para la comunicación de estos datos las WSN utilizan protocolos y estándares como: IEEE 802.15.4 y ZigBee que utilizan arquitecturas de radiofrecuencia para conectar cada dispositivo entre sí. El fin de una red de sensores inalámbricos es el de controlar algún fenómeno de carácter ambiental por medio del monitoreo constante del mismo. (Barón, 2013). A continuación en la Figura 1 se muestra la estructura de una red WSN.

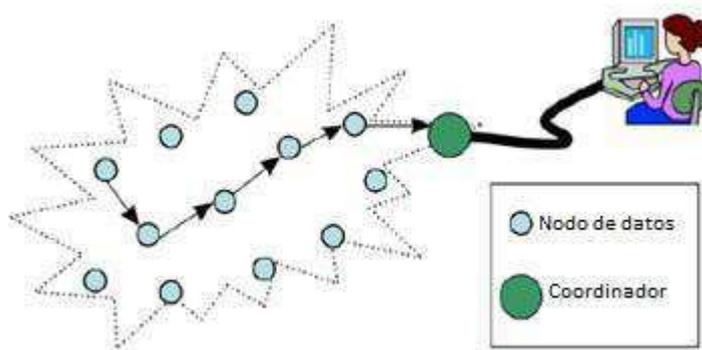


Figura 1: Estructura de una red de sensores inalámbricos

Fuente: (Iraceburo & Goicoechea, 2014).

2.1.4.2 Arquitectura y Topología

Una red de sensores inalámbricos está compuesta generalmente por 2 tipos de dispositivos, en primer lugar están los nodos finales o nodos de datos, los cuales son los encargados de recolectar la información necesaria para el proyecto utilizando sensores especializados para medir los fenómenos ambientales, posteriormente se encuentra el nodo coordinador el

cual es el encargado de recibir la información enviada por los nodos finales y enviarla al cliente o usuario final, este dispositivo también puede funcionar como Gateway para conectarse al internet y enviar los datos a la nube. De ser necesario y si el campo de aplicación de la red es extenso se necesitara de un nodo router que se ubica entre el nodo final y el coordinador. Este router será el encargado de direccionar los datos enviados por los nodos finales hacia el nodo coordinador, pueden existir algunos nodos router así como varios nodos finales que se conecten a ellos. A continuación en la Figura 2 se muestra un ejemplo de arquitectura.

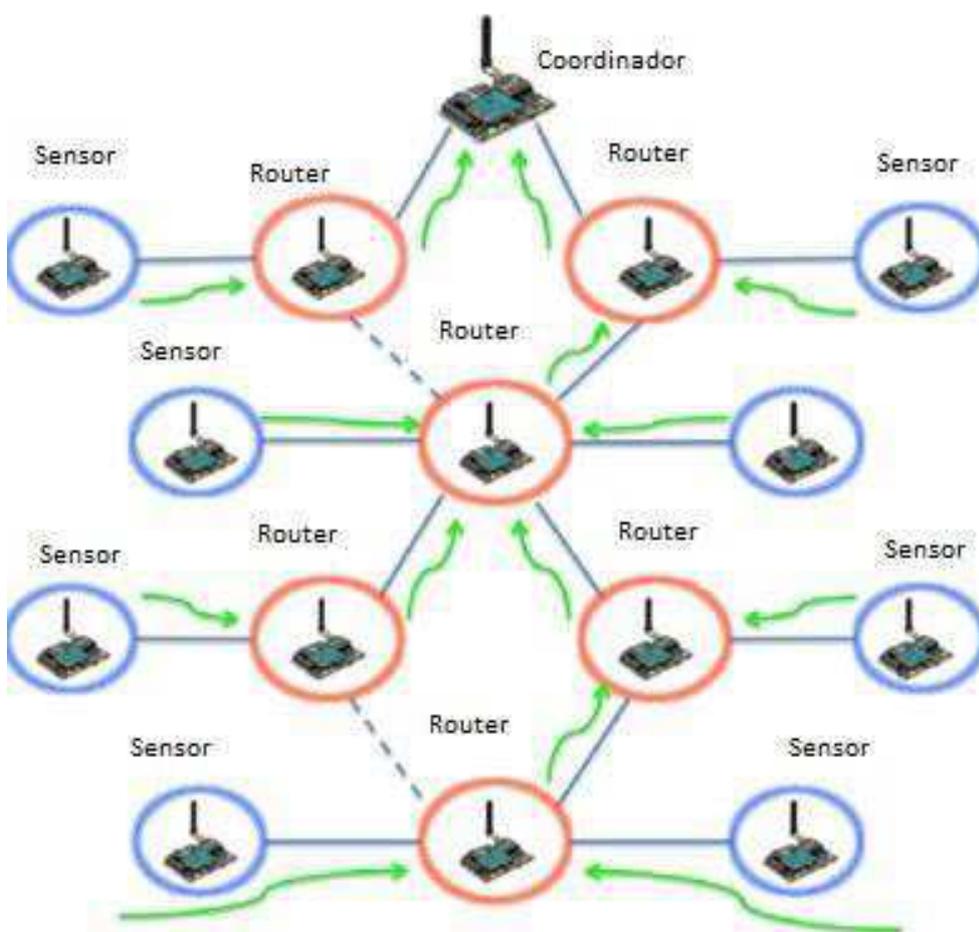


Figura 2: Ejemplo de una arquitectura WSN

Fuente: (Martínez, 2014).

En cuanto a las topologías una red WSN generalmente puede conectarse por medio de 3 tipos: en estrella, cuando los nodos finales son

comunicados directamente con el nodo coordinador, tipo árbol, cuando los nodos finales se comunican nodos de mayor jerarquía que comúnmente son nodos router. Por último la topología tipo malla en el cual un nodo puede comunicarse con varios nodos en su camino antes de llegar al nodo coordinador eligiendo el camino disponible de mayor confiabilidad. En la Figura 3 se muestra las topologías comunes de una red WSN.

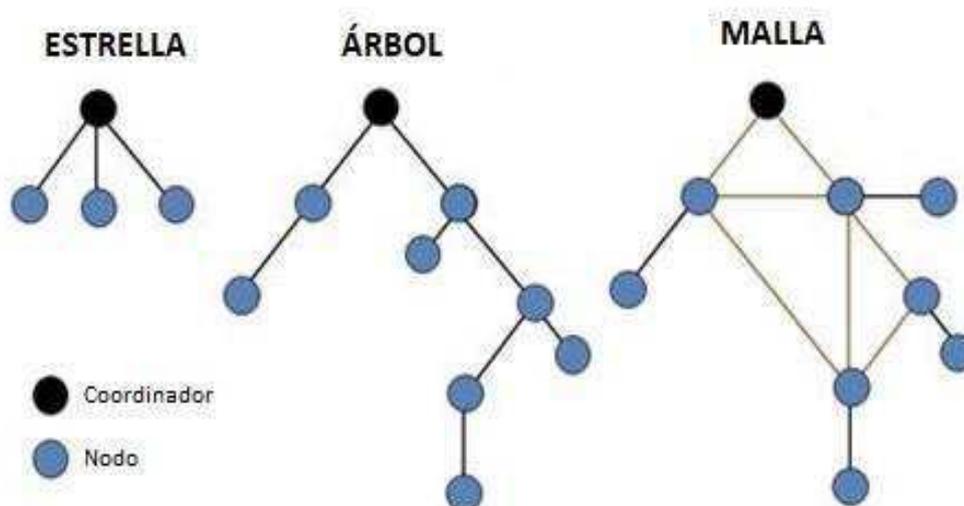


Figura 3: Topologías de red WSN comunes

Fuente: (NationalInstruments, 2017).

2.1.4.3 Aplicaciones

“Ingenieros han creado aplicaciones WSN para diferentes áreas incluyendo cuidado de la salud, servicios básicos y monitoreo remoto.” (NationalInstruments, 2017). En este gran campo aplicativo de las redes WSN se encuentra el sector del agro, que por medio del monitoreo remoto se puede controlar fenómenos y parámetros ambientales que interactúan en los procesos de producción agrícola. Por medio de los sensores se puede medir variables como temperatura, humedad o intensidad de luz que permiten al productor gestionar el control de mismas para garantizar una producción exitosa del cultivo. En la Figura 4 se muestra un ejemplo de aplicación.



Figura 4: Posicionamiento de nodos en campo de cultivos

Fuente: (Martínez, 2014).

2.1.4.4 Protocolos de comunicación

2.1.4.4.1. Estándar IEEE 802.15.4

El 802.15.4 “es un protocolo estándar para comunicaciones Wireless creado por el IEEE (Institute for Electrical and Electronics Engineers).” (Martínez, 2014), se enfoca básicamente en definir los niveles y medios de comunicación de una red inalámbrica personal (WPAN) de una manera sencilla ahorrando consumo de ancho de banda de internet al utilizar tasas bajas de transmisión y bajo consumo.

“Acorde al estándar 802.15.4 las comunicaciones deberían suceder en canales de 5 MHz con un rango entre 2.405 y 2.480 GHz.” (Martínez, 2014), es decir una red basada en el estándar 802.15.4 utiliza un rango de frecuencias relativamente bajas interconectando dispositivos sencillos en una área de uso personal, con esto pretende reducir costes en la implementación.

“El estándar 802.15.4 permite las comunicaciones con una configuración punto-apunto o punto-a-multipunto. Una aplicación típica sería una posible topología en estrella con un coordinador central y nodos remotos.” (Martínez, 2014). Entonces este protocolo estándar se acopla perfectamente con el diseño de una red de sensores inalámbricos, sus bajas tasas de transmisión,

sus bajos costes, su arquitectura de red inalámbrica de área personal (WPAN) y sus tipos de topología permiten definir correctamente los lineamientos para diseñar una red WSN.

2.1.4.4.2. ZigBee

Es un protocolo que utiliza como base el estándar IEEE 802.15.4 añadiéndole funcionalidades de diseño de red y de routing, Este protocolo “fue diseñado para añadir el mallado de red (mesh networking) a la capa de radio 802.15.4.” (Martínez, 2014). Con esta topología se puede comunicar nodos de datos o dispositivos finales que estén a distancias extensas del nodo coordinador implementando nodos intermedios que tengan la funcionalidad de un router y puedan direccionar los datos enviados desde los nodos de datos hacia el coordinador. En la Figura 5 se muestra la comunicación entre nodos.

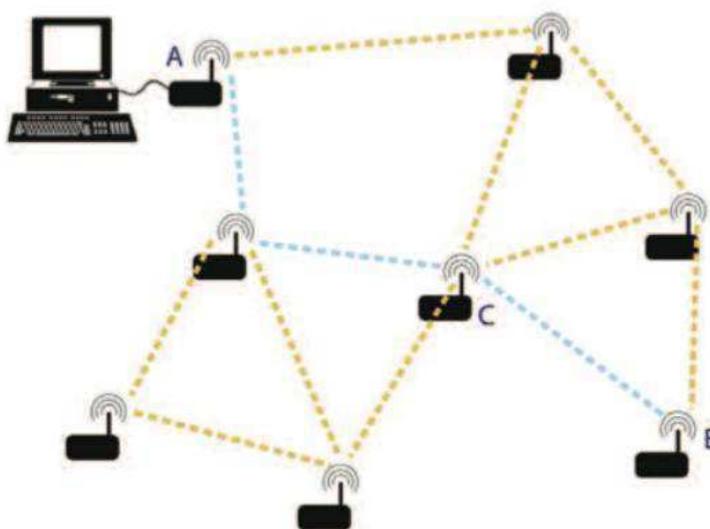


Figura 5: Comunicación ZigBee entre nodos

Fuente: (Martínez, 2014).

Como se puede apreciar en la imagen anterior (Martínez, 2014) quiere demostrar con un ejemplo. Si el nodo B quiere transmitir datos al nodo A y la distancia respectiva es muy amplia este dispositivo puede pasar la información por otro nodo intermedio (en este caso sería el nodo C) y por ende este último se convertiría en un router.

Entonces una red Zigbee está compuesta por 3 diferentes dispositivos, nodos finales, nodos router y el nodo coordinador. Este protocolo se ajusta bastante bien a un sistema embebido por su bajo consumo y disponibilidad del hardware en el mercado. Una funcionalidad importante es que si se presenta algún imprevisto (como por ejemplo la falla de un nodo en una red tipo malla) éste permite los mecanismos necesarios para direccionar la información por el camino más adecuado.

En cuanto a las capas del modelo OSI que define Zigbee. “Las dos primeras capas, la física (PHY) y la de control de acceso al medio (MAC), son definidas por el estándar 802.15.4 y las capas superiores, Red (NWK) y Aplicación (APL), por la Alianza ZigBee.” (Maya & Burbano, 2014). A continuación se muestra la arquitectura básica. En la Figura 6 se muestra la arquitectura básica ZigBee.

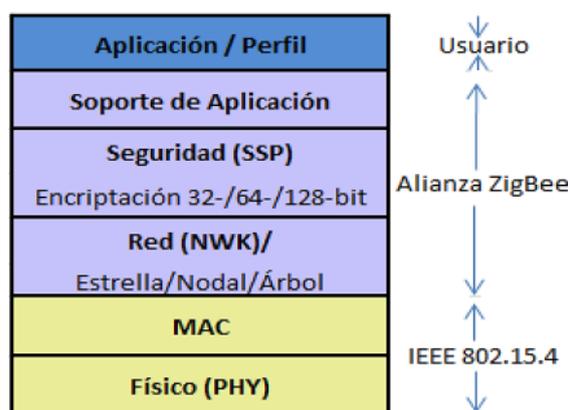


Figura 6: Arquitectura básica ZigBee

Fuente: (Maya & Burbano, 2014)

2.1.5 Componentes de Hardware

2.1.5.1. Microcontrolador Arduino Uno

Arduino Uno es una placa electrónica interconectada a un microcontrolador ATmega328. “Posee 14 pines de entradas/salidas digitales (6 de los cuáles se pueden emplear como salidas PWM y dos de ellas se pueden emplear para la comunicación serie) y 6 entradas analógicas.”

(Iraceburo & Goicoechea, 2014), estos pines permiten la conexión e interacción de sensores digitales y analógicos con la placa.

Arduino funciona con una alimentación eléctrica de 5V y posee un puerto USB que permite la comunicación serial con otros dispositivos como la Raspberry pi. Cuenta con su propio ambiente de programación Arduino IDE basado en processing muy similar a C y C++ que permite programar muy fácilmente la placa. En la Figura 7 se muestra la gráfica de un Arduino Uno.

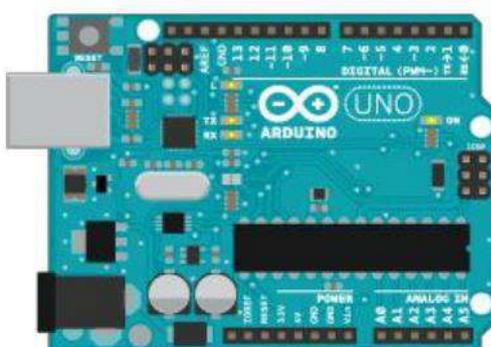


Figura 7: Arduino Uno

Fuente: (CSULB, 2017)

2.1.5.2. Módulos Xbee Series 2

Los módulos Xbee son dispositivos creados por Digi¹ que implementan la tecnología ZigBee, utilizan comunicaciones de radiofrecuencia para la transmisión de datos punto a punto y punto a multipunto de forma inalámbrica. Xbee Series 2 son una versión actualizada de los módulos Xbee Series 1, la principal diferencia radica en que los primeros si permiten hace una red tipo malla.

Los módulos Xbee se conectan al Arduino por medio de los pines los pines Rx (recepción) y Tx (Transmisión) y permiten la conexión con otros dispositivos que estén en su propia red los mismos que de igual manera pueden estar conectados a otra placa Arduino o incluso una Raspberry. Estos módulos se han convertido en el hardware principal para la arquitectura física de las redes de sensores inalámbricos (WSN). En la

¹ Empresa internacional dedicada a la producción de artefactos electrónicos especializados en el ámbito del Internet de las Cosas (IoT)

Figura 8 se muestra el módulo Xbee mientras que en la figura 8 se muestra el diagrama de conexión con un microcontrolador.



Figura 8: Xbee XB24-Z7WIT004 Serie 2

Fuente: (Xbee, 2017)

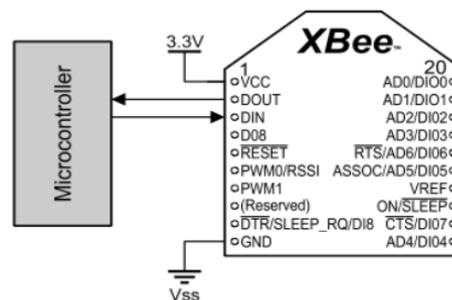


Figura 19 PIN en módulo Xbee

Figura 9: PIN en módulo Xbee

Fuente: (Martínez, 2014)

2.1.5.3. Xbee Shield para Arduino

El Xbee Shield es un dispositivo de hardware que permite conectar módulos de comunicación inalámbrica al Arduino de una manera sencilla, esta placa posee también un regulador de voltaje de 3.3 VDC para poder alimentar al módulo sin necesidad que exista riesgos de sobrevoltaje.

Esta placa electrónica simplifica la comunicación entre el Arduino y la Xbee, cuando se programa un sketch en el que se necesite enviar información por el puerto serial automáticamente el Xbee montado sobre el Xbee Shield enviara la información inalámbricamente por el mismo puerto. “Los pines seriales (DIN y DOUT) del Xbee están conectados a un switch SPDT, con lo que puedes seleccionar conectarlo a la UART (D0, D1) o a los

pinos digitales 2 y 3 del arduino.” (Arduino, 2017). A continuación en la Figura 10 se muestra el montaje de un nodo a través de la Xbee Shield.

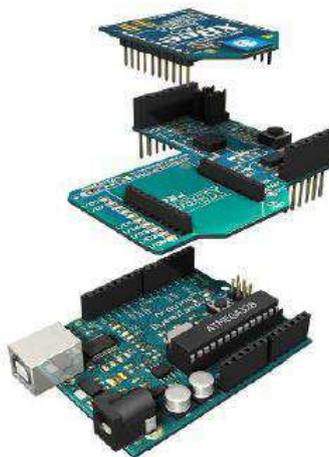


Figura 10: Montaje de un nodo utilizando la Xbee Shield

Fuente: (Boonsawat, Ekchamanonta, Bumrungkhet, & Kittipiyakul, 2012)

2.1.5.4. Raspberry Pi

Raspberry Pi es una computadora de placa única que corre con sistemas operativos GNU/Linux, es más comúnmente usado es Raspbian que posee una interfaz gráfica muy amigable con el usuario. Una placa de raspberry pi cuenta todas las funcionalidades que cualquier otra computadora como la conectividad a internet por medio de Ethernet o algún adaptador WIFI, esto representa una ventaja bastante fuerte sobre los microcontroladores.

La Raspberry Pi modelo B cuenta con 4 puertos USB con los cuales permite la comunicación serial con otros dispositivos, también posee pines digitales (in/out) para conectar e interactuar con hardware externo como sensores digitales y analógicos. Este modelo también cuenta con 1 GB de memoria ram y un almacenamiento interno que es proporcionado por una tarjeta micro SD. Al cumplir con todas las funcionalidades de una computadora Raspberry pi puede funcionar incluso como servidor web, es muy sencillo instalar LAMP (Linux, Apache, MySQL y PHP) con esto cualquier cliente puede consumir los servicios o acceder a su base de datos

remotamente. Otra ventaja es que se le puede configurar una IP fija que facilitaría el acceso a la información, de igual manera se puede conectar el módulo Xbee por medio del puerto USB y crear una comunicación en serie

Por todas estas características la Raspberry Pi junto al módulo de transmisión inalámbrica Xbee se convierten en los dispositivos ideales para cumplir la función de nodo coordinador de una red WSN, su capacidad de almacenamiento permite instalar y configurar una base de datos para que pueda almacenar la información enviada por los nodos de datos por medio del puerto serie. Así mismo puede cumplir la función de Gateway y enviar la información a la nube por medio de una conexión a internet.

Las características principales de una Raspberry Pi 3 Modelo B según (RaspberryPi, 2017) son: CPU ARMv8 quad-core de 64 bits y 1.2 GHz, 802.11n Wireless LAN, Bluetooth 4.1, Bluetooth Low Energy (BLE), 1GB de RAM, 4 puertos USB, 40 pines GPIO, puerto Full HDMI y puerto de Ethernet. En la Figura 11 se muestra una Raspberry Pi.



Figura 11: Raspberry Pi 3 Modelo B

Fuente: (RaspberrPi-SPY, 2017)

2.1.5.5. Xbee Explorer USB

Xbee Explorer es un adaptador que permite comunicar el módulo de comunicación inalámbrica Xbee con otro dispositivo como una PC, con esto se puede configurar y programar los módulos desde el ordenador comúnmente utilizando el software proporcionado por Digi denominado X-CTU. Esta aplicación permite configurar los módulos Xbee en las diferentes topologías posibles de comunicación, punto a punto, estrella, árbol y malla,

utilizando para esto comandos AT. En la página oficial de Digi existe la última versión de este software.

El Xbee Explorer es perfecto para comunicar vía USB al módulo con una Raspberry Pi. Con esto puede recibir los datos enviados por otro dispositivo que utilice Xbee a través del puerto serial para posteriormente procesar, almacenar o retransmitir la información. En la Figura 12 se muestra la Xbee Explorer

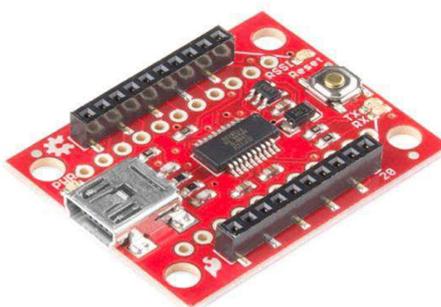


Figura 12: Xbee Explorer USB

Fuente: (SparkFun, 2017)

2.1.5.6. Sensor de Temperatura y Humedad de Suelo SHT10

El sensor SHT10 pertenece a la familia de sensores SHT1x de temperatura y humedad de Sensirion, “Los sensores integran el propio sensor más de un procesado de señal que proporciona una salida digital totalmente calibrada. Consta de un sensor capacitivo para medir la humedad mientras que la temperatura se mide por un sensor “band-gap”.” (Iraceburo & Goicoechea, 2014). Es decir es un sensor digital de alta precisión que posee un bajo consumo por lo que es utilizado en la mayoría de aplicaciones basadas en redes WSN. En la Figura 13 se muestra el diseño del sensor y en la Figura 14 su aplicación típica.



Figura 13: Sensor SHT1x

Fuente: (Sensirion, 2017)

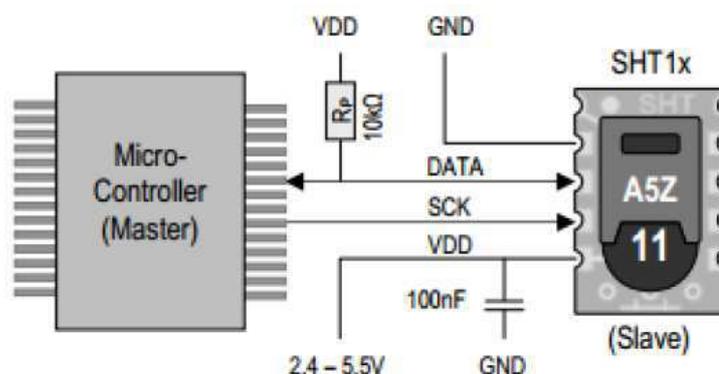


Figura 14: Aplicación típica del Sensor SHT10

Fuente: (Sensirion, 2017)

El sensor humedad y temperatura para suelos SHT10 cuenta además con una sonda y una carcasa anticorrosiva de acero inoxidable que lo protege de agentes externos y condiciones adversas. Por estas características se convierte en el sensor ideal para implementarlo en el suelo de plantaciones en exteriores e interiores (invernaderos), funciona a un voltaje de 3-5 voltios y se acopla perfectamente a una placa Arduino ya que cuenta con 4 cables de datos y potencia, Rojo = VCC (3-5VDC), Negro o Verde = Tierra, Amarillo = Reloj y Azul = Datos, estas referencias de colores pueden variar dependiendo el fabricante. Según (Sensirion, 2017) su rango de humedad va del 0 al 100% pudiendo aumentar en condiciones extremas de humectación con una precisión de $\pm 8.0\%RH$ como se indica en la Figura 15 y su rango de temperatura de -40 a $125^{\circ}C$ o -40 a $257^{\circ}F$ con una precisión de $\pm 2.5^{\circ}C$ de acuerdo a la información técnica (Datasheet) y como

se muestra en la Figura 16, posteriormente en la Figura 17 se muestra la sonda del sensor.

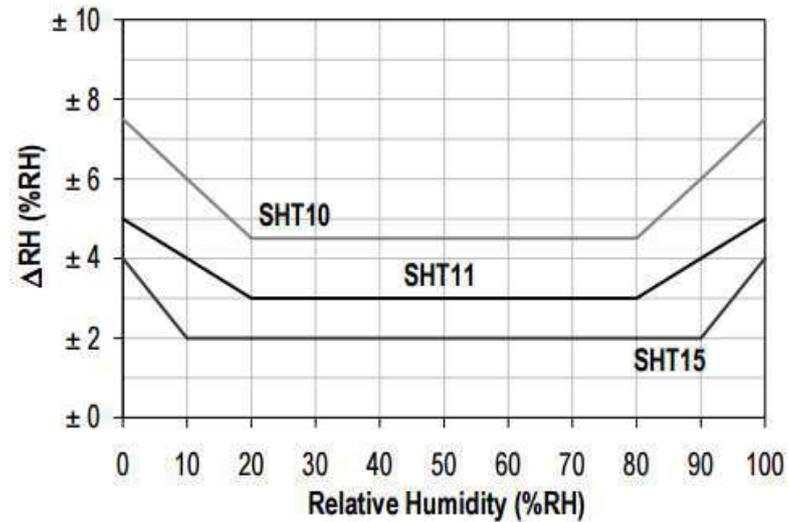


Figura 15: Rango de precisión de humedad sensor SHTx

Fuente: (Sensirion, 2017)

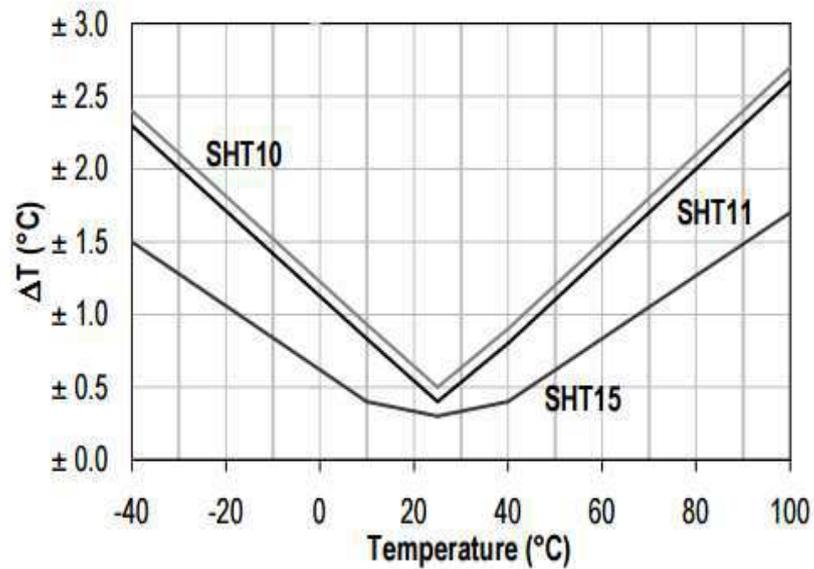


Figura 16: Rango de precisión de temperatura sensor SHTx

Fuente: (Sensirion, 2017)



Figura 17: Sonda sensor SHT10

Fuente: (Adafruit, 2017)

2.1.6 Internet de las Cosas

“El internet de las cosas se refiere a la interconexión digital de una variedad de objetos cotidianos, la idea fundamental es que todos los elementos se conecten a Internet” (Pinzón, 2015) Es decir cualquier objeto que se vuelva parte de nuestra vida cotidiana se puede conectar a la nube con el fin de monitorear y controlar ciertos fenómenos creando el concepto de ciudades inteligentes.

Los controles de estos fenómenos se los realiza por medio de sensores que capten información y la envíen a la nube, por este motivo las redes de sensores inalámbricas están netamente ligadas con IoT porque permite abarcar grandes áreas de monitoreo por medio de su arquitectura, reduciendo así recursos en dispositivos de conectividad a internet, esto se debe a que existe un único nodo coordinador encargado de recolectar la información de todos los demás y enviarla a la nube.

“Con la implementación de IPv6 en el año 2010 se agotaron las direcciones IPv4 del mundo el cual se puede identificar con el avance del internet de las cosas, ya que los posibles millones de sensores necesitan direcciones IP exclusivas.” (Heredia, 2014). Esta tecnología permite la comunicación a gran escala de los objetos a través de la red facilitando la implementación de las WSN. Uno de los desafíos más importantes de IoT es

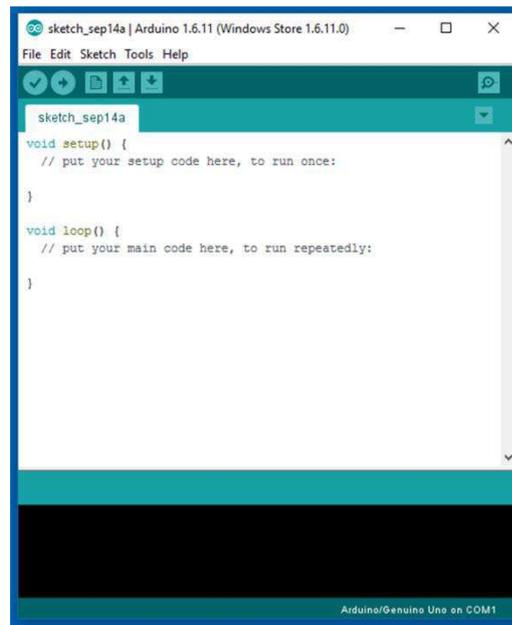


Figura 19: Interfaz gráfica de Arduino IDE

Fuente: (Microsoft, 2017)

2.1.7.1.2. Python

Python es un lenguaje de programación robusto usado en una infinidad de aplicaciones siendo una de sus características principales la sencillez con la que se maneja y su fácil capacidad de aprendizaje. “Cuenta con estructuras de datos eficientes y de alto nivel y un enfoque simple pero efectivo a la programación orientada a objetos” (Rossum, 2009).

Python utiliza una sintaxis de datos implementados en C y C++ como la mayoría de lenguajes basados en estos últimos por lo que implica bastante la implementación del desarrollo en el código. Otra ventaja que tiene este lenguaje es la cantidad de documentación y soporte en línea que posee, facilitando así su aprendizaje y control.

Raspberry Pi es un ordenador de placa reducida que utiliza en sus procesos por defecto Python por lo que si se desea trabajar con este minicomputador lo más recomendable es utilizar este lenguaje, con él se puede desarrollar todo tipo de aplicaciones además de permitir configurar y definir procesos en segundo plano como puede ser consumir un servicio web o abrir la comunicación del puerto serial para comunicarse con otros

dispositivos almacenando la información en una base de datos local o en un servidor externo.

2.1.7.2. Base de Datos

2.1.7.2.1 MySQL

MySQL es un gestor de base de datos relacional considerado uno de los más populares a nivel mundial para el desarrollo de aplicaciones que requieran un almacenamiento robusto. Este gestor puede funcionar en diferentes plataformas de Sistemas Operativos, “MySQL cuenta con un sistema de privilegios y contraseñas que es muy flexible y seguro y que permite verificación basada en el host” (Ballesteros & Chaparro, 2008).

En cuanto a las características de este gestor de base de datos es la robustez, es ideal para almacenar gran cantidad de datos, “en cuanto a la escalabilidad y los límites, MySQL soporta grandes bases de datos con hasta 50 millones de registros” (Ballesteros & Chaparro, 2008).

Por la gran cantidad de datos que permite almacenar en su motor MySQL se convierte en un gestor ideal para una aplicación web basada en WSN. En este proyecto de grado cada nodo enviara dos datos cada cierto periodo de tiempo para controlar y monitorear los niveles de temperatura y humedad del suelo, esta información será almacenada en dos tablas (una por nodo) y posteriormente podrá ser accedida externamente por medio de una herramienta de computación en la nube.

2.1.7.3. Back-end

2.1.7.3.1. Node Js

“Node.js es un entorno de ejecución para JavaScript construido con el motor de JavaScript V8 de Chrome” (Nodejs, 2017). Está orientado a eventos asíncronos y permite la escalabilidad de las aplicaciones. Por ser un entorno liviano facilita configurar el flujo de información de un web service reduciendo los recursos de conectividad y convirtiéndolo así en un entorno ideal para aplicaciones en donde se necesita aliviar la carga de código del lado del Back-end.

Por las características antes mencionadas Node.js se convierte en una de las mejores opciones para el desarrollo de aplicaciones en tiempo real además de permitir complementar la arquitectura del software con librerías y Frameworks de JavaScript para Front-End como React.js, Angular.js o jQuery.js.

2.1.7.4. Front-end

2.1.7.4.1. React Js

De acuerdo a (React, 2017) esta es una librería de Fron-end para JavaScript de código abierto permite el manejo de diseños de interfaces web mediante el concepto de “renderización” que propone un nuevo paradigma en el manejo del Document Object Model (DOM) permitiendo el flujo de grandes cantidades de información unidireccionalmente en la interfaz web he de ahí el origen de sus creadores Facebook.

React.js propone también según (Flux, 2017) una nueva arquitectura para aplicaciones web del cliente, está compuesto por 4 partes, el distribuidor, las acciones, las tiendas y las vistas, este patrón de diseño reemplaza al tradicional Modelo Vista Controlador (MVC) con la diferencia que en Flux el flujo de datos es unidireccional donde la información es enviada desde las vistas por medio de las acciones y el distribuidor hasta las tiendas en donde actualizara de nuevamente las vistas. En la Figura 20 se describe la arquitectura Flux.

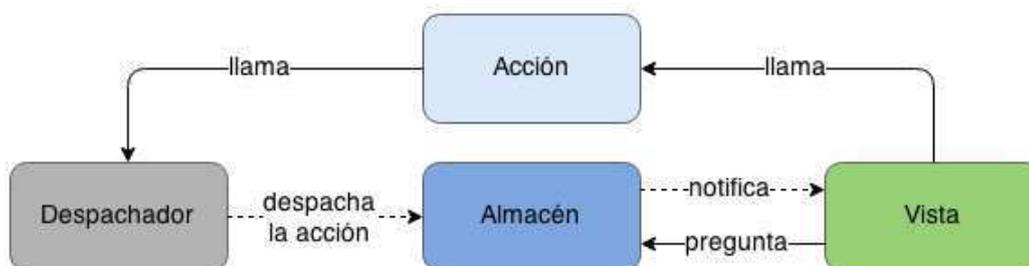


Figura 20: Arquitectura Flux

Fuente: (CostaRicaJs, 2017)

2.1.7.5. Software como servicio (SaaS)

2.1.7.5.1. Weaved

En últimos años la computación en la nube ha permitido grandes avances tecnológicos en el almacenamiento, manejo y control de dispositivos en todo el mundo. Uno de los pilares de esta tecnología es el Software como Servicio (SaaS), un mecanismo que permite utilizar servicios de aplicaciones en línea desde cualquier parte por medio de una conexión a la red. En este ámbito aparece una tecnología de computación en la nube llamada Weaved², un software como servicio que permite conectar remotamente a un dispositivo desde cualquier parte del mundo sin la necesidad de implementar una IP pública. Posee su versión de uso gratuito con pequeñas limitaciones en comparación a otras plataformas, para su uso simplemente se crea una cuenta y se instala los servicios en el dispositivo al cual se desea monitorear. De acuerdo a (Weaved, 2017) esta herramienta entra en el concepto del Internet de las cosas (IoT) por que permite monitorear desde una interfaz web dispositivos de hardware conectados a una red como sensores, placas o microcontroladores. Una aplicación bastante utilizada de Weaved es el monitoreo por medio de conexión remota a la Raspberry Pi, esta minicomputadora empata muy bien con la tecnología de Weaved y por sus carteristas es implementa en algunos sistemas de control incluido IoT. Es necesario configurar la Raspberry Pi instalando los controladores de modo terminal SSH o VNC (Virtual Network Computing) para escritorio remoto (dependiendo el tipo de acceso que se desee), además del servicio de Weaved. Con esta configuración solo se necesita acceder al dispositivo desde cualquier navegador externo o también por medio de la aplicación móvil de Weaved para Android o IOS.

2.1.7.6. Software Estadístico

2.1.7.6.1. R versión 3.3.3.

El software libre R versión 3.3.3, es un lenguaje y entorno de programación con enfoque estadístico, creado por Ross Ihaka y Robert Gentleman de la Universidad de Auckland, Nueva Zelanda.

² Herramienta de computación en la nube Software como servicio (SaaS)

R permite con facilidad el análisis de datos masivos, que funciona a través de librerías, que se encuentran en el repositorio CRAN, encargado de la publicación de versiones, librerías (9,952), actualizaciones para los diferentes sistemas operativos como: Linux, Mac y Windows.

2.1.7.7. Plataforma Analítica

2.1.7.7.1. QlikSense

De acuerdo a (QlikSense, 2017) esta es una herramienta perteneciente a la familia Qlik que permite crear aplicaciones o visores de información en base a grandes cantidades de datos, está enfocada al estudio de la información con el fin de generar conocimientos que permitan la toma de decisiones de una entidad u organización. Por medio de dashboards el usuario final puede interactuar con la aplicación dinámicamente visualizando los resultados de un estudio o simplemente encontrando soluciones a través de la data.

“Calificada como una aplicación revolucionaria de auto-servicio de descubrimiento y visualización de datos diseñada para individuos, grupos y empresas.” (Cliksoft, 2017). QlikSense además permite la compilación de varias fuentes de datos que hacen de esta una plataforma ideal para el estudio de grandes cantidades de datos (Big Data).

2.1.7.8. Metodología de Desarrollo

2.1.7.8.1. XP.

XP (Extreme Programming) es una metodología de desarrollo de software ágil, se enfoca más en los requerimientos del usuario y es adaptable al cambio, es decir permite cambios en los requisitos de la aplicación durante la etapa de desarrollo, esto representa una gran ventaja contra las metodologías tradicionales. XP pone al individuo y al grupo de desarrollo sobre las herramientas y el proceso de desarrollo, además hace énfasis a la funcionabilidad del software sobre la excesiva documentación. En la Figura 21 se muestra las fases de la Metodología XP.

Fases de la Metodología XP:

- Planificación del proyecto

- Diseño
- Codificación
- Pruebas

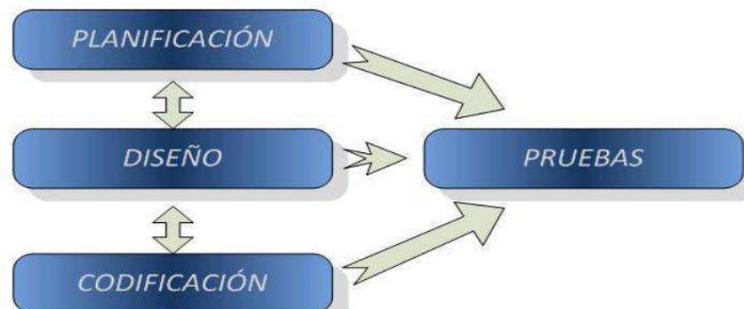


Figura 21: Fases de la Metodología XP

Fuente: (Bustamante & Rodriguez, 2014)

2.1.8. Correlación y Regresión Lineal

2.1.8.1. Correlación Lineal

De acuerdo a (Alicia Vila, 2004) el estudio correlacional permite conocer o determinar la relación que existe entre dos variables, es decir cómo influye la una sobre la otra, este tipo de relación se puede expresar por medio de un diagrama de dispersión que no es más que un conjunto de puntos que indica el tipo de relación existente entre ambas variables. Para cuantificar la relación lineal entre dos variables existe un parámetro estadístico que mide la influencia de un variable sobre otra en un valor entre -1 y +1 y se lo conoce como el Coeficiente de Pearson, este valor puede mostrar una correlación lineal positiva o negativa de ser el caso. En la Figura 21 se muestran los tipos de correlación lineal.

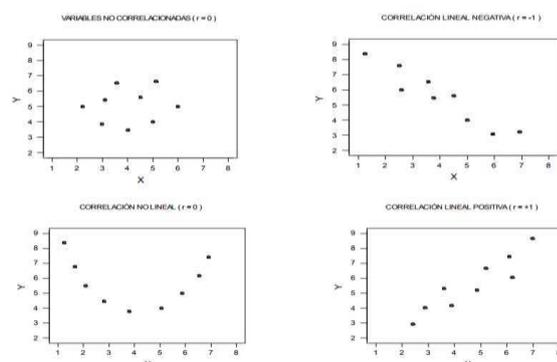


Figura 22: Tipos de correlación lineal

Fuente: (Alicia Vila, 2004)

Como se puede apreciar en la Figura 21 existen 2 tipos de correlación lineal, una negativa con valores de -1 a 0 y otra positiva con valores de 0 a 1. Esto indicaría que de ser negativa una variable influiría inversamente sobre otra, es decir por ejemplo a mayor temperatura menor humedad y a mayor humedad menor temperatura. De ser positiva la relación sería de a mayor temperatura mayor humedad y viceversa. En la Figura 23 se muestran as escalas de correlación lineal acorde el coeficiente de Pearson.

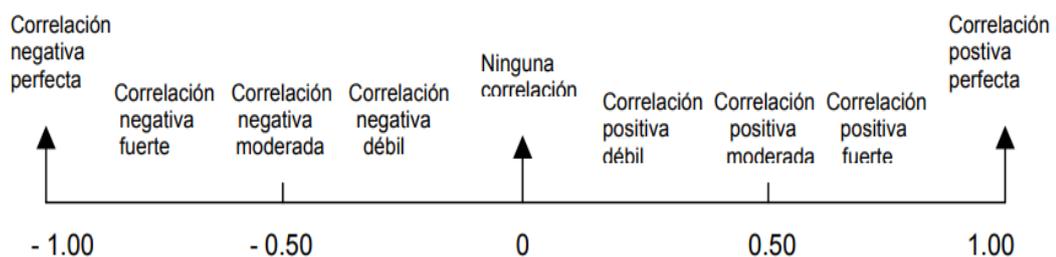


Figura 23: Análisis de resultados del coeficiente de Pearson

Fuente: (Alicia Vila, 2004)

En la Figura 12 se muestra el análisis que puede resultar de los valores obtenidos a través del coeficiente de Pearson en un estudio realizado a dos variables donde se puede apreciar la escala entre una correlación negativa y una correlación positiva.

2.1.8.1.2. Fórmula del Coeficiente de Pearson

El coeficiente de correlación lineal de Pearson se define como “la media de los productos cruzados de las puntuaciones estandarizadas de la variable X y la variable Y” (Personal, 2017). A continuación se muestra la expresión a utilizarse.

$$\rho_{x,y} = \frac{\vartheta_{xy}}{\sigma_x \sigma_y}$$

2.1.8.2. Regresión Lineal

Según (Alicia Vila, 2004) si el coeficiente de Pearson se acerca a -1 o 1 es conveniente definir una ecuación que se ajuste lo más preciso posible a las puntuaciones estandarizadas o diagrama de dispersión. El objetivo principal de utilizar las ecuaciones de regresión es el de predecir el valor de una variable Y sobre una variable X y viceversa. Para el caso de una

correlación lineal la expresión a utilizarse es la recta de mínimos cuadrados la cual es de la forma punto pendiente. A continuación se muestra la fórmula de la regresión lineal simple y en la Figura 26 se muestra la recta de mínimos cuadrados.

$$E(x, y) = \beta_0 + \beta_1 x$$

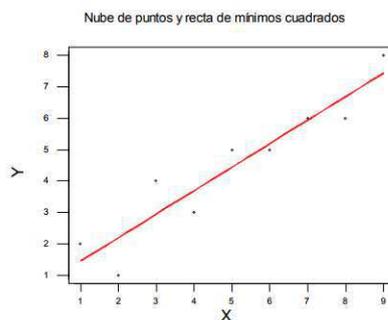


Figura 24: Recta de mínimos cuadrados

Fuente: (Alicia Vila, 2004)

2.2. Estado del arte

2.2.1. Redes de Sensores inalámbricos (WSN)

Existen varios trabajos publicados en relación a las redes de sensores inalámbricos y sus diferentes aplicaciones. Se resalta la importancia de las WSN en las nuevas tecnologías de la comunicación. De acuerdo a (Iacono, Godoy, Marianetti, Garino, & Párraga, 2012) estas redes están conformadas por hardware limitado de memoria y energía por lo que reducen gastos de implementación además las redes WSN trabajan con protocolos como IEEE 802.15.4 o ZigBee,

Se puede indicar que los autores antes mencionados hacen referencia a protocolos de comunicación comunes que manejan las redes de sensores inalámbricos como son la IEEE 802.15.4 y ZigBee, también hacen referencia y comparan las arquitecturas tanto de WSN como de TCP/IP y hacen un análisis de las diferencias más importantes entre ambas tecnologías de comunicación enfocándose en los elementos que son parte de una red de sensores inalámbricos, que representa cada nodo y como están distribuidos en una arquitectura simple tipo estrella.

Como se mencionó las WSN tienen una amplia variedad de aplicaciones, es por ello que necesitan basarse en una metodología de

diseño y desarrollo, De acuerdo a (Pérez, Urdaneta, & Custodio, 2014) La inclusión de nuevas tecnologías de sensores en el mercado han permitido generar nuevos proyectos en torno a las redes WSN cubriendo necesidades en grandes áreas de la implementación. Por este motivo es necesario encontrar un nuevo mecanismo de comunicación, siendo aquí en donde el desarrollo de las aplicaciones basadas en redes de sensores inalámbricos puede ser implementado.

El trabajo mencionado se centra en buscar un método para poder diseñar las redes WSN en donde se muestra las características que la componen, sus elementos y su arquitectura física. Describe además como se realiza la comunicación inalámbrica, las topologías y los estándares que maneja de una forma muy detallada y completa.

De acuerdo a (Erazo, y otros, 2015) quienes proponen un proyecto de monitoreo enfocado al área agrícola en donde implantaron una red WSN en un invernadero de producción de rosas, destacan la importancia de la tecnología a ser utilizada dentro de un ambiente cerrado pero al mismo tiempo extenso en cuanto a las dimensiones de la plantación. Debido a las dificultades que representa el cableado dentro del invernadero es necesario buscar un mecanismo que permita la comunicación inalámbrica entre dispositivos que además sean de bajo costo y de fácil instalación, permitiendo también la escalabilidad o crecimiento de nodos conforme la necesidad lo requiera. De esta manera los autores definen a las principales fortalezas de una red de sensores inalámbricos.

Por último (Farias, et al., 2017) definen la importancia de la aplicación de las redes de sensores inalámbricos en el ámbito agrícola, una característica responde al reducido tamaño de cada nodo que permite la escalabilidad del sistema introduciendo gran cantidad de dispositivos en una área determinada con el objetivo de medir y monitorear niveles de factores ambientales como temperatura, luminosidad, humedad relativa y de suelo entre otros. Los autores resaltan también la amplia variedad de aplicaciones de las redes WSN como la medicina, la industria o la militar.

2.2.2. Arduino como arquitectura de hardware en las redes WSN

Arduino es un dispositivo de hardware libre que permite el desarrollo de aplicaciones en un entorno propio, maneja un lenguaje propio de desarrollo basado en C y C++. Los alcances de esta herramienta son realmente extensos por lo que la tecnología de las redes de sensores inalámbricos se integra bastante bien con este hardware.

De acuerdo a (A. F. M. Sultanul Kabir, 2014) a pesar de los años de estudio que tienen las aplicaciones basadas en WSN aún no se tienen mecanismos enfocados netamente a la seguridad, los autores indagan en que tan vulnerables son estas redes. Como caso práctico toman la implementación de WSN con Arduino y Xbee en donde han probado nuevos algoritmos desarrollados como son: cifrado de flujo RC4 y función de hash basada en RC4.

Los autores muestran además el montaje de los nodos es decir, la interconexión entre la placa de Arduino, Xbee y los sensores designados de los cuales se va a extraer la información como por ejemplo: temperatura, humedad, intensidad lumínica, etc.

Para el desarrollo y construcción de redes de sensores inalámbricos se utiliza como ya se ha descrito anteriormente en los trabajos mencionados la plataforma de hardware libre Arduino, pero esto se complementa con un mecanismo que permita la transmisión inalámbrica de información y para eso están los módulos de comunicación inalámbrica Xbee, los cuales son pequeños dispositivos que permiten la comunicación utilizando el protocolo de red IEEE 802.15.4 punto a punto y punto a multipunto.

(Ramachandran, 2015) Muestra una explicación a fondo de la integración de Arduino con Xbee y su aplicación en las redes de sensores inalámbricos, describe un mecanismo de localización de los nodos, los enrutamientos y el envío de paquetes de información dentro de la red. Además nos muestra un diseño de un algoritmo de localización de evolución diferencial para minimizar el error que utiliza menos variables de control.

La plataforma Arduino integrada en las redes de sensores inalámbricos permite gran variedad de aplicaciones. (C. Pita, 2012) Muestran

un aplicativo por medio de WSN y el estudio experimental de Arduino que permite el monitoreo de estacionamientos por medio de una topología de un solo salto. De acuerdo a (Kumbhar, 2016) la experiencia resultante de los trabajos mencionados la integración entre la plataforma Arduino, el modulo para comunicaciones inalámbricas Xbee y los sensores seleccionados (dependiendo el fin de la aplicación), permiten un desarrollo sencillo y eficiente de los componentes principales de una red WSN.

2.2.3. Sensores de Temperatura y Humedad

En el campo extenso de la aplicación de las redes WSN existe una gran cantidad de sensores que interactúan por medio de nodos, esto dependerá del enfoque que se dé al aplicativo puede ser en la medicina, la industria, la agricultura, el medio ambiente, entre otras áreas. En este caso se analizará únicamente la experiencia de trabajos relacionados al monitoreo utilizando sensores de Temperatura y Humedad, esto a un nivel macro abarcando algunas áreas de la investigación.

(Vera, Barbosa, & Pabón, 2014) realizan un análisis del estudio de variables físicas incluidos los parámetros de temperatura ambiental y humedad relativa, para esto utilizan el protocolo ZigBee y los módulos de comunicación inalámbrica Xbee por medio de una interconexión de 4 nodos. Refiriéndose a los sensores de temperatura y humedad definen conceptos técnicos que permiten conocer como estos factores pueden variar por ser netamente indicadores climáticos y su importancia de generar un mecanismo que permita controlar los niveles de los mismos.

Los sensores utilizados por los autores para medir los parámetros de la temperatura ambiente y humedad relativa son DS18B20 y HIH 4000-002 respectivamente. En este caso el autor ha hecho una elección en base a su tipo de estudio que se va centrar en medir los parámetros del aire a diferencia de este proyecto que se enfocará en medir los mismos factores pero enfocado a la calidad del suelo del ámbito agrario. A pesar de eso da una idea macro y complementaria sobre la integración de los sensores en las redes WSN su modo de manejo y las principales características.

Otra aplicación bastante importante de las redes WSN es la industria, un ejemplo de una publicación dirigida a la producción de bienes de servicio es (Adriana P. Quiñones, 2013) que lanzaron una propuesta de mejora en el proceso de fermentación en la producción del té comercial. Mencionan que el proceso productivo en donde se lleva a cabo la fermentación del té debería estar por un tiempo determinado entre una temperatura de 20°C y 30 °C en vista que fuera de ese rango de temperaturas no alcanza a presentar su aroma y color característico.

Es por este motivo que debido a la importancia del control y monitoreo de este factor ambiente los autores desarrollaron una aplicación basada en WSN que les permita controlar los niveles ideales de temperatura ambiente y entre otros factores la humedad relativa que son necesarios para la producción industrial del té, para ello utilizan sensores especializados que les permiten extraer la información de cada nodo ubicado de acuerdo a su diseño de topología de red.

Por otro lado (Saad, y otros, 2017) plantean un proyecto relacionado a las redes de sensores inalámbricos y la agricultura en el cual se enfocan en la medición de parámetros climáticos dentro de un invernadero de mangos. Dentro de los factores medidos está temperatura y humedad relativa, realizan un monitoreo utilizando la plataforma LabVIEW y conectándola a su prototipo de WSN. El objetivo de este estudio es medir el impacto de estas variables internas en relación a las variables externas al invernadero, para esto muestran los resultados de las capturas en tiempo real comparando ambas mediciones.

2.2.4. Cloud Computing para aplicaciones basadas en WSN

Existe una conexión bastante importante entre la tecnología de computación en la nube y las redes de sensores inalámbricos, la información recolectada por los nodos que conforman la WSN necesita ser presentada en una interfaz gráfica al usuario. Un objetivo de este proyecto de investigación es monitorear los niveles de temperatura y humedad del suelo de un invernadero de rosas de forma externa y remota desde cualquier

punto por medio de una aplicación conectada a la nube y que utilice el concepto del Internet de las Cosas (IoT).

En éste ámbito (Fortuño, 2012) realiza una propuesta bastante innovadora en cuanto a una interfaz web que muestre la información recolectada por la red de sensores inalámbricos. Aprovechando las ventajas que ofrecen los servicios en la nube han sabido integrar de una manera eficaz la tecnología de WSN con la plataforma Pachube ahora llamada Xively.

De acuerdo con (Fortuño, 2012) Pachube es una plataforma que facilita subir y publicar información de una red de sensores por medio de gráficos. Esta tecnología de la nube permite la conexión de dispositivos a la red con lo cual se tiene la posibilidad de visualizar por medio de una interfaz web los datos enviados por la red WSN teniendo acceso desde cualquier cliente web o móvil.

(Fortuño, 2012) Además en su trabajo propone el desarrollo de una interfaz gráfica por medio del lenguaje Processing de código abierto basado en java tanto para aplicaciones locales como para web, esta herramienta tiene la ventaja de tener gran cantidad de información en la red y de contar con una extensa cantidad de librerías.

Por otro lado existe una plataforma de Software como Servicio (SaaS) de la que existe bastante documentación de trabajos relacionados en el ámbito del IoT. Esto porque ésta herramienta permite la sincronización con otros dispositivos de hardware como la Raspberry Pi con lo cual es posible controlar la minicomputadora por medio de un escritorio remoto utilizando un aplicativo web o incluso un aplicativo móvil desde cualquier punto externo a la implantación. Otra ventaja de esta plataforma es que tiene su versión libre o gratuita con muy pocas restricciones en relación a su versión pagada.

2.2.5. Redes de Sensores inalámbricos en la agricultura

El suelo es un recurso muy importante para generación de vida en el planeta y por ende representa un factor indispensable en la agricultura. Dentro de los estudios agronómicos resaltan varios factores que permiten que el suelo sea apto para el sembrío dos de ellos son temperatura y

humedad, (Y. García, 2012) resalta la importancia de los micronutrientes en el estudio de suelo.

Existe gran cantidad de mecanismos para poder medir la cantidad o el porcentaje de ciertos indicadores de la calidad del suelo, los más comunes son los procesos edáficos en los cuales los agrónomos realizan de forma manual la extracción de muestras de suelo para posteriormente analizarlos en los laboratorios.

Con el avance tecnológico en varias áreas de la investigación se automatizó el desarrollo de este proceso generando nuevas formas de medir los indicadores con más exactitud y en periodos cada vez más cortos de tiempo. De acuerdo a (Ibrahim, Mohamed, Mohd, Nizar, & Mat, 2016) el estudio de las nuevas aplicaciones de las redes inalámbricas durante estos últimos años permitió enfocarse en varias áreas de la investigación una de ellas la agricultura en donde la extracción de la información por medio de sensores facilitaría en muchos casos los procesos de medición y monitoreo de la calidad del suelo.

Es así como las redes de sensores inalámbricos (WSN) se han ganado un espacio amplio dentro del estudio de varias áreas de la aplicación permitiendo monitorear condiciones físicas y medio ambientales. (Martínez, 2014) Plantea el concepto de agricultura inteligente o de precisión basada en la tecnología WSN donde ubicara varios nodos en campo extenso de cultivos para poder medir atributos tales como humedad, luz, temperatura entre otros. El alcance de este proyecto es el monitoreo a través de cualquier dispositivo de red como puede ser (PC, móvil o Tablet), todo esto desde una perspectiva macro de la aplicación usando los protocolos de comunicación ZigBee IEEE 802.15.4 y sus configuraciones a través del software X-CTU.

(Martínez, 2014) Plantea además una solución bastante extensa y a gran escala que aunque hablando en tiempos de ejecución podría variar todo depende del protocolo que este use. Pero al tratarse de un proyecto a menor escala en donde se utilizarían sensores únicamente de temperatura y

humedad el tiempo de respuesta podría verse reducido incluso no generaría una red tan amplia de nodos.

Por otro lado (Iraceburo & Goicoechea, 2014) plantean el desarrollo y la implementación de una red inalámbrica de sensores de temperatura y humedad en forma genérica, es decir nodos que permitan medir estos índices en diferentes ambientes o locaciones no necesariamente el suelo. Además este tipo proyecto es impulsado desde algunas áreas de la investigación incluidas la agricultura. Un plus bastante interesante de este proyecto es que hace una comparación entre las tecnologías existentes en el mercado eligiendo los más simples y eficientes para poder montar el sistema. Hay que tener en cuenta que se trata de un proyecto enfocado con fines educativos pero lo que explica bastante claro cada elemento que compone una WSN.

2.2.6. El Internet de las cosas (IoT) y las redes WSN

(Porkodi, 2014) resalta la importancia de la tecnología del IoT, hace énfasis al desarrollo social y tecnológico que conlleva el uso de los dispositivos conectados a la nube. Dentro del ámbito del internet de las cosas existen diferentes áreas de aplicación transporte, seguridad pública, salud, hogar, deporte etc. Hay que hacer un énfasis especial al campo agropecuario y a los invernaderos inteligentes en donde es muy bien aplicado en el monitorio de factores ambientales y de suelo.

(Salgado & Coello, 2015) Proponen un prototipo de IoT utilizando Arduino y la tecnología de computación en la nube, con el cual pretenden monitorear niveles de factores ambientales tales como temperatura, humedad, ruido y concentración de CO. Lo interesante de este proyecto es la comunicación por medio de Ethernet y WiFi del sistema empotrado con una plataforma en la nube de Software como Servicio (SaaS). ThingSpeak es una plataforma open source especialmente dirigida a las aplicaciones basadas en el internet de las cosas que permite almacenar y visualizar en tiempo real los datos enviados desde cualquier dispositivo de redes de sensores inalámbricos.

(Salgado & Coello, 2015) Explica que la API de ThingSpeak permite el almacenamiento de grandes cantidades de datos de características alfanuméricas. Además cuenta con un canal de aplicación para dispositivos móviles basados en Android.

Como ya se mencionó anteriormente las redes de sensores inalámbricos están ampliamente ligadas al mundo del internet de las cosas a pesar de eso ambas tecnologías poseen su propia arquitectura física y lógica. Según la International Telecommunication Union (ITU-T), una arquitectura de IoT está compuesta de cuatro capas: Capa de aplicación, capa de apoyo a servicios y aplicaciones, capa de red y capa de dispositivo. Mientras tanto las redes WSN no tienen una arquitectura compleja. “Su arquitectura hace énfasis en la capa de dispositivos o física, y es allí donde se concentra la mayor parte de una aplicación en redes de sensores inalámbricas” (Rueda & Portocarreno, 2016).

Por otro lado (Michelena, 2016) propone un sistema basado en IoT utilizando redes de sensores inalámbricos por medio del protocolo ZigBee en donde conecta el nodo coordinador con una plataforma como servicio en la nube llamada Ubidots que es un sitio gratuito el cual permiten administrar datos y otros dispositivos en tiempo real además de ser perfectamente compatible con Arduino y Raspberry PI.

De acuerdo a (A. Cama, 2012) la importancia de la tecnología IoT la cual hace referencia a que cualquier dispositivo conectado e identificado en la red permite la automatización de procesos y monitoreo a través de la nube. Las redes WSN permiten una comunicación en un área PAN (Personal Area Network) a cada dispositivo o nodo perteneciente a esta red se le puede asignar una dirección IP que permita una comunicación independiente con la nube subiendo datos de los sensores constantemente y en tiempo real lo que los convertiría en “objetos inteligentes”.

(A. Cama, 2012) Plantean una solución de redes WSN integradas a la tecnología IoT por medio de los beneficios de la IPv6 un recurso tecnológico muy importante en el campo del crecimiento del internet y la gran cantidad

de dispositivos que necesita conectarse, IPv6 cuenta con un gran número de direcciones IP que facilitan el proceso.

En cuanto a la tecnología de IoT implantada en el campo agropecuario existen infinidad de aplicaciones, una de ellas y la más importante es la agricultura de precisión que define mecanismos que permiten el control y monitoreo de la variabilidad de los factores principales que intervienen en la producción agrícola, esto se lo realiza mediante recursos de IT como sensores e inclusive sistemas de información geográfica (SIG). De acuerdo a (Ibrahim, Mohamed, Mohd, Nizar, & Mat, 2016) y como ya se ha explicado anteriormente por medio de las redes de sensores inalámbricos es posible medir variables ambientales y físicas asociadas al suelo y a los cultivos, es a través de esta herramienta que se puede recolectar las mediciones de estos parámetros e enviarlas a la nube cumpliendo con el concepto de internet de las cosas.

(Hernandez, Mazón, & Campoverde, 2015) Proponen el control de riego de una plantación de Cacao por medio de una arquitectura de Cloud Computing para el internet de las cosas donde ocupan sensores de humedad de suelo y de variables ambientales como radiación solar, humedad relativa, temperatura, precipitación, dirección y velocidad del viento, entre otras. Al ser un proyecto que contempla algunas variables a ser monitoreadas y controladas necesita una arquitectura bastante extensa y costos muy elevados por lo que la simplificación de dispositivos al conectar cada nodo con la nube permite optimizar la recolección de la información.

2.1.7. Aplicaciones web basadas en WSN

Existe una conexión bastante importante entre los aplicativos web y las redes de sensores inalámbricos, la información recolectada por los nodos que conforman la WSN necesita ser presentada en una interfaz gráfica al usuario. Un objetivo de este proyecto de investigación es desarrollar un aplicativo web que tenga la capacidad de receptar la información del sistema empotrado por ende los datos del prototipo serán presentados por medio de este mecanismo tecnológico. (Cama, y otros, 2016) Han desarrollado una aplicación web móvil utilizando el lenguaje unificado de modelado UML que

permite mostrar en tiempo real por medio de un mapa los puntos críticos del arroyo en su diferente trayectoria. Esta aplicación está diseñada para que sirva de utilidad en la toma de decisiones de prevención para el usuario además de ser replicable y escalable.

Lo interesante de este proyecto es que se utiliza la metodología OMT (Object Modeling Technique) que de acuerdo a (Cama, y otros, 2016) representa una metodología de carácter público y abierto que facilita el desarrollo de software. Esta es una manera ágil y práctica de desarrollar aplicaciones reutilizando recursos. Además utilizan como lenguaje de programación Ruby y como diseño de arquitectura en patrón de programación MVC (Modelo Vista Controlador).

Al ser este un proyecto a gran escala se necesita minimizar algunos recursos entre ellos el tiempo, es por eso que (Cama, y otros, 2016) utilizan tecnologías como OMT y lenguajes poco usados en este ámbito como lo es Ruby. A continuación se muestra gráficos de los autores en donde se puede visualizar la interfaz gráfica de la aplicación y los resultados obtenidos por un nodo.

CAPÍTULO III

ANÁLISIS Y DISEÑO

En este apartado se presenta el análisis de los requerimientos funcionales y no funcionales además del diseño de la aplicación por medio de modelos UML, diagramas de secuencia y diagramas de casos de uso.

3.1. Modelos UML de la aplicación

Para el desarrollo de la aplicación web basada en la red de sensores inalámbricos se ha tomado en cuenta los siguientes requerimientos plasmados en las historias de usuario y reflejados en los diagramas de casos de uso, diagramas de secuencia, componentes de hardware y software y modelo de almacenamiento de la información.

3.1.1. Historias de Usuario

La Tabla 1 muestra las historias de usuario 1 y 2 que hacen referencia a los requisitos de la red de implantación de la red de sensores inalámbricos.

Tabla 1

Historias de Usuario 1 y 2

ID	Rol	Característica / Funcionalidad	Razón / Resultado	Condiciones de completitud
IOTINV-HU-01	Como un Usuario	Necesito que la red cuente con dos nodos sensores que obtengan los niveles de temperatura y humedad del suelo.	Con la finalidad de monitorear dos secciones diferentes del suelo del invernadero.	El sistema contará con un diseño de red de dos nodos de datos ubicados en dos camas adyacentes del invernadero que medirán niveles de temperatura y humeada de suelo.
IOTINV-HU-02	Como un Usuario	Necesito que la red realice mediciones cada 10 minutos de temperatura y humedad de suelo.	Con la finalidad de realizar un control constante de por lo menos 5 mediciones por hora de los parámetros.	El sistema medirá por medio de los sensores los niveles de temperatura y humedad de suelo cada 10 minutos a partir de la primera medición realizada en la implantación.

La Tabla 2 muestra las historias de Usuario 3 y 4 donde hacen referencia a los requerimientos de almacenamiento y tipos de visualización.

Tabla 2**Historias de Usuario 3 y 4**

ID	Rol	Característica / Funcionalidad	Razón / Resultado	Condiciones de completitud
IOTINV-HU-03	Como un Usuario	Necesito que el sistema permita almacenar los datos recolectados para su posterior análisis	Con la finalidad de entender el comportamiento de los parámetros durante el ciclo de cosecha de la rosa.	El sistema almacenará la información recolectada durante el periodo de implantación de 90 días en un servidor de base de datos.
IOTINV-HU-04	Como un Usuario	Necesito que la aplicación me permita visualizar la información de la temperatura en grados centígrados y de la humedad en porcentaje.	Con la finalidad de hacer más sencillo el monitoreo de la información.	El sistema permitirá visualizar en la interfaz gráfica los niveles de temperatura en grados centígrados y de humedad en porcentaje de acuerdo a las mediciones hechas por los sensores.

La Tabla 3 muestra las historias de Usuario 5 y 6 donde hace referencia a los requerimientos de visualización de los gráficos.

Tabla 3**Historias de Usuario 5 y 6**

ID	Rol	Característica / Funcionalidad	Razón / Resultado	Condiciones de completitud
IOTINV-HU-05	Como un Usuario	Necesito que la aplicación me permita visualizar la temperatura y humedad actual de cada nodo sensor.	Con la finalidad de monitorear el estado actual de los niveles de temperatura y humedad que percibe cada sensor.	El sistema permitirá mostrar en la interfaz gráfica las últimas mediciones realizadas tanto de temperatura como humedad en los nodos de datos 1 y 2.
IOTINV-HU-06	Como un Usuario	Necesito que la aplicación me permita visualizar en un gráfico de líneas las mediciones hechas durante el día.	Con la finalidad de hacer un seguimiento para saber cómo se está comportando la temperatura y humedad en las últimas mediciones	El sistema permitirá visualizar dos gráficos de líneas tanto para temperatura como para humedad por defecto de las mediciones realizadas durante el día de monitoreo de los nodos de datos 1 y 2.

En la Tabla 4 se describen las historias de usuario 7 y 8 las cuales hacen referencia a los filtros de fecha e indicadores principales.

Tabla 4**Historias de Usuario 7 y 8**

ID	Rol	Característica / Funcionalidad	Razón / Resultado	Condiciones de completitud
IOTINV-HU-07	Como un Usuario	Necesito un filtro de fecha que me permita visualizar el histórico de las mediciones realizadas en días anteriores.	Con el objetivo de conocer cómo se han comportado los niveles de temperatura y humedad en días anteriores durante el proceso de estudio.	La aplicación contará con un filtro de fecha que permita visualizar al usuario final los niveles de temperatura y humedad en días anteriores durante el proceso de implantación del prototipo
IOTINV-HU-08	Como un Usuario	Necesito que la aplicación me muestre indicadores de máximos, mínimos y promedios del día con análisis de rangos aceptables de acuerdo al estudio realizado de la información resultante del periodo.	Con el objetivo de conocer los estados de las mediciones hechas por los sensores y tomar decisiones de acuerdo a la información mostrada por la aplicación.	Después del proceso de implantación la aplicación contará con una actualización que permita visualizar los máximos, mínimos y promedios además de los rangos aceptables de acuerdo al estudio realizado.

3.1.2. Requisitos no funcionales

Por medio de las historias de usuario se identificaron los siguientes requisitos no funcionales definidos a continuación en la Tabla 5.

Tabla 5**Requisitos no funcionales**

Número	Requisito no funcional
1	El usuario final necesitará de acceso a internet para poder ingresar a la aplicación web de monitoreo de temperatura y humedad de suelo.
2	Se necesita preferencialmente el uso de navegadores Mozilla Firefox y Google Chrome
3	El usuario final deberá tener una cuenta en Weaved si desea acceder remotamente a la aplicación.
4	Se requiere tener instalada la aplicación de visualización de data QlikSense para observar el comportamiento y los indicadores principales del prototipo.

3.1.3. Diagramas de Casos de Uso

A continuación se muestra en la Figura 25 el diagrama de casos de uso para el subsistema de almacenamiento o de redes de sensores inalámbricos. Este diagrama está compuesto por 4 actores Nodo de datos 1, Nodo de datos 2, Nodo Coordinador y el Servidor de Base de Datos.

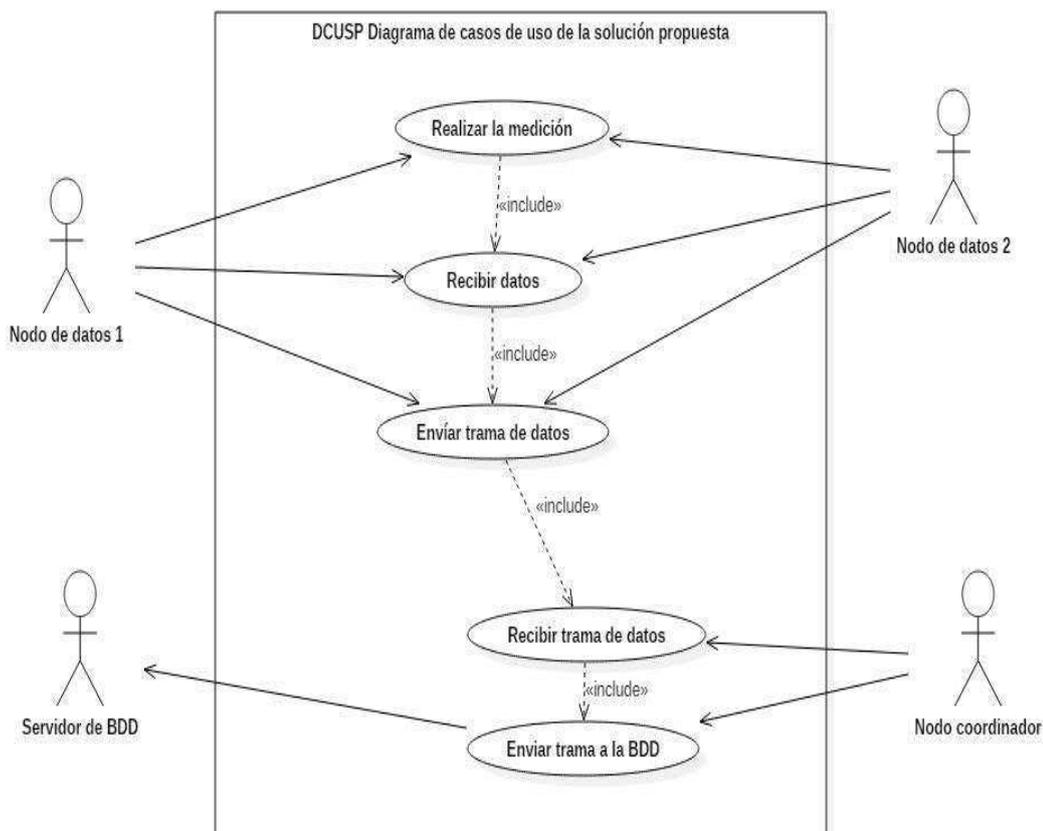


Figura 25: Diagrama de casos de uso subsistema WSN

A continuación se muestra en la Figura 26 el diagrama de casos de uso para el subsistema de monitoreo y análisis de la información. Este diagrama está compuesto por 2 casos de uso, en el primero se describe los procesos que intervienen en el aplicativo web en donde interviene el usuario web, en segundo lugar se muestra el caso de uso para al app de QlikSense en donde el actor vendría a ser el usuario que manipule los visores de información.

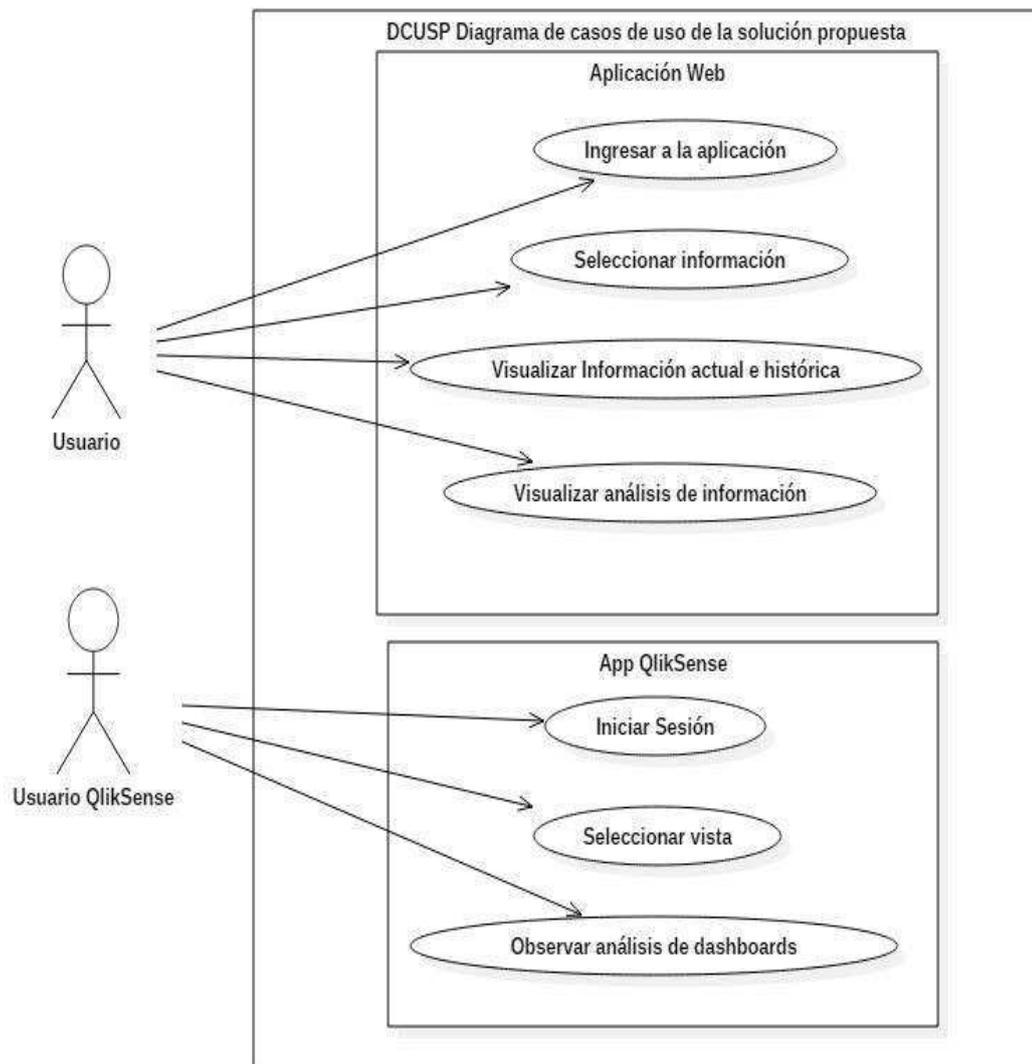


Figura 26: Diagrama de casos de uso subsistema visualización y análisis de la información

3.1.3.1. Descripción de casos de uso subsistema WSN

A continuación se describen los casos de uso para el subsistema de almacenamiento o de redes de sensores inalámbricos WSN en las Tablas 6, 7, 8 y 9 donde se define el proceso que realizan los sensores de los nodos de datos 1 y nodo de datos 2 para enviar la información de las mediciones cada 10 minutos desde el la primera toma del proceso de implantación, también se detalla el flujo normal del envío de la trama desde los dispositivos finales hacia el nodo coordinado.

Tabla 6

CU-Realizar la medición

Caso de Uso: Realizar la medición
Actores: Nodo de datos 1 y nodo de datos 2
Resumen: Los sensores del nodo de datos 1 y nodo de datos 2 proceden a tomar medidas de temperatura y humedad de suelo.
Precondiciones: Los sensores deben estar correctamente conectados a los pines digitales de la placa Arduino en cada nodo de datos.
Descripción: Curso Normal: <ul style="list-style-type: none"> • Los sensores enterrados en el invernadero registran las mediciones de temperatura y humedad • Las mediciones son enviadas a la placa Arduino
Post condiciones: El nodo de datos 1 y nodo de datos 2 recibe las mediciones.
Observaciones: El tiempo de toma de mediciones variará en cada nodo de datos dependiendo de la primera medición tomada en la implantación siendo 10 minutos el lapso de cada intervalo de información.

Tabla 7

CU-Recibir datos

Caso de Uso: Recibir datos
Actores: Nodo de datos 1 y nodo de datos 2
Resumen: Las placas Arduino del nodo de datos 1 y nodo de datos 2 reciben los datos enviados por los sensores.
Precondiciones: El código del programa con las librerías para el sensor SHT10 debe estar cargado y ejecutándose en la placa Arduino de cada nodo.
Descripción: Curso Normal: <ul style="list-style-type: none"> • Los sensores envían las mediciones de temperatura y humedad a la placa Arduino de cada nodo por medio de los pines digitales. • Las mediciones son recibidas por la placa Arduino de cada nodo. • La placa Arduino de cada nodo escribe los datos en el puerto serial de la misma.
Post condiciones: El nodo de datos 1 y nodo de datos 2 recibe las mediciones.
Observaciones: El tiempo de llegada de las mediciones variará en cada nodo de datos dependiendo de la primera medición tomada siendo 10 minutos el intervalo.

Tabla 8

CU-Enviar trama de datos

Caso de Uso: Enviar trama de datos
Actores: Nodo de datos 1 y nodo de datos 2
Resumen: Las placas Arduino del nodo de datos 1 y nodo de datos 2 envían los datos por medio del puerto serial y los módulos Xbee.
Precondiciones: Los módulos de comunicación inalámbrica Xbee deben estar configurados punto a punto entre nodo coordinador y nodos de datos 1 y 2.
Descripción: Curso Normal: <ul style="list-style-type: none"> • Los nodos de datos envían las mediciones de temperatura y humedad escritas en el puerto serial por medio de los módulos Xbee hacia el nodo coordinador.
Post condiciones: El nodo coordinador recibe las mediciones.
Observaciones: El tiempo de envío de las mediciones variará en cada nodo de datos dependiendo de la primera medición tomada en la implantación siendo 10 minutos el lapso de cada intervalo de información.

Tabla 9

CU-Recibir trama de datos

Caso de Uso: Recibir trama de datos
Actores: Nodo coordinador
Resumen: El nodo coordinador recibe la trama enviada por el nodo de datos 1 y nodo de datos 2 por medio de los módulos Xbee.
Precondiciones: El módulo Xbee del nodo coordinador debe estar conectado a la Raspberry Pi por medio del puerto USB.
Descripción: Curso Normal: <ul style="list-style-type: none"> • El nodo coordinador recibe la información de los nodos de datos 1 y 2. • El nodo coordinador se comunica con la Raspberry Pi por medio del puerto USB y transmite la trama de datos.
Post condiciones: La Raspberry Pi recibe la información enviada por la red de sensores inalámbricos.
Observaciones: El tiempo de recepción de las mediciones variará en cada nodo de datos en base a la primera medición y siendo 10 minutos el intervalo de datos.

La Tabla 10 de muestra el caso de uso correspondiente al envío de la trama de datos de nodo coordinador a la base de datos, el nodo coordinador está conectado por medio del puerto USB a la Raspberry Pi, en la cual está corriendo el servidor de BDD que a través de un proceso ejecutado en segundo plano permite el almacenamiento de los datos.

Tabla 10

CU-Enviar trama a la BDD

Caso de Uso: Enviar trama a la BDD
Actores: Nodo coordinador y servidor de BDD
Resumen: El nodo coordinador envía la información recibida por los nodos al servidor de base de datos configurado en la Raspberry Pi.
Precondiciones: El script en Python del proceso en segundo plano se debe estar ejecutando en la Raspberry Pi.
Descripción: Curso Normal: <ul style="list-style-type: none"> • La Raspberry Pi recibe la trama enviada por el nodo coordinador a través del puerto USB. • El script en Python del proceso en segundo plano recibe la trama, realiza un CAST de los datos y envía la información a la base de datos.
Post condiciones: La Raspberry Pi almacena la información de un servidor de base de datos configurado localmente.
Observaciones: El tiempo de envío de las tramas variará en cada nodo de datos dependiendo de la primera medición tomada siendo 10 minutos cada intervalo

3.1.3.2. Diagrama de casos de uso subsistema visualización y análisis de la información

A continuación se muestra los diagramas de caso de uso correspondientes a la aplicación web, esta aplicación permitirá ver los niveles de temperatura y humedad de suelo actual e histórico en una interfaz gráfica además de los del análisis de los indicadores principales. En la Tabla 11 se puede apreciar el primer caso de uso correspondiente a ingreso de la aplicación. El usuario deberá ingresar a través de la URL del aplicativo, posteriormente se le mostrará por defecto los datos de temperatura en dos gráficos.

Tabla 11

CU-Ingresar a la Aplicación

Caso de Uso: Ingresar a la aplicación
Actores: Usuario, Servidor Web
Resumen: El usuario final necesita ingresar a la dirección URL del aplicativo web
Precondiciones: El usuario debe tener acceso a internet
Descripción: Curso Normal: <ul style="list-style-type: none"> • El usuario ingresa URL • Se envía una solicitud HTTP al servidor web. • La aplicación muestra la interfaz principal con los datos actuales por defecto de temperatura de las mediciones del sensor de ambos nodos.
Post condiciones: El usuario puede elegir entre visualizar la información de temperatura o si desea cambiar los gráficos a humedad en la interfaz y nodo
Observaciones: Si el usuario desea ingresar externamente al dominio de la red donde está implantada la aplicación deberá hacerlo a través de Weaved.

En la Tabla 12 se puede visualizar la funcionalidad que permite al usuario filtrar la información de nodo o parámetro climático deseado.

Tabla 12

CU-Seleccionar información

Caso de Uso: Seleccionar información
Actores: Usuario
Resumen: El usuario final puede seleccionar en la interfaz gráfica si desea visualizar la información del nodo de datos 1, nodo de datos 2 o ambos, así como los gráficos de temperatura y humedad
Precondiciones: El usuario debió haber ingresado a la aplicación.
Descripción: Curso Normal: <ul style="list-style-type: none"> • El usuario elige en la interfaz gráfica si desea visualizar datos de temperatura o de humedad. • El usuario elige en la interfaz gráfica si desea visualizar los datos del nodo 1, nodo 2 o ambos.
Post condiciones: El usuario final accede a la interfaz del nodo seleccionado y se envía una solicitud HTTP al servidor web.
Observaciones:

En la Tabla 13 y Tabla 14 se muestra las funcionalidades para la visualización de la información

Tabla 13

CU-Visualizar Información actual e histórica

Caso de Uso: Gestionar Usuarios
Actores: Usuario
Resumen: El usuario final necesita tener la opción de filtrar por fecha la información histórica de días anteriores en el periodo de implantación.
Precondiciones: El usuario debe haber seleccionado el nodo y el tipo de gráfico de datos del que sea visualizar la información
Descripción: Curso Normal: <ul style="list-style-type: none"> • El usuario final visualiza los gráficos de línea del día por defecto en el que se ingresó a la aplicación. • El usuario tiene la opción de filtrar la información de días anteriores del periodo de implantación para poder visualizar la información.
Post condiciones:
Observaciones:

Tabla 14

CU-Visualizar análisis de la información

Caso de Uso: Visualizar análisis de la información
Actores: Usuario
Resumen: El usuario final necesita observar una tabla con los indicadores principales de temperatura humedad y promedio además del rango de aceptación de los valores de acuerdo al estudio realizado en el proceso de implantación.
Precondiciones: El periodo de implantación durante el ciclo de cosecha debió haber terminado y la aplicación debió ser actualizada.
Descripción: Curso Normal: <ul style="list-style-type: none"> • El usuario final elige la opción para visualizar el análisis de la información del nodo 1 o nodo 2. • El usuario visualiza la tabla con los datos de indicadores principales, rango de aceptación y observaciones de los valores.
Post condiciones:
Observaciones:

En la Tabla 15 y Tabla 16 se muestran las funcionalidades de inicio de sesión y selección de vista respectivamente.

Tabla 15

CU-Iniciar Sesión

Caso de Uso: Iniciar sesión
Actores: Usuario QlikSense
Resumen: El usuario QlikSense necesita iniciar sesión para visualizar y manipular los visualizadores de datos donde se encuentran los dashboards junto a los indicadores principales de la data recolectada durante el periodo de implantación.
Precondiciones: El usuario debe tener creada una cuenta en QlikSense e instalada la aplicación de escritorio si no desea acceder en la nube.
Descripción: Curso Normal: <ul style="list-style-type: none"> • El usuario QlikSense ingresa sus credenciales. • La App QlikSense le permite el ingreso a los visualizadores de la información de la red WSN.
Post condiciones: El usuario puede elegir la vista que desea para interactuar con los dashboards.
Observaciones:

Tabla 16

CU-Seleccionar Vista

Caso de Uso: Seleccionar Vista
Actores: Usuario QlikSense
Resumen: El usuario QlikSense necesita seleccionar el visualizador de información que desea manipular dentro de los dashboards.
Precondiciones: El usuario debe haber iniciado sesión en los dashboards.
Descripción: Curso Normal: <ul style="list-style-type: none"> • El usuario elige la vista que desea manipular • La App QlikSense le permite le muestra los dashboards de la vista seleccionada.
Post condiciones: El usuario puede observar y manipular los análisis de los dashboards en las vistas.
Observaciones:

En la tabla 17 se presenta el caso de uso correspondiente a la visualización de la información en los dashboards.

Tabla 17

CU-Observar el análisis de los dashboards

Caso de Uso: Observar el análisis de los dashboards	
Actores:	Usuario QlikSense
Resumen:	El usuario QlikSense debe observar y manipular los análisis de los dashboards de la vista seleccionada.
Precondiciones:	El usuario debió haber seleccionado la vista.
Descripción:	
Curso Normal:	<ul style="list-style-type: none"> • El usuario visualiza el análisis de los dashboards • La App QlikSense le permite al usuario manipular los gráficos, dashboards y datos de las vistas seleccionadas.
Post condiciones:	El usuario puede salir y elegir otra vista dentro de la App.
Observaciones:	

A continuación en la Figura 27 el diagrama de secuencia correspondiente al subsistema de almacenamiento o WSN.

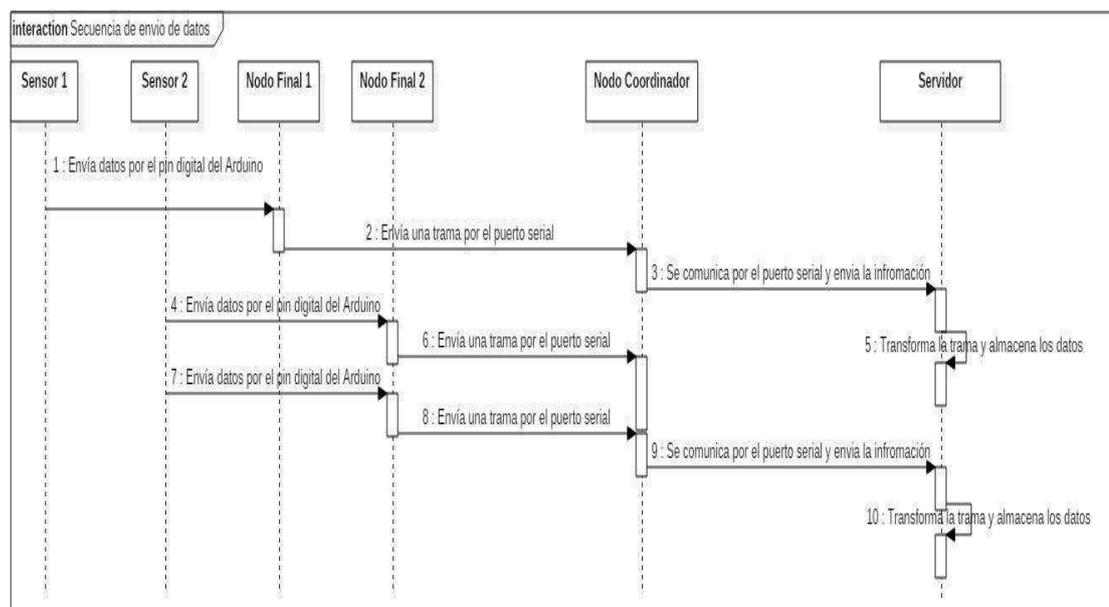
3.1.3.3. Diagrama de Secuencia subsistema WSN

Figura 27: Diagrama de secuencia de Envío

En la Tabla 18 se muestra la explicación del flujo de proceso del diagrama de caso de uso WSN.

Tabla 18

Explicación diagrama de secuencia WSN

Recurso	Descripción
Sensor 1	Envía la información al pin digital 9 del Arduino escribiendo una trama en el puerto serial en un lapso de tiempo de 10 minutos cada muestra.
Sensor 2	Posterior al envío del sensor 1 realiza la misma acción en un lapso de tiempo de 10 minutos desde el inicio de la toma.
Nodo de datos 1	Transmite por medio del puerto serial con ayuda de los módulos Xbee Serie 2 la información de temperatura y humedad del sensor hacia el nodo coordinador.
Nodo de datos 2	Posterior al envío del Nodo 1 realiza la misma acción enviando la trama al nodo coordinador.
Nodo Coordinador	Recepta la data del nodo 1 y 2 y re direcciona la información por el puerto USB hacia el servidor configurado en la Raspberry Pi
Servidor	Recibe las tramas de información de ambos Nodos de datos y las transforma en formato SQL para permitirse almacenarlas en una base de datos local.

A continuación en la Figura 28 se muestra el diagrama de secuencia correspondiente al subsistema de monitoreo y análisis de la información en la cual se describe todo el proceso de acción entre el usuario final, la aplicación web y el web services. En el caso de la transmisión de la información por parte del cliente web se realizan peticiones HTTP al servidor que enviará una trama de información en formato JSON. El flujo de la funcionalidad que podrá hacer el usuario final se resume en: ingresar a la aplicación, seleccionar tipo de información, filtrar la información por fecha si desea visualizar el histórico de los datos y seleccionar el análisis de los indicadores principales.

3.1.4. Diagrama de secuencia subsistema de visualización

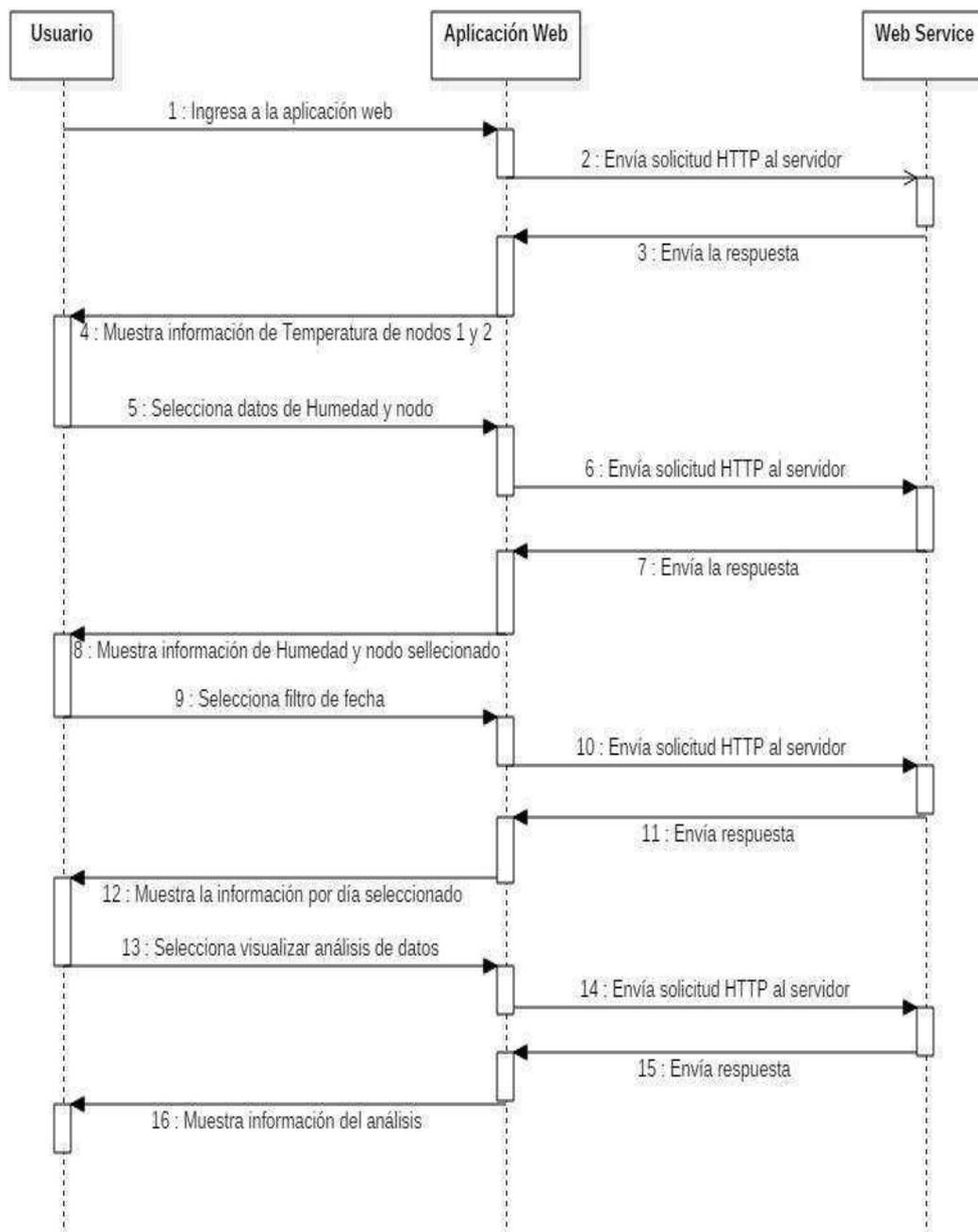


Figura 28: Diagrama de secuencia subsistema de visualización

A continuación en la Tabla 19 se realiza una explicación del diagrama de secuencia correspondiente al subsistema de visualización.

Tabla 19

Explicación diagrama de secuencia visualización.

Recurso	Descripción
Usuario	Ingresa a la aplicación con la opción de elegir entre el nodo 1,2 o ambos y datos de temperatura o humedad, si se requiere puede filtrar por fecha y también seleccionar la opción de visualizar el análisis de la información.
Aplicación Web	Procesa las solicitudes del usuario y envía peticiones HTTP al web service, recibe la respuesta y muestra la información en la interfaz web.
Web service	Recibe peticiones HTTP del cliente web, las atiende y envía respuesta.

A continuación en la Figura 29 se muestra el diagrama de secuencia del subsistema de análisis de la información en la plataforma QlikSense.

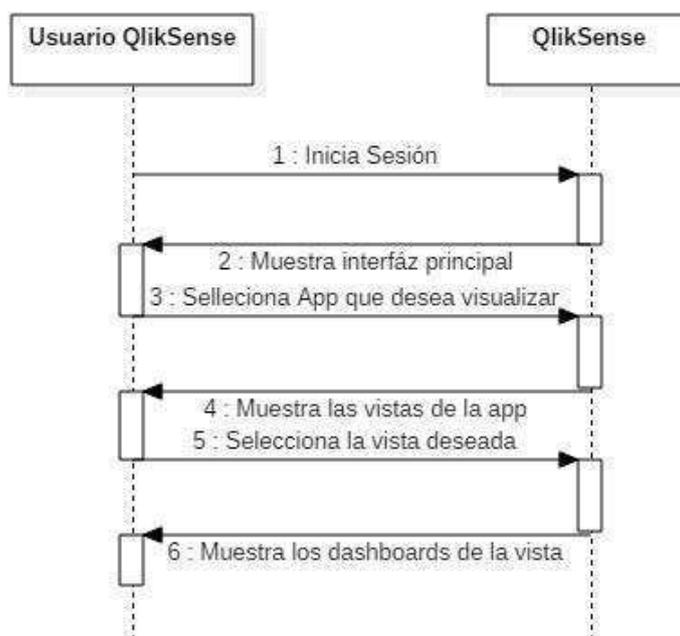
3.1.5. Diagrama de secuencia subsistema de análisis de la información

Figura 29: Diagrama de secuencia subsistema de análisis de la información.

A continuación en la Tabla 20 se muestra la explicación correspondiente al diagrama de secuencia de análisis de datos.

Tabla 20

Explicación diagrama de secuencia análisis de datos.

Recurso	Descripción
Usuario QlikSense	Inicia sesión con sus credenciales en QlikSense, selecciona la app que desea visualizar para posteriormente seleccionar la vista y poder observar e interactuar con los dashboards de la información.
QlikSense	Procesa todas las solicitudes del usuario y muestra las vistas diseñadas de la información anteriormente.

3.1.6. Base de datos

La base de datos contará con una única tabla que almacenará la información enviada por cada nodo de datos al nodo coordinador, contará con los campos: ID, nodo, temperatura, humedad y fecha, de esta manera se pretende optimizar el rendimiento del aplicativo web. La variable de tiempo será de tipo timestamp que le permitirá almacenar la hora exacta en la que los sensores toman los registros de la información. En la Figura 30 se observa la estructura de la tabla.

SENSORES			
<u>ID</u>	<pi>	<u>Integer</u>	<M>
nodo		Integer	
temperatura		Decimal	
humedad		Decimal	
fecha		Timestamp	
Identifier_1	<pi>		

Figura 30: Tabla de almacenamiento

CAPÍTULO IV

IMPLANTACIÓN

En este apartado se describe el montaje del hardware, la arquitectura del sistema de red de sensores inalámbricos (WSN), la configuración de la comunicación, la programación de los componentes y la propuesta de la solución para el sistema. Por último se describe la implantación del prototipo en los invernaderos de rosas del IASA.

4.1. Arquitectura del prototipo

4.1.1. Diagrama de hardware

La red se comunicará inalámbricamente entre dos nodos de datos y un coordinador que llevará la información por medio del puerto serial al servidor, el cual almacenará los datos en el gestor de bases de datos. Para este proyecto el dispositivo donde estará el servidor es la Raspberry Pi que a su vez permitirá levantar localmente los servicios web y el aplicativo para que puede ser accedido dentro del dominio de la red o externamente a través de la herramienta de servicios en la nube Weaved ver (Sección 2.1.7.5.1.). En la Figura 31 se muestra el diagrama de hardware

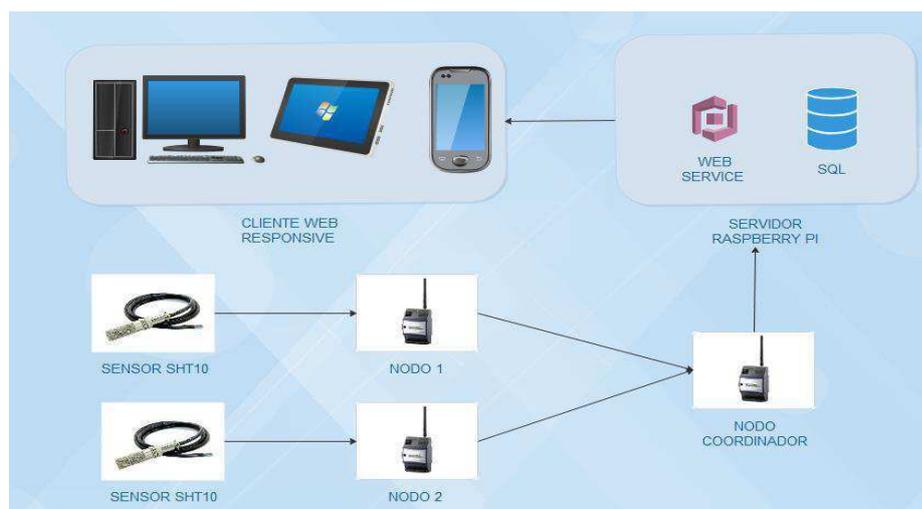


Figura 31: Diagrama de hardware de la solución propuesta

A continuación en la Tabla 21 se muestra la descripción de los componentes de hardware utilizados en la solución propuesta.

Tabla 21

Descripción de componentes de hardware

Componente	Descripción
Sensor	Se encarga de tomar mediciones de datos de temperatura y humedad y escribir la información en el puerto serial del Arduino por medio de los pin digital 9.
Nodo de datos	Compuesto por una placa Arduino uno, un módulo de transmisión inalámbrica Xbee y un shield convertidor de voltaje, se encarga de transmitir la información de los sensores por medio del puerto serial al nodo coordinador.
Nodo Coordinador	Compuesto por un módulo de transmisión inalámbrica Xbee y un shield usb convertidor de voltaje conectado a la Raspberry Pi, se encarga de transmitir la información enviada por los nodos de datos al servidor por medio del puerto serie.
Servidor Web	Compuesto físicamente por una Raspberry Pi en la cual está configurado un servidor LAMP que por medio de un proceso en segundo plano codificado en Python permite el almacenamiento de la información en una base SQL. En este dispositivo están levantados los servicios web y el aplicativo localmente.
Cliente Móvil/Web	Ordenador o dispositivo móvil con conexión a internet por el cual el usuario final accede a la aplicación.

4.1.2. Diagrama de red

La arquitectura seleccionada para el diseño de la red de la solución propuesta es de tipo estrella, con dos nodos de datos que receptaran la información proporcionada por lo sensores y la enviarán a un nodo central o coordinador que será el encargado de direccionar los datos al servidor que

los procesara y almacenara. A continuación en la Figura 32 se muestra la topología utilizada en la red WSN.

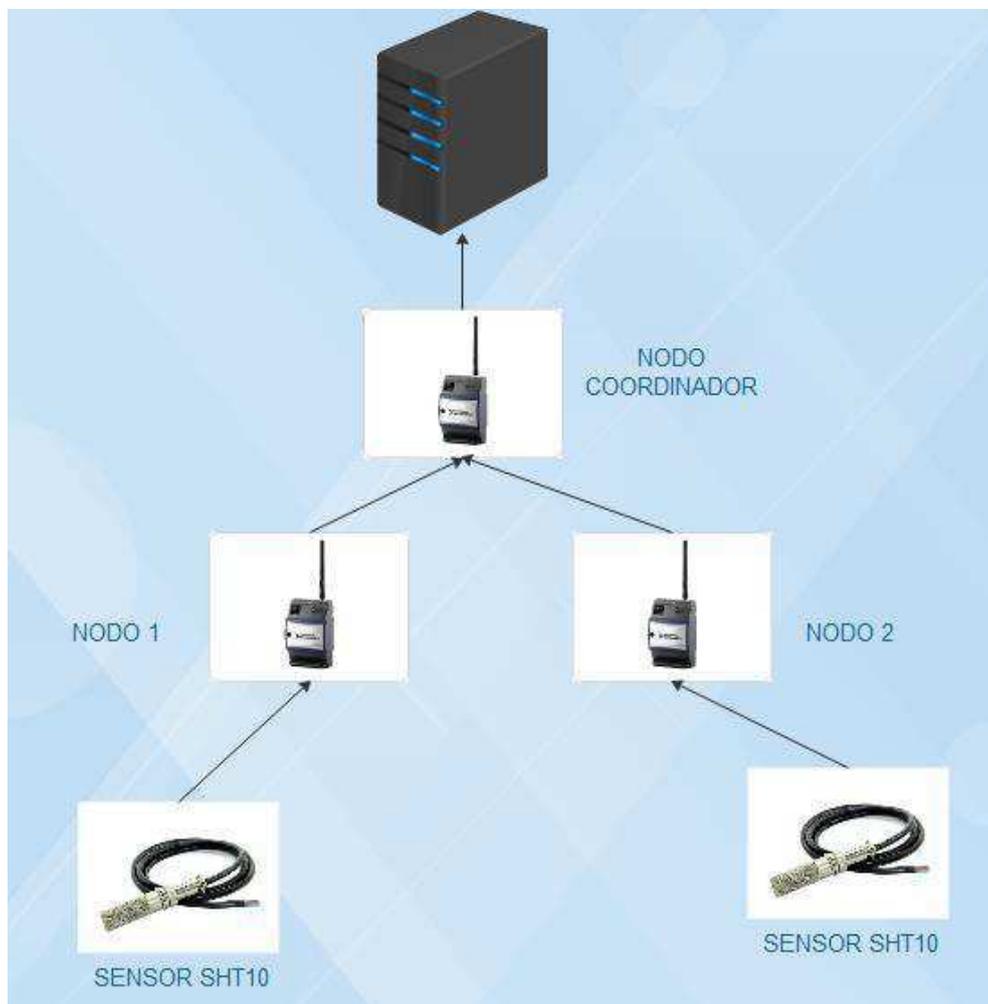


Figura 32: Diagrama de red de la solución propuesta

4.1.3. Diagrama de arquitectura

La arquitectura está diseñada por un Back-end conformado por un servidor web API REST y desarrollado a partir del entorno de ejecución para JavaScript Node.js (Sección 2.1.7.2.1.), la base de datos es un servidor MySQL, la misma que alimentará la información al aplicativo web y al cliente QlikSense (Sección 2.1.7.7.1.). Por último el Front-end corresponde a un cliente web que consumirá los servicios del web service, para el desarrollo del mismo se utilizó las librerías para Javascript React.js (Sección

2.1.7.4.1.), el patrón de diseño implementado es FLUX (Sección 2.1.7.4.1.). En la Figura 35 se muestra el diagrama de arquitectura de la solución.

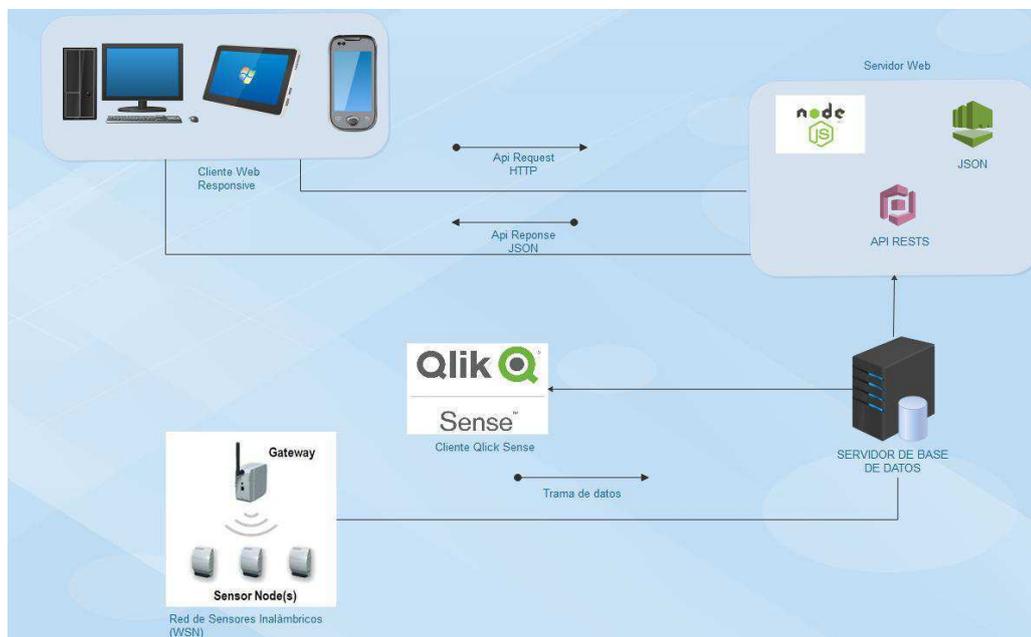


Figura 33: Diagrama de arquitectura de la solución propuesta

Tabla 22

Descripción de componentes de la arquitectura

Componente	Descripción
Base de Datos	Compuesta de un gestor de base de datos MySQL, se encarga de recibir y almacenar la información enviada por la red de sensores inalámbricos, además de alimentar a la plataforma analítica QlikSense.
Web Service (Back-end)	Compuesto de servicios web REST y desarrollado bajo el entorno de ejecución Node.js, es el encargado de atender las peticiones HTTP del cliente web y responder una trama de datos.
Cliente Web (Front-end)	Compuesto por una aplicación web desarrollada utilizando la librería para JavaScript React.js está diseñada bajo el patrón FLUX y tiene la propiedad Responsive que permite adaptarse a otros dispositivos como Tablets o Smartphones.
QlikSense	Plataforma analítica que permite crear visualizadores de información para su análisis.

4.2. Construcción del prototipo

4.2.1. Montaje del hardware

La descripción detallada de los componentes de hardware se encuentra en la (Sección 2.1.5). El montaje del circuito entre el sensor, la placa Arduino uno y módulo de transmisión inalámbrica Xbee S2 y el Arduino Xbee Shield se la realizó de acuerdo al diagrama de circuito ver Figura 23. Este montaje corresponde al Nodo de datos 1 y 2.

Tabla 23

Resumen componentes de hardware nodo de datos 1 y 2

Componente	Descripción
Sensor SHT10	Sensor digital de temperatura y humedad de suelo.
Arduino Uno	Placa electrónica con microcontrolador programable.
Xbee Serie 2	Módulo de transmisión inalámbrica.
Arduino Xbee Shield	Permite el enlace serial del Xbee a la placa Arduino además de ser un regulador de voltaje.
Mini Protoboard	Indispensable para el correcto montaje de circuitos electrónicos.
Resistencia 1K	Necesario para controlar el flujo de alimentación eléctrica de un dispositivo.
Fuente de Alimentación 5V	Fuente de alimentación de 5V que podrá mantener en funcionamiento continuo al Nodo de datos.

El montaje entre la placa Arduino y el módulo Xbee Series 2 se lo realiza mediante el componente de hardware Arduino Xbee Shield mediante el puerto serial tal como se muestra en la Figura 10 de la (Sección 2.1.5). A continuación se muestra el resultado del conjunto de los componentes montados tanto del Nodo de datos 1 en Figura 34 y Nodo de datos 2 en Figura 35.

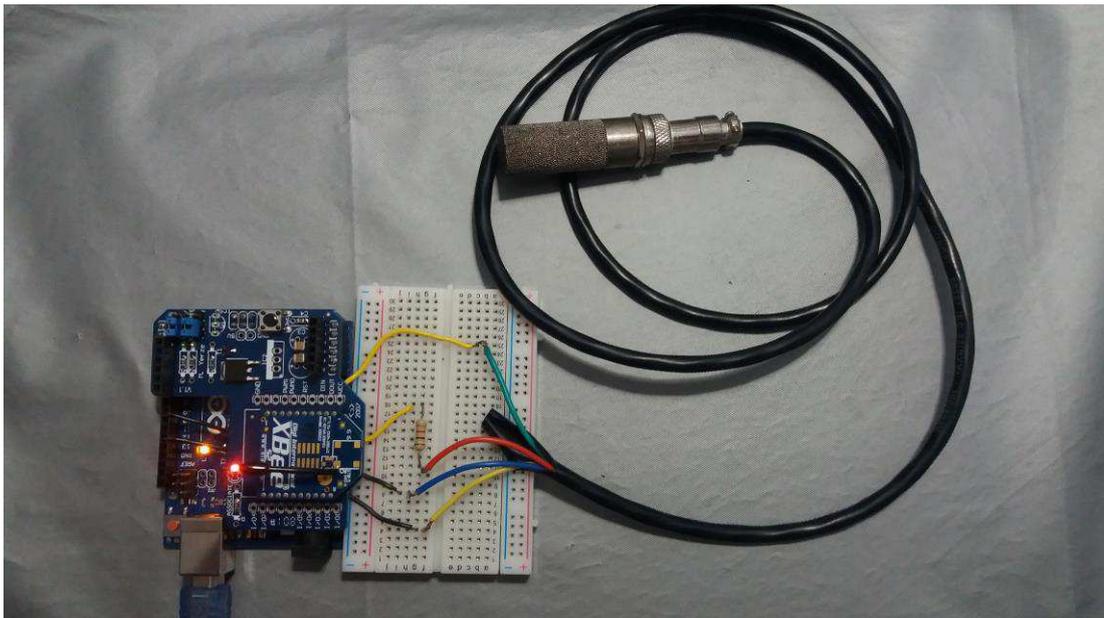


Figura 34: Montaje de hardware nodo de datos 1

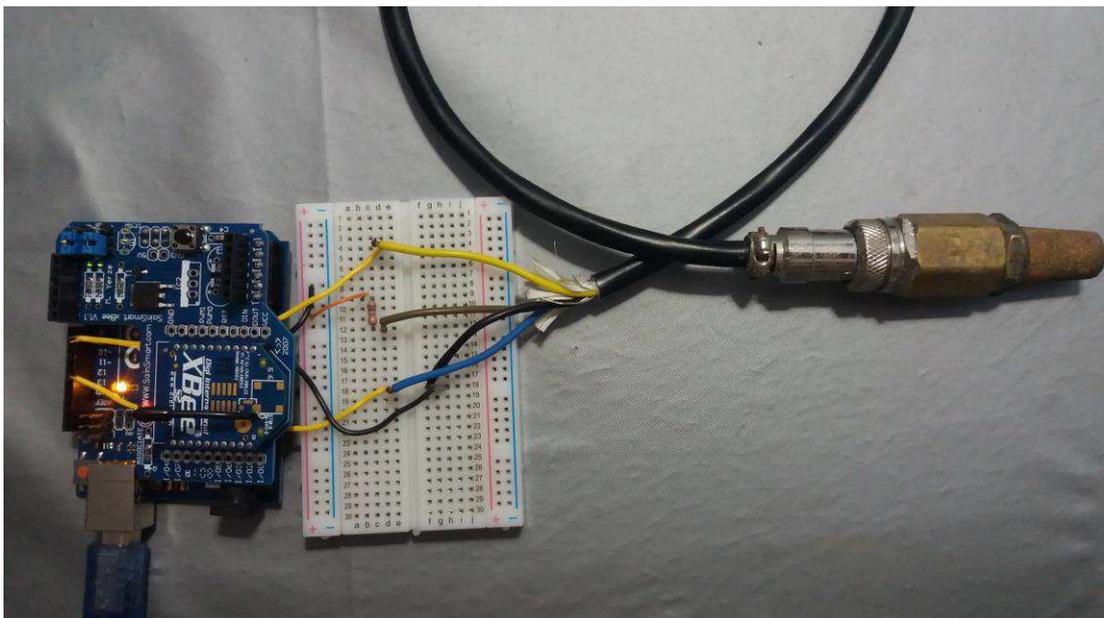


Figura 35: Montaje de hardware nodo de datos 2

En el caso del Nodo Coordinador se usó el Xbee Explorer USB, su descripción detallada se encuentra en (Sección 2.1.5.5). Este dispositivo permite conectar al módulo Xbee Serie 2 a la Raspberry Pi por medio del puerto USB creando una comunicación serial entre ambos componentes de hardware. En la Tala 24 se describen sus componentes.

Tabla 24

Resumen componentes de hardware nodo coordinador

Componente	Descripción
Xbee Serie 2	Módulo de transmisión inalámbrica.
Xbee Explorer USB	Permite el enlace serial del Xbee por medio del puerto USB a la Raspberry Pi
Raspberry Pi	Recepta la información del nodo coordinador por medio del puerto USB.
Fuente de Alimentación 5V	Fuente de alimentación de 5V que podrá mantener en funcionamiento continuo al nodo coordinador.
Adaptador Wi-Fi TL-WN721N	Adaptador de red Wi-Fi que permite a la Raspberry Pi conectarse a la nube inalámbricamente.

La Raspberry Pi al ser una computadora con sistema operativo propio instalado, permite su uso como cualquier otro servidor que pueda configurarse en un ordenador, en este proyecto la Raspberry Pi por medio de los servicios instalados permitirá tratar y almacenar toda la información que ingrese de la red de sensores inalámbricos a través del puerto USB. Adicionalmente la Raspberry Pi necesitará estar conectada a la nube para poder ser monitoreada por algún dispositivo externo; para esto es necesario incluir un adaptador Wi-Fi que le permita la conexión a internet. A continuación en la Figura 36 se muestra el resultado del montaje los componentes de hardware del Nodo Coordinador y el servidor.



Figura 36: Montaje de hardware nodo coordinador

4.2.2. Configuración de la comunicación inalámbrica

La configuración inalámbrica entre los módulos de Xbee Serie 2 se la realizó por medio del software X-CTU. Este programa permite establecer comunicación entre componentes Xbee y realizar pruebas de transmisión de datos en la consola. Para este proyecto se ha seleccionado 3 dispositivos de comunicación inalámbrica, 2 de ellos configurados como Nodo de datos o End Device y uno como Nodo Coordinador. La arquitectura entonces se describe como de tipo estrella.

Como requisito principal para que la comunicación exista los 3 módulos deben tener el mismo ID de red de área personal (PAN) y estar sincronizados en el mismo canal de comunicación. Posteriormente dependerá del tipo de configuración de cada módulo para definir si es Coordinador o de datos.

3.2.2.1. Configuración Nodos de datos 1

El módulo Xbee Serie 2 del nodo de datos 1 recibió la configuración ZigBee Router AT con el ID de red de área personal (PAN) 234 y el canal de comunicación 1FFE. Como punto importante hay que mencionar que para que exista una comunicación unidireccional entre nodo de datos y Coordinador es necesario que estos primeros tengan los parámetros SH (Serial Number High) y SL (Serial Number Low) del segundo en sus direcciones DH (Destination Address High) y DL (Destination Address Low) respectivamente indicando la dirección del envío de la información. A continuación se detalla la configuración en el software X-CTU en Figura 37 y el resumen de la misma en la Tabla 25.

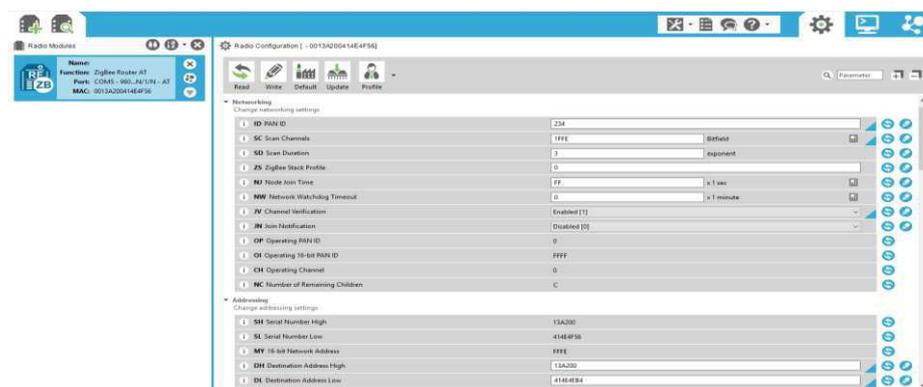


Figura 37: X-CTU configuración nodo de datos 1

Tabla 25

Resumen configuración Nodo de datos 1

Parámetro	Configuración
ID PAN	234
SC Scan Chanel	1FFE
SH Serial Number High	13A200
SH Serial Number Low	414E4F56
DH Destination Adress High	. 13A200
DH Destination Adress Low	414E4EB4

3.2.2.2. Configuración Nodos de datos 2

El módulo Xbee Serie 2 del nodo de datos 2 recibe la misma configuración que el nodo de datos 1 con la diferencia que su SH Serial Number Low varía por configuraciones de fábrica. A continuación se detallan los parámetros en la Figura 38 y Tabla 26.

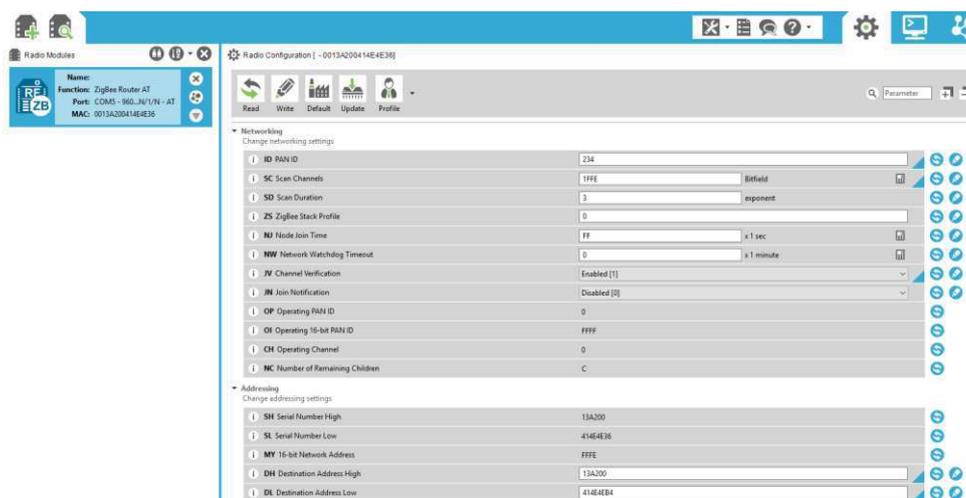


Figura 38: X-CTU configuración nodo de datos 2

Tabla 26

Resumen configuración Nodo de datos 2

Parámetro	Configuración
ID PAN	234
SC Scan Chanel	1FFE
SH Serial Number High	13A200
SH Serial Number Low	414E4F36
DH Destination Adress High	. 13A200
DH Destination Adress Low	414E4EB4

3.2.2.3. Configuración Nodo Coordinador

El módulo Xbee Serie 2 del nodo Coordinador recibió la configuración ZigBee Coordinator AT con el ID de red de área personal (PAN) 234 y el canal de comunicación 1FFE. Cabe recalcar que los parámetros DH (Destination Adres High) y DL (Destination Adres Low) se configuraron con el valor 0 en vista que este dispositivo no enviará información solo la recibirá de los nodos de datos. A continuación se detalla la configuración se detallan los parámetros en la Figura 39 y Tabla 27.

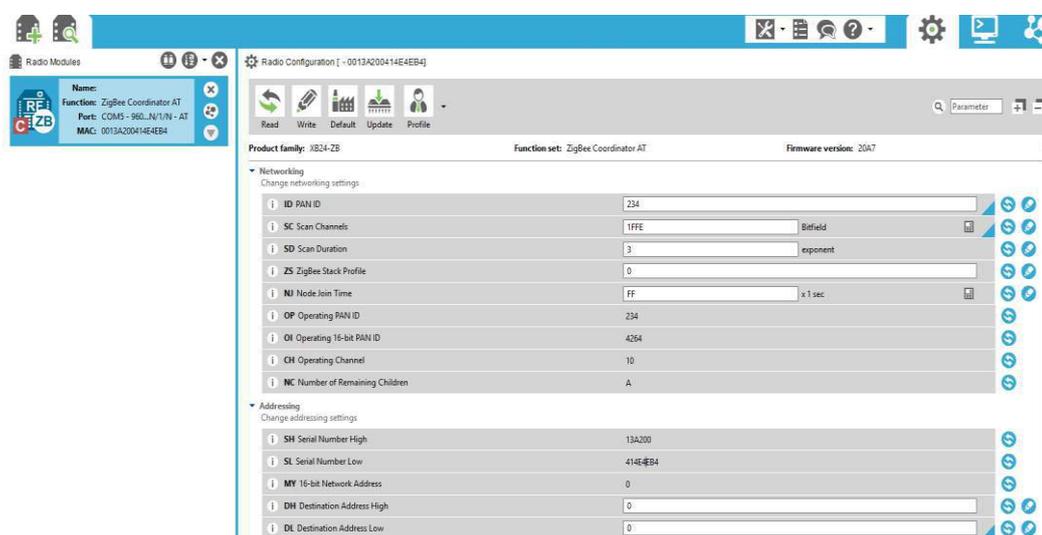


Figura 39: X-CTU configuración nodo coordinador

Tabla 27

Resumen configuración Nodo coordinador

Parámetro	Configuración
ID PAN	234
SC Scan Chanels	1FFE
SH Serial Number High	13A200
SH Serial Number Low	414E4EB4
DH Destination Adres High	0
DH Destination Adres Low	0

3.2.2.4. Pruebas de Comunicación

Las pruebas de comunicación se las realizó por medio de la consola del software X-CTU con la cual se procedió a enviar una trama de información desde los Nodos de datos 1 y 2 hasta el Nodo Coordinador siendo el resultado satisfactorio comprobando de la configuración de los módulos de comunicación inalámbrica Xbee Series 2 se la realizó correctamente. A continuación se muestran las tramas de llegada tanto del Nodo 1 Figura 40 y Nodo 2 Figura 41.

```

- 0013A200414E4EB4
CTS CD DSR DTR RTS BRK Tx Bytes: 0 Rx Bytes: 6278
Console log
{"nodo":1,"temperatura":-40.0099983215,"humedad":-4.4374022483} 34 30 2E 30 30 39 39 38 33 32 34 38 33 7D 0A 00
{"nodo":1,"temperatura":-40.0099983215,"humedad":-4.4374022483} 0A 7B 22 6E 6F 64 6F 22 3A 31 2C 22 74 65 6D 70 65 72 61 74 75 72 61 22 3A 2D
34 30 2E 30 30 39 39 38 33 32 31 35 2C 22 68 75 6D 65 64 61 64 22 3A 2D 34
{"nodo":1,"temperatura":-40.0099983215,"humedad":-4.4374022483} 2E 34 33 37 34 30 32 32 34 38 33 7D 0A 00
0A 7B 22 6E 6F 64 6F 22 3A 31 2C 22 74 65 6D 70 65 72 61 74 75 72 61 22 3A 2D
34 30 2E 30 30 39 39 38 33 32 31 35 2C 22 68 75 6D 65 64 61 64 22 3A 2D 34
{"nodo":1,"temperatura":-40.0099983215,"humedad":-4.4374022483} 2E 34 33 37 34 30 32 32 34 38 33 7D 0A 00
0A 7B 22 6E 6F 64 6F 22 3A 31 2C 22 74 65 6D 70 65 72 61 74 75 72 61 22 3A 2D
34 30 2E 30 30 39 39 38 33 32 31 35 2C 22 68 75 6D 65 64 61 64 22 3A 2D 34
{"nodo":1,"temperatura":-40.0099983215,"humedad":-4.4374022483} 2E 34 33 37 34 30 32 32 34 38 33 7D 0A 00
0A 7B 22 6E 6F 64 6F 22 3A 31 2C 22 74 65 6D 70 65 72 61 74 75 72 61 22 3A 2D
34 30 2E 30 30 39 39 38 33 32 31 35 2C 22 68 75 6D 65 64 61 64 22 3A 2D 34
{"nodo":1,"temperatura":-40.0099983215,"humedad":-4.4374022483} 2E 34 33 37 34 30 32 32 34 38 33 7D 0A 00
0A 7B 22 6E 6F 64 6F 22 3A 31 2C 22 74 65 6D 70 65 72 61 74 75 72 61 22 3A 2D
34 30 2E 30 30 39 39 38 33 32 31 35 2C 22 68 75 6D 65 64 61 64 22 3A 2D 34
0A

```

Figura 40: Pruebas de comunicación entre Nodo 1 y Coordinador

```

- 0013A200414E4EB4
CTS CD DSR DTR RTS BRK Tx Bytes: 0 Rx Bytes: 858
Console log
{"nodo":2,"temperatura":-40.0099983215,"humedad":-4.4374022483} 22 68 75 6D 65 64 61 64 22 3A 2D 34 2E 34 33 37 34 30 32 32
34 38 33 7D 0A 00
{"nodo":2,"temperatura":-40.0099983215,"humedad":-4.4374022483} 0A 7B 22 6E 6F 64 6F 22 3A 32 2C 22 74 65 6D 70 65 72 61 74
75 72 61 22 3A 2D 34 30 2E 30 30 39 39 38 33 32 31 35 2C
{"nodo":2,"temperatura":-40.0099983215,"humedad":-4.4374022483} 22 68 75 6D 65 64 61 64 22 3A 2D 34 2E 34 33 37 34 30 32 32
34 38 33 7D 0A 00
{"nodo":2,"temperatura":-40.0099983215,"humedad":-4.4374022483} 0A 7B 22 6E 6F 64 6F 22 3A 32 2C 22 74 65 6D 70 65 72 61 74
75 72 61 22 3A 2D 34 30 2E 30 30 39 39 38 33 32 31 35 2C
{"nodo":2,"temperatura":-40.0099983215,"humedad":-4.4374022483} 22 68 75 6D 65 64 61 64 22 3A 2D 34 2E 34 33 37 34 30 32 32
34 38 33 7D 0A 00
{"nodo":2,"temperatura":-40.0099983215,"humedad":-4.4374022483} 0A 7B 22 6E 6F 64 6F 22 3A 32 2C 22 74 65 6D 70 65 72 61 74
75 72 61 22 3A 2D 34 30 2E 30 30 39 39 38 33 32 31 35 2C
{"nodo":2,"temperatura":-40.0099983215,"humedad":-4.4374022483} 22 68 75 6D 65 64 61 64 22 3A 2D 34 2E 34 33 37 34 30 32 32
34 38 33 7D 0A 00
0A

```

Figura 41: Pruebas de comunicación entre Nodo 2 y Coordinador

4.3. Implantación

El prototipo de red de sensores inalámbricos (WSN) fue implantado en el invernadero de rosas del Instituto Ecuatoriano Superior Andino (IASA) durante un periodo de 90 días que es el tiempo que dura el ciclo de cosecha de la rosa, el objetivo es visualizar el comportamiento de las variables climáticas de suelo temperatura y humedad y además hacer un análisis correlación y una regresión lineal para comprender la incidencia de un factor sobre otro y poder prever el comportamiento en futuras cosechas.

La fecha en que comenzó a recolectar información la red WSN en el invernadero es el 7 de Marzo del 2017 siendo retirado el 8 de Junio del 2017, durante este periodo el sistema recolecto 26007 datos de temperatura y humedad entre nodo 1 y nodo 2. En la Figura 42 se aprecia el invernadero.



Figura 42: Invernadero de rosas del IASA

4.3.1. Nodos de datos

El nodo 1 fue implantado en la cama número 35 del invernadero de rosas, mientras que el nodo 2 lo fue en la número 36. Ambas nodos estuvieron en camas adyacentes con el objetivo de que los factores climáticos de suelo tengan una referencia similar en sus mediciones. Otro punto importante era conocer la diferencia de humectación de una cama a otra y validar el sistema de riego utilizado actualmente en la plantación. En la Figura 43 se muestran las camas en donde se implanto



Figura 43: Camas seleccionadas para el estudio

Al estar ubicados los nodos a la cabecera del invernadero cerca de las oficinas se optó por utilizar alimentación directa por medio de una extensión directa en lugar de baterías individuales. Se procedió también con el corte o poda del rosal, también conocido como pinch con el cual se da la apertura a la planta para que pueda crecer y florecer para una nueva producción, dando así lugar al comienzo del ciclo de cosecha de la rosa. Este corte se lo realizó a una distancia de un metro en cada cama donde serán ubicados los sensores.

Los sensores SHT10 fueron colocados a 3cm de la superficie del suelo con el objetivo de que puedan medir la variación de humedad relativa del aire dentro del material poroso, la misma que debería estar en estado de saturación, es decir de 100% para que las raíces de la planta puedan absorber el agua incrustada en el suelo. A continuación se muestra en la Figura 44 el nodo de datos 1 implantado en la cama 35 y en la Figura 45 el nodo de datos 2 en la cama 36, en ambos casos se puede apreciar el pinch o corte que fue realizado al iniciarse el estudio.



Figura 44: Nodo de datos 1 implantado



Figura 45: Nodo de datos 2 implantado

4.3.2. Nodo Coordinador

El nodo coordinador fue colocado en la oficina a exteriores del invernadero, este dispositivo receptorá la información de los nodos de datos y estará conectado a una fuente de alimentación interrumpida UPS con la cual se evitará problemas de falta de energía que pueda producirse dentro de las instalaciones del IASA y que por consecuente podría traer perdida del flujo de la información de la red de sensores inalámbricos de sensores WSN.

A continuación se muestra en la Figura 46 la ubicación del nodo coordinador junto a la Raspberry Pi dentro de la oficina de los invernaderos de rosas.



Figura 46: Ubicación nodo coordinador

CAPÍTULO V

PRUEBAS, ANÁLISIS Y RESULTADOS

En este apartado se muestra las pruebas unitarias realizadas al prototipo, los resultados arrojados al final del estudio que incluye un análisis de correlación y regresión lineal con el objetivo de entender el comportamiento de dos variables climáticas de suelo, temperatura y humedad y su incidencia una sobre otra. Por último se muestra por medio de visores de información diseñados en QlikSense (Sección 2.1.7.5.1.) el comportamiento del prototipo y los indicadores principales obtenidos durante el periodo de implantación.

5.1. Pruebas unitarias

A continuación se detalla el plan de pruebas unitarias creado a partir de las historias de usuario levantadas en el los requerimientos funcionales del sistema. Este proceso fue ejecutado antes y después de la implantación del prototipo WSN en los invernaderos de rosas del IASA.

5.1.1. Prueba unitaria [IOTINV-PU-001]

Tabla 28

Prueba unitaria [IOTINV-PU-001]

Prueba Unitaria [IOTINV-PU-001]	
Elaborado por: Marco Palacios	
Código de Identificación:	IOTINV-PU-001
Nombre del Proyecto:	Sistema web de monitoreo basado en WSN
Descripción (Alcance y Objetivos):	El sistema contará con un diseño de red de dos nodos de datos ubicados en dos camas adyacentes del invernadero.
Requisitos asociados	
Flujo normal del evento	<ol style="list-style-type: none"> 1. Se implantará el nodo de datos 1 en la cama 35. 2. Se implantará el nodo de datos 2 en la cama 36.
Resultado esperado:	Los nodos están en dos camas adyacentes dentro del invernadero.
Evaluación de prueba: El nodo de datos 1 ha sido colocado en la cama 35 y el nodo de datos 2 en la cama 36 formando una topología tipo estrella con el nodo coordinador.	
Fecha de Ejecución:	05-03-2017
Lugar de ejecución	Invernaderos (IASA)

5.1.2. Prueba unitaria [IOTINV-PU-002]

En la Tabla 29 se muestra la prueba unitaria relacionada con la historia de usuario IOTINV-HU-02.

Tabla 29

Prueba unitaria [IOTINV-PU-002]

Prueba Unitaria [IOTINV-PU-002]	
Elaborado por: Marco Palacios	
Código de Identificación:	IOTINV-PU-002
Nombre del Proyecto:	Sistema web de monitoreo basado en WSN
Descripción (Alcance y Objetivos):	El sistema medirá por medio de los sensores los niveles de temperatura y humedad de suelo cada 10 minutos a partir de la primera medición realizada en la implantación
Requisitos asociados	La red WSN debe estar implantada en el invernadero.
Flujo normal del evento	<ol style="list-style-type: none"> 1. El sensor capta la información de temperatura y humedad y espera 10 minutos para la siguiente medición. 2. El nodo de datos recibe la información. 3. El nodo de datos envía la información al nodo coordinador. 4. El nodo coordinador recibe los datos. 5. El nodo coordinador envía la información al servidor de base de datos. 6. El servidor de base de datos almacena la información.
Resultado esperado:	La información de la base de datos almaceno información de los nodos enviada en lapsos de 10 minutos
Evaluación de prueba: El servidor de base de datos almacenó información tanto del nodo 1 como del nodo 2 en un lapso de 10 minutos cada una desde su primera medición.	
Fecha de Ejecución:	05-03-2017
Lugar de ejecución	Invernaderos (IASA)

ID	nodo	temperatura	humedad	fecha
142	2	19.4599990844	95.3625488281	2017-03-07 13:55:57
143	1	17.9799995422	101.121658325	2017-03-07 13:59:12
144	2	19.6199989318	95.268333435	2017-03-07 14:05:58
145	1	18.0799980163	100.957168579	2017-03-07 14:09:13
146	2	19.659998474	95.4272994995	2017-03-07 14:15:58
147	1	17.3999977111	100.042030334	2017-03-07 14:19:14
148	2	19.6099967956	95.6945419311	2017-03-07 14:25:59
149	1	18.1099967956	101.059257507	2017-03-07 14:29:15
150	2	19.6699981689	95.7604446411	2017-03-07 14:36:00
151	1	18.1899986267	101.029296875	2017-03-07 14:39:17
152	2	19.7299995422	95.8361740112	2017-03-07 14:46:00
153	1	17.9799995422	101.126098633	2017-03-07 14:49:18
154	2	19.6800003051	96.0234527587	2017-03-07 14:56:01
155	1	17.4799995422	100.203651428	2017-03-07 14:59:19
156	2	19.5599975585	96.2489013671	2017-03-07 15:06:02
157	1	17.4099998474	100.355354309	2017-03-07 15:09:21
158	2	19.4899978637	96.4425888061	2017-03-07 15:16:02

Figura 47: Datos almacenados de la red WSN

5.1.3. Prueba unitaria [IOTINV-PU-003]

Tabla 30

Prueba unitaria [IOTINV-PU-003]

Prueba Unitaria [IOTINV-PU-003]	
Elaborado por: Marco Palacios	
Código de Identificación:	IOTINV-PU-003
Nombre del Proyecto:	Sistema web de monitoreo basado en WSN
Descripción (Alcance y Objetivos):	El sistema almacenará la información recolectada durante el periodo de implantación de 90 días.
Requisitos asociados	La información debió llegar al nodo coordinador.
Flujo normal del evento	<ol style="list-style-type: none"> 1. Los datos llegan al nodo coordinador. 2. El nodo coordinador envía la información al servidor de BDD. 3. El servidor almacena la información
Resultado esperado:	Los datos del periodo de implantación serán almacenados en una base de datos SQL.
Evaluación de prueba: Al final del periodo de implantación el prototipo almacenó 27006 datos.	
Fecha de Ejecución:	08-06-2017
Lugar de ejecución	Invernaderos (IASA)

5.1.4. Prueba unitaria [IOTINV-PU-004]

Tabla 31

Prueba unitaria [IOTINV-PU-004]

Prueba Unitaria [IOTINV-PU-004]	
Elaborado por: Marco Palacios	
Código de Identificación:	IOTINV-PU-004
Nombre del Proyecto:	Sistema web de monitoreo basado en WSN
Descripción (Alcance y Objetivos):	El sistema permitirá visualizar en la interfaz gráfica los niveles de temperatura en grados centígrados y de humedad en porcentaje.
Requisitos asociados	El usuario debió ingresar a la aplicación
Flujo normal del evento	<ol style="list-style-type: none"> 1. El usuario ingresa a la aplicación web 2. El usuario visualiza en la interfaz principal los datos de temperatura y humedad en grados centígrados y porcentaje respectivamente.
Resultado esperado:	Los datos de temperatura son presentados en grados centígrados y de humedad en porcentaje.
Evaluación de prueba:	
Fecha de Ejecución:	15-08-2017
Lugar de ejecución	Invernaderos (IASA)

5.1.5. Prueba unitaria [IOTINV-PU-005]

En la Tabla 32 se muestra la prueba unitaria relacionada con la historia de usuario IOTINV-HU-05.

Tabla 32

Prueba unitaria [IOTINV-PU-005]

Prueba Unitaria [IOTINV-PU-005]	
Elaborado por: Marco Palacios	
Código de Identificación:	IOTINV-PU-005
Nombre del Proyecto:	Sistema web de monitoreo basado en WSN
Descripción (Alcance y Objetivos):	El sistema permitirá mostrar en la interfaz gráfica las últimas mediciones realizadas tanto de temperatura como humedad en los nodos de datos 1 y 2.
Requisitos asociados	El usuario tiene que ingresar al aplicativo web.
Flujo normal del evento	<ol style="list-style-type: none"> 1. El usuario ingresa al aplicativo web. 2. El usuario visualiza por defecto la información de temperatura de las ultimas 3 mediciones hechas durante el día en un gráfico de barras. 3. El usuario elige la opción cambiar de gráfico. 4. El usuario visualiza por defecto la información de humedad de las ultimas 3 mediciones hechas durante el día en un gráfico de barras. 5. El usuario tiene la opción de filtrar información de nodo 1 y nodo 2.
Resultado esperado:	El usuario visualiza las últimas 3 mediciones hechas durante el día en un gráfico de barras.
Evaluación de prueba: El usuario pudo ver las ultimas 3 mediciones de temperatura y humedad en gráfico de barras tanto de nodo 1 como de nodo 2	
Fecha de Ejecución:	15-03-2017
Lugar de ejecución	Invernaderos (IASA)

Temperatura

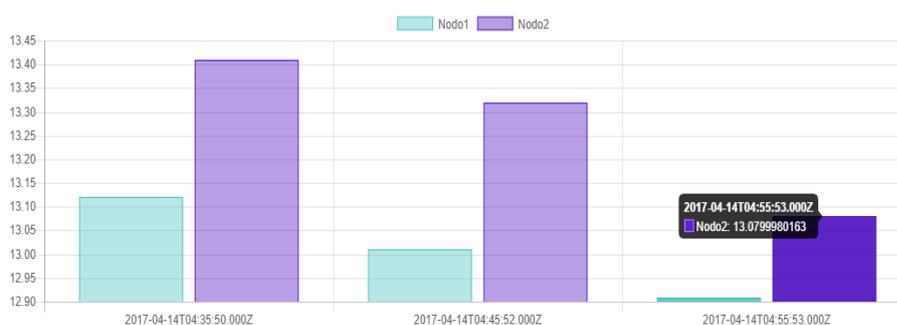


Figura 48: Últimas 3 mediciones registradas en la aplicación

5.1.6. Prueba unitaria [IOTINV-PU-006]

En la Tabla 33 se muestra la prueba unitaria relacionada con la historia de usuario IOTINV-HU-06.

Tabla 33

Prueba unitaria [IOTINV-PU-006]

Prueba Unitaria [IOTINV-PU-006]	
Elaborado por: Marco Palacios	
Código de Identificación:	IOTINV-PU-006
Nombre del Proyecto:	Sistema web de monitoreo basado en WSN
Descripción (Alcance y Objetivos):	El sistema permitirá visualizar dos gráficos de líneas tanto para temperatura como para humedad por defecto de las mediciones realizadas durante el día de monitoreo de los nodos de datos 1 y 2
Requisitos asociados	El usuario tiene que ingresar al aplicativo web.
Flujo normal del evento	<ol style="list-style-type: none"> 6. El usuario ingresa al aplicativo web. 7. El usuario visualiza por defecto la información de temperatura del día en un gráfico de líneas. 8. El usuario elige la opción cambiar de gráfico. 9. El usuario visualiza por defecto la información de humedad del día en un gráfico de líneas 10. El usuario tiene la opción de filtrar información de nodo 1 y nodo 2.
Resultado esperado:	El usuario visualiza las mediciones hechas durante el día en un gráfico de líneas
Evaluación de prueba: El usuario pudo ver las mediciones de temperatura y humedad en gráfico de líneas tanto de nodo 1 como de nodo 2	
Fecha de Ejecución:	15-08-2017
Lugar de ejecución	Invernaderos (IASA)

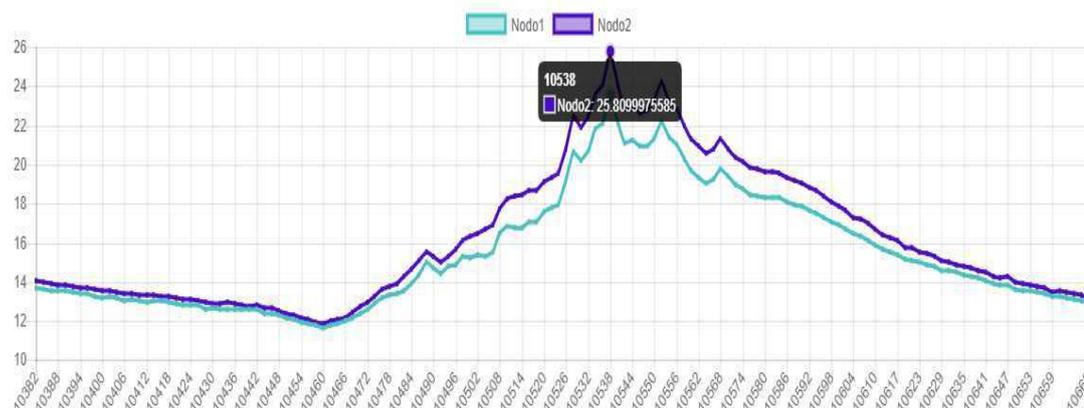


Figura 49: Gráfico de líneas de las mediciones realizadas durante el día

5.1.7. Prueba unitaria [IOTINV-PU-007]

En la Tabla 34 se muestra la prueba unitaria relacionada con la historia de usuario IOTINV-HU-07.

Tabla 34

Prueba unitaria [IOTINV-PU-007]

Prueba Unitaria [IOTINV-PU-007]	
Elaborado por: Marco Palacios	
Código de Identificación:	IOTINV-PU-007
Nombre del Proyecto:	Sistema web de monitoreo basado en WSN
Descripción (Alcance y Objetivos):	La aplicación contará con un filtro de fecha que permita visualizar al usuario final los niveles de temperatura y humedad en días anteriores durante el proceso de implantación del prototipo
Requisitos asociados	El usuario tiene que ingresar al aplicativo web.
Flujo normal del evento	<ol style="list-style-type: none"> 11. El usuario ingresa al aplicativo web. 12. El usuario visualiza por defecto la información de temperatura del día en un gráfico de líneas. 13. El usuario elige el filtro de fecha del día que desea visualizar la información 14. El usuario visualiza los datos del día de la implantación seleccionado.
Resultado esperado:	El usuario visualiza las mediciones del día seleccionado
Evaluación de prueba: El usuario pudo observar por medio del filtro de fecha los datos de los días seleccionados.	
Fecha de Ejecución:	15-08-2017
Lugar de ejecución	Invernaderos (IASA)

INVERNADEROS IOT

Datos de la red WSN



Figura 50: Filtro de fecha implantado en la aplicación

5.1.8. Prueba unitaria [IOTINV-PU-008]

En la Tabla 35 se muestra la prueba unitaria relacionada con la historia de usuario IOTINV-HU-08.

Tabla 35

Prueba unitaria [IOTINV-PU-008]

Prueba Unitaria [IOTINV-PU-008]	
Elaborado por: Marco Palacios	
Código de Identificación:	IOTINV-PU-007
Nombre del Proyecto:	Sistema web de monitoreo basado en WSN
Descripción (Alcance y Objetivos):	Después del proceso de implantación la aplicación contará con una actualización que permita visualizar los máximos, mínimos y promedios además de los rangos aceptables de acuerdo al estudio realizado.
Requisitos asociados	El usuario tiene que ingresar al aplicativo web.
Flujo normal del evento	15. El usuario ingresa al aplicativo web. 16. El usuario visualiza por defecto la información de temperatura del día en un gráfico de líneas. 17. El usuario elige la opción del nodo del cual desea ver el análisis. 18. El usuario visualiza el análisis de los indicadores principales
Resultado esperado:	El usuario visualiza el análisis de los indicadores principales de los datos del día.
Evaluación de prueba: El usuario pudo observar el análisis de los indicadores principales del día filtrado.	
Fecha de Ejecución:	15-08-2017
Lugar de ejecución	Invernaderos (IASA)

INVERNADEROS IOT Datos de la red WSN

ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN NODO 1			
Parámetro	Valor	Nivel	Observación
Temperatura Máxima	23.5200004577	Normal	La temperatura máxima del día está en rangos normales
Temperatura Mínima	11.6599998474	Alta	La temperatura mínima del día ha alcanzado niveles altos
Temperatura Promedio	15.442915280608323	Normal	La temperatura promedio del día está en rangos normales
Humedad Máxima	105.078186035	Alta	La humedad máxima del día ha alcanzado niveles altos
Humedad Mínima	98.0644989013	Alta	La humedad mínima del día ha alcanzado niveles altos
Humedad Promedio	103.32613505254933	Normal	La humedad promedio del día está en rangos normales

Figura 51: Información del análisis de indicadores principales Nodo 1

5.2. Plan de riesgos

Durante el proceso de pruebas del prototipo se detectó posibles riesgos que podrían conllevar a la pérdida del flujo de información durante el periodo de implantación del mismo. Para esto se definió una posible solución que pueda mitigar cada riesgo que pudiese presentarse. A continuación se detalla en la Tabla 36.

Tabla 36

Plan de riesgos

Riesgo	Nivel	Solución
Falla en la alimentación eléctrica	Alto	Utilizar un sistema de alimentación interrumpida UPS de respaldo a posibles cortes eléctricos.
Desconexión de los dispositivos	Alto	Instalar adecuadamente los nodos asegurando las placas en lugares altos en donde no puedan ser tocados en el momento que se realicen actividades agrícolas en el invernadero.
Imprecisión de la información	Medio	Ubicar adecuadamente los sensores en posiciones neutras en donde se evite que sean mojados directamente por el sistema de riego y la información sea imprecisa.
Caída del servidor	Medio	Realizar un monitoreo constante de por lo menos 3 veces al día a través de la plataforma en la nube Weaved con el fin de constatar que el servidor esté funcionando correctamente.
Daño o quema de equipos	Bajo	Realizar backups de la información desde la nube todos los días con el objetivo de minimizar la pérdida de datos. Posteriormente reparar o reemplazar los equipos inmediatamente.

5.3. Resultados

El 7 de Junio del 2017 terminó el proceso de implantación del prototipo en el cuál el servidor almacenó exactamente 26007 datos de

temperatura y humedad. El siguiente paso dentro de los objetivos propuestos es el análisis de correlación y regresión lineal de la información entre las variables de temperatura y humedad por medio del software estadístico R. Este estudio se lo dividió en 4 partes haciendo corte durante el primero, segundo y tercer mes para finalmente hacer un análisis total de la información que muestre la incidencia de un factor climático sobre otro.

5.3.1. Tratamiento de la información

Después de retirar los equipos de las instalaciones del Instituto Agropecuario Superior Andino (IASA) se procedió a realizar el tratamiento de la información en la base de datos analizando registros imprecisos y valores irreales como temperaturas mayores a 31 grados centígrados o menores a 5, de igual manera se verificó humedades por debajo del 50% o mayores al 108% que de acuerdo a la precisión del sensor ver (Sección 2.1.5.6.)

Cabe mencionar que durante todo el transcurso de implantación del prototipo de red de sensores inalámbricos WSN no se presentó mayor novedad en cuanto a pérdida de datos. Gracias al plan de riesgos, el monitoreo constante y la rápida respuesta ante algún imprevisto la pérdida total de información fue de pocas horas lo cual no afectó ni representó un impacto en el estudio realizado. Estos imprevistos se debieron básicamente a pequeñas desconexiones de los componentes de los nodos de datos originados por factores externos.

Se procedió a depurar la data y las únicas novedades que se encontraron fueron las pérdidas de información los días 20 de Marzo en el nodo de datos 1, 5 de Abril y 30 de Mayo en ambos nodos debido a factores externos que incidieron en la desconexión de los componentes de hardware de los nodos de datos. Estos vacíos de datos corresponden a pocas horas y debido a la gran cantidad de información recolectada no representó ningún impacto en los estudios de correlación y regresión lineal realizados. A continuación en las Figuras 52, 53 y 54 se muestra los gráficos de la información en donde se puede apreciar la pérdida de secuencia de flujo de datos por medio de una recta continua entre los altos y bajos, esto

demuestra un valor constante que se refiera a la falta de llegada de información al servidor.

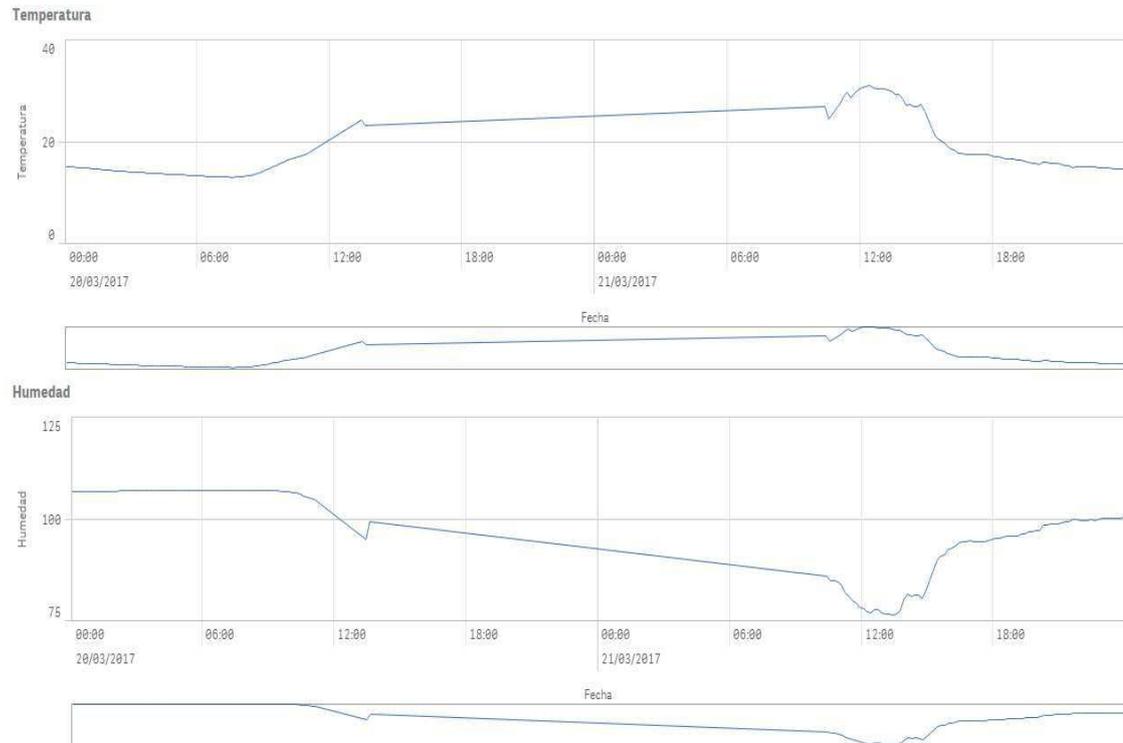


Figura 52: Incidente 20 de Marzo del 2017

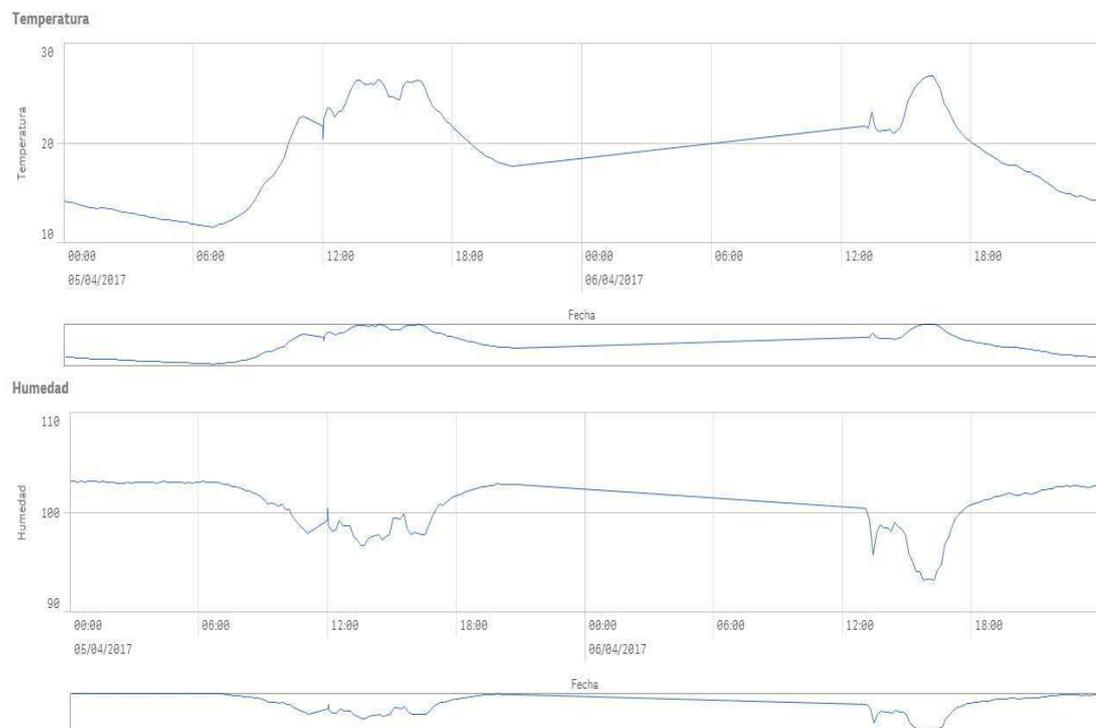


Figura 53: Incidente 5 de Abril del 2017

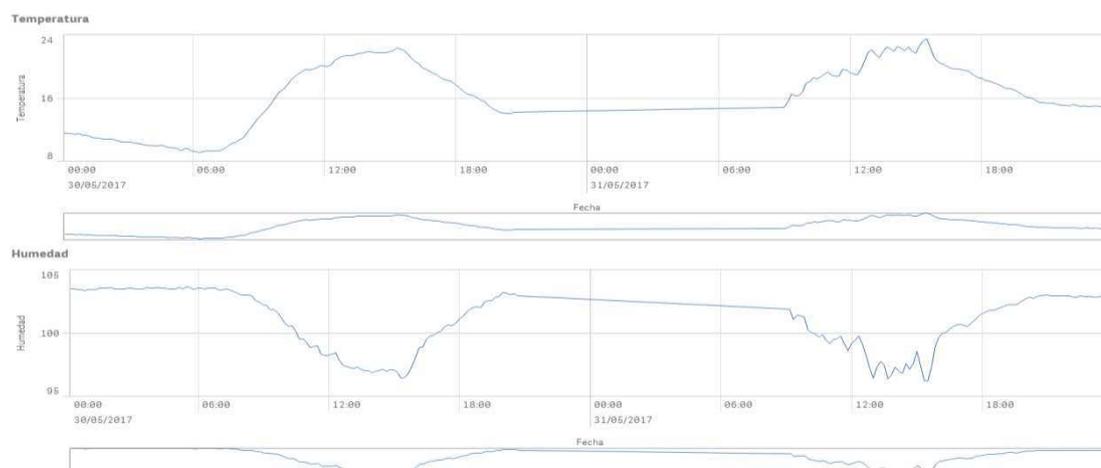


Figura 54: Incidente 30 de Mayo del 2017

5.3.2. Análisis de correlación y regresión lineal

Como ya se mencionó anteriormente el análisis de la información se lo realizó en corte a primero, segundo y tercer mes, además del análisis total de la información esto con la intención de incidir en el comportamiento de los factores climáticos del suelo temperatura y humedad en determinados periodos de tiempo durante el ciclo de cosecha de la rosa. Para estos casos se utilizó el coeficiente lineal de Pearson y la ecuación de regresión lineal.

5.3.2.1. Primer mes

El análisis del primer mes se lo realizó del 7 de Marzo del 2017 al 7 de Abril del 2017 entre datos de temperatura y humedad de cada nodo. A continuación se muestran en las Figuras 55 y 56 de dispersión en el software estadístico R del nodo 1 y 2.

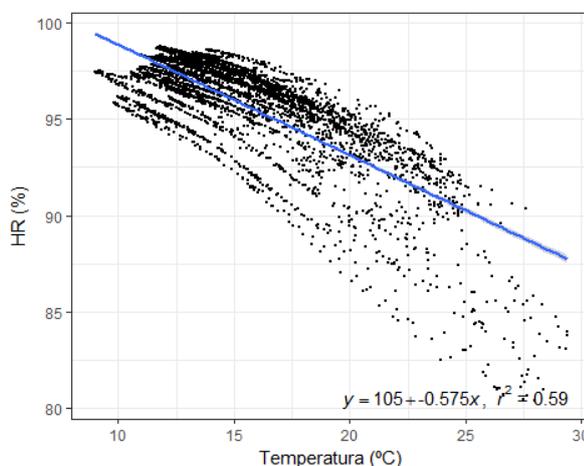


Figura 55: Gráfico de dispersión primer mes Nodo 1

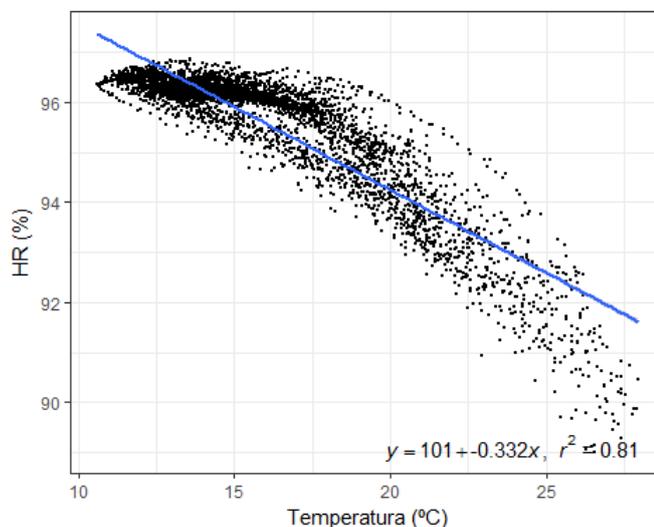


Figura 56: Gráfico de dispersión primer mes Nodo 2

Como se puede apreciar en los gráficos de dispersión de la Figura 55 y Figura 56 existe una tendencia de correlación lineal entre temperatura y humedad en ambos nodos de datos. Al ser la pendiente hacia abajo según el coeficiente de Pearson lo que muestra es que existe una correlación negativa entre ambas variables. Esto quiere decir que a mayor temperatura menor humedad y viceversa, esto se deberá comprobar con los valores finales que arroja R tanto en parte correlacional como en la regresión lineal.

Tabla 37

Correlación de Pearson primer mes

Correlación	Nodo 1	Nodo 2
Temperatura - Temperatura	1	1
Temperatura - Humedad	-0.763	-0.785
Humedad -Temperatura	-0.763	-0.785
Humedad - Humedad	1	1

Como se puede apreciar en la Tabla 37 en el caso del Nodo 1 el coeficiente de Pearson muestra un valor de -0.763, esto significa que existe una correlación negativa considerable entre temperatura y humedad como ya se lo visualizó en el diagrama de dispersión.

Este patrón se repite para el Nodo 2 en el cual se tiene un coeficiente de Pearson de -0.785 similar al Nodo 1 con lo cual existe concordancia en la

correlación de ambos sensores durante el primer mes de estudio, para profundizar estos parámetros es necesario el análisis de regresión lineal que muestra el porcentaje en que podría variar un factor con respecto al otro.

Tabla 38

Regresión lineal primer mes

Resultado	Nodo 1	Nodo 2
Ecuación	$Y=105+-0.575*X$	$Y=105+-0.332*X$
R cuadrado	0.59	0.81

En la Tabla 38 se muestra los resultados de la regresión lineal arrojados por el software estadístico R, en él se puede apreciar dos expresiones, la primera es la ecuación de regresión lineal que predice los valores que podría tomar la variable dependiente en relación de la independiente, en este caso la temperatura en relación de la humedad.

La siguiente expresión correspondiente a R cuadrado representa el porcentaje en el cual una variable pueda influir sobre otra, en este caso y tomando como ejemplo el nodo 1 que tiene un valor de 0.81 que al multiplicarle por 100 muestra que la temperatura durante este primer mes incidió en la humedad en un 81% y viceversa. A continuación se muestra el estado las camas del nodo 1 Figura 57 y nodo 2 Figura 58 al final del primer mes, en este se puede apreciar el crecimiento de las hojas que brotan de los tallos.



Figura 57: Estado del cultivo primer mes nodo 1



Figura 58: Estado del cultivo primer mes nodo 2

5.3.2.2. Segundo mes

El análisis del segundo mes se lo realizó desde el 7 de Abril del 2017 al 7 de Mayo del 2017 entre datos de temperatura y humedad de cada nodo. A continuación se muestran las gráficas de dispersión en R del nodo 1 y 2 en la Figura 59 y Figura 60 respectivamente.

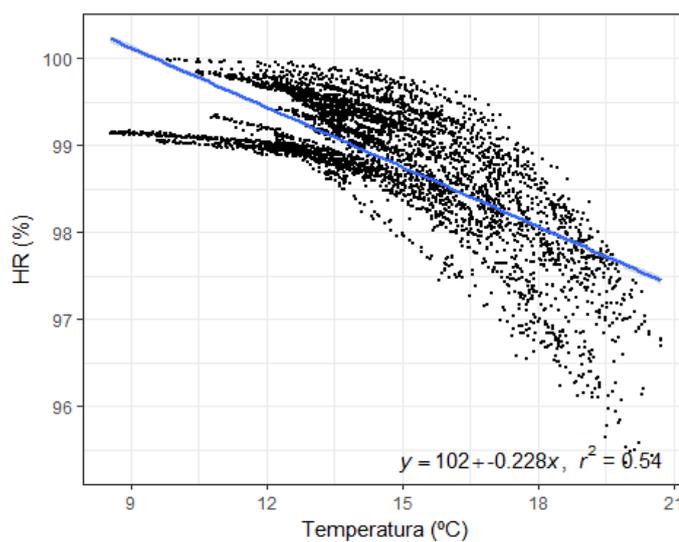


Figura 59: Gráfico de dispersión segundo mes Nodo 1

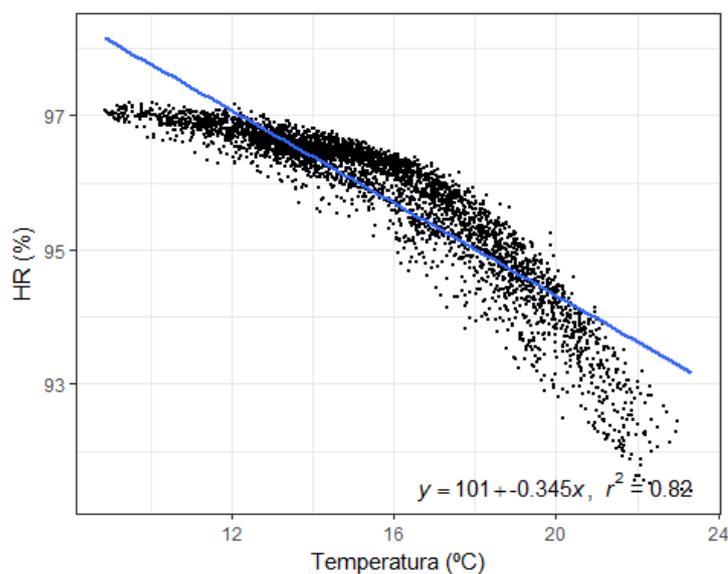


Figura 60: Gráfico de dispersión segundo mes Nodo 2

Como en el caso del mes anterior existe una tendencia de correlación lineal entre temperatura y humedad en ambos nodos de datos. De igual manera muestra una correlación negativa. El objetivo será determinar cuánto ha variado en relación al anterior.

Tabla 39

Correlación de Pearson segundo mes

Correlación	Nodo 1	Nodo 2
Temperatura - Temperatura	1	1
Temperatura - Humedad	-0.799	-0.915
Humedad -Temperatura	-0.799	-0.915
Humedad - Humedad	1	1

Como se puede apreciar en la Tabla 39 en el caso del Nodo 1 existe una diferencia no tan significativa de la correlación negativa en relación al estudio del anterior mes de 0.036, con esto la correlación continua siendo considerable.

En el caso del nodo 2 este valor obtiene una diferencia más holgada del 0.13 bordeando la definición de correlación muy fuerte que varía del primer mes. Es decir hubo más incidencia en los valores de una a otra variable.

Tabla 40**Regresión lineal segundo mes**

Resultado	Nodo 1	Nodo 2
Ecuación	$Y=102+-0.228*X$	$Y=101+-0.345*X$
R cuadrado	0.54	0.82

De acuerdo a la Tabla 40 en cuanto a la incidencia de una variable sobre otra, el segundo mes se vio una disminución en el nodo 1 y un aumento en el nodo 2. En el primer mes se vio una disminución en el nodo 1 y un aumento en el nodo 2 como ya se demostró en el análisis correlacional. A continuación se muestra en Figura 61 y Figura 62 el estado del cultivo al final del segundo mes, en este se puede evidenciar ya el alto crecimiento de las hojas del rosal y el primer brote de los botones.

**Figura 61: Estado cultivo segundo mes nodo 1**



Figura 62: Estado cultivo segundo mes nodo 2

5.3.2.3. Tercer mes

El análisis del tercer mes se lo realizó desde el 7 de Mayo del 2017 al 7 de Junio del 2017, este sería el mes de cierre del análisis y del ciclo de cosecha de las rosas. A continuación se muestran las gráficas de dispersión en R del nodo 1 y 2 en la Figura 63 y Figura 64 respectivamente.

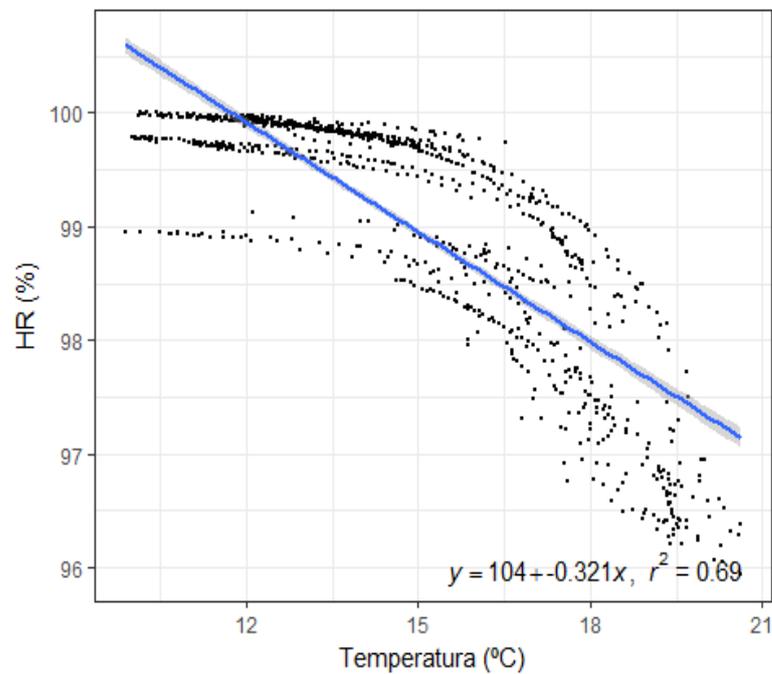


Figura 63: Gráfico de dispersión tercer mes Nodo 1

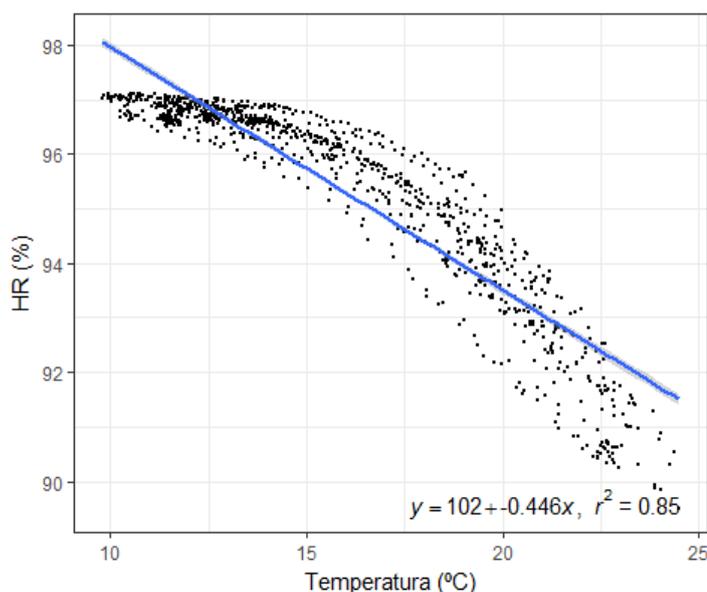


Figura 64: Gráfico de dispersión tercer mes Nodo 2

Como en el caso de los meses anteriores se aprecia continua una tendencia de correlación lineal negativa, en el caso del Nodo 1 se puede observar una distorsión entre temperatura y humedad, esto representa una reducción en la correlación entre ambas variables.

Tabla 41

Correlación de Pearson tercer mes

Correlación	Nodo 1	Nodo 2
Temperatura - Temperatura	1	1
Temperatura - Humedad	-0.744	-0.900
Humedad - Temperatura	-0.744	-0.900
Humedad - Humedad	1	1

Como se puede apreciar en la Tabla 41 en el caso del Nodo 1 existe una pequeña diferencia al igual que en el mes pasado, es decir la tendencia se mantiene en una correlación considerable. De igual manera en el caso del nodo 2 la variación es de 0.015 manteniéndose la tendencia con una correlación muy fuerte. Al final de este ciclo es notoria la diferencia entre ambos dispositivos existiendo mayor incidencia entre variables del segundo sensor.

Tabla 42

Regresión lineal tercer mes

Resultado	Nodo 1	Nodo 2
Ecuación	$Y=104+-0.321*X$	$Y=102+-0.446*X$
R cuadrado	0.69	0.85

De acuerdo a la Tabla 42 durante el tercer mes y tal como se vio en el gráfico de dispersión existe menor incidencia entre variables del Nodo 1 llegando al 69% de influencia, en cuanto al nodo dos se mantienen la tendencia con un 85%. A continuación se muestran las imágenes en Figura 65 y Figura 66 tomadas al terminar el tercer mes, se puede apreciar que los botones del rosal se abrieron y el cultivo está listo para la cosecha.



Figura 65: Estado cultivo tercer mes Nodo 1



Figura 66: Estado cultivo tercer mes Nodo 2

5.3.2.4. Análisis Total

El análisis total abarca los resultados totales de los 3 meses que abarca el ciclo de cosecha, esto con el objetivo de dar un resultado general de la correlación y la regresión lineal entre temperatura y humedad de suelo. A continuación se muestran las gráficas de dispersión en R del nodo 1 y 2. En Figura 67 y Figura 68 respectivamente.

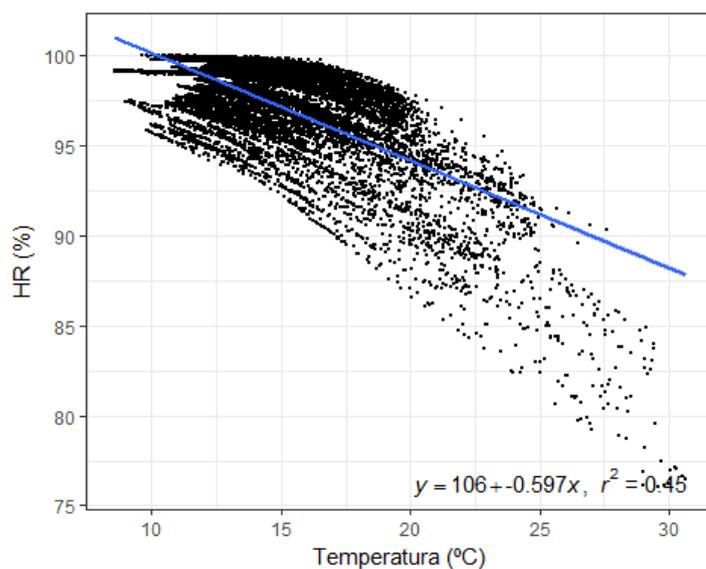


Figura 67: Gráfico de dispersión total Nodo1

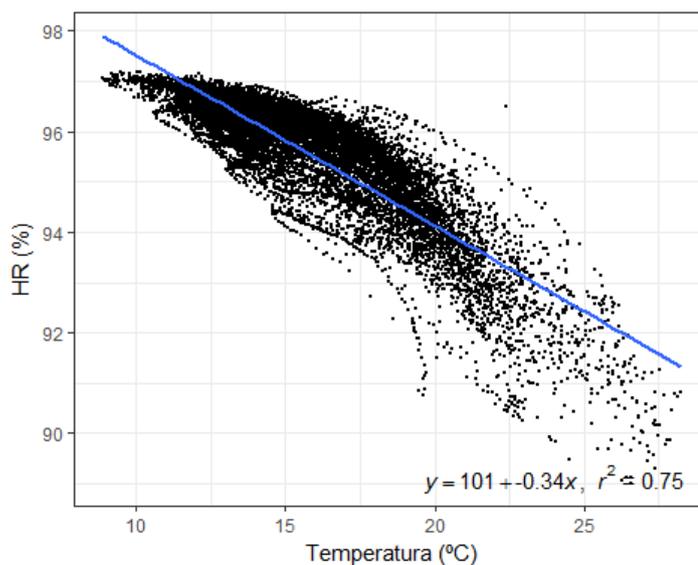


Figura 68: Gráfico de dispersión total Nodo 2

Al igual que en los estudios mensuales la tendencia continua, se muestra una recta pendiente inclinada hacia abajo es decir una correlación negativa aun que los parámetros generales en ambos nodos podrían cambiar. A continuación se muestran los valores de la correlación y regresión en la Tabla 43.

Tabla 43

Correlación de Pearson total

Correlación	Nodo 1	Nodo 2
Temperatura - Temperatura	1	1
Temperatura - Humedad	-0.668	-0.864
Humedad -Temperatura	-0.668	-0.864
Humedad - Humedad	1	1

En el caso del Nodo 1 se tiene un coeficiente de Pearson de -0.668 que aunque al variar un poco con los resultados por mes continúa representando una correlación significativa entre temperatura y humedad.

En el caso del nodo 2 el coeficiente de Pearson es más alto como ha sido la tendencia durante el análisis mensual, esto demuestra que los factores climáticos del suelo tanto temperatura como humedad son más incidentes entre sí en el área donde ha sido implantado este dispositivo.

Tabla 44

Regresión lineal total

Resultado	Nodo 1	Nodo 2
Ecuación	$Y=106+-0.597*X$	$Y=101+-0.34*X$
R cuadrado	0.45	0.75

De acuerdo a la Tabla 44 en una visión general se aprecia que los datos recolectados por el nodo 2 tienen un porcentaje más alto de correlación, mientras que el nodo 1 generó menos impacto en cuanto a la incidencia entre temperatura y humedad. El resultado final se evidencia en Figura 69.



Figura 69: Resultado ciclo de cosecha

5.3.2.5. Resumen

A continuación se muestra en la Tabla 45 el resumen de los valores estadísticos obtenidos del estudio por mes y total. En la Figura 70 y Figura 71 se observa los gráficos de tendencia del coeficiente de Pearson y el porcentaje de R cuadrado obtenido en la regresión lineal.

Tabla 45

Resumen de datos estadísticos

FECHA	Coeficiente de Pearson		R cuadrado	
	Nodo 1	Nodo 2	Nodo 1	Nodo 2
7 DE MARZO-7 DE ABRIL	-0.763	-0.785	0.59	0.81
7 DE ABRIL-7 DE MAYO	-0.799	-0.915	0.54	0.82
7 DE MAYO-7 DE JUNIO	-0.744	-0.900	0.69	0.85
ANÁLISIS TOTAL	-0.668	-0.864	0.45	0.75

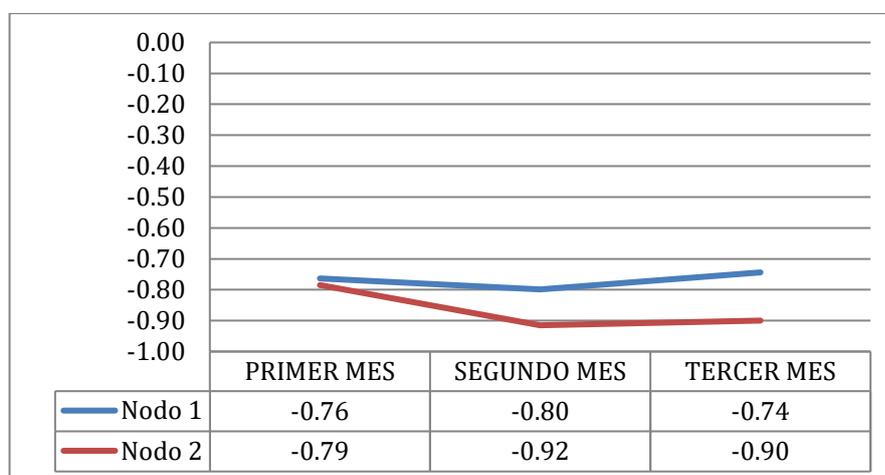


Figura 70: Tendencia coeficiente de Pearson

5.3.3. Análisis de comportamiento e indicadores principales del prototipo.

A continuación se muestran los resultados arrojados por los dashboards de un visualizador de datos diseñado en la plataforma analítica QlikSense (Sección 2.1.7.5.1). Con esto se pudo apreciar el comportamiento del prototipo durante el periodo de implantación que fue desde el día 7 de Marzo del 2017 al 7 de Junio del 2017 el cual abarco todo el ciclo de cosecha de la rosa. Los resultados de este análisis arrojaron índices principales como máximos, mínimos y promedios tanto de temperatura como humedad por día y mes. También se podrá apreciar la relación entre la información recolectada por cada nodo, la correlación negativa existen entre ambas variables y el lugar en donde se encuentran los promedios de temperatura y humedad de la red WSN en comparación a los máximos y mínimos aceptables como factores climáticos en un invernadero.

5.3.3.1. Análisis de indicadores principales

Para este análisis como se muestra en la Figura 72 se diseñó dos interfaces que muestran los indicadores principales de temperatura y humedad respectivamente en cada nodo. La información puede ser filtrada por día y por mes, siendo éste último más importante para definir los valores de los indicadores principales que serán presentados en la aplicación web.

Éste análisis se lo hizo tanto para temperatura como humedad, se definió por medio de gráficos de líneas los máximos, mínimos y promedios de humedad durante el periodo de implantación. Con estos visualizadores el usuario final puede navegar por los datos filtrando tanto mes como día y observando el comportamiento del prototipo durante el periodo de implantación que duró 90 días.

En el primer gráfico mostrado en la Figura 73 se puede observar el comportamiento de temperatura durante los 92 días, a partir de eso la app de QlikSense realiza un promedio general de temperatura máxima, temperatura mínima y temperatura promedio mostrando los resultados en una tabla.

De primera mano en los análisis generales se podrá apreciar el comportamiento del prototipo durante el periodo de implantación en cual fue el tiempo que duró el ciclo de cosecha, los resultados de análisis se explicará más adelante, el dashboard o visualizador de información diseñado consta de dos gráficos uno para cada nodo y dos filtros de día y mes para ambos dispositivos. Por ultimo en una tabla de datos se aprecia los indicadores principales.

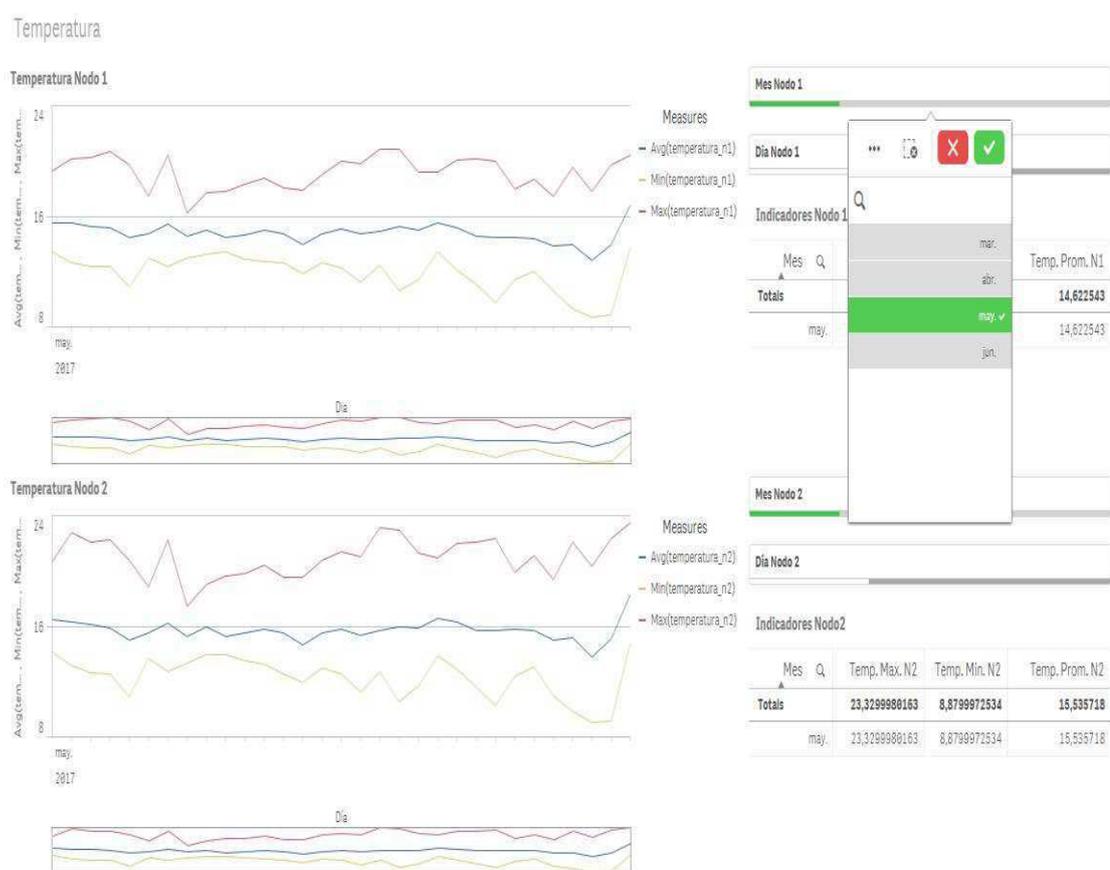


Figura 71: Interfaz de análisis de indicadores principales

5.3.3.1.1 Análisis de temperatura



Figura 72: Gráfica general de temperatura

De forma general en la Figura 72 se muestra el comportamiento que registró el prototipo durante los meses de Marzo, Abril, Mayo y primeros días de Junio a simple vista se puede apreciar una relación entre la información registrada por el nodo 1 y nodo 2 teniendo los puntos más altos de medición durante los meses de Marzo y Abril. Los resultados de los indicadores principales por mes se detallan a continuación en la Tabla 46 y Tabla 47.

Los promedios de temperatura captados por ambos sensores entran dentro del rango de valores aceptables para temperatura y humedad de suelo, las medidas generales oscilan entre los 15 grados centígrados, únicamente se encontró que el promedio en los meses de mayo y junio para el nodo1 bajaron a 14. A continuación se muestran los resultados de los indicadores principales máximos y mínimos Tabla 46 y promedio Tabla 47.

Tabla 46

Máximos y mínimos de temperatura

Mes	Temp. Max. N1	Temp. Max. N2	Temp. Min N1	Temp. Min. N2
Marzo	30,67	28,24	10,72	11,84
Abril	29,40	27,94	8,98	10,6
Mayo	20,72	23,33	8,54	8,88
Junio	20,63	24,49	9,88	9,79
Promedio	25,35	25,1	9,53	10,28

Tabla 47

Promedios de temperatura

Mes	Temp. Prom. N1	Temp. Prom. N2
Marzo	15,34	16,01
Abril	15,59	16,36
Mayo	14,62	15,53
Junio	14,64	15,92
Promedio	15,05	15,96

Los indicadores de temperatura entre nodo 1 y nodo 2 guardaron gran relación, la única diferencia considerable se da durante en los meses de mayo y junio en cual el dispositivo 2 registró temperaturas máximas de 28 grados centígrados, sin embargo estos valores están dentro de los rangos razonables de mediciones dentro de un invernadero.

5.3.3.1.2. Análisis de Humedad

Humedad Nodo 1

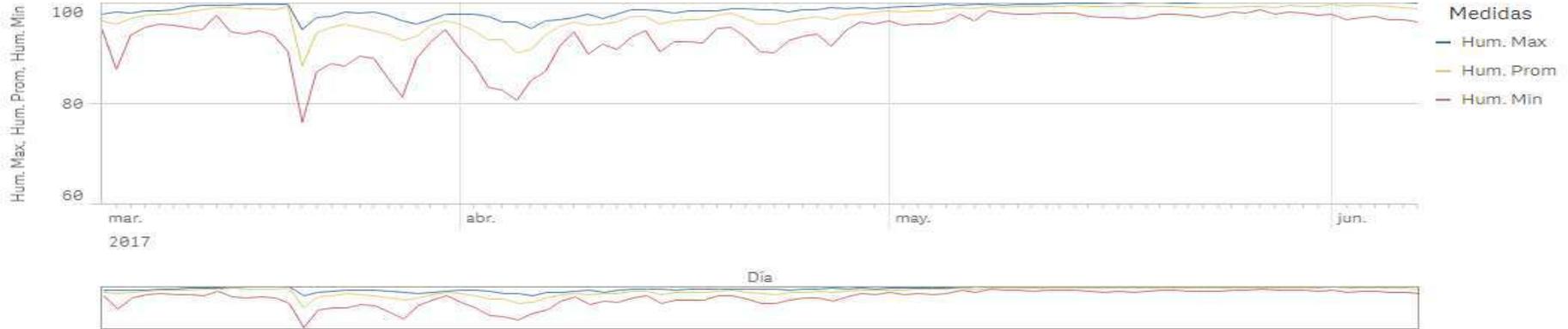


Figura 73: Humedad promedio Nodo 1

Humedad Nodo 2

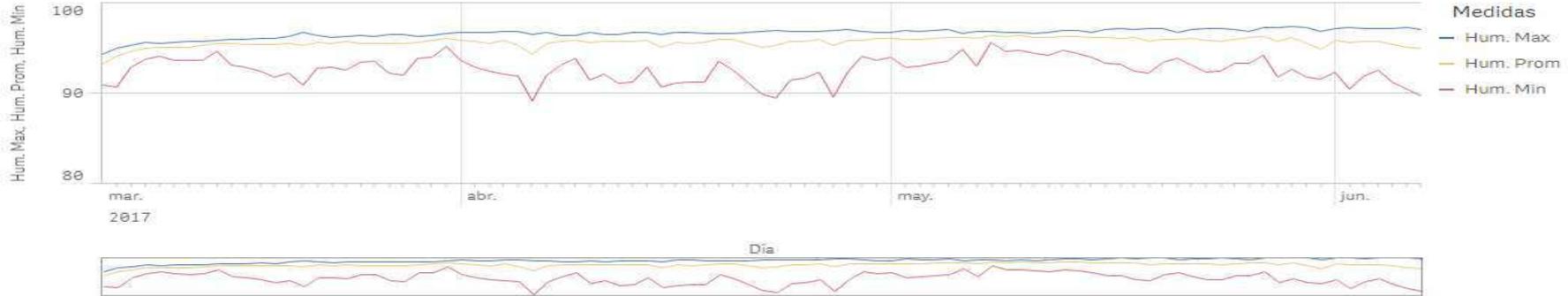


Figura 74: Humedad promedio Nodo

De acuerdo a la Figura 73 y Figura 74 la diferencia fue más cerrada, sin embargo se registró una diferencia en los meses de marzo y abril en la que el sensor del dispositivo 1 marco medidas de hasta 15 puntos menos en comparación a las del dispositivo 2. En cuanto a la humedad máxima los niveles marcados son similares hay variaciones mínimas de 2 a 3 puntos. Cabe recalcar que en el caso de la humedad los factores de riego y estado de suelo van a incidir directamente en la variación de un nodo a otro, esto al estar estos implantados en camas diferentes. A continuación se muestran los resultados de los indicadores captados por el prototipo.

Tabla 48

Máximos y mínimos de humedad

Mes	Hum. Max. N1	Hum. Max. N2	Hum. Min N1	Hum. Min N2
Marzo	99,43	96,49	76,02	90,49
Abril	98,77	96,86	80,35	88,99
Mayo	99,99	97,19	95,34	91,39
Junio	99,99	97,11	95,93	89,49
Promedio	99,55	96,92	86,91	96,92

Tabla 49

Promedios de humedad

Mes	Hum. Prom. N1	Hum. Prom. N2
Marzo	96,06	95,15
Abril	95,67	95,45
Mayo	98,84	95,85
Junio	99,06	95,32
Promedio	97,41	95,44

Como se puede apreciar existen diferencias más amplias en cuanto a temperatura, mientras el nodo 2 se mantuvo en un promedio de 95.44% el nodo 1 en el mes de mayo subió hasta el 98.83% tomando en cuenta la precisión del sensor SHT10 con +-8% se puede decir que las mediciones hechas por el prototipo están oscilan el 100% que es el porcentaje ideal para que el agua que se encuentra dentro del suelo o material poroso no se evapore. Entonces los promedios captados por la información de los sensores se encuentran en el rango de los valores que necesitan las fibras

capilares para absorber la humedad. Al mencionar que la cosecha no tuvo incidentes es viable corroborar estos resultados. A continuación se muestra el resumen de las cifras.

5.3.3.2. Análisis exploratorio de los datos

Se ha analizado dos conjuntos de datos correspondientes a los dos nodos del sensor que fueron ubicados en el cultivo de rosas, las variables analizadas fueron la humedad relativa y la temperatura. Los estadísticos obtenidos respecto a la humedad relativa son mostrados en la Tabla 50

Tabla 50

Estadísticos humedad

Nodo	Min.	1er C	Mediana	Media	3er C.	Max.
1	76,02	96,21	97,88	97,10	99,02	100,00
2	88,99	94,96	95,92	95,50	96,38	97,20

En el nodo 1 y 2 la media y mediana se encuentran cercanas, por lo que se desprecia la presencia de sesgo en los datos. El 25% de los datos corresponden a valores que oscilan entre 76,02 y 96,21 y el 75% de los datos entre 76,02 y 99,02 para el nodo 1. Para el caso del nodo 2, los valores el rango de valores oscila entre 88,99 y 97,20. Como se puede apreciar en la Figura 75, los datos presentan valores muy altos de humedad relativa para el tipo de suelo que está siendo analizado, esto podría deberse a la profundidad de la toma de datos por un lado y por otro la técnica usada para el riego, como es el riego por goteo que influiría en los datos obtenidos.

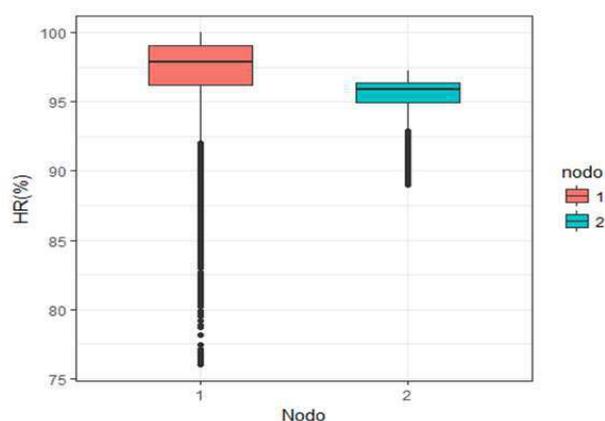


Figura 75: Gráfico caja – bigote para la variable humedad

Si bien es cierto, los datos obtenidos muestran valores altos de humedad relativa para este tipo de suelo, hay que tener en cuenta que las especificaciones del equipo muestran que la precisión para valores entre 90 y 100 de humedad relativa puede presentar errores de hasta $\pm 7,5\%$. Y como se mencionó anteriormente estos podrían estar siendo influenciados por la profundidad y técnica de riego empleada en el cultivo. En la Tabla 51, se muestran los resultados obtenidos de la variable temperatura, en la cual no existen mayores diferencias.

Tabla 51

Estadísticos temperatura

Nodo	Min.	1er C	Mediana	Media	3er C.	Max.
1	8,04	12,92	14,38	15,13	16,90	30,67
2	8,88	13,64	15,23	15,96	17,98	28,24

La Figura 76, muestra la gráfica de caja y bigote de los datos respecto a la temperatura, en dicha gráfica se puede identificar un conjunto de datos atípicos en el nodo 1 a diferencia del nodo 2, ambos nodos presentan días similares. No se han registrado mayores variaciones entre los dos nodos analizados.

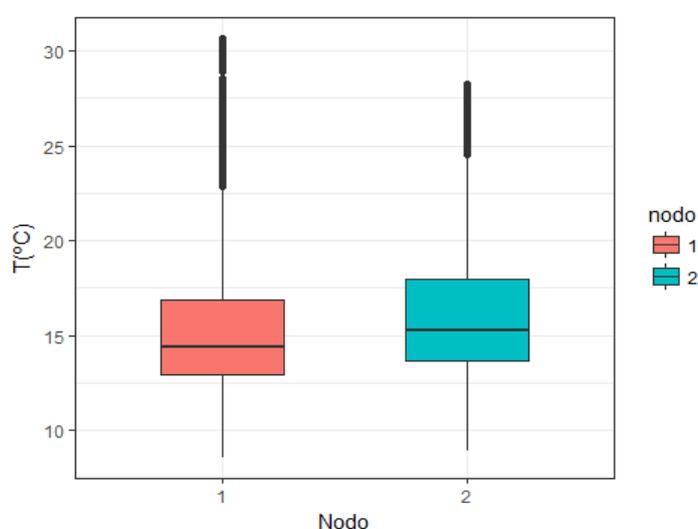


Figura 76: Gráfico caja – bigote para la variable temperatura

Es importante recalcar que el experimento muestra que los sensores utilizados son una herramienta muy práctica a la hora de recopilar datos en tiempo real para humedad y temperatura, ya que permiten a los técnicos tomar acciones correctivas en el caso de presentarse anomalías.

5.3.3.2.1. Resumen Temperatura

De acuerdo a la Tabla 21 de promedios de máximos y mínimos y la Tabla 23 de promedios generales por día y total de temperatura obtenidos durante el periodo de implantación se procedió a calcular los cuartiles con lo cual se definió 5 rangos de aceptación de acuerdo a los valores. Además se tomó en cuenta los valores aceptables de temperatura de suelo definidos en (Sección 2.1.2.1.). A continuación en la Tabla 52 se resume los rangos de aceptación.

Tabla 52

Rangos de aceptación

Rango	Observación
Muy Alta	El factor se encuentra en niveles muy altos de acuerdo al análisis
Alta	El factor se encuentra en niveles altos de acuerdo al análisis
Normal	El factor se encuentra en niveles normales
Baja	El factor se encuentra en niveles bajos de acuerdo al análisis
Fuera de rango	La información receptada se encuentra fuera de rango

Estos 5 rangos fueron ponderados en una escala de acuerdo a los valores resultantes del análisis. Esta información fue incluida en la aplicación web para que el usuario final pueda llevar un control de acuerdo a los indicadores principales receptados en el prototipo durante el proceso de monitoreo. A continuación se resumen los rangos tanto para máximos, mínimos y promedios.

Tabla 53

Rango de valores temperatura

Rango	Máximos	Mínimos	Promedios
Muy Alta	24,41-30,67	12,53-14,98	15,93-18,85
Alta	22,30-24,41	11,84-12,53	15,43-15,93
Normal	20,62-22,30	10,96-11,84	15,01-15,43
Baja	17,24-20,62	8,54-10,96	13,13-15,01

5.3.3.2.2. Resumen Humedad

De acuerdo a la Tabla 22 de promedios de máximos y mínimos y la Tabla 25 de promedios generales por día y total de humedad obtenidos durante el periodo de implantación se definió los mismos 4 rangos de aceptación que se definió para temperatura en la Tabla 54.

Estos 4 rangos fueron ponderados en una escala de acuerdo a los valores resultantes del análisis por cuadriles tomando en cuenta también los valores del rango precisión para humedad del sensor STH10 la cual es +-8% según su datasheet (Sección 2.1.5.6.).

Esta información de igual manera fue incluida en la aplicación web para que el usuario final pueda llevar un control de acuerdo a los indicadores principales receptados en el prototipo durante el proceso de monitoreo. A continuación se resumen los rangos tanto para máximos, mínimos y promedios.

Tabla 54

Rango de valores humedad

Rango	Máximos	Mínimos	Promedios
Muy Alta	99,69-100,00	93,33-95,40	97,26-97,70
Alta	98,75-99,69	92,15-93,33	96,63-97,26
Normal	97,76-98,75	90,32-92,15	95,52-96,63
Baja	96,13-97,76	76,02-90,32	92,16-95,52

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y LÍNEAS DE TRABAJO FUTURO

6.1. Conclusiones

- Se diseñó un prototipo de red WSN de dos nodos que midió niveles de temperatura y humedad de suelo en invernaderos y que como resultado durante su periodo de implantación permitió la recolección, flujo y almacenamiento de un total de 26007 datos.
- Los datos de temperatura de suelo presentaron una correlación negativa de -0.668 en el nodo 1 y -0.864 en el nodo 2 respecto a los datos de humedad de suelo de acuerdo al coeficiente de Pearson lo que significa que con el incremento de temperatura la humedad tiene un decrecimiento y viceversa.
- El análisis de los indicadores principales a través de la plataforma analítica demostró coherencia en la información en vista que los valores de los indicadores principales no rebasaron los rangos de promedios establecidos durante el estudio por lo que de forma general no hubo datos inexactos o imprecisos.
- La aplicación web permitió visualizar los datos almacenados en una interfaz que además mostró el comportamiento de las variables climáticas de acuerdo al análisis resultante del periodo de implantación.

6.2. Recomendaciones

- Se recomienda en el uso de diferentes dispositivos de hardware como el Arduino Mega que cuenta con más pines digitales si se desea incluir más sensores al estudio.
- Es recomendable diseñar una red que abarque una comunicación más extensa en caso de invernaderos más grandes, para esto implementar un nodo router entre los dispositivos datos y el dispositivo coordinador.
- Si se desea implantar más nodos de datos en la red WSN haciendo que el flujo y la carga de información se vuelva más pesado se

recomienda utilizar una base de datos no relacional o documental como MongoDB.

6.3. Trabajos Futuros

- Se plantea el uso de diferentes sensores en la red WSN enfocados no solo a mediciones de factores climáticos sino también de otros nutrientes de suelo como nitrógeno, fósforo y potasio.
- Un estudio correlacional de la incidencia de factores climáticos externos hacia las mediciones hechas en el invernadero complementaria el análisis realizado.
- Con el diseño de una red WSN más extensa que abarque varios dispositivos de datos y nuevos sensores a su arquitectura, la gran cantidad de información recolectada puede ser tratada no solo con herramientas de visores de la información si no con procesos de minería de datos que permitan generar conocimientos para la toma de decisiones en los procesos de la agroindustria.

BIBLIOGRAFIA

A. Cama, E. d. (2012). Las redes de sensores inalámbricos. Universidad de la Costa, 163.

A. F. M. Sultanul Kabir, M. A. (2014). A study of secured wireless sensor networks with XBee and Arduino. IEEE.

Adafruit. (12 de Enero de 2017). Adafruit. Obtenido de Soil Temperature/Moisture Sensor - SHT10: <https://www.adafruit.com/product/1298>

Adriana P. Quiñones, D. A. (2013). Redes Inalámbricas de Sensores: Una experiencia en la industria del Té.

Alicia Vila, M. S. (2004). CORRELACIÓN LINEAL Y ANÁLISIS DE REGRESIÓN. UOC, 3-31.

Arduino. (2016). Arduino. Obtenido de <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>

Arduino. (11 de Enero de 2017). Obtenido de Xbee Shield: <http://arduino.cl/xbee-shield/>

AudioVisualStudio. (13 de Enero de 2017). Obtenido de El Internet de las cosas en Ferias y Eventos: <http://www.audiovisualstudio.es/el-internet-de-las-cosas-y-su-impacto-en-ferias-y-eventos/>

Ballesteros, & Chaparro. (2008). Aplicación Web para la captura, monitoreo y análisis de datos transmitidos a través de redes de sensores inalámbricos utilizando tecnología Zigbee.

Barón, J. C. (2013). Aplicación de tecnología Zigbee para el monitoreo de variables ambientales en invernaderos. UNAD.

Boonsawat, Ekchamanonta, Bumrungkhet, & Kittipiyakul. (2012). XBee Wireless Sensor Networks for Temperature.

Bustamante, & Rodriguez. (2014). Metodología XP.

C. Pita, P. V. (2012). Wireless Sensor Network Protocol for Smart Parking Application Experimental Study on the Arduino Platform.

Cama, Piñeres, Zamora, Acosta, Caicedo, & Sepúlveda. (2016). Diseño de una red de sensores inalámbricos para la monitorización de inundaciones repentinas en la ciudad de Barranquilla, Colombia.

Cliksoft. (26 de 06 de 2017). Cliksoft. Obtenido de Cliksoft: <http://www.cliksoft.com.ec/qliksense?gclid=Cj0KEQjw4cLKBRCZmNTvyovvj->

4BEiQAI_sgQuYy8FiZu60Tx66Nf36pvNqxAjA3w6Zh9rSKIAT4Sg0aAndK8P8HA
Q

CostaRicaJs. (26 de 08 de 2017). CostaRicaJs. Obtenido de <https://costaricajs.co/2015/03/La-Arquitectura-Flux/>

CSULB. (05 de 09 de 2017). CSULB. Obtenido de CSULB: <http://web.csulb.edu/~hill/ee400d/Technical%20Training%20Series/02%20Intro%20to%20Arduino.pdf>

Erazo, M., Rivas, D., Pérez, M., Galarza, O., Bautista, V., Huerta, M., & Rojo, J. L. (2015). Design and implementation of a wireless sensor network for rose greenhouses monitoring. IEEE.

Farias, C. M., Pirmez, L., Delicato, F. C., Pires, P. F., Li, W., Zomaya, A., . . . Juárez-Ramírez, R. (2017). GROWN: a control and decision system for smart greenhouses using wireless sensor networks. Researchgate.

Flux. (26 de 08 de 2017). Flux. Obtenido de <https://facebook.github.io/flux/>

Fortuño, A. G. (2012). Desarrollo e implementación de una red de sensores Zigbee mediante el dispositivo Xbee de Digi.

García, & Flego. (2016). Agricultura de Precisión.

Heredia. (2014). Internet de las Cosas.

Hernandez, Mazón, & Campoverde. (2015). CLOUD COMPUTING PARA EL INTERNET DE LAS COSAS. CASO DE ESTUDIO ORIENTADO A LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN.

Iacono, Godoy, Marianetti, Garino, & Párraga. (2012).

IBM. (26 de 06 de 2017). IBM. Obtenido de IBM: <https://www.ibm.com/analytics/ec/es/technology/spss/>

Ibrahim, M., Mohamed, R., Mohd, K., Nizar, H. A., & Mat, Y. I. (2016). IoT in Precision Agriculture applications using Wireless Moisture Sensor Network. IEEE.

Infoclima. (5 de Enero de 2017). Obtenido de http://agro.infoclima.com/?page_id=506

Infojardín. (4 de Enero de 2017). Infojardín. Obtenido de <http://articulos.infojardin.com/huerto/invernaderos-clima-cultivo.htm>

Iraceburo, & Goicoechea. (2014). Desarrollo e implementación de una red inalámbrica de sensores de temperatura y humedad.

Kumbhar, H. (2016). Wireless sensor network using Xbee on Arduino Platform: An experimental study. IEEE.

Martínez. (2014). Análisis y diseño de una red inalámbrica de sensores para un proyecto agrario.

Maya, & Burbano. (2014). Red WSN para el Control y Monitoreo de un Sistema de Riego por Goteo de una Plantación de Fresas en la Granja Experimental Yuyucocha – UTN.

Michelena. (2016). Diseño de un sistema de incendios forestales en tiempo real basado en internet de las cosas y plataformas como servicio en la nube.

Microsoft. (27 de 03 de 2017). Microsoft. Obtenido de Arduino IDE: <https://www.microsoft.com/en-us/store/p/arduino-ide/9nblggh4rsd8>

Monroy, N., Pérez, I., & Cure, J. R. (2001). ESTUDIO DE LA VARIABILIDAD EN EL CLIMA Y LA PRODUCCIÓN DE ROSAS EN LA SABANA DE BOGOTÁ. NationalInstruments. (5 de Enero de 2017). Obtenido de <http://www.ni.com/white-paper/7142/es/#toc2>

Nodejs. (26 de 08 de 2017). Nodejs. Obtenido de <https://nodejs.org/es/>

Pérez, J., Urdaneta, E., & Custodio, Á. (2014). Metodología para el diseño de una red de sensores inalámbricos.

Personal. (13 de 08 de 2017). COEFICIENTE DE CORRELACIÓN LINEAL DE PEARSON. Obtenido de <https://personal.us.es/vararey/adatos2/correlacion.pdf>

Pinzón. (2015). PANORAMA DE APLICACIÓN DE INTERNET.

Porkodi. (2014). The Internet of Things (IoT) Applications and Communication Enabling Technology Standards: An Overview. IEEE.

Pottie, & Kaiser. (2000). Wireless integrated network sensors.

QlikSense. (26 de 06 de 2017). QlikSense. Obtenido de QlikSense: <http://www.qlik.com/es-es/products/qlik-sense>

Ramachandran, H. (2015). An Integrated Xbee Arduino and Differential Evolution Approach for Localization in Wireless Sensor Networks.

RaspberrPi-SPY. (11 de Enero de 2017). Obtenido de <http://www.raspberrypi-spy.co.uk/2016/02/raspberrypi-3-model-b-review-setup/#prettyPhoto>

RaspberryPi. (11 de Enero de 2017). Obtenido de Raspberry Pi 3 Model B: <https://www.raspberrypi.org/products/raspberrypi-3-model-b/>

React. (26 de 08 de 2017). React. Obtenido de <https://facebook.github.io/react/>
Rossum. (2009). El tutorial de Python.

Rueda, & Portocarreno. (2016). De las redes de sensores inalámbricas al Internet de las cosas: ¿Tecnologías complementarias o antagonistas?

Saad, S. M., Kamarudin, L. M., Kamarudin, K., Nooriman, W. M., Mamduh, S. M., Zakaria, A., . . . Jaafar, M. N. (2017). A real-time greenhouse monitoring system for mango with Wireless Sensor Network (WSN). *IEEE*, 6.

Salgado, & Coello. (2015). Prototipo de monitoreo ambiental aplicando el internet de las cosas utilizando arduino y Cloud Computing.

Sánchez, P., & Calvache, M. (2002). DETERMINACION DE LA ACUMULACION Y EXPORTACION DE NUTRIENTES EN TRES VARIEDADES DE ROSAS BAJO INVERNADERO. CHECA – PICHINCHA.

Sensirion. (12 de Enero de 2017). Sensirion. Obtenido de Digital Humidity Sensor SHT1x (RH/T): <https://www.sensirion.com/products/humidity-sensors/digital-humidity-sensors-for-accurate-measurements/>

SparkFun. (12 de Enero de 2017). Obtenido de <https://www.sparkfun.com/products/11812>

Vera, C., Barbosa, J., & Pabón, D. (2014). Plataforma Meteorológica de bajo costo basada en tecnología Zigbee. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*.

Vladivieso. (2013). CONSTRUCCIÓN DE UN CONTROLADOR DE TEMPERATURA AMBIENTAL Y HUMEDAD DEL SUELO EN UN INVERNADERO DE TOMATE RIÑÓN ORGÁNICO UTILIZANDO MICROCONTROLADOR PIC 16F877A.

Weaved. (28 de 03 de 2017). Weaved. Obtenido de Weaved: <https://developer.weaved.com/portal/products/Weaved%20IoT%20Kit%20for%20Raspberry%20Pi.pdf>

Xbee. (10 de Enero de 2017). Obtenido de <http://xbee.cl/xbee-2mw-wire-antenna/>

Y. García, W. R. (2012). Indicadores de la calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso.

Y. García, W. R. (2012). Indicadores de la calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso.

Yong, A. (2004). EL CULTIVO DEL ROSAL Y SU PROPAGACIÓN.