

**DESARROLLO, IMPLEMENTACIÓN Y SOCIALIZACIÓN DE UN SISTEMA DE
REDES INALÁMBRICAS DE SENSORES ENFOCADO AL SECTOR AGRÍCOLA
COLOMBIANO PARA LA OPTIMIZACIÓN DE RECURSOS Y CONTROL DE
RIESGOS AGROAMBIENTALES Y AGROCLIMÁTICOS**

SILVIA JULIANA PINEDA FAJARDO
CHRISTIAN FELIPE JAIMES GONZALEZ

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA – UNAB
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS
GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN TECNOLOGÍA DE INFORMACIÓN - GTI
LÍNEA DE INVESTIGACIÓN EN TELEMÁTICA
BUCARAMANGA, MAYO 10 DE 2016

**DESARROLLO, IMPLEMENTACIÓN Y SOCIALIZACIÓN DE UN SISTEMA DE
REDES INALÁMBRICAS DE SENSORES ENFOCADO AL SECTOR AGRÍCOLA
COLOMBIANO PARA LA OPTIMIZACIÓN DE RECURSOS Y CONTROL DE
RIESGOS AGROAMBIENTALES Y AGROCLIMÁTICOS**

SILVIA JULIANA PINEDA FAJARDO
CHRISTIAN FELIPE JAIMES GONZALEZ

Director:
Diana Teresa Parra Sánchez
Co-Director:
Rene Alejandro Lobo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA – UNAB
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS
GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN TECNOLOGÍA DE INFORMACIÓN - GTI
LÍNEA DE INVESTIGACIÓN EN TELEMÁTICA
BUCARAMANGA, MAYO 10 DE 2016

Nota de aceptación

Aprobado por el Jurado de Trabajo de Grado en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Universidad Autónoma de Bucaramanga para optar por el título de Ingeniero de Sistemas

Diana Teresa Parra Sánchez
Directora

Rene A. Lobo
Co-Director

Paulo Cesar Ramírez Prada
Jurado

Bucaramanga, x de x de 2016

A nuestros padres.

AGRADECIMIENTOS

A la profesora Diana Teresa Parra, tutora de este proyecto, por su apoyo, dedicación, paciencia y soporte; que ayudaron a que este proyecto se pudiera llevar a cabo.

A mis amigos por acompañarme en este proceso brindándome su compañía, comprensión y apoyo en todo momento.

A mi Papi y mi Mami por ser mi soporte, mi compañía y la principal razón por la que me levanto cada mañana.

A mi hermana y prima por estar siempre ahí para mí en todo momento.

A todos aquellos que aportaron cosas positivas en mi vida y construyeron una parte de lo que soy ahora, aunque ya no se estén a mi lado.

Juliana Pineda

A nuestros docentes por guiarnos y darnos su completo apoyo para la realización exitosa de este Proyecto; su mentoría, consejo y paciencia han sido esenciales para nuestro desarrollo académico y personal.

A mis padres quienes han dado todo de sí día tras día, quienes siempre han sido incondicionales y a quienes agradeceré toda la vida. Solo quiero que esta vida me alcance para poder devolverles todo lo que me han dado con mucho amor.

A mi novia, por su constante apoyo, comprensión y compañía hasta en los momentos más difíciles.

A mis amigos, por su compañía, consejo y amistad.

A Dios con quien todo es posible.

Felipe Jaimes

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	18
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	18
PROPÓSITO, ENFOQUE Y TAREAS	20
APORTACIONES DE LA TESIS.....	20
1. OBJETIVOS	23
1.1 OBJETIVO GENERAL	23
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	23
2. MARCO REFERENCIAL.....	24
2.1 MARCO CONCEPTUAL	24
2.3 MARCO CONTEXTUAL.....	31
2.4 MARCO LEGAL	33
2.5 ESTADO DEL ARTE	35
2.5.1 REVISIÓN SISTEMÁTICA DE LA LITERATURA	35
3. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO INVESTIGATIVO	43
3.1 METODOLOGÍA	43
4. RESULTADOS.....	45
4.1 CASOS DE ESTUDIO EN EL USO DE TECNOLOGÍAS DE REDES INALÁMBRICAS DE SENSORES PARA EL SECTOR AGRÍCOLA ENFOCADAS A LA OPTIMIZACIÓN Y CONTROL DE RIESGOS AGROCLIMÁTICOS Y AGROAMBIENTALES EN COLOMBIA Y EL MUNDO	45
4.2 SOFTWARE Y HARDWARE DE LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA DE MONITOREO: DE REDES INALÁMBRICAS Y PROTOTIPO FUNCIONAL DE NODOS SENSORES.....	50
4.2.1 Desarrollo a nivel Hardware de los elementos del sistema	51
4.2.2 Desarrollo a nivel de Software de los elementos del sistema	63
4.3 DESPLIEGUE DEL SISTEMA DE REDES INALÁMBRICAS DE SENSORES EN UN CULTIVO UBICADO EN EL PUEBLO DE CÁCHIRA (NORTE DE SANTANDER).	99
4.3.1 Arquitectura del sistema WSN.....	99
4.3.2 Despliegue y Protocolo de Pruebas Para Evidenciar el Funcionamiento del Sistema	102
4.4 EVALUACIÓN Y SOCIALIZACIÓN DEL RENDIMIENTO DEL SISTEMA 108	
6. CONCLUSIONES	120

7. RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS.....	121
Anexo 1, Código fuente nivel hardware	122
Anexo 2, Recolección de Datos de la Red WSN	125
Anexo 3, Encuesta 1.....	130
Anexo 4, Encuesta 2.....	131
REFERENCIAS.....	132

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Asignación de Frecuencia	29
Tabla 2: Boletín del DANE 2005, Municipio de CÁCHIRA Norte de Santander	33
Tabla 3: Análisis Estado del Arte.....	38
Tabla 4: Referencias Estado del Arte.....	40
Tabla 5: Enfoques de los documentos recuperados	45
Tabla 6: Topología, Arquitectura y Diseño de Redes WSN.....	46
Tabla 7: Agricultura de Precisión con redes WSN.....	46
Tabla 8: Monitoreo y Control de Redes WSN.....	48
Tabla 9: Despliegue de Redes WSN.....	49
Tabla 10: Arduinos del Sistema.....	52
Tabla 11: Shields del Sistema	54
Tabla 12: Sensores del Sistema.....	57
Tabla 13: Documentos del Desarrollo de Software	63
Tabla 14: Roles de la unidad de organización de proyectos	65
Tabla 15: Agentes Externos del Sistema	65
Tabla 16: Cálculo Punto de Función Sin Ajustar	67
Tabla 17: Cálculo Puntos de Función Ajustados	67
Tabla 18: Coeficientes de las Clases de Proyecto	68
Tabla 19: Coeficiente de Adaptación de Esfuerzo.....	69
Tabla 20: Análisis de Riesgos por Categorías.....	70
Tabla 21: Métodos de Contención para la Reducción de Riesgos	70
Tabla 22: Gestión de Riesgos	71
Tabla 23: Fases del Desarrollo del Proyecto.....	71
Tabla 24: Alcance del Proyecto.....	72
Tabla 25: Requisitos Funcionales	74
Tabla 26: Organización de Requerimientos	77
Tabla 27: Requerimientos para la confiabilidad de un sistema	78
Tabla 28: Requisitos de Rendimiento.....	78
Tabla 29: Interfaces de Hardware	79
Tabla 30: Interfaces de Software.....	79
Tabla 31: Interfaces de Comunicación	80
Tabla 32: Actividades y Responsabilidades	81
Tabla 33: Responsabilidades para el Desarrollo del Software de Calidad	82
Tabla 34: Estándares de Aseguramiento	82
Tabla 35: Módulos para probar el sistema	86
Tabla 36: Pruebas que se validaran en el sistema.....	86
Tabla 37: Autores y Casos de Uso del Sistema	87
Tabla 38: Secuencia autenticación de usuario	89
Tabla 39: Crear, modificar o eliminar usuarios	90
Tabla 40: Crear, modificar o eliminar nodos.....	91
Tabla 41: Crear, modificar o eliminar perfil de cultivo.....	92
Tabla 42: Secuencia Crear, modificar o eliminar Gateway.....	93
Tabla 43: Secuencia Asignación de nodos a Gateway	94

Tabla 44: Secuencia Asignación de Gateway a usuarios.....	95
Tabla 45: Secuencia Consultas de Usuario	96
Tabla 46: Datos Tomados Red WSN	103
Tabla 47: Protocolo de Pruebas del Sistema	104
Tabla 48: Itinerario Actividad de Socialización y Evaluación	109
Tabla 49: Cronograma de la Actividad de Socialización y Evaluación	109
Tabla 50: Resultados Encuesta 1, Pregunta 1	115
Tabla 51: Resultados Encuesta 1, Pregunta 2	115
Tabla 52: Resultados Encuesta 1, Pregunta 3	116
Tabla 53: Resultados Encuesta 1, Pregunta 4	117
Tabla 54: Resultados Encuesta 1, Pregunta 5	117
Tabla 55: Resultados Encuesta 2, Pregunta 1	118
Tabla 56: Resultados Encuesta 2, Pregunta 2	118
Tabla 57: Resultados Encuesta 2, Pregunta 2	119

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Variación real del anual del PIB agropecuario y PIB total, 2001 a 2013	19
Figura 2: Componentes de un Nodo Sensor	28
Figura 3: Elementos de una red WSN	30
Figura 4: Topologías Frecuentes de las Redes WSN	31
Figura 5: Ubicación Municipio de CÁCHIRA, Norte de Santander	32
Figura 6: Documentos por año	35
Figura 7: Documentos por autor	36
Figura 8: Documento por país/territorio	36
Figura 9: Tipos de Documentos	37
Figura 10: Documentos por afiliación	37
Figura 11: Documentos por área de estudio	38
Figura 12: Fases del Proyecto de Investigación	43
Figura 13: Sistema Electrónico de Microcontrolador	51
Figura 14: Integración de nodos del sistema	61
Figura 15: Nodo sensor desplegado	62
Figura 16: Concatenación de Protocolos de red del sensor	62
Figura 17: Estructura Organizacional del Desarrollo del Proyecto	64
Figura 18: Cronograma del Proyecto	66
Figura 19: Diagrama de Contexto	66
Figura 20: Diagrama de Bloques	73
Figura 21: Modelo de McCall	83
Figura 22: Módulos del Programa	85
Figura 23: Diagrama de Casos de Uso	88
Figura 24: Diagrama Secuencial de autenticación de usuario	89
Figura 25: Diagrama de Secuencia, Administrar Usuario	90
Figura 26: Diagrama de Secuencia, Administrar Nodos	91
Figura 27: Diagrama Secuencia, Administrar Cultivo	92
Figura 28: Diagrama Secuencia, Administrar Gateway	93
Figura 29: Diagrama de Secuencia, Asignación de Nodo a Gateway	94
Figura 30: Diagrama de Secuencia, Asignar Gateway a Usuario	95
Figura 31: Diagrama Secuencia, Mostrar Opciones Usuario	96
Figura 32: Diagrama de Clases	97
Figura 33: Diagrama Entidad Relación	98
Figura 34: Fases de la metodología y sus respectivas salidas	100
Figura 35: Arquitectura del Sistema	102
Figura 36: Despliegue del Sistema WSN en un ambiente controlado	103
Figura 37: Instituto Tecnico Agrícola, Cachira - Norte de Santander	108
Figura 38: Diagrama Circular Encuesta 1, Pregunta 1	115
Figura 39: Diagrama Circular Encuesta 1, Pregunta 2	116
Figura 40: Diagrama Circular Encuesta 1, Pregunta 3	116
Figura 41: Diagrama Circular Encuesta 1, Pregunta 4	117
Figura 42: Diagrama Circular Encuesta 1, Pregunta 4	117
Figura 43: Diagrama Circular Encuesta 2, Pregunta 1	118

Figura 44: Diagrama Circular Encuesta 2, Pregunta 2	119
Figura 45: Diagrama Circular Encuesta 2, Pregunta 3	119

GLOSARIO

GATEWAY: “(o puerta de enlace) es el dispositivo que actúa de interfaz de conexión entre aparatos o dispositivos, y también posibilita compartir recursos entre dos o más computadoras.”

LENGUAJE UNIFICADO DE MODELADO: “Es un lenguaje gráfico para visualizar, especificar, construir y documentar un sistema. Ofrece un estándar para describir un "plano" del sistema (modelo), incluyendo aspectos conceptuales tales como procesos, funciones del sistema, y aspectos concretos como expresiones de lenguajes de programación, esquemas de bases de datos y compuestos reciclados.”

MICROCONTROLADORES: “es un circuito integrado programable, capaz de ejecutar las órdenes grabadas en su memoria. Está compuesto de varios bloques funcionales, los cuales cumplen una tarea específica. Un microcontrolador incluye en su interior las tres principales unidades funcionales de una computadora: unidad central de procesamiento, memoria y periféricos de entrada/salida.”

MODULOS XBEE: “son microcontroladores azules capaces de comunicarse de forma inalámbrica unos con otros. Pueden hacer cosas simples, como reemplazar un par de cables en una comunicación serial.”

RED MULTISALTO: “Una red multisalto consiste en un conjunto de nodos que colaboran para crear una red. Un nodo puede actuar como *router* y/o como usuario. Los datos se mueven de la fuente al destino saltando entre nodos.”

RADIOASTRONOMIA: “es la rama de la astronomía que estudia los objetos celestes y los fenómenos astrofísicos midiendo su emisión de radiación electromagnética en la región de radio del espectro. Las ondas de radio tienen una longitud de onda mayor que la de la luz visible. En la radioastronomía, para poder recibir buenas señales, se deben utilizar grandes antenas, o grupos de antenas más pequeñas trabajando en paralelo.”

SCRUM: “es el nombre con el que se denomina a los marcos de desarrollo ágiles caracterizados por: Adoptar una estrategia de desarrollo incremental, en lugar de la planificación y ejecución completa del producto.”

TOPOLOGÍA DE RED: “se define como el mapa físico o lógico de una red para intercambiar datos. En otras palabras, es la forma en que está diseñada la red, sea en el plano físico o lógico. El concepto de red puede definirse como "conjunto de nodos interconectados". Un nodo es el punto en el que una curva se intercepta a sí misma. Lo que un nodo es concretamente, depende del tipo de redes al que nos referimos”

SIGLAS Y ACRÓNIMOS

ADC: *Advanced Direct Connect.*

ADMIN: Administrador.

AES: *Advanced Encryption Standard.*

ANSI: *American National Standards Institute.*

ARP: *Address Resolution Protocol.*

BD: Base de Datos.

BD: Base de Datos.

CMOS: *Complementary Metal-Oxide-Semiconductor.*

COCOMO: *Constructive Cost Model.*

CPU: Unidad Central de Procesamiento.

DANE: Departamento Administrativo Nacional de Estadística.

DHCP: *Dynamic Host Configuration Protocol.*

DNP: Departamento Nacional de Planeación.

DNS: *Domain Name System.*

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

FTP: *File Transfer Protocol.*

GPIO: *General Purpose Input/Output.*

GPRS: *General Packet Radio Service.*

HTTP: *Hypertext Transfer Protocol.*

I2C: *Inter-Integrated Circuit.*

IAP: Investigación Acción Participación.

ICMP: *Internet Control Message Protocol.*

ICSP: *In System Programming* (Programación en Sistema).

IEEE: *Institute of Electrical and Electronics Engineers.*

IICA: Instituto Internacional de Cooperación para la Agricultura.

ITU: Unión Internacional de Telecomunicaciones.

KLOC: *Thousands of Lines of Code.*

LOC: *Lines of Code.*

MAC: *Medium Access Control.*

PF: Puntos de Función.

PFA: Puntos de Función Ajustados.

PIB: Producto Interno Bruto.

PWM: *Pulse Width Modulation* (Modulación por Ancho de Pulsos).

RFID: *Radio Frequency IDentification.*

SDP: *Software Development Plan* (Plan de Desarrollo).

SPI: *Serial Peripheral Interface.*

SQA: *Software Quality Assurance* (Plan de Aseguramiento de Software).

SRS: *Software Requirements Specification* (Especificación de Requerimiento de Software).

TCP/IP: *Transmission Control Protocol/Internet Protocol.*

TKIP: *Temporal Key Integrity Protocol.*

TLC: Tratado de Libre Comercio.

TP: *Text Plan* (Plan de Pruebas).

TTL: *Transistor Transistor Logic.*

UART: Universal Asynchronous Receiver-Transmitter.

UDP: *User Datagram Protocol.*

UHF: *Ultra High Frequency.*

UMATA: Unidades Municipales de Asistencia Técnica Agropecuaria.

UML: *Unified Modeling Language.*

WEP: *Wired Equivalent Privacy.*

WPA: *Wi-Fi Protected Access.*

WSN: *Wireless Sensor Networks (Redes Inalámbricas de Sensores).*

DESARROLLO, IMPLEMENTACIÓN Y SOCIALIZACIÓN DE UN SISTEMA DE REDES INALÁMBRICAS DE SENSORES ENFOCADO AL SECTOR AGRÍCOLA COLOMBIANO PARA LA OPTIMIZACIÓN DE RECURSOS Y CONTROL DE RIESGOS AGROAMBIENTALES Y AGROCLIMÁTICOS

Silvia Juliana Pineda Fajardo, Autor
Christian Felipe Jaimes Gonzalez, Autor
Diana Teresa Parra Sánchez, Director
René A. Lobo, Co-Director

RESUMEN

Las redes inalámbricas de sensores (WSN) son un conjunto de nodos organizados en una red corporativa que sirven para la recolección de datos mediante la utilización de diversos tipos de sensores. Recientemente, las redes inalámbricas de sensores han sido útiles en una variedad de aplicaciones con características y requerimientos variados. Una de las principales áreas de aplicación de las redes WSN es la agricultura, enfocada al monitoreo ambiental, producción de comida, agricultura de precisión y control de riesgos agroclimáticos y agroambientales. Mediante la aplicación de las redes WSN se ha contribuido a la tecnificación del sector agrícola, garantizando así la optimización de procesos en el mundo. Colombia cuenta con millones de hectáreas de tierras disponibles para la agricultura, pero a su vez, tiene un déficit en procesos de tecnificación de cultivos.

En este sentido, se ha planteado el desarrollo de un proyecto, que permita la elaboración, implementación y socialización de un sistema de redes inalámbricas de sensores enfocado al sector agrícola colombiano para la optimización de recursos y control de riesgos agroambientales y agroclimáticos.

Palabras clave – Redes inalámbricas de sensores, Desarrollo Sostenible, Disminución de Riesgos Agroclimáticos, Tecnificación del Sector Agrícola y Agricultura de Precisión.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de grado, se enmarca dentro del Programa de Ingeniería de Sistemas de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Bucaramanga – UNAB; y responde a los objetivos definidos en las líneas de investigación Telemática y, Creatividad e Innovación.

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Históricamente, la agricultura ha jugado un papel muy importante en el desarrollo económico de las naciones. Diversos acontecimientos mundiales han hecho que la agricultura vuelva a ser un punto importante a tratar en los países, reconociéndola como una fuente capaz de ejercer diferentes funciones que están relacionadas con el crecimiento económico, sostenibilidad ambiental, reducción de pobreza y del hambre, crecimiento de la equidad y seguridad alimentaria. Adicionalmente en el sector agrícola se reconoce un factor importante para algunos sistemas interrelacionados, como el del suelo, el agua y el energético.

En Colombia la agricultura contribuye al desarrollo del país de tres formas: como actividad económica, como medio de subsistencia y como proveedor de servicios ambientales. No obstante, la agricultura ha perdido progresivamente relevancia, por esta razón es necesario fortalecer el papel de la agricultura, ya que esta es importante para la reducción de la pobreza rural y total, combatir el hambre y garantizar la seguridad alimentaria de la población (Perfetti, Balcázar, Hernández, & Leibovich, 2013).

Según información de la FAO¹ existen 1.800 millones de hectáreas ubicadas en los países en desarrollo, y el 50% de estas hectáreas están ubicadas en siete países (Brasil, República Democrática del Congo, Angola, Sudán, Argentina, Colombia y Bolivia) que pueden expandir su área agrícola sin afectar el área de bosques naturales, entre 223 países donde se evaluó este potencial de expansión, Colombia ocupa el puesto 22 y el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Sostenible calculó que aún se puede expandir el área agrícola en 16,6 millones de hectáreas (Equipo Técnico de la Presidencia, 2014).

Aunque el sector agrícola en Colombia es clave para el desarrollo del país, esta actividad ha venido decreciendo su participación en la economía. Durante la década pasada el Producto Interno Bruto (PIB) fue de un 8%, en contraste con la actualidad que es de solo el 6%, lo cual sitúa este sector por debajo de la tasa de crecimiento con respecto a los otros sectores como el minero y de servicios (Ver Figura 1).

¹ Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Su función es establecer procesos de cooperación técnica con el Gobierno en áreas determinadas como estratégicas para el mejoramiento de la agricultura y la alimentación.



Figura 1: Variación real del anual del PIB agropecuario y PIB total, 2001 a 2013
Fuente: DANE

Actualmente Colombia tiene una serie de problemas estructurales en la producción agrícola que se vieron evidenciados con la entrada del TLC². El gobierno se ha concentrado en ofrecer subsidios a distintos sectores en lugar de asegurar la competitividad y productividad del sector agrícola en el país. La inexistencia de un mercado apropiado para acceder a tierras, para aumentar la producción agrícola y de programas de asistencia técnica, control de riesgos agroambientales y agroclimáticos, educación y créditos o seguros agrícolas, reduce el nivel de inversiones y limita la adopción de nuevas tecnologías (Navarrete Cardona, 2014).

Para transformar este panorama actual es necesaria la construcción de nuevas políticas agro en Colombia, enfocada a la promoción de una oferta de servicios públicos donde se garanticen herramientas que sirvan para hacer el campo más competitivo. Hacer el campo más productivo, trae consigo la transición de una agricultura artesanal a una agricultura de precisión, que tiene como objetivo consolidar la producción y fomentar la generación de valor agregado.

De aquí nace la necesidad de tecnificar el sector agrícola, con el fin de encontrar la manera de optimizar los recursos mediante la implementación de tecnologías que permitan aumentar su aprovechamiento mediante la capacitación y educación en las nuevas tecnologías para asegurar el campo y hacerlo más atractivo para la inversión.

Partiendo de lo anteriormente mencionado se formula la siguiente pregunta problema de investigación: ¿Cómo es posible optimizar el uso de recursos, mejorar la toma de decisiones, asegurar y capacitar el sector agrícola de Colombia mediante la tecnificación por medio de la implementación de redes inalámbricas de sensores?

² Tratado de Libre Comercio

PROPÓSITO, ENFOQUE Y TAREAS

Con el desarrollo del presente trabajo de grado, se pretende dar una solución a los problemas de optimización de recursos, control de riesgos agroclimáticos y tecnificación del sector agrícola de Colombia. Dejando como propósito de este trabajo proponer la integración de las redes inalámbricas de sensores al sector agrícola, con el fin de generar y fomentar el desarrollo del sector agrícola en Colombia.

Las tareas que serán realizadas para llegar al desarrollo, implementación y socialización de un sistema de redes inalámbricas de sensores enfocada al sector agrícola colombiano para la optimización de recursos y control de riesgos agroclimáticos y agroambientales, son las siguientes:

- Se elaborará el estado del arte sobre el uso de tecnologías de redes inalámbricas de sensores en el sector agrícola enfocadas a la optimización y riesgos agroclimáticos.
- Se realizará el diseño a nivel de software y hardware de los elementos del sistema de monitoreo: de redes inalámbricas de sensores que servirán para la captura de datos y como prototipo funcional de nodos de sensores.
- Se desplegará el sistema de redes inalámbricas de sensores en un cultivo real de Colombia para hacer evidente su funcionamiento. De esta manera se implementará del prototipo software y hardware, y se creará un protocolo de pruebas con el fin de evidenciar su funcionamiento.
- Se realizará la evaluación y socialización del rendimiento del sistema de redes inalámbricas de sensores, para determinar el nivel de optimización y aseguramiento en la producción del cultivo.

Con el fin de aportar al mejoramiento del sector agrícola en Colombia orientado a la implementación de TICS, es necesario hacer un estudio que abarque los principales problemas que afectan este sector, enfocado a la falta de optimización de recursos, tecnificación del campo y control de riesgos agroclimáticos y agroambientales. Partiendo con los resultados de este estudio como base, será posible la elaboración de un prototipo a nivel de software y hardware que aporte a su mejoramiento.

Con la implementación de una red de sensores inalámbricas, que apoye a la toma de decisiones y al control de riesgos en el sector agrícola, se espera hacer un aporte significativo e innovador a la tecnificación del sector agrícola en Colombia.

APORTACIONES DE LA TESIS

El presente trabajo de investigación es resultado de la labor investigativa llevada a cabo como proyecto de grado, en el marco del programa de Ingeniería de Sistemas de la Facultad de Ingeniería de Sistemas de la Universidad Autónoma de Bucaramanga. Éste trabajo permitirá dar continuidad o servir de base para futuros proyectos de investigación a nivel de pregrado realizados por otros estudiantes que

encuentren interés en temas como el desarrollo de redes inalámbricas de sensores enfocadas al sector agrícola, y de esta manera favorecer a la comunidad científica en el área a nivel nacional e internacional.

Esta investigación consta de seis capítulos, a saber:

Capítulo 1: Objetivos del proyecto de investigación. Se establecen las metas a alcanzar con el desarrollo del proyecto.

Capítulo 2: Marco referencial. Se presentan el conjunto de teorías que permiten dar soporte a la investigación. El marco referencial de la investigación está subdividido en: (i) Marco conceptual: en el cual se encuentran los conceptos fundamentales del proyecto: Redes inalámbricas de sensores, Desarrollo Sostenible, Disminución de Riesgos Agroclimáticos y Tecnificación del Sector Agrícola.; (ii) Marco teórico: se tratan una teoría, concepto y configuración de las redes inalámbricas de sensores; (iii) Marco Contextual: el cual presenta la región sobre la cual se llevaron a cabo algunas fases del proyecto; (iv) Marco legal: presenta la legislación que rodea un proyecto tecnológico como lo es el despliegue de una red inalámbrica de sensores WSN aplicada al sector agrícola para la mejora científica y tecnológica del sector y con el ánimo de mejorar la productividad y la sostenibilidad de los recursos naturales y alimentarios en las zonas rurales;(v) Estado del arte: El cual contiene una revisión por la temática existente en redes inalámbricas de sensores, enfocado a la optimización de recursos y prevención de riesgos agroclimáticos.

Capítulo 3: Descripción del proceso investigativo e instrumentos utilizados. (i) Metodología: Se detallan las actividades realizadas para el cumplimiento de los objetivos de la investigación. Se desarrollarán cuatro fases: (a) Elaboración del estado del arte sobre el uso de tecnologías de redes inalámbricas de sensores en el sector agrícola enfocadas a la optimización y control de riesgos en Colombia y el mundo; (b) Diseño a nivel software y hardware de los elementos del sistema de monitoreo: de redes inalámbricas de sensores para la captura de datos y prototipo funcional de nodos sensores; (c) Despliegue del sistema de redes inalámbricas de sensores en un cultivo real de Colombia para evidenciar su funcionamiento; (d) Evaluación y socialización del rendimiento del sistema de redes inalámbricas de sensores, determinando el nivel de optimización y aseguramiento agroclimático en la producción del cultivo objetivo. (ii) Instrumentos utilizados: se realiza una descripción de la metodología utilizada en la socialización del proyecto.

Capítulo 4: Resultados. Se presentan los resultados obtenidos producto de los objetivos y fases definidas en la investigación: (i) Un estado del arte que contiene la revisión de la literatura sobre el uso de tecnologías de redes inalámbricas de sensores en el sector agrícola enfocadas a la optimización y control de riesgos a nivel regional y mundial; (ii) Un prototipo funcional software y hardware del sistema de monitoreo, de redes inalámbricas de sensores para la captura de datos; (iii) El despliegue del sistema de redes inalámbricas de sensores en un cultivo ubicado en el pueblo de Cáchira (Norte de Santander), con el fin de evidenciar su

funcionamiento, y (iv) la evaluación y socialización del rendimiento del sistema desarrollado.

Capítulo 5: Conclusiones. Con base en el desarrollo y aplicación del proyecto, se realizan las conclusiones teniendo en cuenta los resultados.

Capítulo 6: Trabajo Futuro. Se presentan sugerencias y trabajo futuro de investigación en el área de estudio.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar, implementar y socializar un sistema de redes inalámbricas de sensores enfocado al sector agrícola colombiano con el fin de optimizar la utilización de recursos y controlar riesgos agroambientales y agroclimáticos.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Elaborar un estado del arte sobre el uso de tecnologías de redes inalámbricas de sensores en el sector agrícola enfocadas a la optimización y control de riesgos en Colombia y el Mundo.
- Diseñar a nivel software y hardware los elementos del sistema de monitoreo: de redes inalámbricas de sensores para la captura de datos y prototipo funcional de nodos sensores.
- Desplegar el sistema de redes inalámbricas de sensores en un cultivo real de Colombia para evidenciar su funcionamiento.
- Evaluar y socializar el rendimiento del sistema de redes inalámbricas de sensores, determinando el nivel de optimización y aseguramiento agroclimático en la producción del cultivo objetivo.

2. MARCO REFERENCIAL

En este capítulo se presentará el marco conceptual, teórico, contextual y legal del proyecto de investigación.

2.1 MARCO CONCEPTUAL

El contexto teórico del proyecto se desarrolla en los siguientes aspectos fundamentales: Redes inalámbricas de sensores, Desarrollo Sostenible, Disminución de Riesgos Agroclimáticos, Tecnificación del Sector Agrícola y Agricultura de Precisión.

2.1.1 Redes WSN

Los sistemas WSN (*Wireless Sensor Networks*) son redes con numerosos dispositivos distribuidos espacialmente, que utilizan sensores para controlar diversas condiciones en distintos puntos (temperatura, vibración, sonido, presión, movimiento, entre otras). Cada dispositivo o nodo cuenta con un microcontrolador, una fuente de energía, un radiotransceptor y un elemento sensor. Las redes WSN tienen una naturaleza *Ad-Hoc*³ lo que permite un sencillo ajuste y configuración, además de brindar un bajo coste de instalación. Entre las principales características de las redes WSN se resalta el uso de componentes eléctricos de baja potencia y un programa inteligente durmiente/reactivación con el fin de ahorrar energía y encontrar caminos alternos para la comunicación de los paquetes en el caso de que alguno de los nodos presente fallas en su funcionamiento (Aakvaag & Frey, 2006). Aunque las redes inalámbricas de sensores tienen una naturaleza *Ad-Hoc*, no se han propuesto protocolos y algoritmos adecuados para las características únicas de las redes inalámbricas de sensores (WSN). Existen algunas diferencias entre las características de las redes inalámbricas de sensores y las redes *Ad-Hoc* que se describen a continuación (Akyildiz, Su, Sankarasubramaniam, & Cayirci, 2002):

- El número de nodos sensores en una red WSN puede ser de mayor magnitud que los nodos de una red *Ad-hoc*.
- Los nodos de los sensores son densamente desarrollados.
- Los nodos de los sensores son propensos a fallas.
- La topología de la red WSN cambia con frecuencia.
- Los nodos sensores tienen limitados en poder, capacidad computacional y memoria.

³ Son un tipo de red inalámbrica descentralizada, auto organizada y capaz de formar una red de comunicación sin apoyarse en ninguna infraestructura fija. (Xu & Harfoush, 2011)

2.1.2 Desarrollo Sostenible

Según *Brundtland*, el concepto de desarrollo sostenible implica limitaciones impuesta por el presente estado de tecnología y organización social sobre recursos ambientales y por la habilidad de la biosfera para absorber los efectos de la actividad humana. En este sentido el desarrollo sostenible es aquél desarrollo que es capaz de satisfacer las necesidades actuales sin comprometer los recursos y posibilidades de las futuras generaciones. Intuitivamente una actividad sostenible es aquélla que se puede mantener (Brundtland, 1987).

2.1.3 Disminución de Riesgos Agroclimáticos

Según la FAO (*Food and Agriculture Organization of the United Nations*) hay poca coherencia en la literatura acerca del significado de riesgo, desde el punto de vista de la agricultura, los agrónomos e ingenieros describen el riesgo como pérdida, mientras los economistas lo definen como la probabilidad de que algo ocurra o la probabilidad de ocurrencia de un evento perjudicial. En este sentido, se adopta la primera definición, que sugiere que los riesgos agroclimáticos están asociados a las vulnerabilidades del sector agrícola desde los cambios climáticos. Su gestión de riesgo se basa en que se puede hacer para reducir el impacto de la variabilidad climática, haciendo una diferenciación entre los países en desarrollo y los países desarrollados. Enfocada en el impacto de las pérdidas sufridas en la agricultura por la variabilidad climática cuantificadas a escala nacional y global (Gommes, 1998).

2.1.4 Tecnificación del Sector Agrícola.

La tecnificación es el aumento de eficiencia de aplicación o habilitación de nuevos recursos. Desde el punto de vista del sector agrícola, la tecnificación se refiere al desarrollo de procesos tecnológicos para optimizar procesos y de esta manera lograr ser competitivos en el mercado. Para posibilitar la tecnificación de los procesos productivos en el sector agrícola es necesario conocer las opciones tecnológicas (costos y la oferta disponible). De esta manera, es necesario mejorar el conocimiento de los mercados de productos y las tendencias del consumo de los bienes a producir junto con las fuentes de la competencia nacional e internacional en materia de precios y de calidades. De igual manera, es preciso conocer la oferta de mano de obra, su capacitación, su movilidad y sus costos. En resumen, la tecnificación agrícola se basa en el conocimiento de las condiciones que afronta la producción, en los procesos productivos, la comercialización y variables internacionales (Perfetti, Balcázar, Hernández, & Leibovich, 2013).

2.1.5 Agricultura de precisión.

Según la IICA⁴ (Instituto Internacional de Cooperación para la Agricultura) la agricultura de precisión es un conjunto de técnicas orientadas a optimizar el consumo de insumos agrícolas (semillas, agroquímicos y correctivos) en función del espacio de siembra, mediante la distribución correcta de cantidades de insumos, dependiendo de las necesidades y el potencial de cada punto del área de manejo. Además de medir la variabilidad existente en el área, también encuentra medidas administrativas que se pueden adoptar para dicha variabilidad (Bongiovanni, Chartuni Mantovani, Best, & Roel, 2006).

2.2 MARCO TEÓRICO

El marco teórico de la investigación fue enfocado principalmente en una teoría, la cual expone el concepto y configuración de las redes inalámbricas de sensores.

2.2.1 Concepto y configuración de Redes Inalámbricas de Sensores (WSN).

En general las redes WSN, permiten obtener y transmitir información del entorno donde están desplegadas. Estas redes tienen la capacidad de recolectar datos para su posterior utilización por usuarios a través de la red (Internet, GPRS⁵ – Por sus siglas en inglés).

Las redes WSN consisten básicamente en diferentes tipos de sensores que son capaces de monitorear una amplia variedad de condiciones ambientales. Estos sensores pueden ser usados para detección continua de diferentes eventos de detección, como localización y control local de actores. El concepto de micro-detección y conexión inalámbrica permite que las redes WSN tengan una amplia rama de áreas de aplicación.

Una de las áreas de aplicación más común es la ambiental, este tipo de detección contiene seguimiento de movimientos de aves, pequeños animales e insectos; monitoreo de condiciones ambientales que afecta a los cultivos y el ganado y agricultura de precisión. En la agricultura de precisión, uno de los principales beneficios de la integración con redes WSN, es la capacidad de controlar los niveles de pesticidas en el agua potable, el nivel de erosión del suelo y el nivel de contaminación del aire en tiempo real.

Con respecto a el diseño de los nodos de las redes WSN, se puede decir que están influenciadas por muchos factores que incluyen la tolerancia a fallos, escalabilidad,

⁴ IICA, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, es el organismo especializado en agricultura del Sistema Interamericano que apoya los esfuerzos de los Estados Miembros para lograr el desarrollo agrícola y el bienestar rural.

⁵ *General Packet Radio Service*, es un paso hacia la tercera generación de acceso a Internet, es un protocolo de comunicaciones móviles, permite mantener a usuarios en línea, hacer llamadas de voz y acceso a Internet en marcha (Tutorials Point, 2015).

costos de producción, ambiente operativo, topología de redes de sensores, restricciones de hardware, medios de transmisión y consumo de energía. Estos factores son importantes sirven como guía para el diseño de un protocolo o algoritmo para redes de sensores. Además, estos factores pueden ser usados para comparar diferentes esquemas.

- *Tolerancia a Fallos*

Algunos sensores pueden presentar fallos o bloqueos debido a la ausencia de energía, tienen fallo físico o interferencia en el ambiente. El fracaso de los nodos no debería afectar las tareas generales que estos tienen en las redes. Esto es lo que se denomina tolerancia al fallo, que es la habilidad para sostener funcionalidades de las redes de sensores sin ningún tipo de interrupción debido a fallos en los nodos de sensores. La tolerancia al fallo $R_k(t)$ de los nodos sensores se basa en la utilización de la distribución de Poisson⁶ para capturar la probabilidad de no tener una falla dentro de un intervalo de tiempo (0, t):

$$R_k(t) = e^{(-\lambda_k t)}$$

Donde λ_k y t son la tasa de fallo de lo nodo sensor k y el periodo de tiempo.

- *Escalabilidad*

El número de nodos sensores desplegados en el estudio de un fenómeno pueden ser en orden de cien o miles. Dependiendo de la aplicación, el número puede aumentar a millones. Los nuevos esquemas deben ser capaces de trabajar con este número de nodos. La densidad de la distribución de nodos puede cambiar unos pocos a cientos de nodos en una región, que deben estar a menos de 10m de radio. Esta densidad se puede calcular de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\mu(R) = \left(\frac{N \pi R^2}{A} \right)$$

donde N es el número de sensores dispersados en la región A y R es el radio del rango de transmisión. Básicamente $\mu(R)$ da el número de nodos dentro del radio de transmisión en la región A.

- *Costos de Producción*

Dado que las redes de sensores consisten en un gran número de nodos de sensores, el costo de un solo nodo es muy importante para justificar el costo total de la red. Si el costo de la red es más grande que el despliegue de sensores

⁶ Es una distribución de probabilidad discreta.

tradicionales, entonces la red WSN no es justificada con respecto a costos. Como un resultado, el costo de cada nodo sensor de mantenerse bajo.

- Restricciones de Hardware

Un nodo sensor se compone de cuatro componentes básicos (ver Figura 2): una unidad de detección, una unidad de procesamiento, una unidad transceptor y una unidad de energía. Además, deben tener componentes adicionales, como un sistema de localización, un generador de poder y un movilizador. Las unidades de detección están compuestas por dos subunidades: sensores y convertidores analógicos a digitales (ADC). Las señales analógicas producidas por los sensores basados en los fenómenos observados convierten las señales a digitales por ADC, y a continuación alimentan la unidad de procesamiento. La unidad de procesamiento, la cual es generalmente asociada con una pequeña unidad de almacenamiento, gestiona los procedimientos que hace el nodo sensor colaborando con otros nodos para llevar a cabo las tareas de detección asignadas. El circuito transceptor conecta el nodo con la red. Uno de los componentes más importantes de un nodo, es la unidad de energía, que generalmente esta soportada por celdas solares. El movilizador puede ser algunas veces necesario para mover nodos sensores cuando es requerido llevarlos para tareas asignadas.

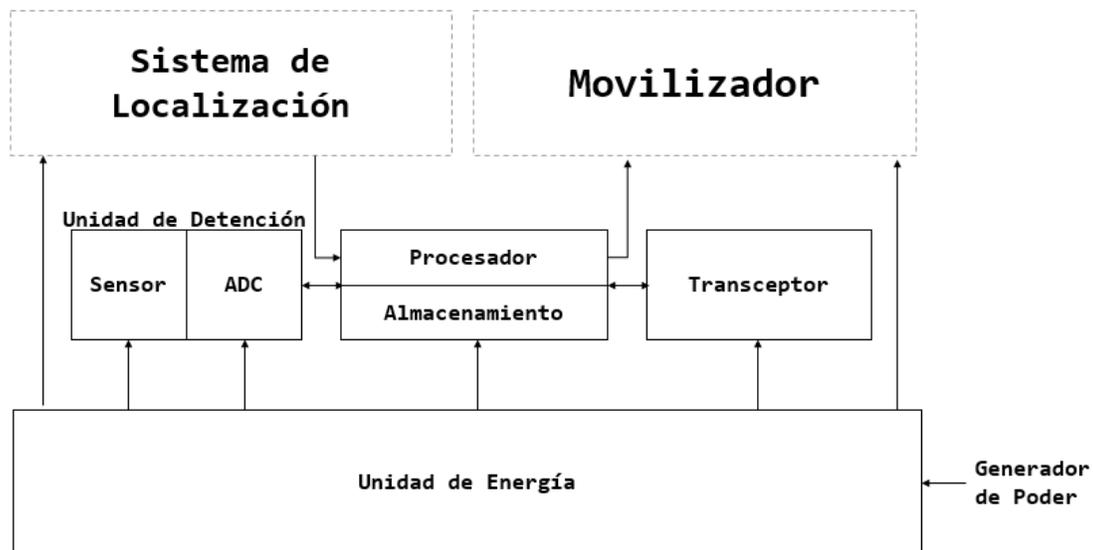


Figura 2: Componentes de un Nodo Sensor
Fuente: Elaboración Propia

- Topología de Redes de Sensores

Hay un gran número de nodos que no son atendidos, los cuales propensos a fallos frecuentes, haciendo que la tarea de hacerle mantenimiento a la topología sea muy complicada. La densidad de la distribución de los nodos debe estar entre diez pies

de distancia de cada uno. La densidad de nodos puede ser más altas de 20nodos/metro cuadrado. Desplegar una gran densidad de nodos, requiere tener un gran cuidado con el mantenimiento de la topología. Para examinar la topología se recomiendan las siguientes tres fases:

1. Pre-Despliegue y fase de despliegue: los nodos pueden ser arrojados en masa o colocados uno por uno en el campo.
2. Fase de Post-Despliegue: después del despliegue hay cambios en la topología que pueden ser debido a la posición, accesibilidad, energía disponible, malfuncionamiento y detalles de las tareas asignadas.
3. Fase de Re-Despliegue adicional de nodos: este proceso se puede dar cuando se deban cambiar nodos que no estén funcionando óptimamente o por cambios en las dinámicas de las actividades que realiza.

- Ambiente

Los nodos sensores se despliegan cerca o directamente en el interior del fenómeno que se está observando. Por lo tanto, generalmente trabajan sin supervisión en áreas geográficas remotas.

- Medios de Transmisión

En una red de sensores de multisalto, los nodos se están comunicando por un medio inalámbrico. Estos enlaces se pueden dar por radio, infrarrojo o medios ópticos. Hay que tener en cuenta que el medio de transmisión elegido este disponible en la región donde se va a desplegar la red. En la tabla 1 se muestra una imagen con la respectiva asignación de frecuencia.

Tabla 1: Asignación de Frecuencia

Banda de Frecuencia	Centro de Frecuencia
6765–6795 kHz	6780 kHz
13,553–13,567 kHz	13,560 kHz
26,957–27,283 kHz	27,120 kHz
40.66–40.70 MHz	40.68 MHz
433.05–434.79 MHz	433.92 MHz
902–928 MHz	915 MHz
2400–2500 MHz	2450 MHz
5725–5875 MHz	5800 MHz
24–24.25 GHz	24.125 GHz
61–61.5 GHz	61.25 GHz
122–123 GHz	122.5 GHz
244–246 GHz	245 GHz

Desde el punto de vista de las redes WSN, los elementos que las conforman son (ver Figura 3): (i) nodos, que a su vez, cuentan con una arquitectura interna de sensores, microcontroladores, memorias e interfaces de estándares de conexión

(RS232, Ethernet, etc.); (ii) Routers, su función es encontrar rutas y menores distancias para la comunicación de datos en caso del fallo de alguno de los nodos; y por último (iii) una estación base, que es la encargada de recibir toda la información generada por los nodos, además de coordinar el funcionamiento de estos.

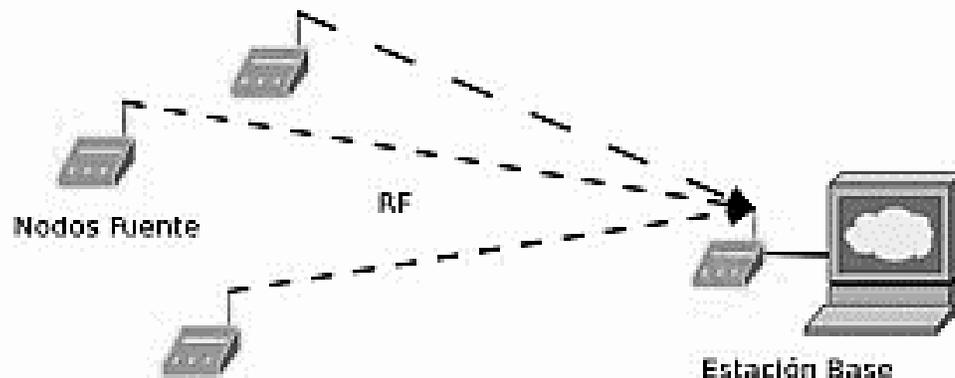


Figura 3: Elementos de una red WSN

Fuente: Estudio de la Integración entre WSN y redes TCP/IP, (Iacono, Godoy, Osvaldo, García Garino, & Párraga, 2012)

El principal problema de las redes WSN viene dado debido a su configuración pensada en un despliegue en campo abierto, los nodos son programados con estándares de optimización de consumo de energía, por esta razón, los protocolos para las redes WSN están desarrollados para transmitir datos y coordinar el funcionamiento de los nodos, determinando así los límites de consumo de energía, WISA (*Wireless Interface to Sensor Actuators*) es uno de los protocolos diseñados con estas especificaciones. Para llegar a estas especificaciones hay que tener en cuenta dos factores importantes con el fin de lograr un alto rendimiento: salto simple y salto multiplexado por división de tiempo.

- Salto simple: mediante esta implementación se pueden evitar demoras en la transmisión de datos de los nodos intermedios.
- Salto multiplexado por división de tiempo: es el encargado de garantizar la existencia de un solo canal, con el fin de evitar colisiones.

Tomando como punto de partida estas dos condiciones, recientemente se desarrolló el protocolo *ZigBee*, es un protocolo subyacente del protocolo IEEE 802.15.4, tiene una configuración más general, con el diferenciador de menor rendimiento de comunicación. Incluye multisalto, lo que implica que un mensaje puede utilizar varios saltos en las ondas de radio para llegar a su destino. Los nodos no tienen asignados intervalos específicos de tiempo, lo cual genera una competencia para acceder al canal. Esto permite el acceso de más usuarios al medio inalámbrico, pero introduce incertidumbre en el sistema, ya que la demora y el consumo de energía aumentan cuando un nodo está esperando su turno. Por otro lado, los nodos intermedios no

saben el momento en que pueden ser solicitados para direccionar paquetes a otros nodos. Por consiguiente, es aconsejable disponer de nodos intermedios, también conocidos como routers, alimentados desde la red eléctrica (ver Figura 4).

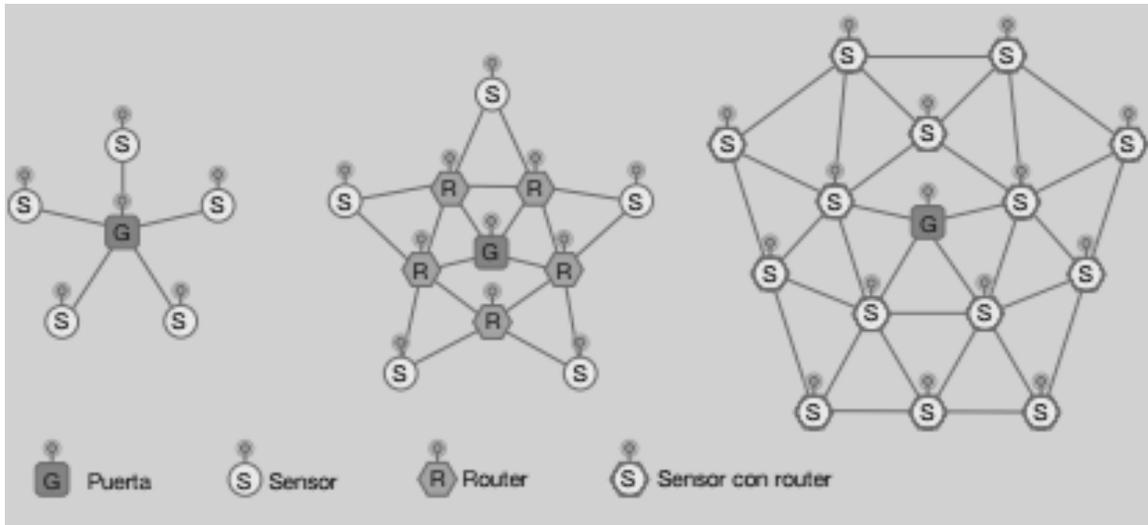


Figura 4: Topologías Frecuentes de las Redes WSN
Fuente: Redes de sensores inalámbricos, (Aakvaag & Frey, 2006).

2.3 MARCO CONTEXTUAL

El municipio de Cáchira, está ubicado en el departamento de Norte de Santander a aproximadamente 312 Km de Cúcuta (ver Figura 5). Sus coordenadas son 7°44'47"N 73°03'04"O. Este municipio cuenta una temperatura promedio de 17°C y una extensión geográfica de aproximadamente 606 Km².

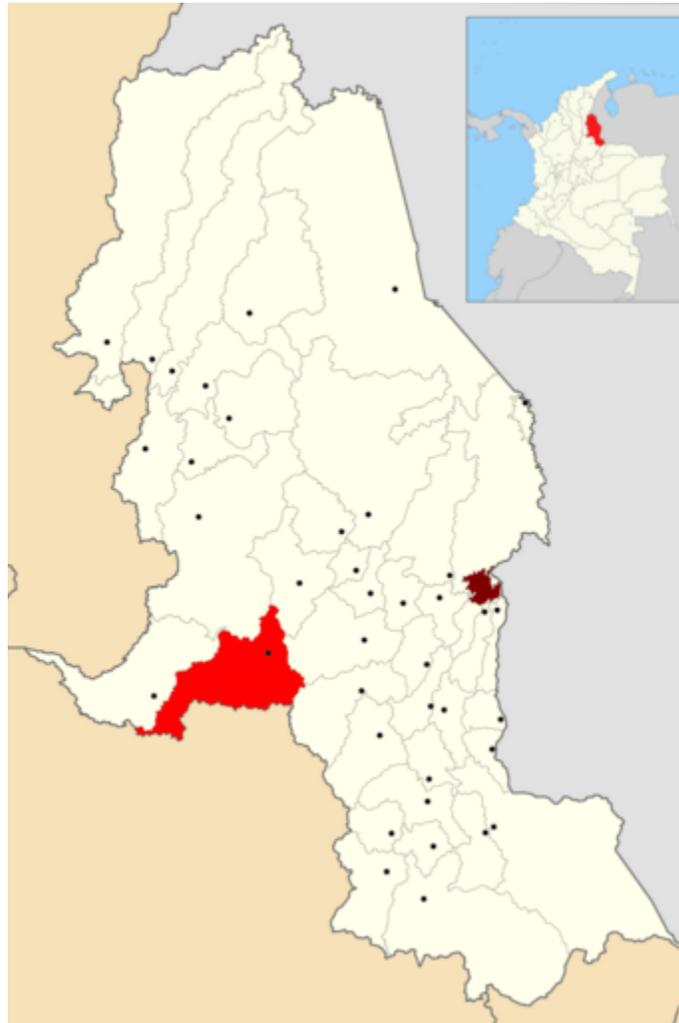


Figura 5: Ubicación Municipio de Cáchira, Norte de Santander
Fuente: Wikipedia (Alcaldía de Cáchira, Norte de Santander, 2016).

Geográficamente, Cáchira cuenta con tres pisos térmicos: (i) la cabecera municipal, en la cual hay una temperatura promedio de 17°C y una altura sobre el nivel del Mar de 2024m; (ii) la zona correspondiente al páramo de Guerrero, cuya temperatura promedio está por debajo de 0°C y una altura sobre el nivel del mar que sobrepasa los 3057m; y (iii) por último, la zona correspondiente a las veredas aledañas, cuya temperatura varía entre 20°C y 30°C. Por estas razones, Cáchira cuenta con una topología variada que permite la existencia de diversidad en cuestiones de producción agropecuaria, que ha sido desde muchos años la principal actividad económica de la región. Los principales cultivos de la región son el Café, plátano, tuca, maíz, cacao, caña panelera, frijol, frutas y legumbres en general. La industria es un sector poco explotado, pero, aun así, hay establecidas empresas agroindustriales dedicadas al desarrollo de productos lácteos como queso y yogurt.

Según el último boletín del DANE presentado en el año 2005 (ver Tabla 2), el municipio de CÁCHIRA tiene una población de 10.781 personas distribuidas de la siguiente manera:

Tabla 2: Boletín del DANE 2005, Municipio de CÁCHIRA Norte de Santander
Viviendas, Hogares y Personas

Área	Viviendas Censo	Viviendas, Hogares y Personas		(Proyección) Población 2010
		Hogares General	Personas 2005	
Cabecera	476	406	1.516	1.610
Resto	2.242	2.008	9.041	9.171
Total	2.781	2.413	10.557	10.781

2.4 MARCO LEGAL

En Colombia, la legislación y normatividad correspondiente que rodea a un proyecto tecnológico como lo es el despliegue de una red inalámbrica de sensores WSN aplicada al sector agrícola para la mejora científica y tecnológica del sector y con el ánimo de mejorar la productividad y la sostenibilidad de los recursos naturales y alimentarios en las zonas rurales; está respaldado principalmente por tres leyes, las cuales abarcan desde disposiciones, soportes técnico, hasta financiamiento de este tipo de proyectos.

- Ley 29 de 1990, por la cual se dictan disposiciones para el fomento de la investigación científica y del desarrollo tecnológico, los cuales están obligados a ser parte de los planes y programas de desarrollo económico y social del país. De esta manera, la acción del estado en esta materia se dirige a crear condiciones favorables para la generación de conocimiento científico y tecnología nacionales, estimular la capacidad innovadora del sector productivo, orientar la importación selectiva de tecnología aplicable a la producción nacional y fortalecer los servicios de apoyo a la investigación científica y al desarrollo tecnológico. Como resultado de esta acción nace el Fondo Colombiano de Investigaciones Científicas y Proyectos Especiales Francisco José de Caldas (Colciencias)⁷, que junto con el Ministerio de Comercio, Industria y Turismo y el Departamento Nacional de Planeación (DNP), son hoy en día, los encargados de formular la política pública de Ciencia, Tecnología e Innovación.
- Ley 607 de 2000, por medio de la cual se modifica la creación, funcionamiento y operación de las Unidades Municipales de Asistencia Técnica Agropecuaria, UMATA. Estas unidades municipales de asistencia técnica agropecuaria tienen como objeto, garantizar, la asistencia técnica, medio ambiental, asuntos de aguas y pesquera. Con este ente se crean las condiciones necesarias para ayudar a aumentar la competitividad y la

⁷ Es un mecanismo financiero que le permite a COLCIENCIAS integrar los recursos públicos, privados, internacionales y de donación para financiar el desarrollo de la Ciencia, Tecnología e Innovación. El Fondo es un Patrimonio Autónomo con COLCIENCIAS como único Fideicomitente y beneficiario (Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación - COLCIENCIAS, 2016).

producción agraria. Así mismo, este crea un espacio en el cual las tecnologías de redes inalámbricas de sensores pueden ser socializadas.

- Ley 1731 de 2014 permite adoptar medidas en materia de financiamiento para la reactivación del sector agropecuario, pesquero, acuícola, forestal y agroindustrial. La cual abre posibilidades financieras para el acceso a tecnologías que permitan mejorar la producción agrícola.

Con respecto al despliegue de una red inalámbrica de sensores, se tendrán en consideración aspectos relacionados a la normatividad establecida por la Unión Internacional de Telecomunicaciones y la estandarización sugerida por la IEEE.

La Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU – por sus siglas en inglés), es el organismo especializado de las Naciones Unidas para las tecnologías de la información y la comunicación – TIC, este organismo dicta las siguientes recomendaciones, que consisten en una serie de normas técnicas internacionales desarrolladas por el sector de Radiocomunicaciones de la ITU:

- La utilización de una amplia gama de servicios inalámbricos, incluyendo las nuevas tecnologías de comunicación móvil.
- La gestión del espectro de radiofrecuencia y las órbitas de satélite.
- El uso eficaz del espectro de radiofrecuencia por todos los servicios de radiocomunicaciones.
- La radiodifusión terrenal y las radiocomunicaciones por satélite.
- La propagación de las ondas radioeléctricas.
- Los sistemas y las redes para el servicio fijo por satélite, para el servicio fijo y para el servicio móvil.
- Las operaciones espaciales, el servicio de exploración de la Tierra por satélite, el servicio de meteorología por satélite y el servicio de radioastronomía.

Aunque su aplicación no es obligatoria, al haber sido elaboradas por expertos de las administraciones, los operadores, el sector industrial y otras organizaciones dedicadas a las radiocomunicaciones en todo el mundo, cuentan con una prestigiosa reputación y una utilización a nivel mundial (ITU, 2016).

El instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE por sus siglas en inglés), define en el estándar 1451.5 un modelo para las interfaces de redes inalámbricos de sensores, adoptando la corriente principal de los protocolos de comunicación de las redes inalámbricas, que incluye IEEE 802.11, Bluetooth, ZigBee y 6LoWPAN⁸.

⁸ Es un estándar del protocolo de Internet versión (IPv6) compatible con Low- Power Wireless Personal Area Network.

2.5 ESTADO DEL ARTE

Las Redes Inalámbricas de Sensores (por sus siglas en inglés, *Wireless Sensor Networks* – WSN), debe entenderse como uno de los subsistemas técnicos que son parte sistemática de lo que es en si la agricultura de precisión. El gran objetivo de la investigación en cuanto a la agricultura de precisión es la de poder lograr definir un Sistema de Soporte de Decisión (por sus siglas en inglés, *nombre en inglés* – DSS) para la totalidad de la administración de una granja con el objetivo de optimizar la ganancia, pero a la vez preservando al máximo los recursos (McBratney, 2005; Whelan, 2003). Se entiende que como parte de la misma la integración de este concepto con las diferentes tecnologías de toma y medición de datos y de automatización es necesaria, como parte fundamental para lograr su objetivo. Es así, como se puede definir que una de las partes fundamentales de un sistema viable de agricultura de precisión son las redes de sensores inalámbricos y como estas apoyan integralmente a esta clase de proyectos.

2.5.1 REVISIÓN SISTEMÁTICA DE LA LITERATURA

La búsqueda fue realizada utilizando las siguientes palabras clave: *wireless sensor network*, agricultura de precisión, riesgos agroclimáticos y agricultura. El rango de búsqueda fue delimitado entre los años 2000 a 2016, realizada el 16 de abril de 2016. Para la realización del estado del arte fueron recuperados un total de 14 documentos.

En la Figura 6, los documentos recuperados son presentados según su año de publicación. Es posible observar que desde el año 2008 la cantidad de documentos es superior en comparación con los años anteriores lo cual evidencia un aumento en el interés o relevancia del área de estudio.

Año	Documentos
2016	6
2015	71
2014	63
2013	50
2012	57
2011	49
2010	49
2009	33
2008	16
2007	6
2006	7
2005	1
2004	1
2003	1



Figura 6: Documentos por año
Fuente: Elaboración Propia

Al organizar los documentos recuperados según su autor (ver Figura 7), se entiende que Yoe, H. y Hwang, J. poseen el mayor número de documentos de la búsqueda (39 documentos).

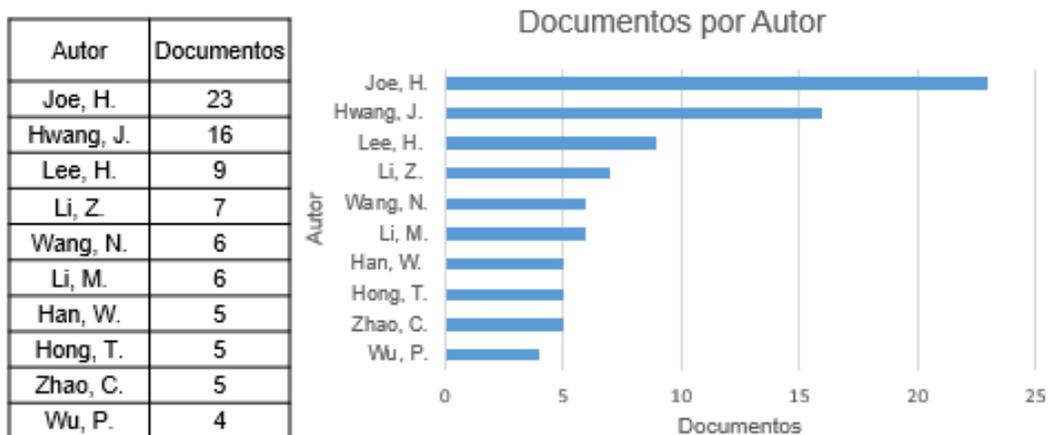


Figura 7: Documentos por autor
Fuente: Elaboración Propia

Al organizar y analizar los documentos según el país de origen es posible observar que China cuenta con el mayor número de documentos producidos con un total de 144, número significativamente superior al de India con 72 documentos o Corea del Sur con 45 documentos (ver Figura 8).



Figura 8: Documento por país/territorio
Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 9, se clasifican los documentos según su tipo. Se tiene que el 66,6% son Artículos de Conferencia, el 31% son artículos publicados, el 2% son revisiones frente a la temática tratada y el 0,2% son capítulos de libros.

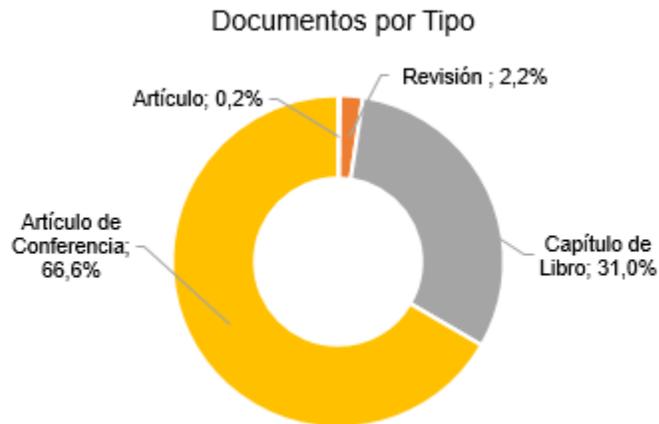


Figura 9: Tipos de Documentos
Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 10, se organizan los documentos según la afiliación de sus autores con respecto a las universidades o sitios de investigación. En primer lugar, se encuentra *Sunchon National University* con un total de 29 documentos publicados, después *China Agricultural University* con 25 documentos y demás universidades y centros de educación e investigación cuentan con un rango de 7 a 12 documentos publicados.



Figura 10: Documentos por afiliación
Fuente: Elaboración Propia

Por último, se puede observar, en la Figura 11, la clasificación de los documentos según el área de estudio. La relevancia del tema radica principalmente en el área de ciencia de computación con 60.5% de documentos, además, también es posible encontrar una cantidad significativa de documentos en las áreas de ingeniería con un 43,7% de documentos.

Documentos por Área de Estudio

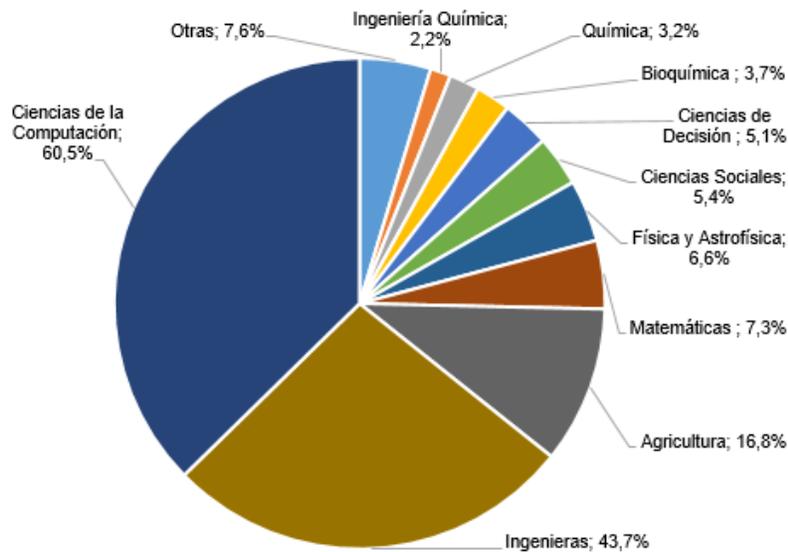


Figura 11: Documentos por área de estudio
Fuente: Elaboración Propia

2.5.2 Desarrollo De Redes Inalámbricas de Sensores, Desarrollo Autonomía y Control de Riesgos Agroclimáticos

Los criterios de búsqueda para llevar a cabo esta investigación se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3: Análisis Estado del Arte

Palabras Claves

<i>Bases de Datos Consultadas</i>	Scopus IEEE Scholar
<i>Cantidad de referencias recuperadas</i>	Scopus: 2 IEEE: 8 Scholar: 4
<i>Fecha de Búsqueda</i>	IEEE: Marzo 9, 2016 Scholar: Abril 16, 2016 Scopus: Abril 30, 2016
<i>Criterios de búsqueda</i>	Rango de Fecha de la búsqueda: 2001 y 2015 Pertinencia con el tema de investigación: Wireless Sensor Network Agricultura de Precisión Riesgos Agroclimáticos Agricultura

Desde el enfoque de desarrollo de redes inalámbricas de sensores, *Caicedo Ortiz, Acosta, & Cama-Pinto* (2015) exponen la existencia de diferentes métodos y diseños para obtener datos de las principales variables medioambientales (temperatura, presión atmosférica y humedad), que influyen en las precipitaciones causantes de inundaciones. Por esta razón proponen las redes inalámbricas de sensores (en Inglés Wireless Sensor Network – WSN) como amortiguado de variables físicas en tiempo real. Al igual, *Bencini, Chiti, Collodi, & Di Pa* (2009) mencionan el crecimiento del uso de Redes WSN para la implementación de monitoreo distribuido y sistema de control. En particular, en el escenario agrícola, con el fin de mejorar la cadena de producción agrícola en términos de precisión y calidad. En su trabajo despliegan una solución de extremo a extremo, que cuenta con varios nodos inalámbricos transmitiendo datos frecuentemente a una placa de pasarela GPRS utilizando el protocolo estándar TCP/IP. Complementando, *Sakthipriya* (2014) propone un estado del arte de la tecnología de sensores inalámbricos en la agricultura que proporcione ayuda a los agricultores, brindando monitoreo en tiempo real, con el fin de mostrar el camino a la comunidad agrícola rural, para reemplazar mediante la integración de varios sensores externos que envían información al agricultor a través de SMS usando el módem GSM. Por otra parte, *Eto, Katsuma, Tamai, & Yasumoto* (2015) desarrolla un método que organice un calendario de movimiento de nodos para cubrir la cosecha desde el inicio hasta el fin utilizando el menor número de nodos, asegurando de esta manera no agotar la batería de algunos nodos con la implementación de paneles solares.

Otro sentido de las redes inalámbricas de sensores lo da *Hema & Kant* (2013) que hace de las redes inalámbricas de sensores una solución a la falta de precisión en el riego y gestión eficiente del agua. Para lograr hacer más óptimo el despliegue de la red sugiere un modelo hexagonal adecuado para los cultivos permanentes, logrando así, aumentar la cobertura de la red, sin perder la especificación de las condiciones de crecimiento. Al igual *Mohd Kassim, Mat, & Nizar Harun* (2014) introducen a las redes de sensores inalámbricos como soporte de decisiones la agricultura de precisión (PA), optimizando así los recursos y la vigilancia terrestre. Este enfoque proporciona información en tiempo real sobre las tierras y los cultivos que ayudan a tomar las decisiones correctas en el uso de fertilizantes de agua y también maximiza el rendimiento de los cultivos. Por último, *Romero Acero, Marín Canol, & Orozco Quice* (2013) hablan de la integración de redes inalámbricas ZigBee y Wi-Fi con sistemas embebidos, para la detección de gases combustibles en minas subterráneas de carbón. Tomando ventaja de diferentes protocolos de comunicación con los que cuentan los sistemas embebidos, se asegura la transmisión de información adquirida de forma rápida e inteligente, mediante dispositivos basados en tecnologías inalámbricas, permitiendo obtener gran escalabilidad, flexibilidad y confiabilidad en el manejo de la información.

Desde el enfoque de energía y autonomía para las redes inalámbricas de sensores, *Suarez & Medez* (2014) abordan el problema de la asignación de potencia para cada nodo en una red de sensores inalámbricos con el uso de APA (asignación de potencia ajustable), que es un algoritmo de control inteligente topología que

establece la sensibilidad de forma independiente para cada nodo en la red, con el fin de reducir la potencia total consumida por la red y mantener todos los nodos conectados. Abordando el problema de acceso limitado a la modificación de parámetros de red con el fin de probar o mejorar el rendimiento de la red *Chain, Sara, Arias, & Escordia (2013)* elaboran un prototipo WSN con componentes electrónicos Off-The-Shelf (OTS WSN), que posee características de bajo costo, con plataformas hardware de fácil construcción, creando así espacio para la mejora y para prueba de protocolos en la plataforma.

Desde el enfoque de riesgos agroclimáticos, *Pugsley, Cruvinel, & Caramori, (2001)* presentan una metodología para apoyar la toma de decisiones mediante la caracterización de los potenciales riesgos climáticos. Introducen zonificación agrícola basado en un sistema que clasifica las imágenes digitales de los índices agroclimáticos, que son procesadas a través de operaciones aritméticas de imágenes digitales y análisis de riesgos con el vector de parámetros, de esta forma, el sistema genera una matriz de resultados correspondientes a una sola imagen de pseudoregiones.

La aplicación de sistemas de redes inalámbricas de sensores en el sector agrícola, *Quiñones, Godoy, & Sosa, (2013)* la muestran desde la experiencia de las redes WSN en la industria del Té, donde se implementaron equipos con módulo principal iSense⁹ para la aplicación del proyecto. Estos módulos proporcionan un sistema software que incluye un número variado de servicios y protocolos listo para usar (ruteo, sincronización de tiempo, programación en el aire). Como resultado de la implementación de la red WSN obtuvieron un mayor control en la temperatura y humedad en los lotes de té, que aumento la calidad con el menor costo por cada lote de té procesado.

Por otro lado, *Fidalgo, González, Brandariz, & González, (2010)* presenta una arquitectura de una red inalámbrica de sensores para la agricultura de precesión en regiones típicamente minifundistas¹⁰, que presentan requerimientos específicos de comunicación, haciendo que una red ad-hoc no sea adecuada para su implementación en dicho terreno. Mediante la implementación de un kit básico de sensores típicos, generan una topología capaz de solventar los requisitos de comunicación y captación en el diseño de la red WSN.

Tabla 4: Referencias Estado del Arte

Autor	Año	Título	País	Palabras Clave	Base de datos	Citad o
Suarez et al	2014	APA Topology Control Algorithm for WSN	Colombia	Transmission; energy; sensitivity; topology control; connectivity; tree routing	IEEE	0
Romero et al	2013	Integration in wireless sensor	Colombia	Aplicación estándares móvil; de	IEEE	0

⁹ iSense, es una plataforma basada en WEB y orientada al servicio que es utilizada para el monitoreo de datos de WSN a través de un portal WEB.

¹⁰ Es un terreno agrícola de extensión muy reducida que dificulta su explotación.

Autor	Año	Título	País	Palabras Clave	Base de datos	Citad o
		networks (WSN) IEEE 802.15.4 - 802.11 for industrial automation		comunicación; monitoreo y control; redes de sensores inalámbricos; sistema embebido		
Caicedo et al	2014	WSN deployment model for measuring climate variables that cause strong precipitation	Colombia	WSN, Modelo de despliegue; precipitaciones; inundaciones; Departamento del Atlántico, Colombia	Scholar	1
Chain et al	2013	OTS-WSN: A Wireless Sensor Network Implemented with Off-The-Shelf component	Colombia	Energy; Temperature; RFM12B, BFSK; PIC Microcontroller; Electronic Devices; Current Consumption	IEEE	0
Bencini et al	2009	Agricultural monitoring based on Wireless Sensor Network technology: real long life deployments for physiology and pathogens control	Italia	Wireless Sensor Network; Physiology and Pathogens control; Distributed Monitoring; Pilot Sites	IEEE	6
Sakthipriya et al	2014	An Effective Method for Crop Monitoring Using Wireless Sensor Network	India	Wireless Sensor Networks; Precision agriculture; Crop monitoring; MICAz mote	Scholar	11
Eto et al	2015	Efficient Coverage of Agricultural Field with Mobile Sensors by Predicting Solar Power Generation	Japon	Agriculture; Sensors; Solar Power; Wireless Sensor Network	IEEE	0
Pugsley et al	2001	New Agroclimatic Digital Images Classification System and Risk Zone Mapping	Brasil	Agriculture; Computer Vision; Geographic Information Systems; Image Classification; Image Segmentation; Risk Management	IEEE	0
Kant et al	2013	Optimization of Sensor Deployment in WSN for Precision Irrigation using	India	Precision irrigatio; Wireless Sensor Network; Sensor Deployment; Spatial Arrangement of the Permanent Crop	IEEE	2

Autor	Año	Título	País	Palabras Clave	Base de datos	Citad o
		Spatial Arrangement of Permanent Crop				
Mohd et al	2014	Wireless Sensor Network in Precision Agriculture Application	Malaysia	WSN; IoT; Precision Agriculture; Decision Support Systems; Precision Irrigation; Network Architecture; Irrigation Management	IEEE	0
Jeong, H. et al	2014	Design and implementation the wireless sensor networks based estrus detection system for stalled sow	Korea del sur	Agriculture; Estrus; Sow; Ubiquitous; WSN	Scopus	
Mariño, P. et al	2009	Viticulture zoning by an experimental WSN	España	Base station; Data logger; Repeater; Sensor networks; Uhf band; Wireless applications; Wireless networks	Scopus	
Quiñones et al	2013	Redes Inalámbricas de Sensores: Una experiencia en la Industria del Té	Argentina	WSN; Red de Sensores Inalámbricos; Industria; monitoreo	Scholar	3
Fidago et al	2010	Redes de Sensores sin Cables para Agricultura de Precisión en Regiones Minifundistas	España	Agricultura de Precisión; Minifundios; Redes de Sensores sin Cables; Monitorización Remota en Tiempo Real	Scholar	2

3. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO INVESTIGATIVO

3.1 METODOLOGÍA

La tecnificación en el sector agrícola es una solución a la problemática actual con respecto a la disminución de la productividad de los campos colombianos. Con la implementación y desarrollo de tecnologías para el campo se podrá optimizar el uso de la tierra y se disminuirán los riesgos agroclimáticos.

Con el fin de encontrar una solución que cubra la problemática asociada a la falta de tecnificación en el sector agrícola de Colombia, es presentada la propuesta de investigación titulada “Desarrollo, implementación y socialización de un sistema basado en tecnología de redes inalámbricas de sensores enfocado al sector agrícola colombiano para la optimización de recursos y control de riesgos agroambientales y agroclimáticos”, el cual está estructurado en cuatro fases integradas dentro de un marco metodológico basado en la metodología investigación-acción-participación (IAP).

De tal forma, las fases que se cumplieron para el desarrollo de este proyecto de investigación estuvieron conectadas a cada objetivo específico y como consecuencia de la aplicación de las actividades descritas en cada fase se obtuvieron los resultados del proyecto (ver Figura 12).

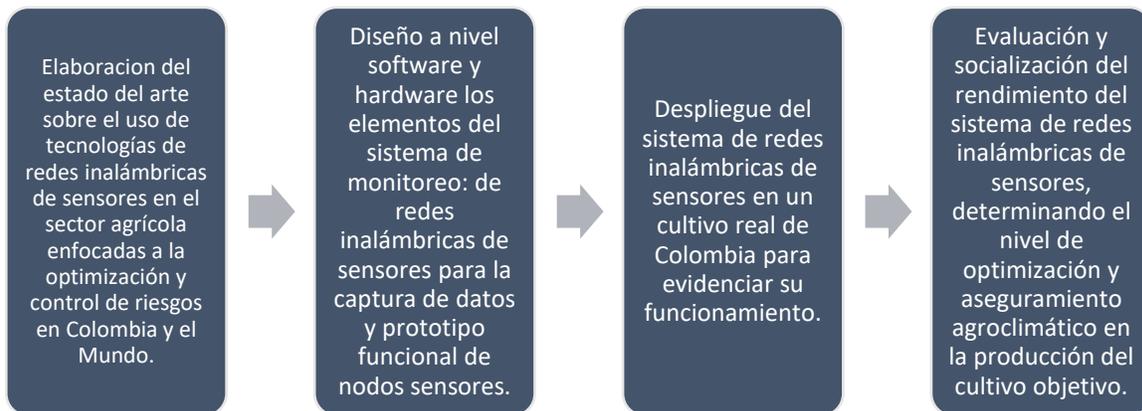


Figura 12: Fases del Proyecto de Investigación
Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se presentarán las actividades correspondientes a cada fase.

Fase 1, Se realizaron las siguientes actividades: (i) Búsqueda y revisión de la literatura sobre uso de tecnologías de redes inalámbricas de sensores en el sector agrícola enfocadas a la optimización y riesgos agroclimáticos; (ii) Lectura, clasificación y análisis de acuerdo a la relevancia de la información encontrada.

Fase 2, Se realizaron las siguientes actividades: (i) Diseño de una red inalámbrica de sensores de sensores que permitirá el envío de los datos recopilados por los nodos sensores para su procesamiento en el servidor; (ii) Diseño de un prototipo funcional de hardware de redes inalámbricas de sensores de nodos sensores que capture los datos del medio; (iii) Diseño de la arquitectura cliente-servidor para el sistema de monitoreo de redes inalámbricas de sensores; y (iv) Diseño de un prototipo funcional de Software que procese y analice los datos capturados por lo nodos sensores.

Fase 3 Se realizaron las siguientes actividades: (i) Implementación del sistema de redes inalámbricas de sensores en un cultivo de aprendizaje del Colegio Instituto Técnico Agrícola, ubicado en CÁCHIRA (Norte de Santander); (ii) Implementación del prototipo a nivel de Hardware y Software del sistema de monitoreo; (iii) Diseño del protocolo de pruebas para evidenciar su funcionamiento.

Fase 4, Se realizaron las siguientes actividades: (i) Evaluación del funcionamiento a partir de las pruebas realizadas en el cultivo, desde un enfoque de optimización y aseguramiento agroclimático; (ii) Socialización del rendimiento del sistema de redes inalámbricas de sensores con los estudiantes y docentes del Instituto Técnico Agrícola; (iii) Documentación del proyecto de Investigación.

4. RESULTADOS

4.1 CASOS DE ESTUDIO EN EL USO DE TECNOLOGÍAS DE REDES INALÁMBRICAS DE SENSORES PARA EL SECTOR AGRÍCOLA ENFOCADAS A LA OPTIMIZACIÓN Y CONTROL DE RIESGOS AGROCLIMÁTICOS Y AGROAMBIENTALES EN COLOMBIA Y EL MUNDO

Con el fin de conocer el estado nacional e internacional con respecto relacionados a la implementación de redes inalámbricas de sensores enfocadas al sector agrícola para la optimización y control de riesgos agroclimáticos y agroambientales, se elaboró una revisión global en el Ranking de Scopus. De la revisión realizada se encontró que los tipos de documentos más producidos fueron los artículos científicos desarrollados en el área de la computación durante los años 2012, 2014 y 2015 mayormente en los países de China, India y Corea del Sur, por los autores Yoe, H. y Hwang, J. De esta manera las universidades con mayor producción científica fueron: (i) Sunchon National University; y (ii) China Agricultural University.

Seguidamente, se procedió a realizar una búsqueda en bases de datos teniendo en cuenta las palabras claves: *wireless sensor network*, *agricultura de precisión*, *riesgos agroclimáticos* y *agricultura*. A continuación, se presenta lo encontrado de la revisión en las bases de datos según el enfoque de su contenido (i) Topología, Arquitectura y Diseño de Redes WSN; (ii) Agricultura de Precisión con redes WSN; (iii) Monitoreo y Control de Redes WSN y; (iv) Despliegue de redes WSN.

Tabla 5: Enfoques de los documentos recuperados

Enfoque	Cantidad de Referencias Recuperadas	Base de Datos
Topología, Arquitectura y Diseño de Redes WSN	3	IEEE
Agricultura de Precisión con redes WSN	4	IEEE, Scholar, Scopus
Monitoreo y Control de Redes WSN	2	IEEE
Despliegue de Redes WSN	5	IEEE, Scholar, Scopus

A partir de la información recolectada, se llevó a cabo el análisis del contenido de los documentos. Con el fin de presentar la información pertinente, se establecieron los siguientes criterios para el análisis de la información: (i) Identificación de la Necesidad y Escenario de Aplicación; (ii) Tecnología y Configuración de la red WSN; (iii) Protocolo de Comunicación Establecido; (iv) Resultados Obtenidos y; (v) Conclusiones de la Aplicación.

Tabla 6: Topología, Arquitectura y Diseño de Redes WSN

TOPOLOGÍA, ARQUITECTURA Y DISEÑO DE REDES WSN	
Referencias Recuperadas	(Suarez & Medez, 2014) (Romero Acero , Marín Canol, & Orozco Quice, 2013) (Jeong & Yoe, 2014)
Identificación de la Necesidad y Escenario de Aplicación	Existen diversas actividades que son realizadas en diferentes campos, donde multiples aspectos son puestos en riesgo. Por esta razón se propone la integración de redes inalámbricas <i>ZigBee</i> y <i>Wi-Fi</i> , junto con otros protocolos para la solución de dichos problemas. La implementación de redes WSN en los sistemas de automatización y control en procesos industriales ha generado una serie de beneficios, ya que permiten la medición de variable en lugares de difícil acceso.
Tecnología y Configuración de la red WSN	Una de las contribuciones encontradas fue la propuesta por el algoritmo de control para redes WSN APA, que es una variación del Algoritmo A3. Propuesto para los problemas de locación de poder en cada nodo sensor de las redes WSN. Utiliza una topología de control que tiene en cuenta las definiciones de energía para disminuir las colisiones o problemas de interferencia en el despliegue de los nodos. Por otro lado, se desarrolla un diseño de sistema integrado de redes inalámbricas. Requiere una configuración de microcontroladores como maestro esclavo, que, a su vez, tiene la recepción de datos remotos provenientes de la red WSN <i>ZigBee</i> (quien trae vinculada la información de la estación de monitoreo). El esclavo se encarga de establecer la comunicación con el dispositivo que proporciona conectividad <i>Wi-Fi</i> .
Resultados Obtenidos	Desde el sistema embebido entre <i>ZigBee</i> y <i>Wi-fi</i> , se obtiene una red de sensores inalámbricas de tramas API, un sistema HMI servicio Cliente/Servidor, un sistema HMI de servicio móvil y una red de medición y control móvil. Con la topología APA se obtuvieron no sólo los mismos resultados que al aplicar el algoritmo A3, sino que adicionalmente se extiende la funcionalidad para el caso de despliegue, locación para el óptimo nivel de energía de cada nodo de la red.
Conclusiones de la Aplicación	El desarrollo de nuevas topologías y arquitecturas en las redes WSN permiten la inclusión de nuevas tecnologías que son de gran utilidad para el manejo de la información.

Tabla 7: Agricultura de Precisión con redes WSN

AGRICULTURA DE PRECISIÓN CON REDES WSN	
Referencias Recuperadas	(Sakthipriya, 2014) (Eto, Katsuma, Tamai, & Yasumoto, 2015) (Mohd Kassim, Mat, & Nizar Harun, 2014) (Hema & Kant, 2013)
Identificación de la Necesidad y Escenario de Aplicación	Uno de los campos con un interés creciente en sistemas de soporte en toma de decisiones es la agricultura de precisión. Los cultivos presentan necesidades específicas que deben ser cubiertas de manera óptima. Por ejemplo, el riego de cultivos es el sector en el cual el consumo de agua es el más grande, cualquier situación de malgasto de los recursos podría dejar la región en una situación crítica. Por otra, lado se debe tener en cuenta que el despliegue de nodos sensores para que la red WSN tenga una cobertura óptima en la zona. Por esta razón la agricultura se convirtió en un campo de innovación, en la cual las redes inalámbricas de sensores son la columna vertebral para la implementación de sistemas de monitoreo en la agricultura de precisión, minimizando impactos ambientales y mejorando la cobertura.

<p>Tecnología y Configuración de la red WSN</p>	<p>La tecnología desarrollada por las redes WSN hizo posible el monitoreo y control de varios parámetros en la agricultura. La principal ventaja de las redes WSN sobre las otras redes es la facilidad de instalación en lugares donde el cableado es imposible.</p> <p>Los requerimientos para adoptar una red WSN están sentadas para satisfacer un efectivo monitoreo de agricultura, tanto de los problemas a nivel de sistemas, como las necesidades del usuario final.</p> <p>Las redes inalámbricas de sensores cuentan con dos formas para su despliegue, determinística y aleatoria.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Despliegue Determinista: este patrón requiere el menor número de sensores, por esta razón el costo es menor. Adicionalmente, el óptimo despliegue ayuda en el desarrollo de algoritmos heurísticos para el control de la topología y programación de sensores. • Despliegue Aleatorio: una de las clases más importantes de las redes WSN, es la caracterizada por las redes <i>ad-hoc</i> o el método de despliegue aleatorio de sensores, donde la localización del nodo sensor no es una prioridad. <p>Muchos nodos sensores pueden ser desplegados en un campo de agricultura objetivo, el foco de investigación radica en la duración de la operación de los nodos con respecto a la carga. Los sensores pueden cargarse a sí mismo gracias al panel solar que ésta asociado a cada uno. La energía solar necesaria para la carga de los sensores depende de la intensidad de la radiación solar, el clima y la sombra. Para poder optimizar los aspectos relacionados a la energía de los sensores se utilizan tres métodos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cobertura del campo objetivo: basado en la suposición de que cada punto del campo cuenta con un sensor en cada ciclo del periodo de toma de datos, cada área debe ser dividida en pequeños cuadrados, con el fin de que cada nodo cubra todas las áreas que conforman el campo. • Predicción de la cantidad restante de batería: al principio de los ciclos del periodo de toma de decisiones cada nodo predice el consumo y generación de energía durante su periodo de uso. Entonces, se computan dos casos: (i) Predicción de Consumo de Energía, usa un modelo de consumo de energía definido para calcular el consumo de energía por toma de datos, comunicación y trabajo durante el ciclo de toma de datos; 7 (ii) Predicción de Generación de Energía, cada nodo predice la cantidad de energía que va a producir durante el ciclo de toma de datos desde el punto sobre el cual este desplegado. También tiene en cuenta las estadísticas de la radiación solar y demás factores que influyen en el punto donde se encuentra desplegado. • Algoritmo para el cálculo del itinerario de movimiento: el propósito de éste algoritmo es seleccionar el nodo líder de cada área desde el principio del ciclo de toma de datos, después, el nodo líder calcula el itinerario de movimiento para cubrir el área entera del campo. El nodo líder siempre será el que cuente con más reserva de batería, éste recibe la información de todos los nodos del área y calcula la cantidad de batería esperada para cada nodo al final del ciclo de toma de datos.
<p>Resultados Obtenidos</p>	<p>Uno de los sensores más importantes para el monitoreo de agricultura de precisión es el sensor de humedad del suelo. Con la aplicación de</p>

	<p>redes WSN en el sector agrícola, la irrigación automática optimiza el uso de agua y fertilizante, manteniendo el nivel de humedad y salubridad de la planta.</p> <p>Por otro lado, con respecto a la energía necesaria para el funcionamiento de los nodos sensores, con la implementación de un algoritmo que calcule el itinerario de movimiento de los nodos se produce un 10% más de tiempo de vida de la red. La razón es que la carga de trabajo es distribuida en la cantidad de nodos y los nodos se van moviendo de posición dependiendo de las temporadas climáticas que están afectando la zona.</p>
Conclusiones de la Aplicación	<p>Las redes WSN pueden ser desarrolladas con un enfoque para la optimización de la agricultura de precisión. Usando los elementos claves en información, tecnología y mantenimiento, la agricultura de precisión puede ser utilizada para incrementar la eficiencia de producción, mejorar la calidad del producto, mejor la eficiencia de la aplicación de químicos en los cultivos y proteger el ambiente.</p> <p>Desde el punto de vista de la energía para el funcionamiento de los nodos sensores, a través de la simulación computacional con el algoritmo para el cálculo del itinerario de movimiento, se confirma que el uso del método disminuye el número de nodos necesarios para el despliegue de la red WSN y mejora el tiempo de vida de la red en un 10% en comparación con otros métodos que no cuentan con los mecanismos de predicción de cantidad de generación de energía.</p>

Tabla 8: Monitoreo y Control de Redes WSN

MONITOREO Y CONTROL DE REDES WSN	
Referencias Recuperadas	(Pugsley, Cruvinel, & Caramori, 2001) (Bencini, Chiti, Collodi, & Di Pa, 2009)
Identificación de la Necesidad y Escenario de Aplicación	<p>Hoy en día las redes WSN son usadas en un gran número de soluciones comerciales, dirigidas a la implementación de sistemas de control distribuido para el monitoreo en diferentes áreas de aplicación. En particular en el escenario de la agricultura debido a la necesidad de mejorar la producción de la agricultura ligado en términos de precisión y calidad.</p> <p>Por otro lado, se introduce la zonificación agrícola, este término se refiere a un grupo de técnicas utilizadas para identificar regiones en las cuales el clima, las condiciones edáficas y socioeconómicas son adecuadas para cultivos específicos. Por esta razón muchos criterios se han establecidos basados en factores como la vegetación de especies, necesidades de agua y temperatura entre otras.</p>
Tecnología y Configuración de la red WSN	<p>Como se ha venido mencionando en el presente documento, las redes WSN están basadas en las redes <i>ad-hoc</i>, en primer lugar, el diseño de redes <i>ad-hoc</i> para redes WSN empieza con la escogencia de la plataforma de comunicación correcta para el problema específico.</p> <p>La decisión del método del sistema para la clasificación de imágenes agroclimáticas digitales y el mapeo de las zonas de riesgo fue tomada a partir de los siguientes aspectos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aceptación del ciclo del cultivo • Calculo del balance del agua • Calculo de factores frecuentes de riesgos • Deficiencia de agua e interpolación de exceso de agua. • Regresión de las probabilidades de heladas. • Segmentación del mapa para cada periodo de 10 días.

	<ul style="list-style-type: none"> • Clasificación de estándares agroclimáticos. • Medición de regiones similares • Selección de mapa Representando período de siembra <p>Para grandes distancias en plataformas personalizadas de campo abierto fue desarrollada la plataforma MIDRA, que tiene en cuenta aspectos relacionados a ahorro de energía y requerimientos computacionales. También fue desarrollado un protocolo MAC personalizado llamado <i>Synchronous Transmission Asynchronous Reception (STAR)</i> especialmente adecuad para una topología plana.</p>
Resultados Obtenidos	<p>Como un sistema fin-a-fin muestra diversos resultados. La distribución de control para la humedad de la tierra. Los sensores de humedad del suelo que son desplegadas a diferentes profundidades permiten verificar si las lluvias son capaces de llegar a la tierra y provocar efectos beneficiosos para los cultivos. Al igual proporciona información acerca de las condiciones de estrés sobre las plantas debido a las temporadas secas y otros factores que contribuyen a la optimización de los cultivos. Por otro lado, el sistema de visualización de mapas de riesgos para heladas, deficiencia de agua y el exceso de lluvia en la cosecha. Se basa en porcentajes de riesgos y desarrolla un mapa total de riesgos.</p>
Conclusiones de la Aplicación	<p>Las redes WSN aplicadas en casos reales muestra eficacia para el monitoreo de condiciones del ambiente simplemente utilizando sensores económicos y comerciales. Mediante la utilización de protocolos que transmitan la información tomada del ambiente por los sensores, que luego es procesada, también genera predicciones de riesgos para la optimización de los cultivos.</p>

Tabla 9: Despliegue de Redes WSN

DESPLIEGUE DE REDES WSN	
Referencias Recuperadas	(Caicedo Ortiz, Acosta, & Cama-Pinto, 2015) (Chain, Sara, Arias, & Escordia, 2013) (Quiñones, Godoy, & Sosa, 2013) (Fidalgo, González, Brandariz, & González, 2010) (Mariño, Fontán, Domínguez, & Otero, 2009)
Escenario de Aplicación y Identificación de la Necesidad	<p>El escenario sobre el cual se desplegaron las redes Inalámbricas de sensores analizadas estuvo enfocado al sector agrícola, específicamente en áreas o espacios de tierra en los cuales se encuentran diferentes tipos de cultivos, con necesidades y requerimientos diferentes.</p> <p>Según la información obtenida, la principal razón por la cual se hizo evidente la necesidad del despliegue de redes inalámbricas de sensores, fue la falta de optimización de recursos. Factores asociados a la necesidad de conseguir información acerca de las variables que afectan el entorno, como las variables medioambientales, conllevan a la aparición de situaciones que no permiten tratar a los cultivos de manera eficiente. De esta forma, aparecen perjuicios económicos y grandes impactos ambientales.</p>
Tecnología y Configuración de la red WSN	<p>✓ Generalidades:</p> <p>Para el desarrollo de la configuración del despliegue de las redes WSN, se tuvieron en cuenta las diferentes tareas que se pretendían cubrir en el área de trabajo. De aquí surge la utilización de sensores con capacidad de tomar diferentes tipos de datos como temperatura del aire y del suelo, humedad, radiación solar, estación meteorológica, en otros.</p> <p>La tecnología de los sensores está desarrollada para ser aplicada en:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Detención temprana de heladas

	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicaciones de Riego • Reducción de uso de agroquímicos • Caracterización de clima de la zona • Predicción de la cosecha en base del clima <p>✓ Arquitectura Se identificaron dos arquitecturas con respecto a los nodos en la red: Nodo Central y Nodo Sensor. El nodo Central está compuesto por la estación base, que recopila la información de la red y la transmite. Los Nodos Sensores, son los encargados de tomar los datos definidos por los diferentes parámetros establecidos para la red.</p> <p>✓ Topología La topología en malla fue la implementada en el despliegue, ya que provee escalabilidad, redundancia de caminos debido a que cada nodo transmite los datos al Nodo Central y logra abarcar una mayor cobertura en la zona.</p> <p>✓ Protocolo En la mayoría de casos de estudio de despliegue se utilizó el protocolo <i>ZigBee</i>, puesto que puede integrar componentes inalámbricos de forma económica, hay un vasto número de aplicaciones relacionados con este protocolo que sirve con base de apoyo, muchos dispositivos trabajan con este protocolo a nivel hardware, soporta mayor un gran número de nodos y tiene un bajo consumo de batería. En el caso de los minifundios, el protocolo <i>ZigBee</i> no proporciona flexibilidad e interoperabilidad para las especificaciones que demanda el terreno. Como solución a esta problemática se implementó el protocolo IP, ya que simplifica el modelo de conectividad, genera la posibilidad de una conexión directa, usa y aprovecha una infraestructura existente.</p>
<p>Resultados Obtenidos</p>	<p>Desde el punto de vista de la implementación de la red WSN en la industria del Té, se obtuvieron resultados satisfactorios con respecto al control de la temperatura en los cultivos, lo cual minimizó los riesgos de la pérdida de calidad en el producto final ofrecido. De una manera más global, se logró hacer satisfactoriamente la captura de datos de los parámetros establecidos, generando de esta manera la minimización de los factores claves de la aplicación.</p>
<p>Conclusiones de la Aplicación</p>	<p>Se concluye que las redes WSN son la mejor opción para manejar problemáticas donde la información debe ser captada desde diferentes puntos en grandes o pequeñas extensiones de tierra. Igualmente, estas redes permiten monitorear diferentes parámetros de una manera más estandarizada, sin realizar grandes variaciones en su configuración.</p>

4.2 SOFTWARE Y HARDWARE DE LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA DE MONITOREO: DE REDES INALÁMBRICAS Y PROTOTIPO FUNCIONAL DE NODOS SENSORES

El desarrollo a nivel software y hardware de los elementos de monitoreo del sistema de redes inalámbricas de sensores, será presentada en este capítulo dividido en dos tópicos: (i) Desarrollo a nivel Hardware de los elementos del sistema y; (ii) Desarrollo a nivel de Software de los elementos del sistema.

4.2.1 Desarrollo a nivel Hardware de los elementos del sistema

Para el desarrollo a nivel de hardware de los elementos del sistema de montero para redes inalámbricas de sensores enfocada a la optimización de recursos y control de riesgos agroambientales y agroclimáticos, se presenta la documentación relacionada al desarrollo a nivel hardware, dividida en dos tópicos: (i) Dispositivos de hardware utilizados para la construcción de la red WSN y; (ii) Diseño y Arquitectura de la red WSN.

4.2.1.1 Dispositivos de hardware utilizados para la construcción de la red WSN

En microcontrolador es un circuito integrado que tiene las características de ser programable, esto quiere decir, tiene la capacidad de ejecutar de forma autónoma una serie de instrucciones que son definidas por el usuario del dispositivo. En la Figura 13 se representa un sistema electrónico de microcontrolador.

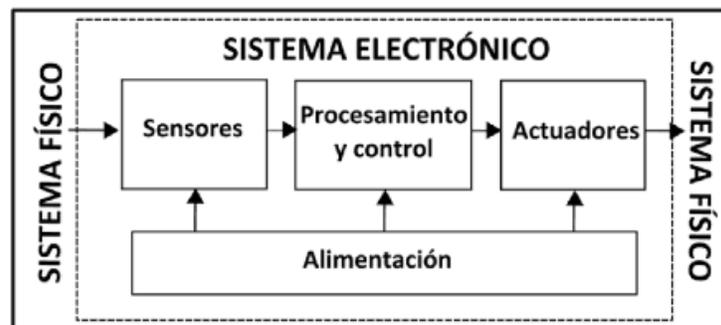


Figura 13: Sistema Electrónico de Microcontrolador
Fuente: Arduino, curso práctico de formación (Torrente Artero, 2013)

Por definición un microcontrolador cuenta en su interior con los siguientes elementos básicos:

- CPU (Unidad Central de Procesamiento): ejecuta las instrucciones y controla la correcta ejecución de estas.
- Diferentes Tipos de Memoria: aloja las instrucciones y los diferentes datos que necesita para su correcto funcionamiento.
- Pastillas de Entrada/Salida: comunican el microcontrolador con el exterior. Por medio de estas se pueden conectar sensores y actuadores.

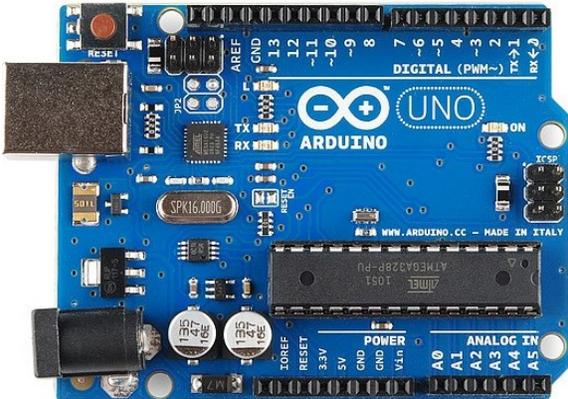
Un Arduino es una placa de hardware libre que incorpora un microcontrolador programable y una serie de pines, que están unidos internamente a las Entradas/Salidas, permitiendo conectar de manera sencilla los diferentes sensores y actuadores.

Un *Shield*, es una placa de circuito impreso que se coloca en la parte superior del Arduino y se conecta a este, mediante el acoplamiento de los pines sin necesidad de la utilización de algún cable. Su función es actuar como placas supletorias, ampliando las capacidades y complementando la funcionalidad de la placa Arduino de una formas más estable y compacta.

Las redes WSN, están formadas por nodos y Gateway que son los encargados de la toma de datos para su posterior procesamiento y análisis. Estos nodos y Gateway son una concatenación de dispositivos electrónicos como microcontroladores y sensores. La programación de los dispositivos se llevó a cabo con la ayuda de la herramienta *Arduino*¹¹ versión 1.6.12 y en el Anexo 1, se presenta el código fuente de la programación a nivel hardware del sistema.

Los dispositivos hardware utilizados para la creación de la red WSN son una serie de dispositivos *arduin*os y sensores programados para la creación de la red. A continuación, se presentan los dispositivos utilizados desde dos enfoques: (i) *Arduinos*; (ii) *Shield*; y (iii) *Sensores*.

Tabla 10: Arduinos del Sistema

ARDUINOS	
ARDUINO UNO R3	
Imagen	
Características	<p>Arduino Uno es una placa electrónica basada en el ATmega328¹². Cuenta con 14 pines digitales de entrada/salida (de los cuales 6 se podrán utilizar como salidas PWM¹³), 6 entradas analógicas, un oscilador de cristal de 16 MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, una cabecera ICSP¹⁴, y un botón de reinicio.</p>

¹¹ Es un software de código abierto que facilita la programación de los dispositivos *arduin*os,

¹² Es un circuito integrado de alto rendimiento que está basado un microcontrolador RISC (tipo de diseño de CPU usado en microprocesadores).

¹³ Modulación por ancho de pulsos de una señal o fuente de energía es una técnica en la que se modifica el ciclo de trabajo de una señal periódica, ya sea para transmitir información a través de un canal de comunicaciones o para controlar la cantidad de energía que se envía a una carga.

¹⁴ Programación Serial en Circuito

	<p>Contiene todo lo necesario para apoyar el microcontrolador; basta con conectarlo a un ordenador con un cable USB o la corriente con un adaptador de CA a CC o una batería para empezar.</p>
Uso	<p>Su función es ser el Gateway por el cual se transmitirán los datos tomados por el nodo sensor al servidor donde serán procesados. Adicionalmente, estará programado para dar órdenes e instrucciones al nodo, dependiendo de los datos obtenidos por los sensores.</p>
Programación	<pre> void setup() { Serial.begin(115200); OpenGarden.initSensors(); //Inisalizacion de energia para los sensores OpenGarden.sensorPowerON(); //Enciende la energia para activar sensores delay(100); OpenGarden.initRF(); OpenGarden.initRTC(); wificonfig(); } void loop() { Serial.println("Start"); OpenGarden.receiveFromNode(); //Para recibir informacion del nodo myTime = OpenGarden.getTime(); OpenGarden.printTime(myTime); if (myTime.minute() == 0 && flag == 0){ //Consulta una vez por hora (Para efectos de rendimiento de bateria) //Aca se obtiene informacion de los sensores en el gateway int soilMoisture0 = OpenGarden.readSoilMoisture(); float airTemperature0 = OpenGarden.readAirTemperature(); float airHumidity0 = OpenGarden.readAirHumidity(); float soilTemperature0 = OpenGarden.readSoilTemperature(); int luminosity0 = OpenGarden.readLuminosity(); </pre>

```

void wificonfig() {
  while (Serial.available() > 0) {
  }

  enterCMD();
  // Establecemos los protocolos DHCP y TCP
  Serial.print(F("set ip dhcp 1\r"));
  check();
  Serial.print(F("set ip protocol 18\r"));
  check();

  // Se configura la manera en la que se conectara al AP,
  // se establece el metodo de encriptacion de la red y se conecta
  Serial.print(F("set wlan join 0\r"));
  check();
  Serial.print(F("set wlan phrase "));
  Serial.print(wifi_password);
  Serial.print(F("\r"));
  check();
  Serial.print(F("join "));
  Serial.print(wifi_ssid);
  Serial.print(F("\r"));
  check();
}

```

Tabla 11: Shields del Sistema

SHIELDS	
XBEE PARA ARDUINO	
Imagen	
Características	<ul style="list-style-type: none"> • Potencia ajustable • Interfaz de E/S CMOS 3.3V UART, SPI, I2C, PWM, DIO, ADC • Método de configuración por comandos API o AT, local o sobre-el-aire • Banda de frecuencia 2.4 GHz • Inmunidad a la interferencia DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) • Serie Velocidad de datos de 1200 bps - 1 Mbps • Entradas ADC de 10 bits • E/S digital 10

	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura y humedad de funcionamiento de -40°C a + 85°C, 0-95% de humedad sin condensación • Memoria de 32Kb • Velocidad de Reloj/CPU de 50,33Mhz
Uso	<p>Es un shield que permite utilizar módulos XBee o módulos Bluetooth o RFID Pro.</p> <p>El escudo Arduino XBee permite que la placa Arduino comunicarse de forma inalámbrica mediante Zigbee. Ha sido desarrollado en colaboración con Arduino.</p>

WIFI MODULE FOR ARDUINO ROVING RN-XVEE - XBEE COMPATIBLE [XBEE SOCKET]

Imagen



Características	<ul style="list-style-type: none"> • conectividad directa a Internet • Conectividad punto a punto a cada nodo sin necesidad de perfiles personalizados • Ultra baja potencia: modo de suspensión 4UA, 38mA • Pila TCP/IP incluye DHCP, UDP, DNS, ARP, ICMP, cliente HTTP, FTP y cliente TCP. • Firmware configurable con una potencia de transmisión: 0dBm a 12dBm • interfaces de hardware: TTL¹⁵, UART • velocidad de datos hasta 464Kbps sobre UART¹⁶ • Soporta red e infraestructura <i>ad-hoc</i> • 8 E/S de propósito general • 3 entradas de sensores analógicos • Acepta una fuente de alimentación regulada de 3.3VDC • Configuración sobre UART o interfaz inalámbrica (a través de Telnet) usando simples comandos ASCII • Autenticación segura de WiFi: WEP, WPA-TKIP, WPA2-AES
Uso	<p>El módulo RN-XV es una solución certificada Wi-Fi diseñado especialmente para migrar de la arquitectura 802.15.4 existente a una plataforma basada en el estándar TCP / IP sin tener que rediseñar el hardware existente.</p> <p>El módulo RN-XV se basa en un módulo robusta RN-171 Wi-Fi que incorpora 802.11 b/g, procesador de 32 bits, pila TCP/IP, reloj en tiempo real, acelerador de cifrado, unidad de administración de energía y sensor analógico interfaz.</p>

¹⁵ Es una tecnología de construcción de circuitos electrónicos digitales.

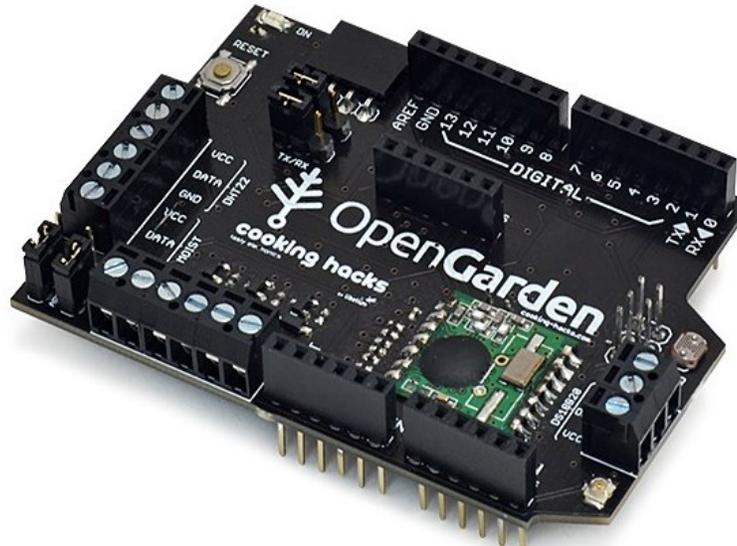
¹⁶ Es el dispositivo que controla los puertos y dispositivos serie. Se encuentra integrado en la placa base o en la tarjeta adaptadora del dispositivo.

Es compatible con la infraestructura de red para acceder directamente a Internet en todo el mundo por cada nodo y conectividad de red ad-hoc punto a punto. La RN-XVee soporta rangos de temperatura industriales, por lo que es ideal para aplicaciones tales como redes WSN, controladores industriales o comerciales, medidores de servicios y aplicaciones M2M.

El módulo ofrece una funcionalidad adicional a través de sus GPIOs y ADC. Los ADCs proporcionan una resolución de 14 bits, mientras que los GPIO pueden ser configurados para proporcionar una funcionalidad estándar.

OPEN GARDEN PARA ARDUINO CON SENSOR DE LUMINOSIDAD INTEGRADO

Imagen



Características Es una alternativa de código abierto para la automatización del hogar comercial y controlar de forma remota las plantas del interior y al aire libre. La plataforma consta de tres kits diferentes, cada uno listo para un tipo específico de escenario: Cultivo de interior (casas e invernaderos), al aire libre (jardines y campos) y la hidroponía (plantas en instalaciones hídricas).

La plataforma permite controlar el estado de las plantas mediante la detección de varios parámetros:

- La humedad del suelo (kits de interior y al aire libre)
- Temperatura + Humedad + Luz (Todos los kits)
- sensores de agua: pH, conductividad, temperatura (kit) hidroponía

Utiliza diferentes tipos de actuadores para modificar el estado de las plantas mediante la irrigación o la activación de las luces y el bombeo de oxígeno.

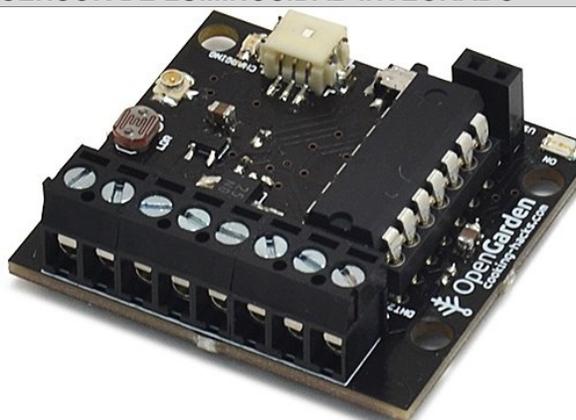
Los nodos envían periódicamente información a Gateway que carga los datos a un servidor web mediante el uso de cualquiera de las interfaces inalámbricas disponibles (Wi-Fi, GPRS, 3G).

Tabla 12: Sensores del Sistema

NODOS Y SENSORES

NODO CON SENSOR DE LUMINOSIDAD INTEGRADO

Imagen



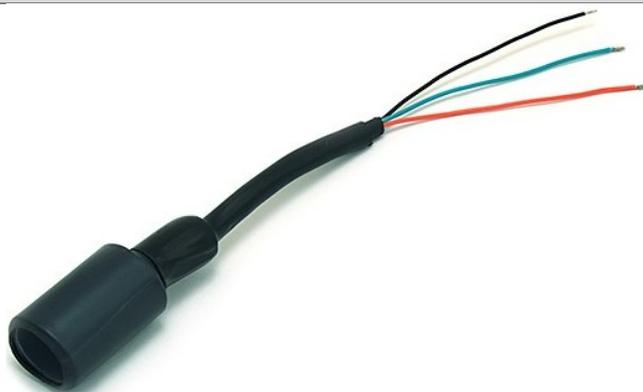
Características Este nodo envía periódicamente información a la Gateway que carga los datos a un servidor web mediante el uso de cualquiera de las interfaces inalámbricas disponibles (Wi-Fi, GPRS, 3G).

Cuenta con un sensor de luminosidad integrado que

Uso Este nodo se utilizará para integrar los sensores mencionados a continuación y adicionalmente, el sensor medirá la intensidad lumínica del área en el cual se encuentra desplegado.

SENSOR DE TEMPERATURE Y HUMEDAD DHT22

Imagen



Características El DHT22 es un sensor de humedad y temperatura con una interfaz digital de un solo cable. El sensor está calibrado para que pueda obtener mediciones humedad relativa y la temperatura.

Cuenta con:

- entrada 3.3-6V
- 1-1.5mA corriente promedio
- 40-50 uA de corriente de espera
- Humedad relativa 0-100% RH
- rango de temperatura de 80-40°C
- Exactitud de + -2%RH
- + -0.5 grados C

Uso Este sensor estará conectado con el nodo y se encarga de hacer las mediciones de la humedad y temperatura relativa del área en el cual se encuentre desplegado.

SENSOR DE HUMEDAD EN EL SUELO

Imagen



Características

- Entrada 3.3-5V
- Corriente promedio de 0-35mA
- Salida analógica

Uso

Este sensor de humedad del suelo se utiliza para detectar la humedad del suelo o juzgar si hay agua alrededor del sensor. Al igual que todos los sensores estará conectado al nodo y actuara sobre el área que fue desplegado.

BOMBA DE AGUA

Imagen



Características

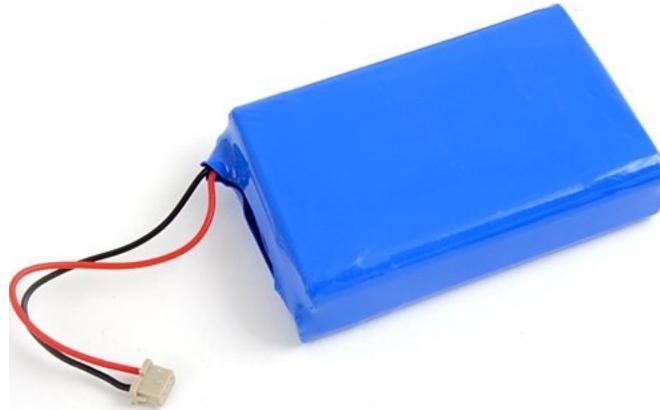
- Fuente de alimentación: 3,5 ~ 12 VDC, 65 mA-500 mA
- Bombeo de: 40-220cm
- Capacidad: 100-350L / H
- Rango de potencia: 0,5 W-5W
- Dimensiones: 38x38x29mm (1.5x1.5x1.14 ")
- Peso: 125 g
- La longitud del cable: 1 m (39.37 ")

Uso

La bomba de agua tiene con función bombear agua al área que cubre según su despliegue, cuando el nodo de la orden, según las mediciones de humedad de la tierra tomadas.

BATERIA RECARGABLE 2300 mA·H

Imagen



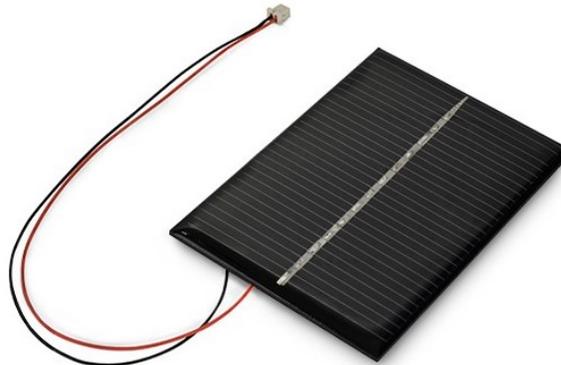
Características Cuenta con un peso ligero, de alta densidad de energía, la batería está hecha polímero de ión de litio. Tiene una salida de 2300mAh y viene con un conector estándar.

Esta batería sólo puede ser recargada utilizando Wasmote. No se deben usar otros cargadores de batería o la batería puede dañarse

Uso Su función es alimentar al nodo dándole la energía suficiente para que funcione, al igual que los sensores que están conectados a él.

PANEL SOLAR DE 70x50mm 5v

Imagen



Características Para aplicaciones al aire libre los nodos pueden recargarse usando el panel solar. El nodo Open Garden tiene un conector de panel solar llamado BATT. CARGAR. El panel solar viene con dos cables (positivo y negativo) que se conectan al nodo.

Uso Su función es alimentar la batería que alimenta de energía los nodos sensores.

CAJA INTEMPERIE NODO

Imagen



Características Caja protectora para el nodo sensor.

Uso Su función es proteger al nodo ya que será desplegado en un área abierta.

CAJA INTEMPERIE GATEWAY

Imagen



Características Caja protectora del Gateway

Uso Su función es proteger al Gateway ya que será desplegado en un área abierta.

ANTENA RECEPTORA RF

Imagen



Características Soporta la recepción de Radiofrecuencia, realiza las tareas de envío y recepción.

Uso Su función es enviar los datos obtenidos por los sensores.

4.2.1.2 Diseño y Arquitectura de la red WSN

El diseño de una red inalámbrica de sensores está condicionado a un gran número de factores, que incluyen escalabilidad, tolerancia a fallos, costes de producción, ambientes de operación, topología de la red, restricciones de hardware, medios de transmisión y consumo de energía. Es importante tener en cuenta estos factores para la construcción de un protocolo de desarrollo y despliegue de las redes WSN.

Para el diseño de la red WSN del sistema de monitoreo enfocado al sector agrícola en Colombia, para la optimización de recursos y control de riesgos agroclimáticos y agroambientales, la tolerancia a fallos, escalabilidad y coste de producción, en el desarrollo del prototipo funcional, será obviado, puesto que esta red sólo tendrá un nodo sensor.

Con respecto a las restricciones de hardware, el nodo sensor del sistema de monitoreo es el *Open Garden para arduino con sensor de luminosidad integrado*, la unidad de procesamiento, la unidad de transmisión-recepción y la unidad de energía cumplen con las restricciones del sistema para la toma de datos. Para garantizar la toma de datos de manera correcta, el *open garden para arduino* se integra con el *nodo sensor de luminosidad integrado* y el resto de sensores mostrados en la Tabla 12. Al igual, para asegurar las restricciones energéticas del nodo, se integra el panel solar que mantiene cargada la unidad de energía (ver Figura 14).

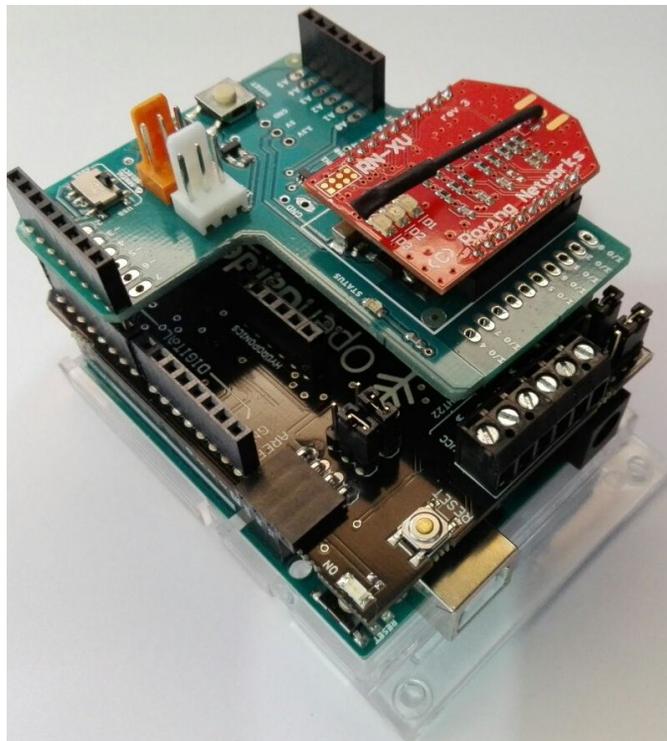


Figura 14: Integración de nodos del sistema
Fuente: Elaboración Propia

La red WSN es desplegada dentro de un campo, donde el nodo tiene la capacidad de recolectar datos y encaminarlos hacia el administrador mediante la comunicación multi-salto dirigida al Gateway, como se muestra en la Figura 15. El Gateway tiene la capacidad de comunicar al administrador vía Internet.

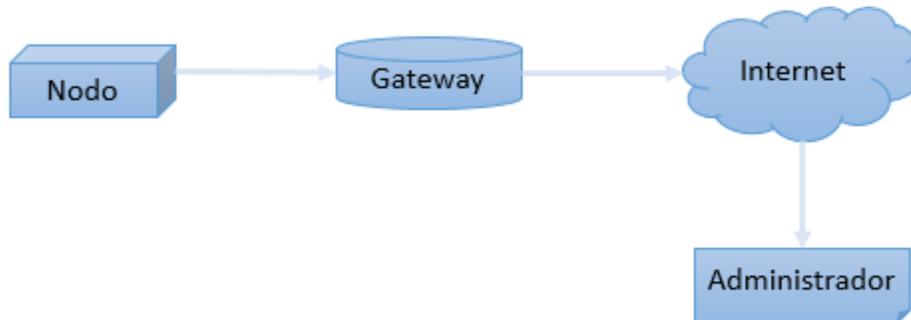


Figura 15: Nodo sensor desplegado
Fuente: Elaboración Propia

La concatenación de protocolos utilizados por el Gateway y el nodo sensor se muestra en la Figura 16. Esta concatenación de protocolos combina adecuadamente la energía y la comunicación de datos, integrando de este modo los datos con los protocolos de red, ofreciendo eficazmente la comunicación a través de medios inalámbricos. La concatenación de protocolos consta de capa de aplicación, capa de transporte, cada de red, capa de enlace, capa física, plano de gestión de energía, plano de gestión de movilidad y plano de gestión de tareas.

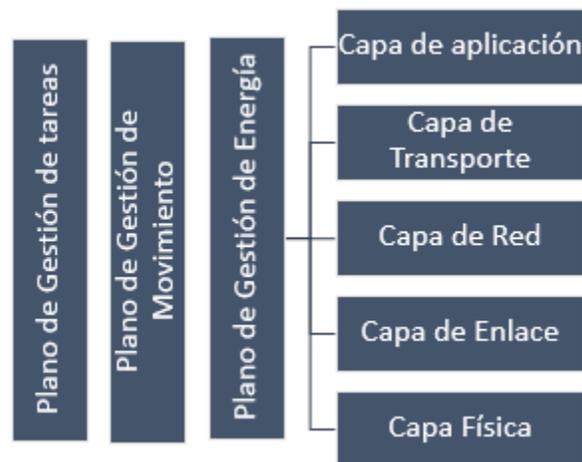


Figura 16: Concatenación de Protocolos de red del sensor
Fuente: Elaboración Propia.

La capa de transporte es la encargada de mantener el flujo de datos. La capa de red se encarga de proporcionar la comunicación de los datos. El protocolo MAC¹⁷ tiene la función de realizar un buen uso de la energía y minimizar las colisiones con los paquetes. La capa física atiende las necesidades de modulación, transmisión y técnicas de recepción. Los planos de gestión de tareas controlan la energía, el movimiento y la distribución de tareas. El plano de gestión de energía administra como los nodos usan la energía. El plano de movilidad detecta y registra el movimiento de los nodos sensores.

Con respecto a los prototipos y tecnologías de comunicación, el sistema de monitoreo utiliza el protocolo de comunicación RF (radio frecuencia) y el ZigBee. Las topologías de red soportadas por ZigBee son tres: estrella, punto a punto y árbol. Para el despliegue de la red WSN se define la topología estrella, en la que la comunicación se establece entre los nodos a un controlador central (Gateway).

4.2.2 Desarrollo a nivel de Software de los elementos del sistema

Para el desarrollo a nivel de software de los elementos del sistema de monitoreo de redes WSN, se presenta la documentación relacionada a los aspectos del desarrollo del proyecto. Con el fin de verificar la calidad del desarrollo a nivel de software, se dividirá este capítulo en cuatro tópicos: (i) Plan de Desarrollo; (ii) Plan de Pruebas; (iii) Plan de Aseguramiento de Calidad; (iv) Especificación de Requerimientos de Software; y (iv) Modelado UML.

Tabla 13: Documentos del Desarrollo de Software

Documento	Objetivo
Plan de desarrollo	Proporciona la información necesaria para controlar el proyecto y describe el enfoque de desarrollo del software.
Especificación de Requerimientos del Software	Define las especificaciones funcionales y no funcionales para el desarrollo del software.
Plan de aseguramiento de Calidad	Define el conjunto de normas, estándares, procedimientos y metodologías para hacer un seguimiento en el desarrollo del software y la documentación con el fin de asegurar la calidad del proyecto.
Plan de Pruebas	Explica el alcance, enfoque, recursos requeridos, calendario, responsables y manejo de riesgos del proceso de pruebas.
Modelo UML	Lenguaje Unificado de Modelado es un estándar para la representación de procesos o esquemas de software

¹⁷ Por sus siglas en Ingles Medium Access Control, garantiza que el medio este libre si alguno de los dispositivos que lo comparte está transmitiendo información, evitando colisiones y permitiendo el uso eficaz de la capacidad de transmisión disponible,

4.2.2.1 Plan de Desarrollo

El propósito del plan de desarrollo del software es dar soporte para proporcionar información necesaria del control del mismo. Describe el enfoque de desarrollo del software, con el fin de organizar la agenda y necesidades de recursos para realizar su seguimiento.

El plan de desarrollo de Software muestra de una manera general como ocurrirá el desarrollo de los elementos del sistema de monitoreo de redes inalámbricas y prototipo funcional de nodos sensores, durante este proceso se definen las características del proyecto.

Para el desarrollo e implementación de un sistema de redes inalámbricas de sensores enfocado al sector agrícola colombiano para la optimización de recursos y control de riesgos agroambientales y agroclimáticos se necesitó la creación de un sistema de gestión por medio del cual se controlan los aspectos relacionados a la organización y muestra de datos tomados por los nodos sensores a los usuarios finales. Este sistema cubre en su totalidad las necesidades de sistematización para: (i) Los Clientes o Usuarios Finales: acceso a la información procesada, organizada y correctamente analizada de la toma de datos de los nodos sensores en su respectiva área focal y; (ii) Administradores y Desarrolladores del Proyecto: acceso a las bases de datos e información para modificar parámetros y realizar mantenimiento del sistema que funciona en un entorno web.

Con respecto a la organización del proyecto, la estructura organizacional está compuesta por el director del Proyecto, el Gerente de Desarrollo del Sistemas y Gerente de Desarrollo Técnico del Sistema (Ver Figura 17).

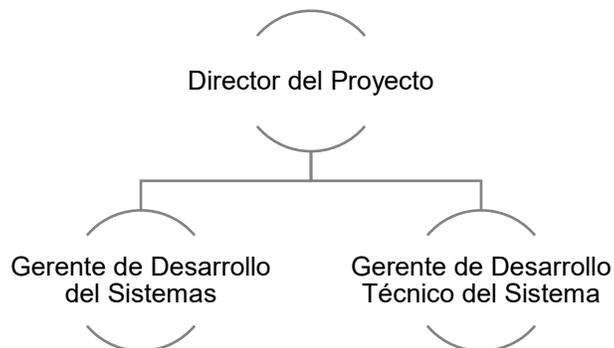


Figura 17: Estructura Organizacional del Desarrollo del Proyecto
Fuente: Elaboración Propia

Cada miembro del equipo cumple unas funciones y responsabilidades en el proceso de desarrollo del proyecto. En la Tabla 14 se muestran los roles de la unidad de organización del proyecto.

Tabla 14: Roles de la unidad de organización de proyectos

<i>Roles</i>	<i>Especificación</i>	<i>Roles de la unidad de organización de proyectos</i>
Director del Proyecto	El director del proyecto asigna los recursos, gestiona las prioridades, coordina las interacciones y mantiene al equipo del proyecto enfocado en los objetivos. Adicionalmente establece un conjunto de prácticas que aseguran la integridad y calidad de los artefactos del proyecto y se encarga de supervisar, planificar y controlar el proyecto.	Gerente de Proyectos Gerente de implementación Crítico de Requisitos Crítico de Arquitectura Administrador de Configuración Gerente de Control de Cambios
Gerente de Desarrollo del Sistema	El gerente de desarrollo del sistema gestiona los requisitos, la configuración y cambios del proyecto. Adicionalmente elabora el modelo de datos, prepara las pruebas funcionales, desarrolla la documentación. Por último, elabora modelos de implementación y despliegue del sistema.	Crítico del Proyecto Crítico de Requisitos Integrador Diseñador de pruebas Probador Escritor Técnico
Gerente de Desarrollo Técnico del Sistema	Captura especificaciones y validaciones de los requisitos del proyecto, interactuando con los usuarios finales mediante entrevistas. Adicionalmente elabora el modelo de análisis y diseño. Colabora en la elaboración de las pruebas funcionales y el modelo de datos.	Analista de Sistemas Especificador de Requisitos Diseñador de interfaz de Usuario Arquitecto de Software Revisor de Diseño Administrador de Pruebas Diseñador Implementador Revisor de Código

Los agentes externos que interactúan con las dependencias asociadas del proyecto se muestran en la Tabla 15. Al igual se incluyen las responsabilidades relacionadas con el despliegue de la red.

Tabla 15: Agentes Externos del Sistema

Agente	Descripción de la interacción con el equipo del proyecto	Costo
<i>Claro</i>	Empresa prestadora de servicios móviles para tener cobertura de red en la región de despliegue del sistema.	\$40.000 mensual
<i>Hostinger</i>	Host en el cual se subirá la página	\$20.000 mensual

Para el desarrollo del proyecto se utilizó la metodología *Scrum*¹⁸, esta metodología usa un conjunto de patrones de procesos del software, que ha demostrado ser eficiente para proyectos con plazos de entrega muy estrechos, requerimientos cambiantes como los patronos identificados en el proyecto. La metodología de

¹⁸ Scrum es un método de desarrollo ágil de software. Los principios Scrum son congruentes con el manifiesto ágil y se utilizan para guiar actividades de desarrollo dentro de un proceso de análisis que incorpora las siguientes actividades estructurales: requerimientos, análisis, diseño, evolución y entrega. (Pressman, 2010)

Scrum se caracteriza por la realización de *Sprints*¹⁹ que tienen como objetivo alcanzar los requerimientos o características del proyecto que se van dando a partir de las especificaciones cambiantes y las prioridades del desarrollo del proyecto. El cronograma seguido para el desarrollo del proyecto se muestra en la Figura 18, en el cual se realizaron *Sprints* cada 17 días.

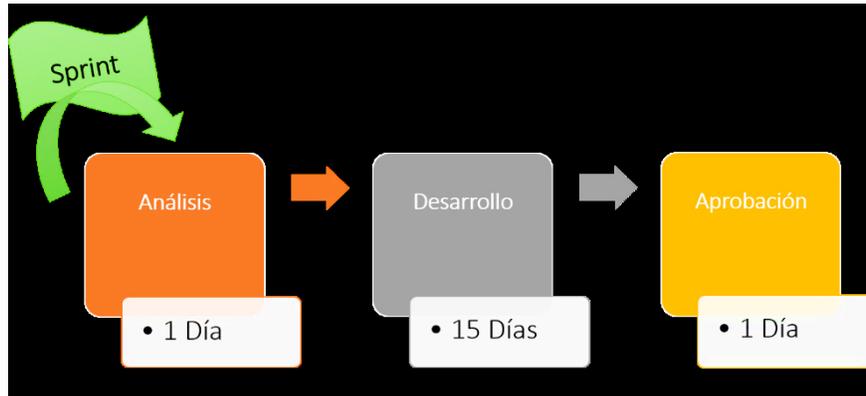


Figura 18: Cronograma del Proyecto
Fuente: Elaboración Propia

El diagrama de contexto es el encargado de definir los límites entre el sistema, de esta manera hace evidente las interacciones de los agentes y el ambiente con el este mismo. En otras palabras, es una vista de alto nivel del sistema. Para el desarrollo del proyecto se tuvieron en cuenta las entradas, salidas, peticiones, interfaces y archivos de los dominios de información para el proyecto como se muestra en la Figura 19.

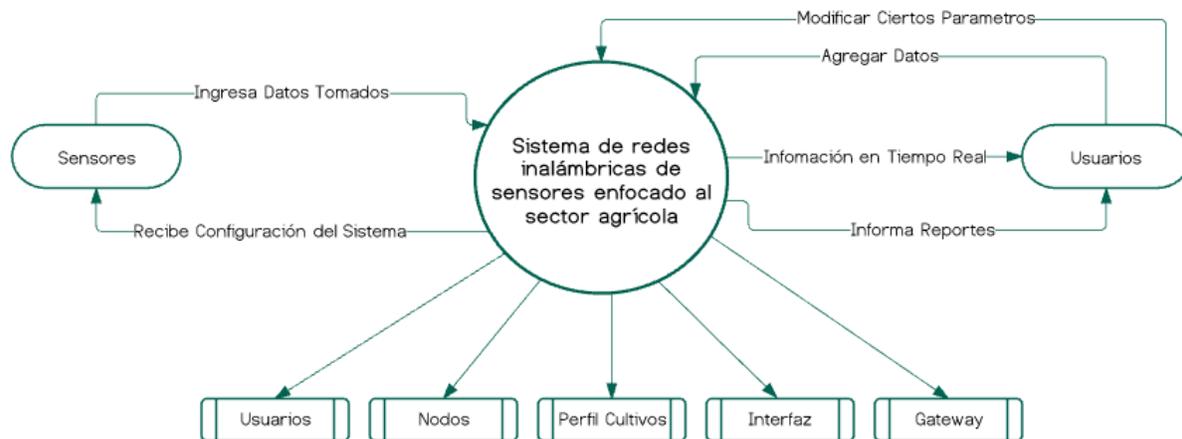


Figura 19: Diagrama de Contexto
Fuente: Elaboración Propia

¹⁹Son unidades de trabajo que se necesitan para alcanzar un requerimiento definido. Así, el sprint permite a los miembros del equipo trabajar en un ambiente de corto plazo, pero estable.

El trabajo técnico en la ingeniería de software comienza con la creación del modelo de requerimientos. Es una etapa clave, puesto que se derivan los requerimientos y se establecen un cimiento para el diseño. Por lo tanto, es necesaria la realización de métricas que proporcionen comprensión acerca de la calidad del modelo de análisis. Una de las métricas basada en función, es la métrica de los puntos de función (PF), que se utiliza para medir la funcionalidad que entra a un sistema. En conclusión, la métrica se utilizó para estimar el costo y esfuerzo requerido para diseñar, codificar y probar el software. A continuación, en las Tablas 16 y 17, se muestra el cálculo de los puntos de función y puntos de función ajustados para el desarrollo del proyecto.

Tabla 16: Cálculo Punto de Función Sin Ajustar

<i>Parámetros De Medición</i>	Factor de Ponderación					
	Cuenta		Simple	Medio	Complejo	
<i>Entradas De Usuario</i>	2	x	3	4	6	= 8
<i>Salidas De Usuario</i>	3	x	4	5	7	= 15
<i>Peticiones De Usuario</i>	1	x	3	4	6	= 3
<i>Número De Archivos</i>	5	x	7	10	15	= 50
<i>Número De Interfaces Externas</i>	2	x	5	7	10	= 10
CUENTA TOTAL:						86

Tabla 17: Cálculo Puntos de Función Ajustados

Factor de ajuste	Puntaje
<i>Comunicación de datos</i>	4
<i>Proceso distribuido</i>	4
<i>Objetivos de rendimiento</i>	3
<i>Configuración de explotación compartida</i>	4
<i>Tasa de transacciones</i>	4
<i>Entrada de datos de línea</i>	3
<i>Eficiencia con el usuario final</i>	4
<i>Actualizaciones de línea</i>	3
<i>Lógica de proceso interno complejo</i>	4
<i>Reusabilidad de código</i>	4
<i>Conversión e instalación contempladas</i>	4
<i>Facilidad de operación</i>	2
<i>Instalaciones múltiples</i>	4
<i>Facilidad de cambios</i>	2
<i>Total</i>	49

Para el cálculo de los puntos de función Ajustado se debe aplicar la siguiente formula

$$PFA = \left(\sum \text{Factores de Ponderación} \right) * \left[0,65 + \left(0,01 * \left(\sum \text{Factores de Ajuste} \right) \right) \right]$$

Entonces,

$$PFA = (86) * [0,65 + (0,01 * 51)] = 98$$

Los lenguajes de programación utilizados para el desarrollo del proyecto fueron: *python, html, css, javascript* y *c++*. Para la estimación de las líneas de código (LOC) y líneas de código en miles, se utiliza la siguiente fórmula.

$$LOC = PFA * Correlación(Lenguajes de Programación)$$

$$kLOC = \frac{LOC}{1000}$$

Entonces,

$$LOC = 98 * Correlación(14 + 46 + 13) = 7156,92$$

$$kLOC = \frac{7156,92}{1000} = 7,16$$

El modelo constructivo de costos (COCOMO) es un algoritmo matemático utilizado para la estimación de costos. Consiste en una jerarquía de tres niveles detallados de forma exacta (Básico, Intermedio y Detallado). El COCOMO puede ser aplicado para tres tipos de proyectos, orgánicos, semi-separado y encajado.

La aplicación más aproximada de COCOMO para la solución del proyecto, es la semi-separada de nivel intermedio, puesto que mezcla elementos de software y hardware en el desarrollo. Para los cálculos de COCOMO se tienen en cuenta las siguientes ecuaciones básicas.

$$E = a(kLOC)^b * FAE$$

$$D = c(E)^b$$

$$P = \frac{E}{D}$$

Donde, E es el esfuerzo aplicado y se mide por personas/meses, D es el tiempo de desarrollo medido en meses cronológicos y P es el número de personal requerido para el desarrollo del proyecto, los coeficientes a, b y c se dan en la Tabla 18, teniendo en cuenta la aplicación de COCOMO seleccionada para el desarrollo del proyecto.

Tabla 18: Coeficientes de las Clases de Proyecto

Proyecto	a	b	c	d
<i>Orgánico</i>	2,4	1,05	2,5	0,38
<i>Semi-Separado</i>	3,0	1,12	2,5	0,35
<i>Encajado</i>	3,6	1,20	2,5	0,32

Adicionalmente, se debe tener en cuenta el esfuerzo del desarrollo del software como función del tamaño del proyecto y del sistema de conductores de coste, que tienen en cuenta factores como el hardware, el personal y las cualidades del proyecto. El Coeficiente de Adaptación de Esfuerzo (FAE) se obtiene por el producto de todos los multiplicadores de esfuerzo y se muestra en la tabla 19.

Tabla 19: Coeficiente de Adaptación de Esfuerzo

Conductores del coste	Grados				
	Muy bajo	Bajo	Nominal	Alto	Muy arriba
Cualidades de producto					
Confiabilidad requerida del software			1		
Tamaño de la base de datos del uso		0,94			
Complejidad del producto			1		
Cualidades del hardware					
Apremios de funcionamiento Run – time			1		
Apremios de la memoria			1		
Volatilidad del ambiente virtual de la máquina			1		
Tiempo de Respuesta			1		
Cualidades del personal					
Capacidad del analista			1		
Experiencia de los usos			1		
Capacidad de la Software Engineer			1		
Experiencia del lenguaje de programación			1		
Cualidades del proyecto					
Uso de las herramientas del software				0,91	
Uso de los métodos de la tecnología de dotación lógica				0,91	
Horario requerido del desarrollo					1,1
Total					1,88

Ajustando las ecuaciones a los datos obtenidos por las métricas de medición se tiene:

$$E = a(kLOC)^b * FAE = 3(7,16)^{1,12} * 1,88 = 52,14 \text{ mes/trabajador}$$

$$D = c(E)^d = 2,5(52,14)^{0,35} = 9,97 \text{ meses}$$

$$P = \frac{E}{D} = \frac{52,14}{9,97} = 5 \text{ trabajadores}$$

Como conclusión de la aplicación de las métricas de estimación, se obtuvo que se necesitan aproximadamente 5 personas para la realización del proyecto, pero en efectos prácticos, sólo se utilizaron dos personas con amplio conocimiento en *PHP*, *JavaScript*, *Phyton*, *SQL*, *HTML*, *CSS* y *C++*. Adicionalmente, con un alto desempeño en el desarrollo de software, para poder desarrollar en su totalidad el proyecto, dentro de los tiempos específicos.

Otro aspecto que se tuvo en cuenta para el desarrollo del sistema, fueron los factores de riesgo (Ver Tabla 20), que juegan un papel importante en el cumplimiento de tiempos establecidos. En análisis de riesgos realizado se divide en las siguientes categorías:

- I. Tecnológica: relacionado a las tecnologías que se implementan y usan para la elaboración del sistema.
- II. Cliente: relacionado a los riesgos acerca del cliente y su entorno.
- III. Personal: relacionado acerca del personal que desarrolla el sistema.
- IV. Financiera: relacionado a costos y presupuestos.

Tabla 20: Análisis de Riesgos por Categorías

Categoría	Riesgo	Probabilidad	Impacto
I	Daño en el software de los equipos que se utilizan para la fase de desarrollo.	50%	4
I	Daño en el hardware de los equipos que se utilizan para la fase de desarrollo.	50%	4
III	Improductividad del personal	50%	3
IV	Nuevas necesidades de herramientas, Factor humano o factor tecnológico	50%	2
II	Cambio considerable de los requerimientos	50%	2
IV	Exceso de tiempo en la entrega	20%	4
I	Inaccesibilidad a Internet por un largo periodo de tiempo	20%	2
I	Pérdida o robo de información sensible del proyecto	15%	2
III	Enfermedad de los trabajadores	10%	5
I	Caída del servidor en el que está montada la página web	10%	3
III	Renuncia masiva de trabajadores	5%	5

Partiendo de esta lista de riesgos identificada, se debe generar un método de contención mediante la implementación de un seguimiento con respecto a cada aspecto identificado, En la Tabla 21 se evaluó cada aspecto durante las iteraciones del desarrollo del proyecto

Tabla 21: Métodos de Contención para la Reducción de Riesgos

Riesgo	Acción
Daño en el software de los equipos que se utilizan para la fase de desarrollo.	Revisión en cada iteración del estado de los equipos, al igual los trabajadores que utilizan dichos equipos informarán cualquier posible error.
Daño en el hardware de los equipos que se utilizan para la fase de desarrollo.	
Improductividad del personal	Revisar que el porcentaje de cumplimiento de trabajo por cada iteración sea el esperado.
Nuevas necesidades de herramientas, Factor humano o factor tecnológico	Utilizando de manera estratégica cada uno de estos factores.
Cambio considerable de los requerimientos	En la reunión con el cliente para cada iteración intentar obtener la mayor información posible y útil para el desarrollo de esta.
Inaccesibilidad a Internet por un largo periodo de tiempo	Elegir el mejor proveedor de este servicio.
Pérdida o robo de información sensible del proyecto	Implementando medidas de seguridad informática y de información.

Enfermedad de los trabajadores	En caso de que algún trabajador contraiga una enfermedad que pueda transmitir a los otros, dar el tiempo necesario para su mejoría (ajustado al tiempo de entrega del proyecto).
Caída del servidor en el que está montada la página web	Elegir el mejor proveedor de este servicio.
Renuncia masiva de trabajadores	Implementando una buena dinámica de trabajo.

En el caso de que alguno de los aspectos identificados pase de ser un riesgo a una realidad, en la Tabla 22 se presenta la gestión de riesgos para cada uno de los aspectos.

Tabla 22: Gestión de Riesgos

Riesgo	Acción
Daño en el software de los equipos que se utilizan para la fase de desarrollo.	Arreglo inmediato o en su defecto cambio de equipos o software.
Daño en el hardware de los equipos que se utilizan para la fase de desarrollo.	
Improductividad del personal	Llamados de atención y posible despido.
Nuevas necesidades de herramientas, Factor humano o factor tecnológico	Dejar una parte del presupuesto para cubrir este posible evento.
Cambio considerable de los requerimientos	Se maneja mediante las reuniones por cada iteración.
Exceso de tiempo en la entrega	La estimación de tiempo prevista para la entrega del proyecto cuenta con unos días que servirán de apoyo en caso que no se cumpla este tiempo.
Inaccesibilidad a Internet por un largo periodo de tiempo	Cambio de proveedor de servicio o utilización de internet 4G por modem.
Pérdida o robo de información sensible del proyecto	Implementar nuevas técnicas de seguridad y encontrar la fuente de la pérdida o robo.
Enfermedad de los trabajadores	Se pedirá enviar los resultados de cada trabajador y si la enfermedad es grave redivisión de las cargas de trabajo.
Caída del servidor en el que está montada la página web	Tener los archivos listos para que sean montados en otro servidor.

Para finalizar en la Tabla 23, se muestran las fases y actividades realizadas para el desarrollo del proyecto, con su respectiva descripción.

Tabla 23: Fases del Desarrollo del Proyecto

Fases	Actividades	Descripción
Fase de inicio	Asignar responsabilidades a cada uno de los integrantes.	Se asignó a cada uno de los integrantes del proyecto sus respectivas responsabilidades para el desarrollar a nivel software y hardware de los elementos del sistema de monitoreo.
Fase de elaboración	Realizar un plan de trabajo.	Se realizó un plan de trabajo en el cual se plantearon cada uno de los pasos a seguir para el

			desarrollar a nivel software y hardware de los elementos del sistema de monitoreo.
Fase de construcción	Desarrollar el software.		Se realizaron cada uno de los componentes descritos en la fase de elaboración para llevar a cabo a construcción del proyecto proyecto.
Fase de transición	Software desarrollado en su totalidad		Se llevó a cabo en su totalidad la construcción a nivel software y hardware de los elementos del sistema de monitoreo.
Fase de Evaluación	Evaluación del funcionamiento del Software	del del	Se realizaron pruebas que evidenciaron el funcionamiento satisfactorio a nivel software y hardware de los elementos del sistema de monitoreo.
Fase de Socialización	Socialización de los resultados obtenidos por el funcionamiento proyecto		Se realizó la socialización de los resultados obtenido con respecto a optimización y control de recursos de los elementos del sistema de monitoreo, teniendo en cuenta control de riesgos agroambientales y agroclimáticos.

4.2.2.2 Especificación de Requerimientos del Software

El propósito de la especificación de requerimientos del software es ofrecer una descripción detallada de la administración de requerimientos y las respectivas funciones del mismo. De igual manera se describe el plan de levantamiento de requisitos, análisis, especificación, verificación, validación, administración y gestión de requerimientos, con el fin de definir de manera correcta los requerimientos enfocados a el desarrollo a nivel software de los elementos del sistema de monitoreo.

El alcance que tiene el proyecto descrito está relacionado con las funcionalidades para los usuarios y los beneficios que trae para ellos como se muestra en la Tabla 24.

Tabla 24: Alcance del Proyecto

Beneficios	Funcionalidades
Ayuda con el control de recursos para su optimización	Consulta información asociada al estado de los cultivos por medio de módulos web.
Acceso inmediato a la información recolectada por los nodos sensores	Almacenamiento de datos correspondientes a los principales procesos de toma de datos del sistema de monitoreo.
Obtención de reportes de los análisis realizados	A partir de la información obtenida, se generan reportes de información seleccionada para los diferentes enfoques con respecto a optimización de recursos, agricultura de precisión y control de riesgos agroambientales y agroclimáticos.
Apoyo en el análisis de datos	Utilización de diferentes tipos de análisis de datos para la manipulación de la información extraída por los sensores, permitiendo a los

	usuarios obtener enfoques variables de los posibles escenarios
Confiabilidad de la información obtenida	Con respecto al control de riesgos agroclimáticos y agroambientales, la extracción de los datos viene de fuentes confiables y vigentes nacional e internacionalmente.

El sistema consiste en dos partes, el despliegue de una red inalámbrica de sensores y un aplicativo web. En el despliegue de la red WSN, los sensores tomarán los datos para luego ser enviados y por el Gateway, donde llegaran a ser procesados dentro del aplicativo web, donde se llevará a cabo el análisis y mantenimiento de la información para ser procesada y luego presentada a los usuarios finales (Ver Figura 20).

El despliegue de redes WSN necesitará comunicación Wi-Fi, para enviar a la base de datos la información recolectados por los sensores, a partir de ahí, mediante consultas en la base de datos, el aplicativo web mostrará la información organizada según la relevancia mediante la ejecución de consultas a la base de datos, de esta manera se generarán informes para los usuarios finales teniendo en cuenta aspecto de optimización de recursos, agricultura de precisión y control de riesgos agroclimáticos y agroambientales.

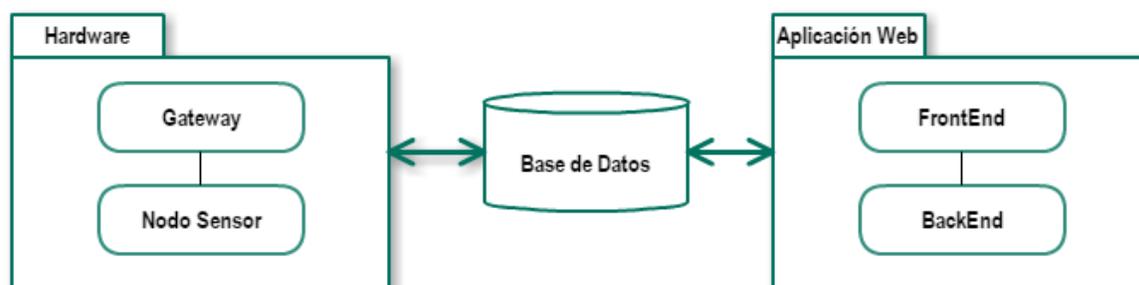


Figura 20: Diagrama de Bloques
Fuente: Elaboración Propia

Las características del usuario se dividen en tres tipos: (i) Clientes, personas que compran el producto a nivel hardware y revisa los informes generados a nivel de software según los datos tomados y sus interese. Estos clientes hacen parte de la base de datos y cuentan con una autenticación; (ii) Usuarios Generales, personas que acceden a la aplicación web para revisar información general y; Administradores: personal encargado del mantenimiento de la aplicación web, también cuenta con autenticación en el sistema y permisos totales sobre la configuración de la aplicación web.

Dentro de las restricciones hay que tener en cuenta dos tipos: (i) el mantenimiento y la administración de la aplicación web solo se podrá hacer a partir de una autenticación en el sistema y (ii) los informes generados por el sistema se harán a

partir de la autenticación en el sistema de los clientes, al mismo tiempo, están restringidas a una serie de opciones entre las cuales pueden elegir los clientes.

Los requerimientos de procesos son las especificaciones de los estándares de calidad que debe ser usados en los procesos, una especificación que el diseño de cumplir y mostrar la respectiva descripción del proceso. Este tipo de requerimientos se divide en dos tipos: (i) Requerimientos funcionales, cumplen la función de declarar los servicios que el sistema debe proporcionar, la manera en que se relacionan las entradas y las salidas, y como se debe comportar en situaciones particulares; (ii) Requerimientos no Funcionales, son restricciones de los procesos o servicios que ofrece el sistema. Dentro de estos se incluyen las restricciones de tiempo, que no se refieren directamente a las funciones del sistema.

i. Requerimientos Funcionales

Las funciones del sistema se dividen en administraciones de los distintos actores que interactúan con el sistema de monitoreo, desde el sentido hardware y el sentido software, estas funciones son las siguientes:

- **Administración de Usuario:** esta funcionalidad del software permite gestionar usuarios y sus perfiles, limitar sus funcionalidades mediante la autenticación y gestión de permisos. De igual manera podrá agregar, eliminar, modificar y buscar usuarios.
- **Administración del Sistema:** esta funcionalidad permite tener control sobre la información asociada al despliegue WSN, agregar, eliminar, buscar y modificar parámetros de los perfiles de los cultivos.
- **Administración de Despliegue:** desde esta función se gestiona la información asociada a los nodos y Gateway, permitiendo realizar consultas, listas, cambios de parámetros de los nodos existentes y agregar, eliminar nodos en el sistema.

En la Tabla 25 se enumeran los requisitos funcionales asociados al sistema de monitoreo.

Tabla 25: Requisitos Funcionales

<i>REQUISITO FUNCIONAL 1</i>	
<i>Autenticación de Usuario</i>	
<i>BD: idUsuario y password</i>	
<i>Usuario y Administrador</i>	
<i>Introducción</i>	El sistema debe permitir el acceso a los usuarios asociados, mediante el ingreso de un número de identificación y contraseña.
<i>Proceso</i>	El usuario en la interfaz de acceso introduce su número de identificación y contraseña de manera correcta para que el sistema lo autentique y valide.
<i>Entradas</i>	Número de identificación y Contraseña

<i>Salidas</i>	<p>En caso de que la autenticación no sea válida, un mensaje de error en autenticación.</p> <p>En caso de que la autenticación sea válida, llevarlo a la interfaz de usuarios.</p>
<p>REQUISITO FUNCIONAL 2</p> <p><i>Crear, modificar o eliminar usuarios</i></p> <p><i>BD: idUsuario, nombre, cc</i></p> <p><i>Administrador</i></p>	
<i>Introducción</i>	El sistema da al administrador la opción de crear, modificar o eliminar usuarios.
<i>Proceso</i>	El administrador selecciona en el panel que opción quiere realizar, limita la búsqueda por nombre, apellido, número de identificación.
<i>Entradas</i>	Nombre, Número de Identificación, Número de cedula, teléfono, tipo de usuario, dirección.
<i>Salidas</i>	<p>Mensaje de error en caso de que no exista el parámetro en la base de datos</p> <p>Mensaje de error en caso de intentar modificar el proceso con datos incoherentes</p> <p>Mensaje de proceso realizado con éxito al momento de crear, modificar o eliminar usuarios</p>
<p>REQUISITO FUNCIONAL 3</p> <p><i>Crear, modificar o eliminar nodos</i></p> <p><i>BD: idHistoricoNodo</i></p> <p><i>Administrador</i></p>	
<i>Introducción</i>	El sistema da al administrador la opción de crear, modificar o eliminar nodos.
<i>Proceso</i>	El administrador selecciona en el panel que opción quiere realizar, limita la búsqueda número de identificación, ubicación o usuario al que pertenece.
<i>Entradas</i>	Número de Identificación, código.
<i>Salidas</i>	<p>Mensaje de error en caso de que no exista el parámetro en la base de datos</p> <p>Mensaje de error en caso de intentar modificar el proceso con datos incoherentes</p> <p>Mensaje de proceso realizado con éxito al momento de crear, modificar o eliminar nodos</p>
<p>REQUISITO FUNCIONAL 4</p> <p><i>Crear, modificar o eliminar Perfil de Cultivo</i></p> <p><i>BD: idPerfilCultivos, nombre</i></p> <p><i>Administrador</i></p>	
<i>Introducción</i>	El sistema da al administrador la opción de crear, modificar o eliminar perfiles de cultivos.
<i>Proceso</i>	El administrador selecciona en el panel que opción quiere realizar, limita la búsqueda número de identificación, nombre al que pertenece.
<i>Entradas</i>	Número de Identificación, nombre, temperatura optima del aire y suelo, humedad optima del aire y suelo, luminosidad óptima.

<i>Salidas</i>	<p>Mensaje de error en caso de que no exista el parámetro en la base de datos</p> <p>Mensaje de error en caso de intentar modificar el proceso con datos incoherentes</p> <p>Mensaje de proceso realizado con éxito al momento de crear, modificar o eliminar perfiles de cultivos</p>
----------------	--

REQUISITO FUNCIONAL 5

Crear, modificar o eliminar Gateway

BD: idHistoricoGateway, codigo, latitud, longitud

Administrador

<i>Introducción</i>	El sistema da al administrador la opción de crear, modificar o eliminar perfiles de cultivos.
<i>Proceso</i>	El administrador selecciona en el panel que opción quiere realizar, limita la búsqueda número de identificación, código, latitud y longitud al que pertenece.
<i>Entradas</i>	Número de Identificación, código, latitud, longitud.
<i>Salidas</i>	<p>Mensaje de error en caso de que no exista el parámetro en la base de datos</p> <p>Mensaje de error en caso de intentar modificar el proceso con datos incoherentes</p> <p>Mensaje de proceso realizado con éxito al momento de crear, modificar o eliminar Gateway</p>

REQUISITO FUNCIONAL 6

Asignación de Nodos a Gateway

BD: idInventarioGateway, idInventarioNodos

Administrador

<i>Introducción</i>	El sistema permite al administrador asignar los nodos que están comunicados a un Gateway
<i>Proceso</i>	El administrador selecciona el menu de asignación en opción nodos a Gateway, y asigna el id del nodo o los nodos asociados al Gateway
<i>Entradas</i>	Número de identificación del nodo, número de identificación del Gateway
<i>Salidas</i>	<p>Mensaje de error en caso de que no exista el parámetro en la base de datos</p> <p>Mensaje de error en caso de intentar asignar al Gateway un nodo ya asignado</p> <p>Mensaje de proceso realizado con éxito.</p>

REQUISITO FUNCIONAL 7

Asignación de Gateway a usuarios

BD: Usuario_idUsuario, idInventarioNodos, latitud, longitud

Administrador

<i>Introducción</i>	El sistema permite al administrador asignar los Gateway a los usuarios.
<i>Proceso</i>	El administrador selecciona el menu de asignación en opción Gateway a usuario, y asigna el id del Gateway, longitud y latitud asociados al usuario.

<i>Entradas</i>	Número de identificación del usuario, número de identificación del Gateway, latitud, longitud
<i>Salidas</i>	Mensaje de error en caso de que no exista el parámetro en la base de datos Mensaje de error en caso de intentar asignar al usuario a un Gateway ya asignado Mensaje de proceso realizado con éxito.

REQUISITO FUNCIONAL 5

Consultas de Usuarios

BD: idUsuario

Usuario

<i>Introducción</i>	El usuario realiza las consultas correspondiente a los datos obtenidos por los nodos desplegados en sus cultivos.
<i>Proceso</i>	El usuario selección en la interfaz de consulta la información que desea obtener
<i>Entradas</i>	idUsuario
<i>Salidas</i>	Interfaz con la información asociada a la búsqueda del usuario Mensaje de error en caso de que no exista el parámetro en la base de datos

ii. Requerimientos no Funcionales

En la Tabla 26 se muestran los aspectos relacionados a la organización de los requerimientos.

Tabla 26: Organización de Requerimientos

Identificador	Identifica el requerimiento dentro de este documento.
<i>Prioridad</i>	Importancia para manejar el orden de implementación. La priorización se hace a partir de los requerimientos que el equipo considera más importantes a partir de las reuniones con el cliente.
<i>Estado</i>	El porcentaje de cumplimiento del requerimiento.
<i>Versión</i>	Versión según las modificaciones que se le han hecho al requerimiento.
<i>Fecha última modificación</i>	Fecha en que se modificó por última vez el requerimiento.
<i>Razón de ser</i>	Explicación de por qué el requerimiento está en SRS.
<i>Requerimientos Asociados</i>	Requerimientos que están asociados.

Con los requerimientos relacionados a la administración de fallos que pueden ocurrir en el sistema, principalmente hay que asegurar los tópicos mencionados en la Tabla 27 con el fin de garantizar su correcto funcionamiento durante el periodo de ejecución. Para esto, se utilizarán patrones de diseños que han sido ampliamente

estudiados y probados. A continuación, se enumeran los requerimientos identificados para la confiabilidad del sistema.

Tabla 27: Requerimientos para la confiabilidad de un sistema

Requerimiento	Descripción
<i>Fallos</i>	El sistema deberá reportar los fallos encontrados.
<i>Seguridad</i>	El sistema debe proteger la información que se maneje, para esto se utilizara la autenticación de usuarios.

Cuando se habla de requerimientos para garantizar la capacidad para que el sistema cumpla con los objetivos de los requerimientos funcionales, el sistema debe presentar una respuesta rápida las peticiones que se realizan, con el fin de garantizar uno de los principales objetivos de propuestos para la optimización de procesos y recursos en el sector agrícola. Desde el punto de vista de gestión de datos, el sistema debe estar diseñado de forma eficiente como se describe en la Tabla 28.

Tabla 28: Requisitos de Rendimiento

Requerimiento	Descripción
<i>Tiempo de Respuesta</i>	El sistema deberá responder de manera rápida a las consultas solicitadas por los usuarios, por esta razón se propone el uso de algoritmos efectivos (se desprecia los problemas producidos por conectividad de los proveedores de servicio de Internet).
<i>Introducción de Datos</i>	Los datos que se agregan al sistema por parte de los usuarios y los administradores deben estar en la base de datos lo más pronto posible para que puedan ser procesados en tiempo real.
<i>Toma de Datos</i>	Los datos tomados por los sensores, deben ser procesados y enviados por el Gateway respectivo de manera ágil para cumplir con el objetivo de optimización de recursos y procesos.

La compatibilidad del sistema debe ser vista desde los aspectos relacionados a los requerimientos, ajustando lo anterior, el sistema al ser presentado en una plataforma web, debe ser compatible con los diferentes navegadores web que hay en el mercado y ser accedido con configuraciones de estilo específicas tanto para computadores, como para dispositivos móviles como tabletas y celulares inteligentes.

Los componentes comprados para el desarrollo del sistema se dividen en dos tipos, los tipos hardware y los tipos software que se muestran de manera amplia en las Tablas 25 y 26. El sistema está desarrollado con el modelado COCOMO intermedio y semi-Separado, lo que significa que debe tener en cuenta aspectos de hardware, dando como principal importancia el valor de la comunicación de datos, que tiene sólo toma en cuenta el envío de datos a los usuarios o clientes finales desde el servidor sobre el cual está montada la página web.

Tabla 29: Interfaces de Hardware

Identificación		Descripción
<i>Puerto TCP</i>		Utilizará el protocolo 8080 http con el que se hace la conexión a internet, este protocolo permitirá la conexión cliente-servidor. Protocolo 3036, que permitirá la comunicación con la base de datos.
<i>Parte (Cableado y conexión)</i>	<i>Física y</i>	Se dará mediante el cableado UTP que permite la conexión con LAN Ethernet, por medio de este se pretende cubrir que la información agregada al sistema pueda verse en tiempo real desde otros lugares.
<i>Protocolo DHCP²⁰</i>		Provee los parámetros de configuración a un host de Internet. Consiste en dos componentes: un protocolo para la entrega de los parámetros de configuración específicas de servidor de un servidor DHCP a un host y un mecanismo para la asignación de direcciones de red a los hosts.

A continuación, (ver Tabla 30) se presentan las aplicaciones a nivel software que interactúan o hacen parte del sistema o para el funcionamiento de este.

Tabla 30: Interfaces de Software

Software	Descripción	Propósito	Versión
<i>Windows</i>	Sistema operativo	El sistema operativo sobre el cual se desarrolla el proyecto	Windows 10
<i>Arduino ide</i>	Es un software para la programación de Arduinos de código abierto. Es útil para escribir código y subirlo a la placa, está basado en java.	Programa a nivel de hardware los nodos y Gateway del sistema.	ARDUINO 1.6.11
<i>Django</i>	Es un framework de desarrollo web de código abierto, escrito en Python, que respeta el patrón de diseño conocido como Modelo–vista–controlador.	Programar a nivel de software los componentes de la aplicación web.	DJANGO 1.10.1
<i>Sublime text 3</i>	Es un sofisticado editor de texto enfocado a código y etiquetas	Programar y editar a nivel de software el entorno de la página web.	Sublime Text 3, Build 3114

²⁰ *Dynamic Host Configuration Protocol (DHCP)*

<i>Mysql workbench</i>	Herramienta de diseño de base de datos que integra desarrollo de software, administración de bases de datos, diseño de bases de datos, creación y mantenimiento para el sistema de base de datos MySQL.	Se hará el diseño de la base de datos del sistema, al igual que también se administran las bases de datos.	MySQL Workbench 63CE
------------------------	---	--	----------------------

Las interfaces de comunicación deben estar pensadas para ser implementadas en un ambiente rural, pero deben cumplir con el requisito de enviar los datos tomados desde el Gateway hasta el servidor, para ser procesados y enviados a una aplicación web. A continuación, se describen las interfaces de comunicación utilizadas (ver Tabla 31).

Tabla 31: Interfaces de Comunicación

Interfaz	Descripción	Propósito
<i>Google Chrome</i>	Navegador Web	El navegador sobre el cual correrá el sistema
<i>Red WiFi</i>	Es un mecanismo de conexión de dispositivos electrónicos de forma inalámbrica	Enviar la información recolectada por los sensores desde el Gateway hasta el servidor.
<i>Red LAN</i>	Grupo de equipos que pertenecen a la misma organización y están conectados dentro de un área geográfica pequeña a través de una red, generalmente con la misma tecnología.	Red mediante la cual viajaran los datos que se generen en el sistema. Al igual que se dará la visualización de la página WEB
<i>Radiofrecuencia</i>	Es una red local que utiliza tecnología de radio frecuencia para enlazar los equipos conectados a la red en lugar de los medios utilizados en las LAN convencionales cableadas.	Está integrado en los nodos y el Gateway para realizar la comunicación y el envío de datos.

4.2.2.3 Plan de Aseguramiento de Calidad

Cuando se habla del desarrollo de software, es indiscutible mencionar el aseguramiento de calidad, ya que es uno de los factores más importantes en las fases de desarrollo, es decir, el planteamiento de un modelo que contenga todas las acciones necesarias para brindar confianza a los clientes y usuarios finales con respecto a todos los requerimientos establecidos.

El propósito del plan de aseguramiento de calidad tiene como propósito especificar las actividades y su respectivo monitoreo para asegurar la calidad del proyecto. Cuenta con información detallada del producto y los estándares, normas, métodos y procedimientos que se van a aplicar para la revisión de calidad del software, la idea principal es asegurar que en el desarrollo del software se van tener en cuenta los aspectos asociados al ciclo de vida SCRUM. Otro de los propósitos principales es hacer evidente las fallas encontradas en el sistema, para la generación se su respectivo plan de seguimiento hasta que se consiga su completa corrección.

El aseguramiento de calidad del proyecto en desarrollo está a cargo de los responsables de la gestión del proyecto. Su función es asegurar que los procesos establecidos para garantizar la calidad del software sean implementados, al igual que el proceso de desarrollo cumpla con los criterios establecidos. El responsable tiene la libertad de reportar fallas y posibles errores a los desarrolladores del proyecto.

Las tareas y responsabilidades otorgadas para el desarrollo del proyecto del plan de aseguramiento de calidad están adheridas a las iteraciones o Sprint propios del ciclo de vida SCRUM mencionadas en el Plan de Desarrollo de Proyecto. En la Tabla 32 se describen de manera específica.

Tabla 32: Actividades y Responsabilidades

Actividad	Documento Asociado	Responsable
<i>Identificación de métodos, estándares, procedimientos y normas para asegurar la calidad.</i>	Aseguramiento de Calidad de Software	Gerente de Desarrollo del Sistemas
<i>Evaluación de requerimientos</i>	Especificación de Requerimientos	Gerente de Desarrollo del Sistemas
<i>Evaluación Diseño de Software</i>	Plan de Desarrollo	Gerente de Desarrollo Técnico del Sistema
<i>Evaluación de pruebas a los objetivos del Sprint</i>	Plan de Pruebas	Gerente de Desarrollo del Sistemas
<i>Evaluación de los procesos de corrección</i>	Aseguramiento de Calidad de Software	Gerente de Desarrollo Técnico del Sistema

Para delegar las responsabilidades respecto a la revisión de actividades se debe identificar métodos, estándares, procedimientos y normas. Con el fin de llevar a cabo este proceso se divide las responsabilidades en dos tipos como muestra la Tabla 33.

Tabla 33: Responsabilidades para el Desarrollo del Software de Calidad

Responsabilidades	
Equipo de desarrollo de software	Clientes
<i>Desarrollar un producto que siga los lineamientos establecidos.</i>	Entregar la información necesaria para el desarrollo del software.
<i>Generar la información pertinente para el entendimiento del software descrita en el siguiente numeral del presente documento.</i>	Brindar los recursos y condiciones necesarias para la elaboración del software
<i>Corregir los errores y posibles errores identificados durante el desarrollo del software.</i>	Ser participe en las reuniones que se realizan al finalizar cada sprint durante el desarrollo del software.

Los estándares de calidad para el desarrollo de software brindan los cimientos sobre los cuales se construirá un software de calidad, el fin de estos es proveer una base para la evaluación y medición de las actividades; y de los productos de trabajo durante el ciclo de vida del desarrollo del software. En conclusión, estos estándares establecen un marco de trabajo en el cual se tendrá en cuenta los aspectos críticos del software.

Las temáticas contenidas en los estándares varían según las necesidades. Por lo tanto, la estandarización se aplicará para llevar a cabo el cubrimiento de, el ciclo de vida del software, la documentación, el código fuente.

Los estándares ANSI/IEEE que están orientados al aseguramiento de calidad son:

- Estándar 730-2014²¹, proporciona la estructura de la documentación de plan de aseguramiento de calidad.
- Estándar 1061-1998²², definición de métricas para productos y para procesos, así como procedimientos para la recogida de valores de métricas.

En la Tabla 34 se describe la información que contiene cada uno de los estándares mencionados.

Tabla 34: Estándares de Aseguramiento

Documento	Estándares que describe
<i>Plan de desarrollo</i>	Estándares y convenciones de quien, cuando, como y donde se desarrolla el software.
<i>Plan de pruebas</i>	Estándares de identificación y seguimiento de riesgos.
<i>Plan de aseguramiento de calidad</i>	Normas a seguir durante el desarrollo del software.
<i>Especificación de Requerimientos del software</i>	Estándares de codificación y diseño

²¹ 730-2014 - IEEE Standard for Software Quality Assurance Processes,

²² 1061-1998 - IEEE Standard for a Software Quality Metrics Methodology

Existen diferentes modelos que describen métricas para la realización de un correcto plan de aseguramiento de calidad. Uno de estos modelos es el de McCall, en el cual los factores se centran en tres aspectos importantes de un producto de software: (i) Operación del producto de software con sus características operativas; (ii) Revisión del producto y su capacidad de soportar cambios y; (iii) Transición del producto y su adaptabilidad a nuevos entornos.

Este modelo toma como referencia los factores que afectan la calidad del software como se muestran en la Figura 22.

Factores de Referencia	Operación del Producto	Integridad	¿Es seguro?
		Corrección	¿Hace el software lo que yo quiero?
		Confiabilidad	¿Lo hace de forma exacta todo el tiempo?
		Eficiencia	¿Se ejecutará sobre mí HW lo mejor posible?
	Revisión del Producto	Facilidad de Mantenimiento	¿Puedo arreglarlo?
		Facilidad de Pruebas	¿Puedo probarlo?
		Flexibilidad	¿Puedo modificarlo?
	Transición del Producto	Reusabilidad	¿Podré reutilizar parte del software?
		Interoperación	¿Podré comunicarlo con otros sistemas?
		Portabilidad	¿Podré utilizarlo en otra computadora?

Figura 21: Modelo de McCall
Fuente: Elaboración Propia

Estos tres aspectos que maneja el modelo de McCall, se definen a partir de la visión general del usuario del software, cada uno involucra atributos de calidad o criterios de calidad, que a su vez se miden por ciertos factores de algunas características del producto de software los cuales son indicadores de un determinado atributo. En los numerales anteriores se describieron los criterios que debe cumplir el producto para cubrir las expectativas del usuario final, con esto se asegura la buena calidad (UNAM, 2007).

La problemática general a la que se enfrenta el software es:

- Ausencia de especificaciones completas, coherentes y precisas previas por parte del cliente, así como posteriores por parte de los proveedores del software.
- Ausencia de la aplicación sistemática de métodos, procedimientos y normas de ingeniería del software.
- Escasez o ausencia de entornos integrados de programación.
- Escasez de uso de técnicas actuales y automatizadas para la gestión de proyectos.
- Escasez de personal con formación y experiencia en los nuevos métodos, normas y uso de entornos y utilidades de programación.

- Otros derivados del grado de desarrollo técnico y organizativo de cada compañía.
- El aumento de la complejidad de las aplicaciones sin la adopción de los procesos adecuados de desarrollo contribuye a obtener un producto de mayor calidad y a menor costo.

Por esta razón tener implantada en el sistema calidad, significa contar con metodologías y sistemas de información que controle y coordinen el sistema.

La responsabilidad de las revisiones y el plan de auditoria recaen sobre la estructura organizacional del equipo de desarrollo del proyecto.

Las revisiones y auditorias son realizarlas a medida que se termina cada uno de las fases (sprint) dados por el ciclo de vida (SCRUM), su propósito es:

- Conocer el progreso alcanzado en el desarrollo.
- Evaluar el ajuste de los requerimientos del sistema.
- Evaluar la eficiencia en el trabajo.

Las revisiones y auditorias se realizan sobre los requisitos del software con el fin de evaluar las especificaciones de requerimientos, asegurar que los requerimientos establecidos sean correctos y estén completos y, por último, garantizar la calidad, viabilidad e integridad de los requerimientos establecidos.

A continuación, se describe el mecanismo que se utilizó para llevar a cabo dichas revisiones y auditorias. Se revisaron los productos que se definen como claves para verificar el cumplimiento de las actividades definidas en el proceso, durante todo el ciclo de vida del software.

Se debe recoger la información necesaria en cada iteración, con el fin de poder tener un histórico, con el cual se pueda controlar el cumplimiento del proceso generado. La información enteramente descrita también se obtiene de los siguientes documentos del Plan de Desarrollo, Especificación de Requerimientos y Plan de Pruebas.

Se debe verificar si todos los pasos del proceso de desarrollo son seguidos apropiadamente, y antes de comenzar, se debe verificar en los informes de revisión previos que todas las desviaciones fueron corregidas, si no es así, las faltantes se incluyen para ser evaluadas.

Como salida se obtiene el Informe de revisión de SQA correspondiente a la evaluación de ajuste al Proceso, que contiene todas las desviaciones o defectos encontrados durante la revisión. Este informe debe ser distribuido a los responsables de las actividades y se debe asegurar que ellos son conscientes de las desviaciones o discrepancias encontradas y de las acciones correctivas que deben realizar.

Las técnicas y metodología usadas para llevar a cabo el plan de aseguramiento van ligadas a la revisión de estándares, inspección del software, verificación y validación de requerimientos, validación de diseño, mediciones y evaluación de fiabilidad y modelado UML.

4.2.2.4 Plan de Pruebas

El plan de pruebas de software tiene como fin especificar los elementos y componentes del sistema que van a ser probados por el grupo de trabajo para realizar el proceso de validación y verificación de los requerimientos funcionales. Por medio del plan de pruebas también se puede contribuir a la trazabilidad de los requerimientos e identificar el porcentaje de avance.

El desarrollo del plan de pruebas brinda información sobre errores, defectos o fallas en el prototipo, para de esta manera, realizar las correcciones pertinentes, según el caso, asegurando la calidad del sistema. Los resultados del plan de pruebas son registrados en el reporte de pruebas, que incluye pruebas unitarias y de integración que son vitales para la validación del producto.

Los módulos de programación que se probaron, además de las especificaciones de las pruebas se muestran a continuación. Cada módulo representa un componente del sistema. Los tópicos a manejar y los módulos a probar en el sistema se muestran en la Figura 23 y Tabla 35.

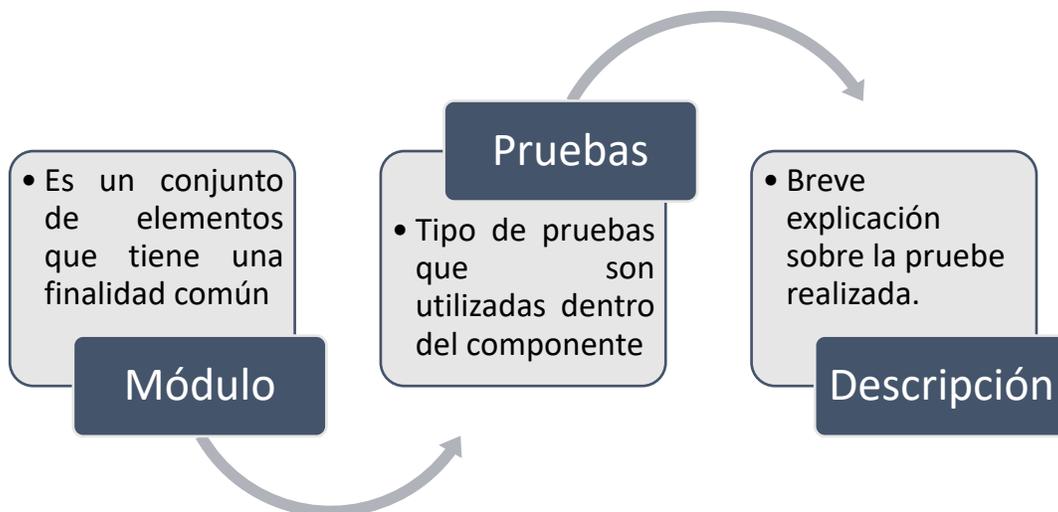


Figura 22: Módulos del Programa
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 35: Módulos para probar el sistema

Módulo	Prueba	Descripción
GUI ²³	Facilidad de uso	Consiste en el conocimiento que tienen los usuarios en los procesos del sistema.
	Apariencia y Sensación	Está enfocado a la percepción que tienen los usuarios con respecto al diseño del sistema
Lógica de Negocio	Funcionalidad nivel Software	El sistema debe cumplir con todos los requisitos funcionales establecidos.
	Funcional nivel Hardware	El sistema hardware de cumplir con las necesidades establecidas para el funcionamiento a nivel software del sistema.
DAO ²⁴	Persistencia	El sistema debe tener la capacidad de guardar datos para ser usados en otro momento, además debe existir el acceso a ellos sin problemas en la consistencia e integridad.
No Funcionales	Requerimientos No Funcionales	El sistema debe cumplir con todos los requerimientos no funcionales que se especificaron en el plan de especificación de requerimientos.

Para utilizar los módulos de manera correcta se necesitan guías claras, correctas, completas y coherentes, con el fin de que el usuario pueda manejar el sistema de forma óptima, comprendiendo de esta manera los conceptos de funcionalidad. A continuación, se prestan los diferentes atributos de calidad de procedimientos:

- *Clara*, las instrucciones proporcionadas para el manejo del sistema deben ser explícitas.
- *Correcta*: no deben existir errores semánticos, sintácticos, ortográficos ni de enlace dentro de las instrucciones de manejo del sistema
- *Completa*: la información debe estar completa, desde la parte técnica hasta la parte funcional.
- *Coherente*: se deben eliminar las ambigüedades e incongruencias dentro de las instrucciones de uso del sistema.

Las características que son validadas y verificadas en el sistema, se presentan en la Tabla 36.

Tabla 36: Pruebas que se validaran en el sistema

Característica	Descripción	Módulo
Requerimientos Funcionales	Se deben realizar pruebas de la correcta articulación de los requisitos funcionales del sistema. Mediante la integración del modelado UML se podrá obtener más claridad de la funcionalidad de estas.	Lógica de Negocios DAO
Requerimientos No Funcionales	Se deben realizar pruebas de la correcta articulación de los requerimientos no funcionales al sistema	No funcionales
Procedimientos de usuario	La prueba del procedimiento de los usuarios se realizará desde el despliegue y socialización del sistema en el municipio de Cáchira, Norte de Santander, en el Instituto	Procedimientos de Usuario

²³ *Graphical User Interface*, actúa como interfaz de usuario.

²⁴ *Data Access Object*, es un componente de software que suministra una interfaz entre la aplicación y los componentes de almacenamiento de datos.

	Agrícola, con la presencia de estudiantes y agricultores de la región.	
GUI	Se llevarán a cabo con las pruebas de procedimientos del usuario.	GUI

4.2.2.5 Modelado UML

El Lenguaje de Modelado Unificado (UML por sus siglas en ingles), es un lenguaje estándar utilizado para describir diseños de software. Su uso va ligado a visualizar, especificar, construir y documentar artefactos de un sistema. En otras palabras, son los planos y la arquitectura de la construcción del software (Pressman, 2010).

UML proporciona 13 diferentes diagramas para el modelado de software, para usos prácticos serán usados solamente: (i) Diagramas de Casos de Uso, (ii) Diagrama de Secuencia; (iii) Diagrama de Clase y; (iv) Diagrama Entidad Relación.

(i). Diagramas de Casos de Uso

Los diagramas de caso de uso se utilizan para modelar el sistema desde el punto de vida de los usuarios, y de esta manera representar las acciones que realiza cada tipo de usuario. En la Figura 24 se presenta el diagrama de casos de usos asociado al desarrollo del sistema. En la Tabla 37 se presentan los autores y casos de usos del sistema.

Tabla 37: Autores y Casos de Uso del Sistema

Autores	Casos de Uso
Administrador Usuario	Administrar
	Usuario
	Nodos
	Gateway
	Registrar
	Consulta
	Perfiles de Usuario

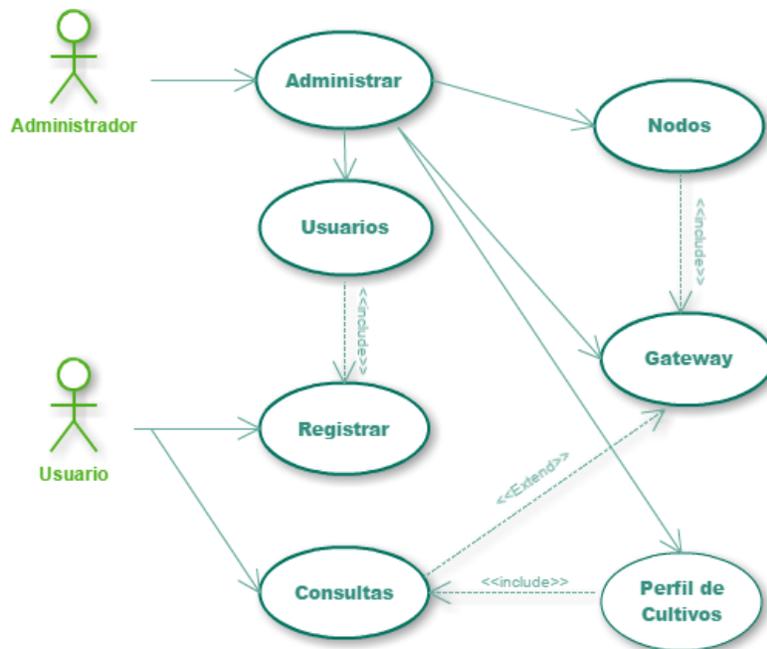


Figura 23: Diagrama de Casos de Uso
Fuente: Elaboración Propia

(ii). Diagramas de Secuencia

Los diagramas de secuencia muestran la secuencia de mensajes entre objetos durante un escenario, en la parte superior aparecen los objetos que intervienen, la dimensión se indica verticalmente, las líneas verticales indican el periodo de vida de cada objeto, el paso de mensaje se indica con flechas horizontales u oblicuas y la realización de una acción se indica con rectángulos sobre las líneas de actividad del objeto que realiza la acción.

Para el uso práctico en el desarrollo del sistema, se presentan los diagramas de secuencia asociados a los requisitos funcionales del software.

- Requisito Funcional 1, Autenticación de Usuario

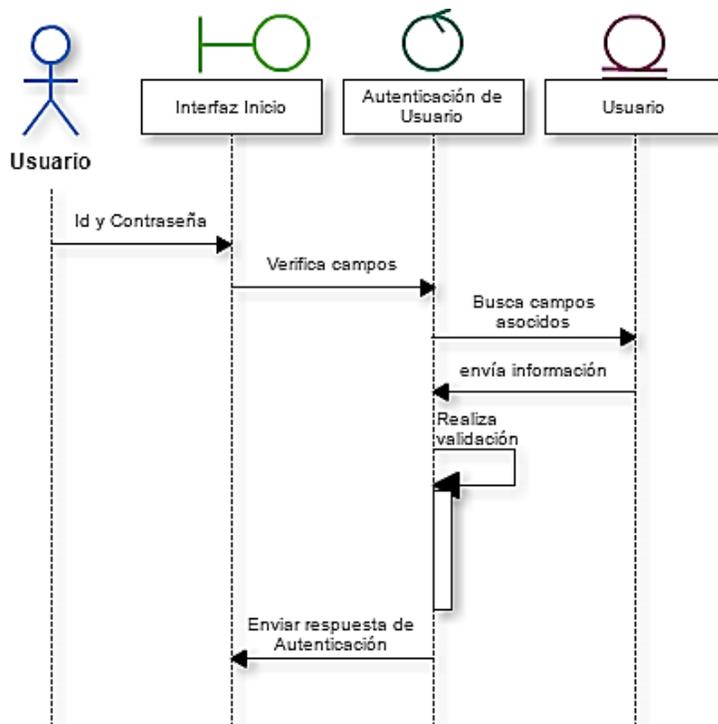


Figura 24: Diagrama Secuencial de autenticación de usuario
Fuente: Elaboración propia

Tabla 38: Secuencia autenticación de usuario

<i>Nombre</i>	Atención de usuarios
<i>Descripción</i>	Se realiza la autenticación de usuarios
<i>Autor</i>	Usuario
<i>Precondición</i>	El usuario debe estar en la base de datos del sistema
<i>Flujo Normal</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. El sistema muestra la interfaz de autenticación 2. El introduce los campos de número de identificación y contraseña 3. El sistema procesa los datos. 4. La interfaz muestra un mensaje dependiendo del éxito o fallo del proceso
<i>Flujo Alternativo</i>	No existe

- Requisito Funcional 2, Crear, modificar o eliminar usuarios

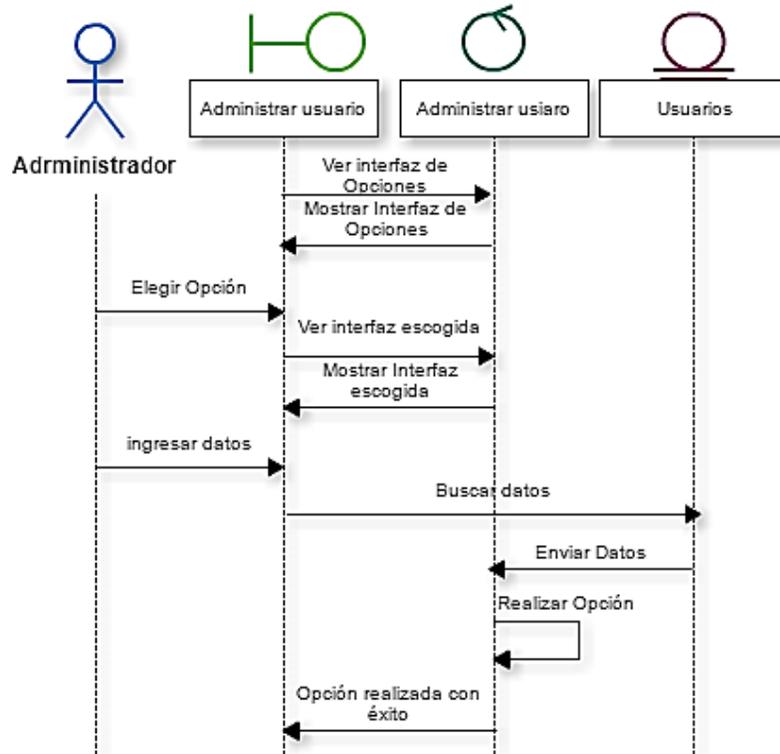


Figura 25: Diagrama de Secuencia, Administrar Usuario
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 39: Crear, modificar o eliminar usuarios

<i>Nombre</i>	Administrar Usuario
<i>Descripción</i>	El autor puede crear, modificar o eliminar usuarios
<i>Autor</i>	Administrador
<i>Precondición</i>	El Administrador debe estar autenticado en el sistema.
<i>Flujo Normal</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. El sistema muestra la interfaz de opciones de usuarios 2. El autor selecciona la opción a ejecutar (Crear, modificar o eliminar) 3. El autor introduce el parámetro de búsqueda para seleccionar un usuario (Nombre, Número de Cédula, Id) 4. El sistema muestra la interfaz de la opción seleccionada 5. El autor introduce los datos pedidos por la interfaz 6. El autor ejecuta el control 7. El sistema realiza la acción 8. El sistema muestra el resultado de la acción
<i>Flujo Alternativo</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. El actor modifica directamente los parámetros en la base de datos.

- Requisito Funcional 3, Crear, modificar o eliminar nodos

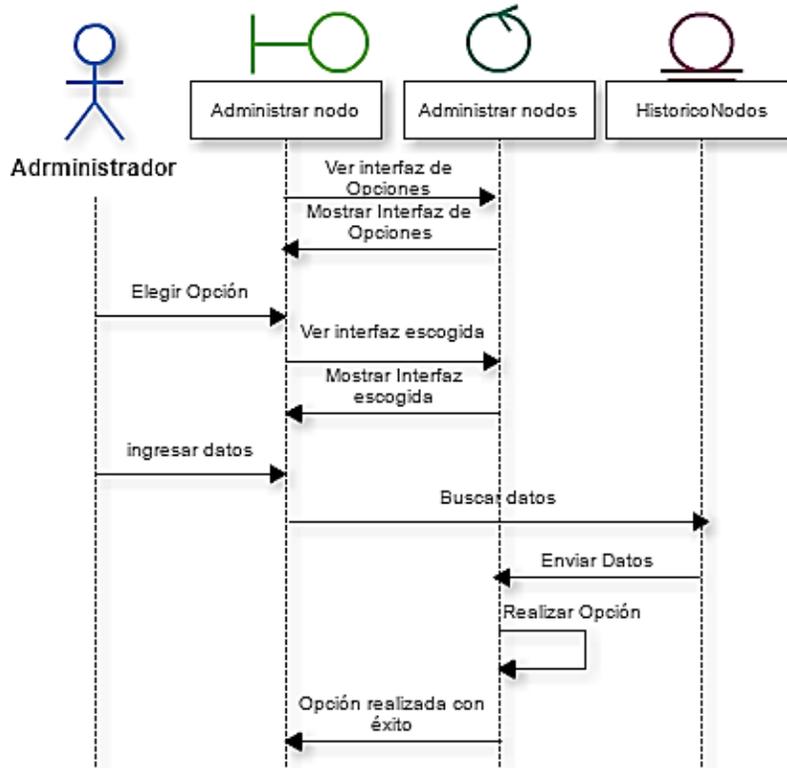


Figura 26: Diagrama de Secuencia, Administrar Nodos
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 40: Crear, modificar o eliminar nodos

<i>Nombre</i>	Administrar Nodos
<i>Descripción</i>	El autor puede crear, modificar o eliminar nodos
<i>Autor</i>	Administrador
<i>Precondición</i>	El Administrador debe estar autenticado en el sistema.
<i>Flujo Normal</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. El sistema muestra la interfaz de opciones de nodos 2. El autor selecciona la opción a ejecutar (Crear, modificar o eliminar) 3. El autor introduce el parámetro de búsqueda para seleccionar un usuario (Código, Id) 4. El sistema muestra la interfaz de la opción seleccionada 5. El autor introduce los datos pedidos por la interfaz 6. El autor ejecuta el control 7. El sistema realiza la acción 8. El sistema muestra el resultado de la acción
<i>Flujo Alternativo</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. El actor modifica directamente los parámetros en la base de datos.

- Requisito Funcional 4, Crear, modificar o eliminar perfil de cultivo

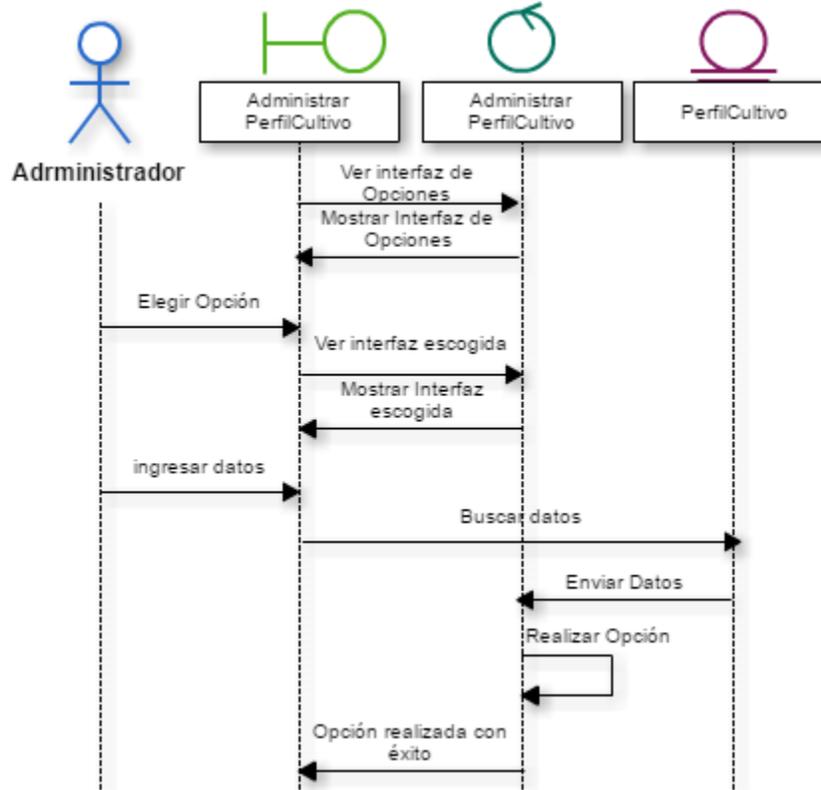


Figura 27: Diagrama Secuencia, Administrar Cultivo
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 41: Crear, modificar o eliminar perfil de cultivo

<i>Nombre</i>	Administrar Perfil de Cultivo
<i>Descripción</i>	El autor puede crear, modificar o eliminar perfiles de los cultivos
<i>Autor</i>	Administrador
<i>Precondición</i>	El Administrador debe estar autenticado en el sistema.
<i>Flujo Normal</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. El sistema muestra la interfaz de opciones de nodos 2. El autor selecciona la opción a ejecutar (Crear, modificar o eliminar) 3. El autor introduce el parámetro de búsqueda para seleccionar un usuario (Nombre, Id) 4. El sistema muestra la interfaz de la opción seleccionada 5. El autor introduce los datos pedidos por la interfaz 6. El autor ejecuta el control 7. El sistema realiza la acción 8. El sistema muestra el resultado de la acción
<i>Flujo Alternativo</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. El actor modifica directamente los parámetros en la base de datos.

- Requisito Funcional 5, Crear, modificar o eliminar Gateway

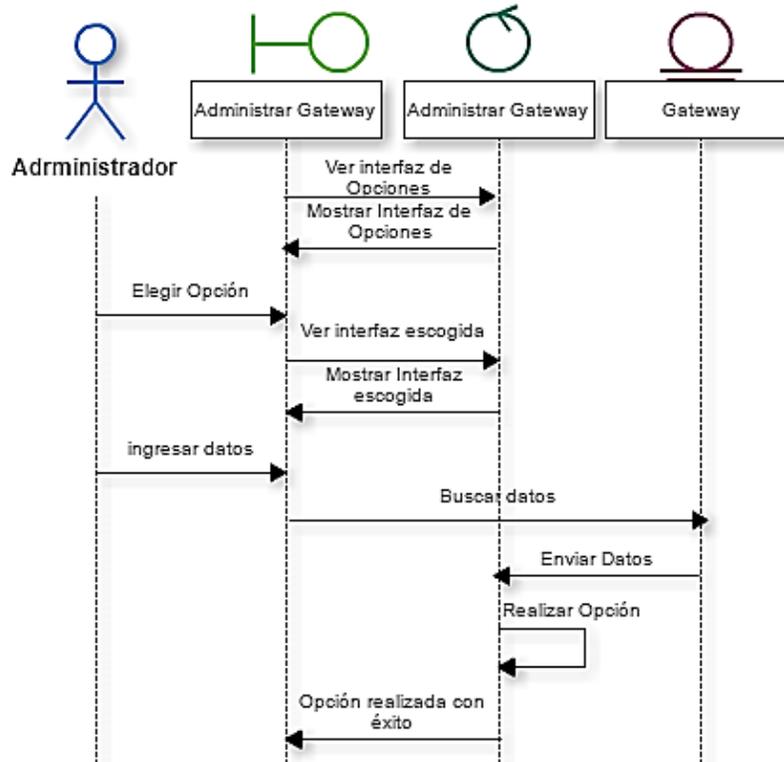


Figura 28: Diagrama Secuencia, Administrar Gateway
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 42: Secuencia Crear, modificar o eliminar Gateway

<i>Nombre</i>	Administrar Gateway
<i>Descripción</i>	El autor puede crear, modificar o eliminar Gateway
<i>Autor</i>	Administrador
<i>Precondición</i>	El Administrador debe estar autenticado en el sistema.
<i>Flujo Normal</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. El sistema muestra la interfaz de opciones de Gateway 2. El autor selecciona la opción a ejecutar (Crear, modificar o eliminar) 3. El autor introduce el parámetro de búsqueda para seleccionar un usuario (Id, código, latitud, longitud) 4. El sistema muestra la interfaz de la opción seleccionada 5. El autor introduce los datos pedidos por la interfaz 6. El autor ejecuta el control 7. El sistema realiza la acción 8. El sistema muestra el resultado de la acción
<i>Flujo Alternativo</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. El actor modifica directamente los parámetros en la base de datos.

- Requisito Funcional 6, Asignación de nodos a Gateway

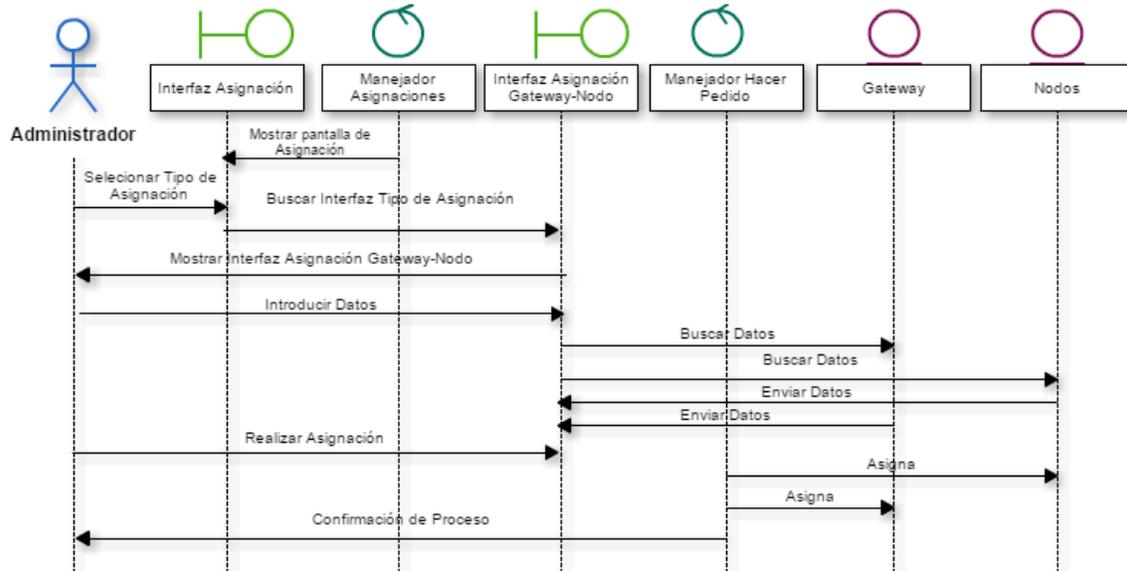


Figura 29: Diagrama de Secuencia, Asignación de Nodo a Gateway
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 43: Secuencia Asignación de nodos a Gateway

Nombre	Asignación Nodos-Gateway
Descripción	El autor puede asignar nodos al Gateway
Autor	Administrador
Precondición	El Administrador debe estar autenticado en el sistema. El nodo debe registrado en el sistema
Flujo Normal	<ol style="list-style-type: none"> 1. El sistema muestra la interfaz de asignación de nodos a Gateway 2. El autor selecciona el Gateway al que va a asignar nodos. 3. El sistema muestra las opciones del Gateway 4. El autor selecciona el Nodo o nodos que va a asignar al Gateway 5. El sistema muestra la interfaz de opciones 6. El autor introduce los datos pedidos por la interfaz 7. El autor ejecuta el control 8. El sistema realiza la acción 9. El sistema muestra el resultado de la acción
Flujo Alternativo	<ol style="list-style-type: none"> 1. El actor modifica directamente los parámetros en la base de datos.

- Requisito Funcional 7, Asignación de Gateway a usuarios

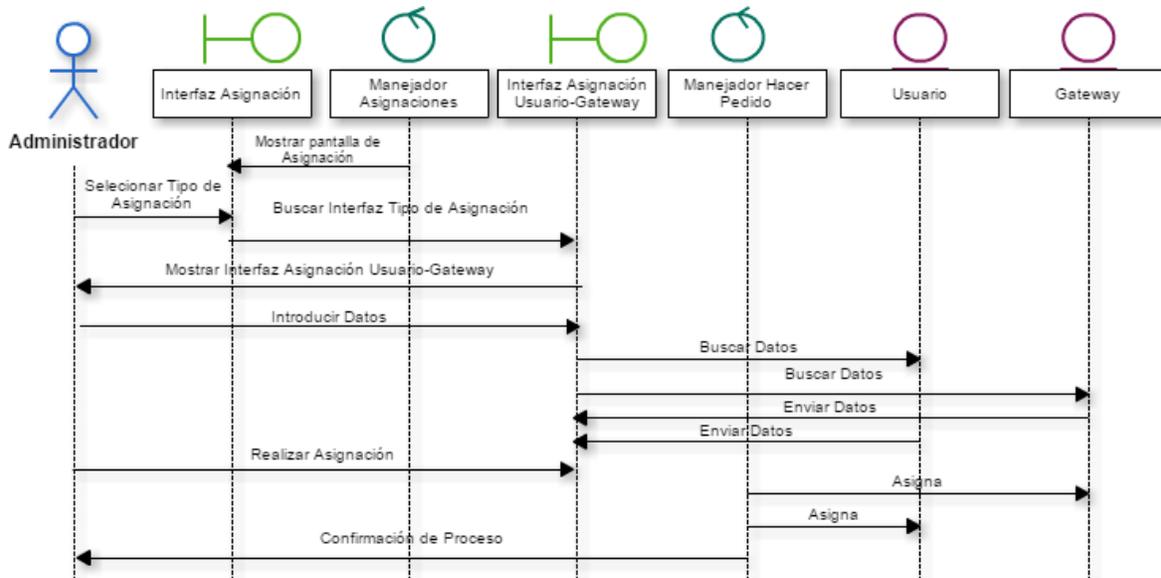


Figura 30: Diagrama de Secuencia, Asignar Gateway a Usuario
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 44: Secuencia Asignación de Gateway a usuarios

Nombre	Asignación Gateway-Usuario
Descripción	El autor puede asignar Gateway al usuario
Autor	Administrador
Precondición	El Administrador debe estar autenticado en el sistema. El nodo debe registrado en el sistema
Flujo Normal	<ol style="list-style-type: none"> 1. El sistema muestra la interfaz de asignación de Gateway a Usuario 2. El autor selecciona el Usuario al que va a asignar Gateway. 3. El sistema muestra las opciones del Usuario 4. El autor selecciona el Gateway a asignar al Usuario 5. El sistema muestra la interfaz de opciones 6. El autor introduce los datos pedidos por la interfaz 7. El autor ejecuta el control 8. El sistema realiza la acción 9. El sistema muestra el resultado de la acción
Flujo Alternativo	<ol style="list-style-type: none"> 1. El actor modifica directamente los parámetros en la base de datos.

- Requisito Funcional 8, Consultas de Usuario

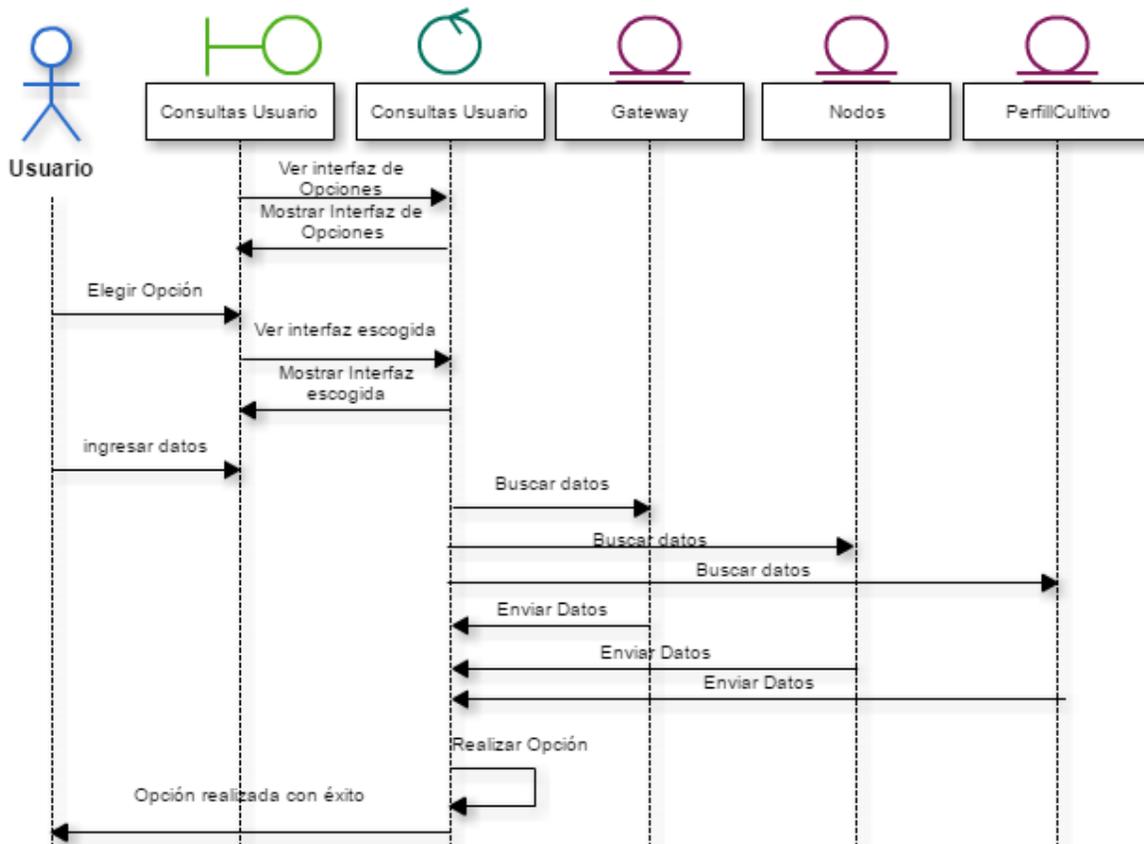


Figura 31: Diagrama Secuencia, Mostrar Opciones Usuario
 Fuente: Elaboración Propia

Tabla 45: Secuencia Consultas de Usuario

Nombre	Consultas de Usuario
Descripción	El autor puede realizar consultas sobre los datos de la red WSN
Autor	Usuario
Precondición	El Usuario debe estar autenticado en el sistema.
Flujo Normal	<ol style="list-style-type: none"> 1. El sistema muestra la interfaz de opciones de usuario 2. El autor selecciona la opción a ejecutar 3. El autor introduce el parámetro de búsqueda 4. El sistema muestra la interfaz de la opción seleccionada 5. El autor introduce los datos pedidos por la interfaz 6. El autor ejecuta el control 7. El sistema realiza la acción 8. El sistema muestra el resultado de la acción
Flujo Alternativo	No está disponible

(iii). Diagrama de Clase

Los diagramas de clase proporcionan una perspectiva estética del sistema. En la Figura 31 se presenta el diagrama de clase del sistema de monitoreo.

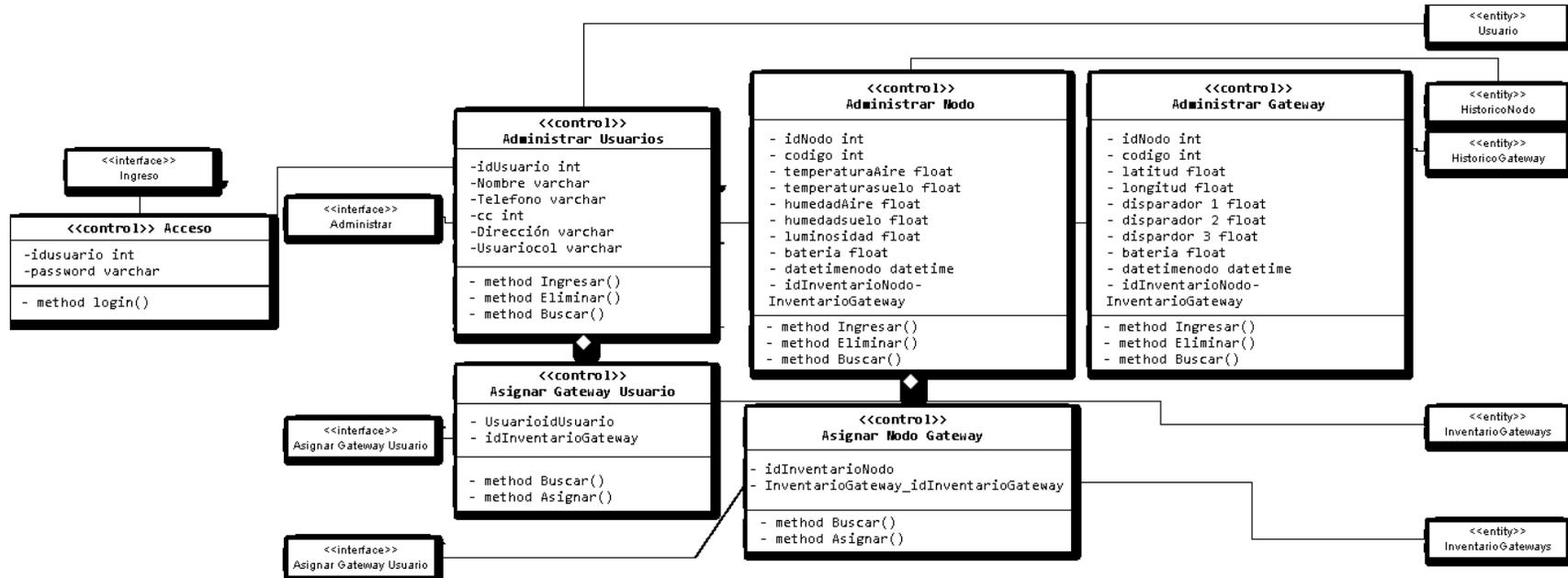


Figura 32: Diagrama de Clases
Fuente: Elaboración Propia

(iv). Diagrama Entidad Relación

Los diagramas de entidad relación ayudan a modelar los componentes de representación de datos del software. En la Figura 31 se presenta en diagrama entidad relación del sistema de monitoreo.

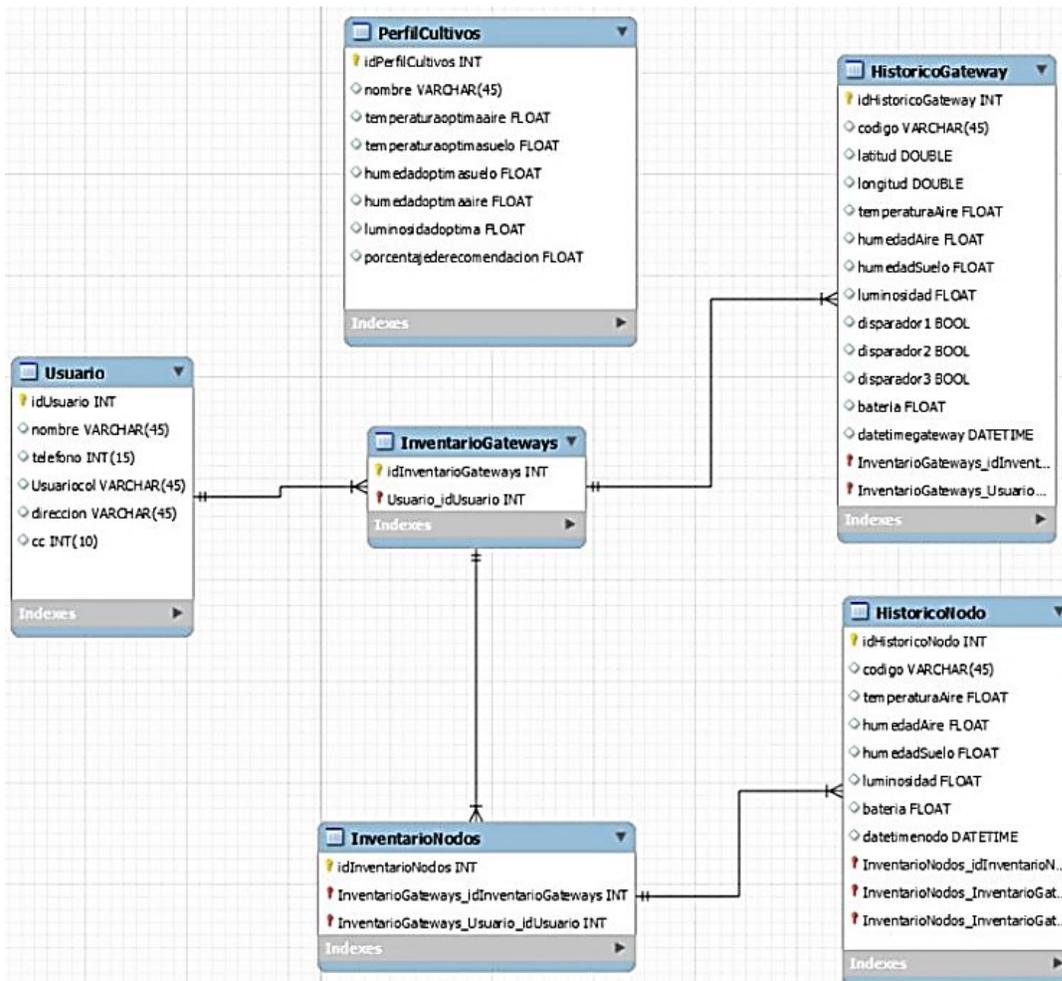


Figura 33: Diagrama Entidad Relación

Fuente: Elaboración Propia

4.3 DESPLIEGUE DEL SISTEMA DE REDES INALÁMBRICAS DE SENSORES EN UN CULTIVO UBICADO EN EL PUEBLO DE CÁCHIRA (NORTE DE SANTANDER).

Una vez desarrollado el prototipo funcional a nivel de software y hardware del sistema de redes inalámbricas de sensores, con el fin de evidenciar el funcionamiento, se lleva a cabo la fase del despliegue del sistema. El despliegue del sistema está enfocado en dos aspectos fundamentales: (i) Arquitectura del sistema WSN; y (ii) Despliegue y Protocolo de pruebas para evidenciar el funcionamiento del sistema.

4.3.1 Arquitectura del sistema WSN

Una red WSN conecta el mundo físico y computacional mediante el monitoreo de los fenómenos ambientales a través de los nodos sensores, estos nodos están conectados de manera inalámbrica y tienen la capacidad de comunicarse con el *Gateway*, enviando los datos capturados por los sensores a la estación central que tiene la capacidad de procesarlos. Desarrollar una aplicación WSN requiere un esfuerzo extenso para identificar los requerimientos claves y los dispositivos que cumplen con las tareas generales y específicas para la implementación.

En la agricultura, las redes WSN juegan un papel importante para la toma de decisiones y la optimización de procesos, al igual que el control de diferentes aspectos que actúan sobre los cultivos. La principal motivación por la cual se desarrolló el proyecto, es identificar una metodología apropiada para la implementación de redes WSN en el sector agrícola de Colombia, esta metodología tiene en cuenta aspectos relacionados a los dispositivos electrónicos apropiados, hasta la arquitectura que se debe implementar, teniendo en cuenta los requisitos característicos de la configuración de los cultivos colombianos.

Para llevar a cabo un apropiado despliegue de la red WSN, se identificaron los siguientes aspectos:

- ✓ Variables climáticas que afectan el área de estudio.
- ✓ Políticas de irrigación teniendo en cuenta las necesidades de los cultivos y el concepto de agricultura de precisión.
- ✓ Medición de aspectos específicos de las condiciones del terreno.
- ✓ Diagnóstico de riesgos agroclimáticos y agroambientales.
- ✓ Optimización de procesos.

Llevando estos aspectos a al nivel del diseño del despliegue del sistema, la aplicación tiene en cuenta los siguientes aspectos:

- ✓ Modelo de tráfico de red, el sistema tiene la capacidad de generar tráfico de red, sólo cuando una condición no usual se presenta.

- ✓ Despliegue de la red, el sistema cuenta una topología estrella, de los nodos sensores al *Gateway*. Luego el *Gateway* transmite los datos al servidor mediante el módulo Wi-Fi.
- ✓ Rango de Radio de los nodos, el nodo cuenta con una frecuencia ultra alta (UHF) de 433 MHz, genera una propagación de onda espacial troposférica, con una atenuación de 1dB.
- ✓ Energía, los nodos se alimentan de la energía guardada en una batería hecha de polímero de ion de litio, que cuenta con una salida de 2300 mA. Esta batería a su vez se carga por la energía captada por un panel solar.

La metodología del despliegue del sistema está conformada por 6 fases que a su vez generan un ciclo de vida. Cada fase presenta una entrada y produce una salida (Ver Figura 34).

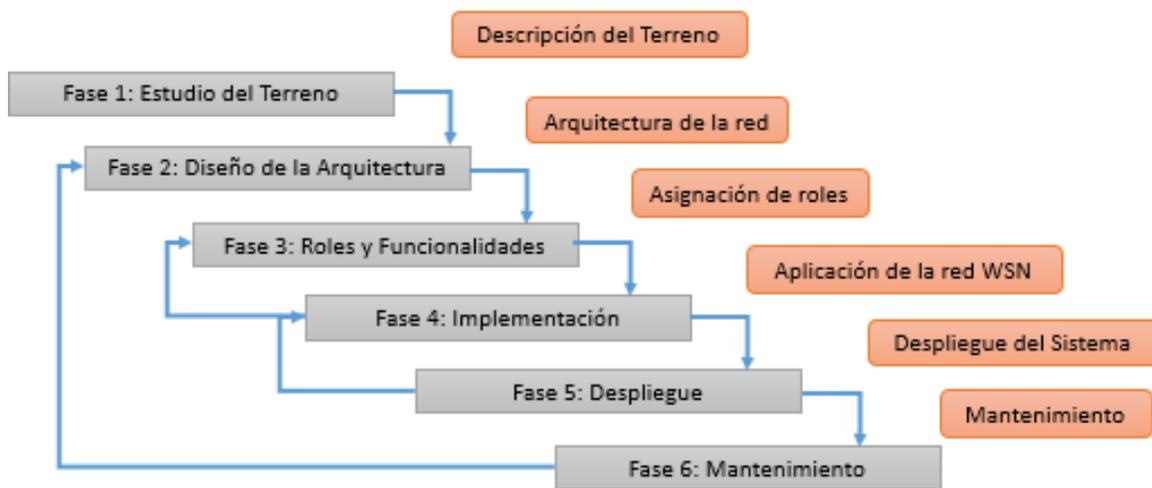


Figura 34: Fases de la metodología y sus respectivas salidas
Fuente: Elaboración Propia.

- Fase 1, Estudio del terreno

En la primera fase se recolectan los datos necesarios para entender las características del terreno que será monitoreado. Las entradas de la fase son: ubicación geográfica, topografía y clima. Dentro de la base de datos del sistema hay una tabla que contiene las características óptimas de los cultivos dependiendo de las entradas del sistema.

- Fase 2, Diseño de la arquitectura de la red

Teniendo en cuenta la topografía del terreno (entrada de la fase), se entraría a elegir la mejor topología que se adapte para el despliegue de la red (salida de la fase). Siendo un objetivo del proyecto la creación de un prototipo funcional, sólo se despliega un nodo del sistema. Pero se resalta en el documento que la mejor topología para el despliegue de un sistema, es la topología estrella, ya que tiene la

capacidad de cubrir más terreno con la menor cantidad de nodos, teniendo en cuenta la configuración geográfica de la mayoría de terrenos hábiles para la siembra de cultivos en Colombia.

- Fase 3: Definición de Roles y Funcionalidades

El objetivo de esta fase es definir el rol que cada nodo sensor asume en la red. Esta fase recoge los requerimientos funcionales del sistema. Los roles que se definen en el sistema, teniendo en cuenta que sólo se despliega un nodo son: (i) Nodo sensor, está conformado por los diferentes sensores que componen el sistema para la toma de datos; (ii) Actuador, este dispositivo tiene la capacidad de actuar de manera dinámica en el ambiente. El proceso de irrigación del terreno esta llevado a cabo por un actuador; y (iii) *Gateway*, es el encargado de enviar al servidor los datos capturados por los sensores a través de la red Wi-Fi.

- Fase 4, Implementación

En esta fase se implementan los requerimientos definidos en cada uno de los roles del sistema. Es importante tener en cuenta los protocolos de comunicación, para la transmisión de datos del nodo sensor al *Gateway* se utiliza el protocolo de comunicación MAC (*Media Access Control*), que se encarga de repartir el uso del medio y garantizar que no haya perdida de paquetes en la transmisión.

- Fase 5, Despliegue

Esta fase requiere de la instalación de los componentes del sistema y el despliegue físico de la red en el área de estudio. Para la instalación de los elementos de la red WSN, se debe hacer la configuración y programación correspondiente a los dispositivos hardware, que fueron desarrollados teniendo en cuenta los aspectos identificados. Por último, el despliegue físico de la red, se realiza ubicando físicamente sobre el cultivo el nodo sensor y el *Gateway* acorde a la topología identificada en la fase 2. Después de realizado este proceso, el sistema empieza a tomar datos para luego ser procesados y clasificados a nivel software.

- Fase 6, Mantenimiento

En esta fase se identifican dos tipos de estrategias que se emplean para el mantenimiento del sistema: (i) Preventiva, el objetivo es reemplazar elementos del sistema (nodos sensores, baterías, actuadores, *Gateway*) antes de que empiecen a presentar problemas; (ii) Reactivo, el objetivo es adaptar de manera rápida la red WSN a los cambios no planeados, tales como la reparación de elementos que presentan fallos y mantenimiento a la red sin desconectarla.

El sistema que se desarrolló, es un sistema de monitoreo exterior para cultivos, al que se puede ser accedido desde el interior mediante la ejecución de una aplicación web. Por lo tanto, la estructura del sistema separa a nivel de hardware y software los componentes del sistema. En este sentido, la arquitectura del sistema se divide en dos sub-sistemas, análisis de datos (nivel software) y adquisición de datos (nivel

hardware). En este sentido, el sistema está compuesto de una capa física, que consiste en los elementos hardware de la red WSN, encargados de la recolección de datos, que son enviados a una capa media, cuya tarea es recolectar, analizar y procesar los datos obtenidos por la capa física, para finalmente enviarlos a la capa de aplicación que muestra la información en las diferentes interfaces del sistema (Ver Figura 35).

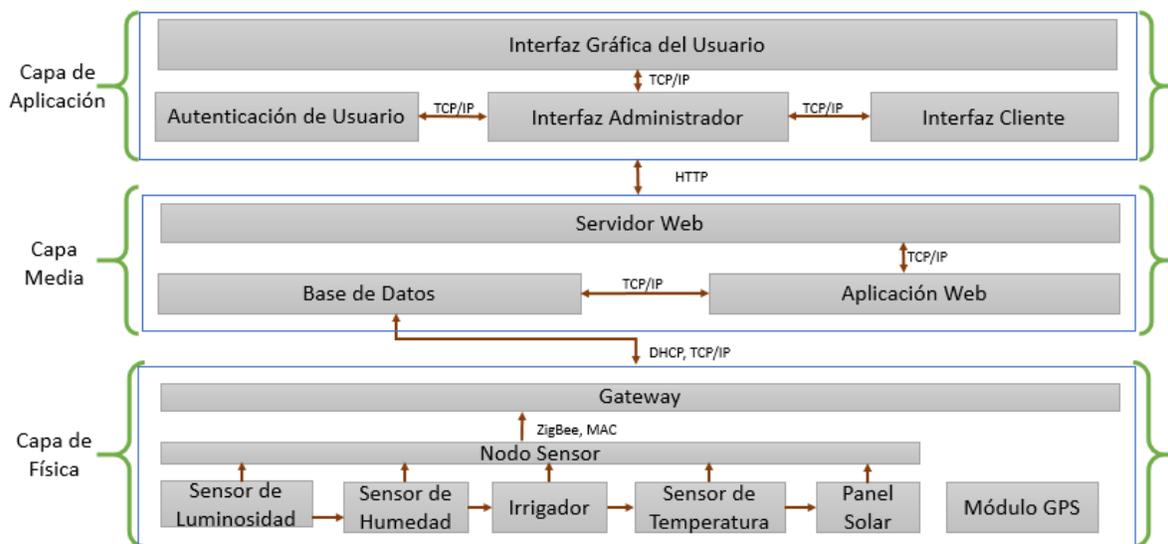


Figura 35: Arquitectura del Sistema
Fuente: Elaboración Propia

El sistema consiste en los siguientes componentes: (i) Clientes, es necesario para la existencia de la red WSN, pero es externa al desarrollo de la red. Éste componente está asociado a la capa de Aplicación del sistema; (ii) Servidor, es un componente principal del sistema y funciona como puente entre el análisis de datos y la adquisición de datos. Éste componente está asociado a la capa Media del sistema; y (iii) Nodos Sensores y Topología de red, su función es encargarse de la adquisición de datos, la red está desplegada en topología estrella. Éste componente está asociado a la capa Física del sistema.

4.3.2 Despliegue y Protocolo de Pruebas Para Evidenciar el Funcionamiento del Sistema

Con el fin de evidenciar el correcto funcionamiento del sistema se realiza el despliegue del sistema en un entorno controlado (Ver Figura 36) en un periodo de tiempo de una semana. El objetivo de este proceso es recolectar datos para realizar las validaciones asociadas al protocolo de pruebas. En el Anexo 2 se presenta la tabla correspondiente a la toma de datos y en la Tabla 46 se presenta el resumen de los datos tomados por el sistema WSN.



Figura 36: Despliegue del Sistema WSN en un ambiente controlado
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 46: Datos Tomados Red WSN

Fecha	Humedad Aire	Temperatura	Humedad Suelo	Luminosidad	Actuador
9:46 - 9:48 am.	99,9	23,3	550	65	0
10:18 - 10:21 am.	95,1	23,7	554	62	0
10:51 - 10:53 am.	84,2	24,9	553	66	0
11:23 - 11:25 am.	75,3	25,1	555	64	0
11:55 - 11:57 am.	72,5	26	554	69	0
12:27 - 12:29 pm.	64,7	26,5	557	68	0
12:59 - 01:01 pm.	65,2	27,1	556	71	0
1:31 - 01:34 pm.	60,7	27,3	560	60	0
2:04 - 2:08 pm.	59,7	27	559	56	0
2:36 - 2:38 pm.	56,3	28,7	556	66	0
3:08 - 3:16 pm.	60,3	27,8	557	56	0
3:40 - 3:43 pm.	67,2	26,1	554	58	0
4:13 - 4:16 pm.	66,8	25,6	560	46	0
4:45 - 4:47 pm.	68,1	24,8	558	41	0
5:17 - 5:19 pm.	76,1	24,2	562	23	0
5:49 - 5:51 pm.	77,7	23,7	565	0	0
6:21 - 6:24 pm.	82,5	23,3	565	0	0

Probar una red WSN es un proceso crítico que debe ser incluido dentro del ciclo de vida. Obtener resultados satisfactorios en el proceso de pruebas es proceso obligatorio para la implementación de una red WSN.

Existen simuladores para redes inalámbricas de sensores que sirven para depurar la aplicación de manera controlada y repetida en el computador, pero no tienen en cuenta los aspectos relacionados al consumo de energía. Por esta razón una forma fiable de probar el sistema es desplegándolo de manera controlada sobre un cultivo. Los pasos a seguidos para llevar a cabo las pruebas del funcionamiento del sistema son:

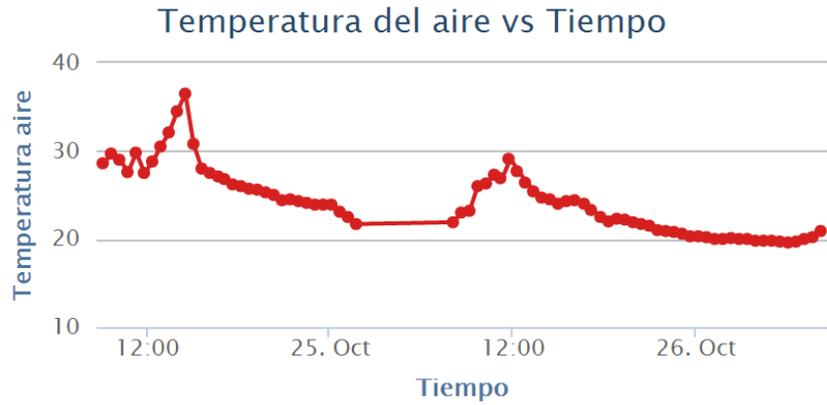
- Selección del terreno más apropiado, sobre el cual se pueda tener control y soporte.
- Diseño de una serie de pruebas de validación de requerimientos en los cuales se verifica que el sistema esté tomando los datos correspondientes a cada sensor, al igual que la programación del sistema hardware esté cumpliendo con los aspectos identificados.

Partiendo de los pasos mencionados, a continuación, en la Tabla 46, se muestran los resultados del proceso de pruebas para evidenciar el funcionamiento del sistema.

Tabla 47: Protocolo de Pruebas del Sistema

Paso 1, Selección del Terreno	
<i>Descripción</i>	El terreno seleccionado para llevar a cabo las pruebas es uno adaptado sobre el cual se pudo tener control y soporte constante al funcionamiento del sistema.
<i>Resultados</i>	Al tener acceso y control total sobre el ambiente adaptado, se facilitó el proceso de detección y corrección de errores del sistema.
Paso 2, Pruebas de Validación de Requerimientos	
<i>Descripción</i>	Para llevar a cabo este proceso, se tuvieron en cuenta los datos recolectados por el sistema durante una semana y se dividió en dos subprocesos: 1. Correcto funcionamiento a nivel de programación de los elementos. 2. Correcto funcionamiento a nivel de toma de datos de los sensores de luminosidad, temperatura, humedad del ambiente y humedad del suelo. Correcto funcionamiento del proceso de irrigación.
Paso 2, Pruebas de los Sensores	
Sensores: Temperatura del Aire	

Imagen

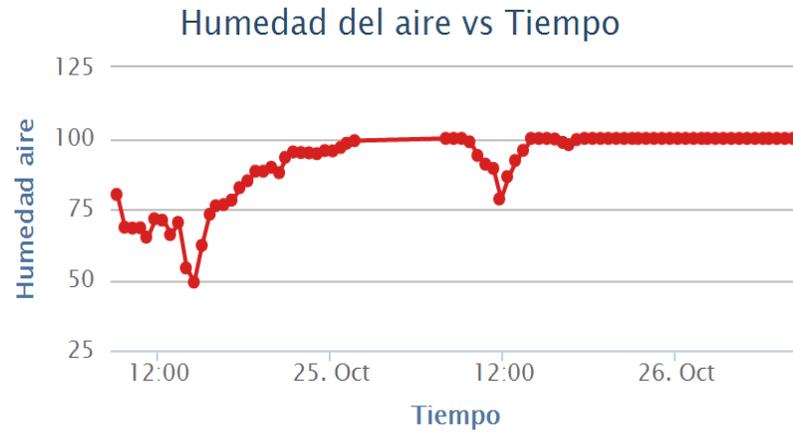


Conclusión

La toma de datos relacionada a la temperatura del aire en función del tiempo, durante y luego de las fuertes lluvias, la humedad esta al máximo y no disminuye luego de las lluvias. Se reposiciona el sensor mas separado del suelo (antes estaba pegado al suelo) a ver si obtenemos datos mas precisos en las segundas 48 horas.

Sensores: Humedad del Suelo y del Aire

Imagen



Conclusión

El sensor que se encarga de medir la Humedad en el aire y suelo en función tiempo, estuvieron tomando datos durante el tiempo en el que se registraron fuertes lluvias en Bucaramanga (la semana del 24 de octubre – 30 octubre de 2016), por esta razón, la humedad se mantuvo constante y en un nivel máximo de medición. Con el fin de obtener datos más precisos, se cambió la posición del sensor, separándolo un poco más del suelo, pero no se registraron cambio. De esta manera se puede concluir que los sensores de humedad cumplieron su función al 100%.

Sensor: Luminosidad

Imagen

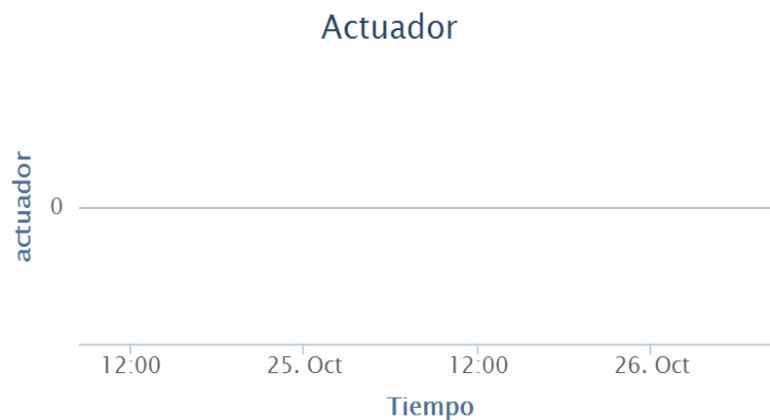


Conclusión

El sensor de luminosidad empezó a capturar datos a partir de las 6:11am y terminó de tomar los datos a las 5:51pm. Según el calendario Solar, el día 26 de octubre de 2016 en la Ciudad de Bucaramanga, la luminosidad empezó a las 5:41 y terminó a las 5:48. De esta manera el error relativo con respecto a la hora de salida del sol es de 12,93% y el error relativo con respecto al ocaso del sol es de 0,54%. Teniendo en cuenta que el sensor toma datos cada 30 minutos, se puede considerar la razón por la cual el error relativo de la salida del sol es tan alto. De esta manera se concluye que el sensor funcionó de manera correcta.

Actuador

Imagen



<i>Conclusión</i>	El actuador funciona como una variable booleana ²⁵ , en caso de que el actuador este encendido se activa (1) y de lo contrario se mantiene apagado (0). Debido a que durante la fecha en que se llevaron a cabo las pruebas hubo temporada de lluvias, el actuador permaneció apagado, evidenciando así su correcto funcionamiento.
<i>Observaciones</i>	<ul style="list-style-type: none">• La toma de datos de los sensores se realiza cada 30 minutos.• El 25 de octubre de 2am a 6am se apagó el sistema debido a una fuerte tormenta eléctrica que se desarrolló en Bucaramanga. Ésta decisión se tomó teniendo en cuenta la seguridad del sistema.• Para graficar los resultados se tomaron en cuenta periodos de 48 horas. Las gráficas presentadas corresponden al periodo del lunes 24 de octubre a las 9am hasta el miércoles 26 de octubre a las 9am.

²⁵ Una variable booleana almacena un valor de verdadero (1) o falso (0) para cada caso.

4.4 EVALUACIÓN Y SOCIALIZACIÓN DEL RENDIMIENTO DEL SISTEMA

La socialización del proyecto es una parte importante del desarrollo, ya que por medio de este podemos evidenciar el rendimiento del sistema y discutirlo con personas afines al sector agrícola. El desarrollo de este objetivo está enfocado en dos aspectos: (i) Socialización del Sistema en el Instituto Técnico Agrícola de Cáchira – Norte de Santander; y (ii) Evaluación de la información obtenida en el proceso de socialización.

(i) *Socialización del Sistema en el Instituto Técnico Agrícola de Cáchira – Norte de Santander*

Para evidenciar el rendimiento del sistema de redes inalámbricas de sensores construido, se realizó una evaluación y socialización del sistema en el municipio de Cáchira – Norte de Santander, en el Instituto Técnico Agrícola (ITA). El ITA fue creado por el ministerio de educación nacional en agosto de 1956 mediante el decreto ministerial No. 543 de 1941. El ITA propone ofrecer una educación de alta calidad, que tenga como base valores, éticos, morales, sociales y culturales a través de procesos pedagógicos y técnicos con el modelo de Granja Integral para la transformación de la vida rural y contribuir al progreso y desarrollo regional y nacional.



Figura 37: Instituto Tecnico Agricola, Cachira - Norte de Santander
Fuente: Elaboración Propia

Para llevar a cabo la socialización se solicitó al Rector del ITA, Juan Esteban Fajardo Melgarejo, la presencia de estudiantes de grado 10 y 11 que en total sumaron 48 estudiantes. Adicionalmente se visitaron dos fincas cercanas que cuentan con la

presencia de cafetales en las cuales tuvimos la oportunidad de hablar sobre el proyecto, lo que nos da un total de 50 personas con los cuales se llevó a cabo todo el proceso de socialización.

El itinerario que se siguió para llevar a cabo la actividad es el siguiente:

Tabla 48: Itinerario Actividad de Socialización y Evaluación

Itinerario	
<i>Fecha y Hora de Salida</i>	septiembre 29 de 2016, 6:30am
<i>Tiempo Aproximado de Viaje</i>	4 horas
<i>Hora de Llegada</i>	10:00 am
<i>Hora de la Actividad</i>	11:00 am
<i>Tiempo Aproximado de la Actividad</i>	1 hora
<i>Tópicos a tratar</i>	riesgos agroclimáticos, agricultura de precisión, redes inalámbricas de sensores (WSN), optimización de procesos

Con respecto a la realización de la actividad, se efectuó en el aula de proyecciones del ITA. A continuación, se enumera el material utilizado para la socialización y evaluación del proyecto: (i) Computador Portátil; (ii) *Video Beam*; (iii) Cámara Canon *rebel t3i*; (iv) Diapositivas de presentación; (v) Encuestas iniciales y finales; y (vi) Prototipo funcional a nivel software y hardware.

El Cronograma utilizado para realizar la socialización se muestra en la tabla 47.

Tabla 49: Cronograma de la Actividad de Socialización y Evaluación

CRONOGRAMA	
Presentación	
<i>Imagen</i>	
Descripción	La actividad se inició a las 11:10am haciendo la respectiva presentación del proyecto sobre el desarrollo, implementación y socialización de un sistema de redes inalámbricas de sensores enfocado al sector agrícola colombiano para la optimización de recursos y control de riesgos agroambientales y agroclimáticos. De igual manera se presentaron los autores, la directora del proyecto, el

programa académico y la universidad al cual está afiliada la realización del proyecto. Que en este sentido son La Universidad Autónoma de Bucaramanga y el programa de ingeniería de sistemas como proyecto de grado.

Encuesta Inicial

Imagen



Descripción

Por medio de la aplicación de esta encuesta inicial se hizo una medición del nivel de conocimientos de la temática tratada en el proyecto, con el fin de evidenciar el estado actual de la socialización del tema (Ver Anexo 3). La encuesta está conformada por cinco preguntas enfocadas en la agricultura, herramientas de tecnificación y riesgos agroclimáticos y agroambientales. Esta encuesta se aplicó por medio físico a los 48 estudiantes asistentes del evento inmediatamente después de que finalizó la presentación, con un espacio de aproximadamente 7 minutos.

Definición de Términos

Imagen



Descripción

Con el fin de contextualizar a los asistentes, se definieron las palabras claves del proyecto. Empezamos con la definición y funcionamiento de las redes WSN, continuando con el Desarrollo Sostenible, resaltando su importancia como concepto clave del desarrollo del proyecto, la Disminución de Riesgos Agroclimáticos, la Tecnificación del Sector Agrícola y por último la Agricultura de Precisión. Se hizo un énfasis en los riesgos agroambientales y agroclimáticos por ser un tema clave en el desarrollo de los cultivos de la región.

Muestra en vivo del funcionamiento a nivel hardware

Imagen

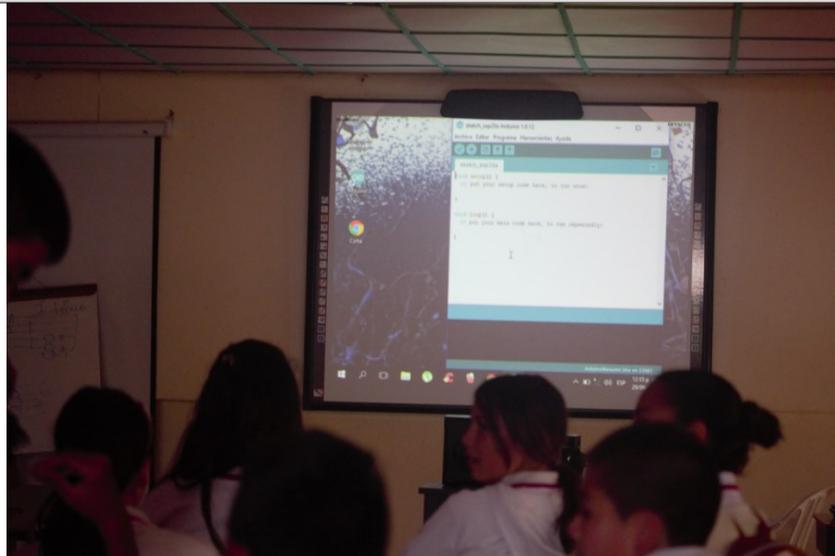


Descripción

Para evidenciar el funcionamiento del sistema, se realizó una exposición de los diferentes actores del sistema a nivel de hardware, se mencionó la función del arduino, las placas extras con sus respectivas funcionalidades y los sensores que tomaron los diferentes tipos de datos. Por otro lado, se explicó la manera de cómo se conectan e interactúan los dispositivos hardware para crear una red WSN. Por último, se realizó una muestra en vivo del funcionamiento del sistema, sobre un entorno de muestra.

Muestra del funcionamiento a nivel software

Imagen



Descripción Para hacer más explícito el funcionamiento del sistema, se realizó una muestra de las herramientas utilizadas para la programación del sistema, al igual de las interfaces del sistema y la manera de como los usuarios pueden ingresar a hacer las consultas pertinentes. Dentro de las herramientas utilizadas para desarrollar el sistema resaltamos el uso de lenguajes de programación como Python, SQL y JavaScript. Al igual que el gestor de *Framework Django* ²⁶.

Discusión Acerca de las soluciones a las problemáticas planteadas

Imagen



Descripción Por petición del rector del ITA se habló de los riesgos agroclimáticos y agroambientales que afectan la región y de cómo el desarrollo de una herramienta WSN ayuda a prevenir y solventar estos problemas con la ayuda de la agricultura de precisión. Se realizó una discusión de ideas acerca de los principales problemas agroclimáticos y agroambientales que afectan la región, dentro de los cuales se resaltó el aumento de la temperatura.

Preguntas de los asistentes

Imagen



²⁶ Es un *framework* de alto nivel para el desarrollo web en Python que integra rápido desarrollo web y diseño programable.

Descripción Se abrió un espacio para que los asistentes de la actividad realizaran preguntas. Las preguntas estuvieron enfocadas a costos de implementación del sistema WSN, cómo podría ser asequible para el campesino promedio, beneficios a corto y largo plazo de la implementación del sistema WSN. Otra de las preguntas que resaltó fue el interés de algunos estudiantes acerca de los conocimientos que deben adquirir para el desarrollo de redes WSN y tecnologías de IoT²⁷. Al igual surgió interés acerca de estudiar Ingeniería de sistemas o Ingeniería mecatrónica en la Universidad Autónoma de Bucaramanga.

Conclusiones

Imagen



Descripción Antes de finalizar la actividad se abrió un espacio para dar las respectivas conclusiones de la actividad y del desarrollo del proyecto. Dentro de las cuales resaltó el valor de utilidad de las herramientas de tecnificación al sector agrícola para la optimización de procesos y la reducción de riesgos agroclimáticos y agroambientales, la necesidad de convertir más competitivos a los campesinos promedio, la importancia de la agricultura de precisión y el rol activo de los jóvenes para el desarrollo sostenible.

²⁷ Por sus siglas en ingles *Internet of Things*, internet de las cosas.

Encuesta Final

Imagen



Descripción

Con el fin de medir el nivel de interés sembrado en los asistentes, se aplicó una encuesta final (Ver Anexo 4). La encuesta estuvo conformada por tres preguntas enfocadas a la utilización de herramientas de tecnificación, más específicamente, la utilización de redes WSN, y como éstas favorecen y benefician a los trabajadores del sector agrícola. En la siguiente sección se presentan los resultados de las encuestas aplicadas.

Agradecimientos

Imagen



Descripción

Para finalizar la actividad se agradece la participación a los asistentes del evento y al Rector del ITA por prestarnos el espacio y toda su colaboración para llevarlo a cabo.

(ii) *Evaluación de la información obtenida en el proceso de socialización*

Con el fin de evidenciar el nivel de conocimientos con respecto a la temática en estudio, antes de iniciar la evaluación y socialización del rendimiento del sistema en el Instituto Técnico Agropecuario, se aplicó la encuesta 1 y 2 (Ver Anexo 3 y 4) y los siguientes son los resultados:

- Encuesta 1

1. *Conoce usted el concepto de agricultura de precisión*

Tabla 50: Resultados Encuesta 1, Pregunta 1

Respuesta	Frecuencia	Frecuencia Relativa	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Relativa Absoluta
Si	49	0,98	49	0,98
No	1	0,02	50	1
Total	50	1		

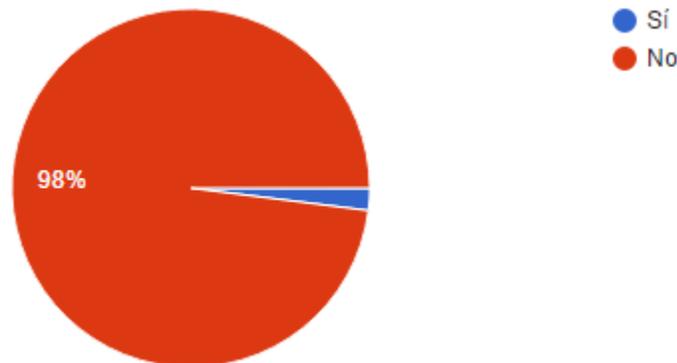


Figura 38: Diagrama Circular Encuesta 1, Pregunta 1
Fuente: Elaboración Propia

Conclusión: la población encuestada no tiene conocimientos acerca del concepto de agricultura de precisión con un margen del 98%, lo que significa que sólo una persona conoce el término.

2. *En su familia hay alguien que se dedique a la agricultura*

Tabla 51: Resultados Encuesta 1, Pregunta 2

Respuesta	Frecuencia	Frecuencia Relativa	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Relativa Absoluta
Si	44	0,88	44	0,88
No	6	0,12	50	1
Total	50	1		

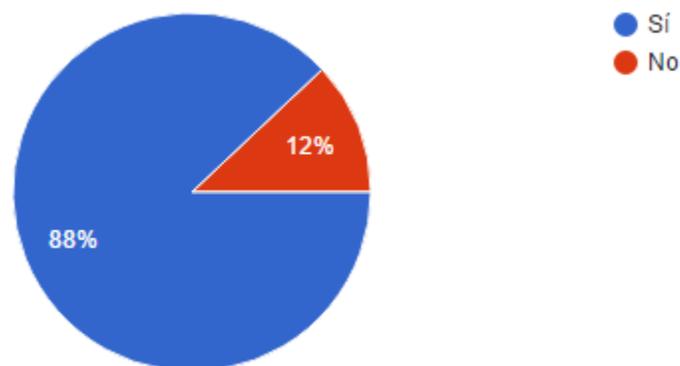


Figura 39: Diagrama Circular Encuesta 1, Pregunta 2
Fuente: Elaboración Propia

Conclusión: El 88% de la población encuestada cuenta con familiares que se dedican a la producción del sector agrícola.

3. Si su respuesta anterior fue sí, responda: en su familia utilizan herramientas de tecnificación enfocada al sector agrícola

Tabla 52: Resultados Encuesta 1, Pregunta 3

Respuesta	Frecuencia	Frecuencia Relativa	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Relativa Absoluta
Si	7	0,14	7	0,14
No	26	0,52	33	0,66
No Se	17	0,34	50	1
Total	50	1		

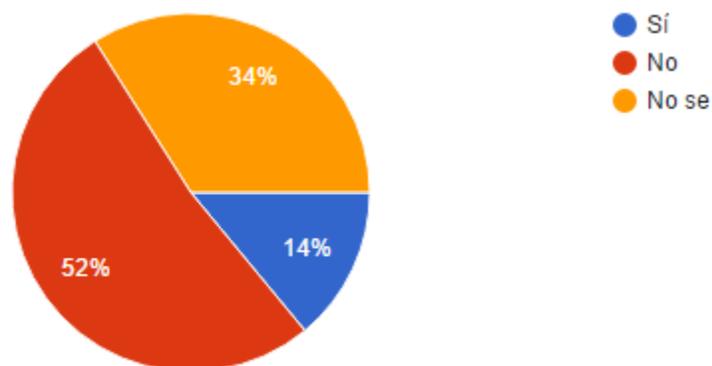


Figura 40: Diagrama Circular Encuesta 1, Pregunta 3
Fuente: Elaboración Propia

Conclusión: tan sólo el 14% de la población encuestada utiliza algún mecanismo de tecnificación agrícola, el 52% no hace uso de herramientas de tecnificación y el 34% no tiene conocimiento acerca de herramientas de tecnificación agrícola.

4. Conoce de mecanismos para la tecnificación del sector agrícola

Tabla 53: Resultados Encuesta 1, Pregunta 4

Respuesta	Frecuencia	Frecuencia Relativa	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Relativa Absoluta
Si	1	0,02	1	0,02
No	35	0,7	36	0,72
No Se	14	0,28	50	1
Total	50	1		

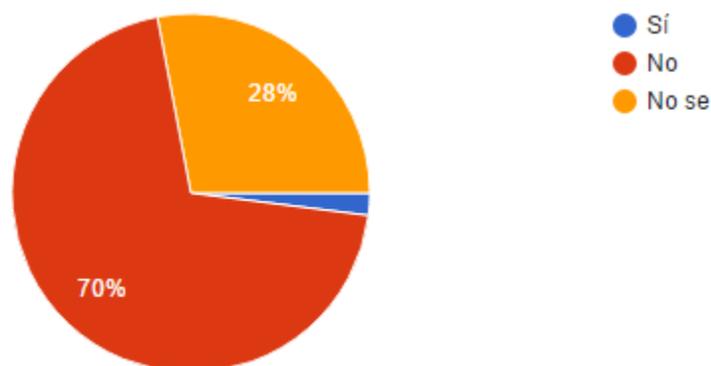


Figura 41: Diagrama Circular Encuesta 1, Pregunta 4
Fuente: Elaboración Propia

Conclusión: tan sólo el 70% de la población encuestada no conoce mecanismos de tecnificación del sector agrícola, el 28% no está familiarizado con el término.

5. Es consciente de los riesgos agroclimáticos y agroambientales de la zona

Tabla 54: Resultados Encuesta 1, Pregunta 5

Respuesta	Frecuencia	Frecuencia Relativa	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Relativa Absoluta
Si	35	0,7	35	0,7
No	15	0,3	50	1
Total	50	1		

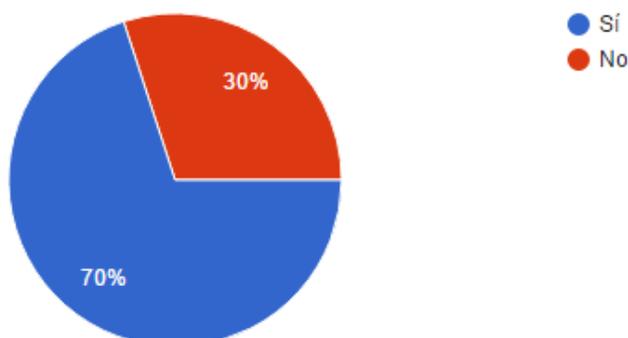


Figura 42: Diagrama Circular Encuesta 1, Pregunta 4
Fuente: Elaboración Propia

Conclusión: El 70% de la población encuestada es consciente de la existencia de riesgos agroclimáticos y agroambientales, a diferencia del 30% de la población que no está familiarizado con el término.

- Encuesta 2

1. ¿Le gustaría aumentar sus conocimientos con temáticas relacionadas a la tecnificación del sector agrícola?

Tabla 55: Resultados Encuesta 2, Pregunta 1

Respuesta	Frecuencia	Frecuencia Relativa	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Relativa Absoluta
Si	39	0,78	39	0,78
Tal Vez	7	0,14	46	0,92
No	4	0,08	50	1
Total	50	1		

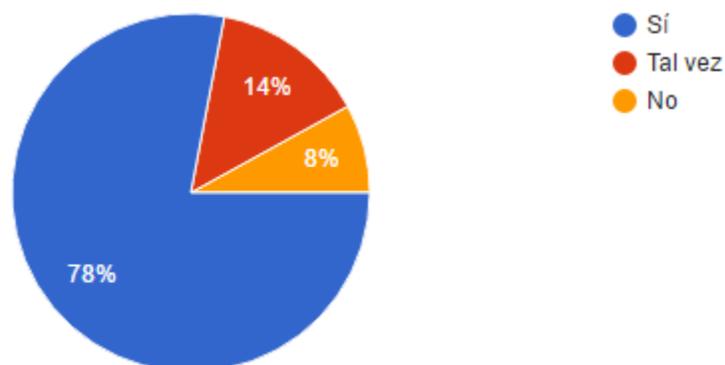


Figura 43: Diagrama Circular Encuesta 2, Pregunta 1

Fuente: Elaboración Propia

Conclusión: El 78% de la población encuestada estaría dispuesta a aumentar sus conocimientos con respecto a las temáticas en estudio.

2. ¿Le gustaría hacer uso de la herramienta de tecnificación agrícola expuesta?

Tabla 56: Resultados Encuesta 2, Pregunta 2

Respuesta	Frecuencia	Frecuencia Relativa	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Relativa Absoluta
Si	38	0,76	38	0,76
Tal Vez	10	0,2	48	0,78
No	2	0,04	50	1
Total	50	1		

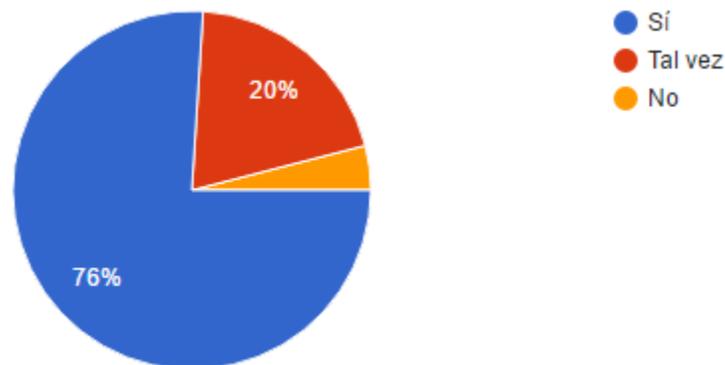


Figura 44: Diagrama Circular Encuesta 2, Pregunta 2
Fuente: Elaboración Propia

Conclusión: El 76% de la población encuestada le gustaría hacer uso del prototipo funcional a nivel de software y hardware expuesto en el proyecto.

3. Considera que usted o su familia se vería beneficiado con la implementación de herramientas tecnológicas en el agro

Tabla 57: Resultados Encuesta 2, Pregunta 2

Respuesta	Frecuencia	Frecuencia Relativa	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Relativa Absoluta
Si	42	0,84	42	0,84
No	8	0,16	50	1
Total	50	1		

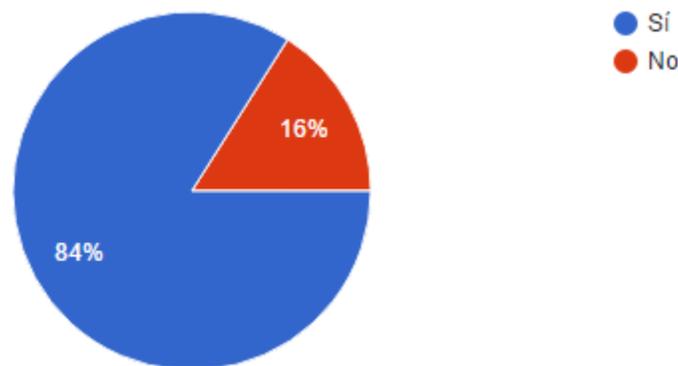


Figura 45: Diagrama Circular Encuesta 2, Pregunta 3
Fuente: Elaboración Propia

Conclusión: El 84% de la población encuestada cree que se vería beneficiada con la implementación de herramientas para la tecnificación del sector agrícola, tan sólo el 16% cree que no se vería beneficiada, teniendo en cuenta que un 14% de la población encuestada no tiene familia de agricultores.

6. CONCLUSIONES

En relación al trabajo realizado en este proyecto, es posible afirmar que las redes inalámbricas de sensores son una herramienta que cumple con las características específicas para ser aplicadas en el sector agrícola, debido a la integración de los múltiples tipos de sensores que proporcionan tomas de datos precisos que contribuyen a la optimización de procesos, control de riesgos agroclimáticos y agroambientales entre otros, ya que permiten ser procesados y organizados, presentado de este modo, información para toma de decisiones en tiempo real. Por otro lado, las redes inalámbricas de sensores, tienen diferentes tipos de topologías y protocolos de comunicación, que les da la característica de ser desplegadas en diferentes entornos, desde minifundios a áreas extensas de hectáreas de tierra. Las redes inalámbricas de sensores, han sido utilizadas en numerosos proyectos de tecnificación del agro a nivel mundial.

Desde el enfoque de construcción a nivel software y hardware, los resultados obtenidos en el desarrollo del proyecto, permitieron, por una parte, evidenciar la ausencia de herramientas tecnológicas en Colombia, puesto que la obtención de los dispositivos hardware se realizó mediante la importación de estos desde España. Con respecto a la programación de la aplicación web (nivel software), la implementación del lenguaje de programación *Python* y el *Framework Django* generaron el desarrollo rápido y dinámico del proyecto. A nivel de hardware podemos concluir que la utilización del *Arduino Uno R3* facilitó la elaboración del proyecto gracias a sus características desarrollo libre, ejecución cíclica de código y capacidad de conexión de módulos extras.

A partir de la implementación y socialización del proyecto, se puede evidenciar la ausencia de conocimientos acerca de herramientas de tecnificación del sector agrícola en los trabajadores promedio ubicados en el municipio de Cachira – Norte de Santander. Del mismo modo, los jóvenes perfilados como futuros trabajadores del sector agrícola, tampoco cuentan con nociones claras y amplias de mecanismos de tecnificación. En consecuencia, es indispensable generar espacios de concientización en el cual se discutan temas relacionados a la optimización de procesos y control de riesgos agroambientales y agroclimáticos en el sector agrícola colombiano mediante la implementación de mecanismos de tecnificación como las redes inalámbricas de sensores.

7. RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS

La elaboración del proyecto en el tema de desarrollo, implementación y socialización de un sistema de redes inalámbricas de sensores enfocado al sector agrícola colombiano para la optimización de recursos y control de riesgos agroambientales y agroclimáticos, implicó el desarrollo de una revisión sistemática de la literatura a nivel internacional y nacional que permitiera conocer los trabajos existentes en el área y las experiencias en el desarrollo de redes inalámbricas de sensores enfocadas al sector agrícola.

De igual modo, fue de especial el desarrollo a nivel software y hardware de un prototipo funcional de un sistema de redes inalámbricas de sensores, tomando como criterio principal, la búsqueda de arquitecturas diferentes, con protocolos y topologías de redes que permitieran la existencia de diversas configuraciones tomando en cuenta los distintos tipos de áreas en las cuales se puede desplegar el sistema.

Por otro lado, el despliegue del sistema en un cultivo real y la evaluación y socialización de este mismo, logro determinar el nivel de optimización y aseguramiento en la producción, al igual que la introducción de la agricultura de precisión con el control de riegos.

Con el desarrollo de este proyecto de investigación, se generan las siguientes recomendaciones que pueden servir de extensión para dar continuidad a este tema de investigación:

- Generación de nuevas arquitecturas, topologías y protocolos de comunicación para un despliegue óptimo de redes inalámbricas de sensores.
- Construcción de los dispositivos hardware para el desarrollo de una red inalámbrica de sensores.
- Creación de espacios y ambientes para la socialización de la importancia de la utilización de mecanismos de tecnificación del agro.
- Producción de un enfoque económico y financiero, con respecto a la utilización de redes inalámbricas de sensores para el sector de coste y beneficio de la siembra de cultivos.

ANEXOS

Anexo 1, Código fuente nivel hardware

```
#include <OpenGarden.h>
#include <Wire.h>

//Información red wifi
const char server[] = "192.1xx.x.xx";
const char server_port[] = "8080";
const char wifi_ssid[] = "Nombre de la red ";
const char wifi_password[] = "*****";

String wifiString;
char buffer[20];
int flag = 0;
DateTime myTime;

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  OpenGarden.initSensors(); //Inializacion de energia para los sensores
  OpenGarden.sensorPowerON(); //Enciende la energia para activar sensores
  delay(100);
  OpenGarden.initRF();
  OpenGarden.initRTC();
  wificonfig();
}
void loop() {
  Serial.println("Start");
  OpenGarden.receiveFromNode(); //Para recibir informacion del nodo
  myTime = OpenGarden.getTime();
  OpenGarden.printTime(myTime);
  if ( myTime.minute() == 0 && flag == 0 ){ //Consulta una vez por hora (Para efectos de rendimiento de bateria)

    //Acá se obtiene información de los sensores en el gateway
    int soilMoisture0 = OpenGarden.readSoilMoisture();
    float airTemperature0 = OpenGarden.readAirTemperature();
    float airHumidity0 = OpenGarden.readAirHumidity();
    float soilTemperature0 = OpenGarden.readSoilTemperature();
    int luminosity0 = OpenGarden.readLuminosity();

    //Acá se obtiene el paquete con la información de los sensores del nodo
    Payload node1Packet = OpenGarden.getNodeData(node1);
    int soilMoisture1 = node1Packet.moisture;
    float airTemperature1 = node1Packet.temperature;
    float airHumidity1 = node1Packet.humidity;
    int luminosity1 = node1Packet.light;
    int battery1 = node1Packet.supplyV;

    //Gateway
    //Creamos un string de flotantes para enviar la información a web
    dtostrf(airTemperature0,2,1,buffer);
    String airTemperature0_wf = String (buffer);
    dtostrf(airHumidity0,2,1,buffer);
    String airHumidity0_wf = String (buffer);
    dtostrf(soilTemperature0,2,1,buffer);
```

```

String soilTemperature0_wf = String (buffer);

//Node1
//Creamos un string de flotantes para enviar la información a web
dtostrf(airTemperature1,2,1,buffer);
String airTemperature1_wf = String (buffer);
dtostrf(airHumidity1,2,1,buffer);
String airHumidity1_wf = String (buffer);
/*
Creamos strings con la siguiente estructura: "node_id:sensor_type:value;node_id2:sensor_type2:value2;...."
Donde node_id:
0 - Gateway
1 - Nodo 1
2 - Nodo 2
3 - Nodo 3
y donde el tipo de sensor es:
0 - Humedad del suelo
1 - Temperatura suelo
2 - Humedad aire
3 - Temperatura aire
4 - Nivel de luz
5 - Nivel de bateria
*/
//Cortamos la informacion en varios strings, ya que el modulo wifi tiene problemas con string largos
//debido a la memoria limitada del mismo.
wifiString= "0:0:" + String(soilMoisture0) + ";0:1:" + soilTemperature0_wf + ";0:2:" + airHumidity0_wf;
sendwifi();
enterCMD();
wifiString= "0:3:" + airTemperature0_wf + ";0:4:" + String(luminosity0);
sendwifi();
enterCMD();
wifiString = "1:0:" + String(soilMoisture1) + ";1:2:" + airHumidity1_wf + ";1:3:" + airTemperature1_wf + ";1:4:"
+ String(luminosity1);
sendwifi();
enterCMD();
wifiString = "1:5:" + String(battery1);
sendwifi();
enterCMD();
flag = 1;
}
else if (myTime.minute() == 30 && flag == 1){
flag = 0;
}
Serial.println("End");
}
//*****
//CONFIGURACION MODULO WIFI
void check() {
delay(1500);
autoflush();
}
void wificonfig() {
while (Serial.available() > 0) {
}
enterCMD();
// Establecemos los protocolos DHCP y TCP
Serial.print(F("set ip dhcp 1\r"));
check();
Serial.print(F("set ip protocol 18\r"));
check();
}

```

```

// Se configura la manera en la que se conectara al AP, se establese el metodo de encriptacion de la red y se
conecta
Serial.print(F("set wlan join 0\r"));
check();
Serial.print(F("set wlan phrase "));
Serial.print(wifi_password);
Serial.print(F("\r"));
check();
Serial.print(F("join "));
Serial.print(wifi_ssid);
Serial.print(F("\r"));
check();
}
void enterCMD() {
  Serial.println("");
  Serial.print(F("$$$"));
  delay(100);
  check();
  Serial.flush();
}
void sendwifi() {
  Serial.print(F("set i h 0\r"));
  check();
  Serial.print(F("set d n "));
  Serial.print(server);
  Serial.print(F("\r"));
  check();
  //Configura conexión http
  Serial.print(F("set i r "));
  Serial.print(server_port);
  Serial.print(F("\r"));
  check();
  Serial.print(F("set o f 1\r"));
  check();
  Serial.print(F("set c r GET$/set_sensors.php?data="));
  Serial.print(wifiString);
  Serial.print(F("\r"));
  check();
  Serial.print(F("open\r"));
  check();
  Serial.print(F("open\r"));
}
void autoflush()
{
  while (Serial.available() > 0)
  {
    Serial.read();
  }
}
}

```

Anexo 2, Recolección de Datos de la Red WSN

Fecha	Entrada	Humedad Aire	Temperatura	Humedad Suelo	Luminosidad	Actuador
10/26/16 09:46 AM	1	99,9				
10/26/16 09:47 AM	2		23,3			
10/26/16 09:47 AM	3			550		
10/26/16 09:48 AM	4				65	
10/26/16 09:48 AM	5					0
10/26/16 10:18 AM	6	95,1				
10/26/16 10:19 AM	7		23,7			
10/26/16 10:20 AM	8			554		
10/26/16 10:20 AM	9				62	
10/26/16 10:21 AM	10					0
10/26/16 10:51 AM	11	84,2				
10/26/16 10:51 AM	12		24,9			
10/26/16 10:52 AM	13			553		
10/26/16 10:52 AM	14				66	
10/26/16 10:53 AM	15					0
10/26/16 11:23 AM	16	75,3				
10/26/16 11:23 AM	17		25,1			
10/26/16 11:24 AM	18			555		
10/26/16 11:25 AM	19				64	
10/26/16 11:25 AM	20					0
10/26/16 11:55 AM	21	72,5				
10/26/16 11:56 AM	22		26			
10/26/16 11:56 AM	23			554		

10/26/16 11:57 AM	24				69	
10/26/16 11:57 AM	25					0
10/26/16 12:27 PM	26	64,7				
10/26/16 12:28 PM	27		26,5			
10/26/16 12:28 PM	28			557		
10/26/16 12:29 PM	29				68	
10/26/16 12:29 PM	30					0
10/26/16 12:59 PM	31	65,2				
10/26/16 01:00 PM	32		27,1			
10/26/16 01:00 PM	33			556		
10/26/16 01:01 PM	34				71	
10/26/16 01:01 PM	35					0
10/26/16 01:31 PM	36	60,7				
10/26/16 01:32 PM	37		27,3			
10/26/16 01:33 PM	38			560		
10/26/16 01:33 PM	39				60	
10/26/16 01:34 PM	40					0
10/26/16 02:04 PM	41	59,7				
10/26/16 02:04 PM	42		27			
10/26/16 02:05 PM	43			559		
10/26/16 02:05 PM	44				56	
10/26/16 02:06 PM	45					0
10/26/16 02:36 PM	46	56,3				
10/26/16 02:37 PM	47		28,7			
10/26/16 02:37 PM	48			556		
10/26/16 02:38 PM	49				66	

10/26/16 02:38 PM	50					0
10/26/16 03:08 PM	51	60,3				
10/26/16 03:09 PM	52		27,8			
10/26/16 03:09 PM	53			557		
10/26/16 03:10 PM	54				56	
10/26/16 03:10 PM	55					0
10/26/16 03:40 PM	56	67,2				
10/26/16 03:41 PM	57		26,1			
10/26/16 03:41 PM	58			554		
10/26/16 03:42 PM	59				58	
10/26/16 03:42 PM	60					0
10/26/16 04:13 PM	61	66,8				
10/26/16 04:13 PM	62		25,6			
10/26/16 04:14 PM	63			560		
10/26/16 04:14 PM	64				46	
10/26/16 04:15 PM	65					0
10/26/16 04:45 PM	66	68,1				
10/26/16 04:45 PM	67		24,8			
10/26/16 04:46 PM	68			558		
10/26/16 04:46 PM	69				41	
10/26/16 04:47 PM	70					0
10/26/16 05:17 PM	71	76,1				
10/26/16 05:18 PM	72		24,2			
10/26/16 05:18 PM	73			562		
10/26/16 05:19 PM	74				23	
10/26/16 05:19 PM	75					0

10/26/16 05:49 PM	76	77,7				
10/26/16 05:50 PM	77		23,7			
10/26/16 05:50 PM	78			565		
10/26/16 05:51 PM	79				0	
10/26/16 05:51 PM	80					0
10/26/16 06:21 PM	81	82,5				
10/26/16 06:22 PM	82		23,3			
10/26/16 06:23 PM	83			565		
10/26/16 06:23 PM	84				0	
10/26/16 06:24 PM	85					0
10/27/16 04:34 AM	92			552		
10/27/16 04:35 AM	93				0	
10/27/16 04:35 AM	94					0
10/27/16 05:06 AM	95	94,5				
10/27/16 05:06 AM	96		21,1			
10/27/16 05:07 AM	97			551		
10/27/16 05:07 AM	98				0	
10/27/16 05:08 AM	99					0
10/27/16 05:38 AM	100	96,4				
10/27/16 05:38 AM	101		21,1			
10/27/16 05:39 AM	102			550		
10/27/16 05:39 AM	103				9	
10/27/16 05:40 AM	104					0
10/27/16 06:10 AM	105	95,9				
10/27/16 06:10 AM	106		21,1			
10/27/16 06:11 AM	107			545		

10/27/16 06:11 AM	108				33	
10/27/16 06:12 AM	109					0
10/27/16 06:42 AM	110	94,1				
10/27/16 06:42 AM	111		21,3			
10/27/16 06:43 AM	112			541		
10/27/16 06:43 AM	113				43	
10/27/16 06:44 AM	114					0
10/27/16 07:14 AM	115	94,4				
10/27/16 07:14 AM	116		21,5			
10/27/16 07:15 AM	117			545		
10/27/16 07:15 AM	118				47	
10/27/16 07:16 AM	119					0

SOCIALIZACIÓN DE UN SISTEMA WSN PARA LA OPTIMIZACIÓN DE RECURSOS Y CONTROL DE RIESGOS AGROAMBIENTALES Y AGROCLIMÁTICOS

Conoce usted el concepto de agricultura de precisión

- Sí
- No

En su familia hay alguien que se dedique a la agricultura

- Sí
- No

Si su respuesta anterior fue sí, responda: en su familia utilizan herramientas de tecnificación enfocada al sector agrícola

- Sí
- No
- No se

Conoce de mecanismos para la tecnificación del sector agrícola

- Sí
- No
- No se

Es consciente de los riesgos agroclimáticos y agroambientales de la zona

- Sí
- No

SOCIALIZACIÓN DE UN SISTEMA WSN PARA LA OPTIMIZACIÓN DE RECURSOS Y CONTROL DE RIESGOS AGROAMBIENTALES Y AGROCLIMÁTICOS

¿Le gustaría aumentar sus conocimientos con temáticas relacionadas a la tecnificación del sector agrícola?

- Sí
- Tal vez
- No

¿Le gustaría hacer uso de la herramienta de tecnificación agrícola expuesta?

- Sí
- Tal vez
- No

Considera que usted o su familia se vería beneficiado con la implementación de herramientas tecnológicas en el agro

- Sí
- No

REFERENCIAS

- Aakvaag, N., & Frey, J.-E. (2006). Redes de sensores inalámbricos, Nuevas soluciones de interconexión para la automatización industrial. *ABB*, 39-42.
- Akyildiz, I., Su, W., Sankarasubramaniam, Y., & Cayirci, E. (2002). Wireless sensor networks: a survey. *Computer Networks*, 393–422.
- Alcaldía de CÁCHIRA, Norte de Santander. (23 de 03 de 2016). Obtenido de Cachira Norte de Santander: <http://www.cachira-nortedesantander.gov.co/index.shtml>
- Bencini, L., Chiti, F., Collodi, G., & Di Pa, D. (2009). Agricultural Monitoring Based on Wireless Sensor Network Technology: Real Long Life Deployments for Physiology and Pathogens Control. *Sensor Technologies and Applications*, 372 - 377.
- Bongiovanni, R., Chartuni Mantovani, E., Best, S., & Roel, Á. (2006). INTRODUCCIÓN A LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN. En *AGRICULTURA DE PRECISIÓN: Integrando conocimientos para una agricultura moderna y sustentable* (págs. 13-22). PROCISUR.
- Brundtland, G. (1987). *Report of the World Commission on Environment and Development*. New York: United Nations, General Assambly.
- Caicedo Ortiz, J., Acosta, M., & Cama-Pinto, A. (2015). WSN deployment model for measuring climate variables that cause strong precipitation. *Prospectiva*.
- Chain, E., Sara, R., Arias, J., & Escordia, E. (2013). OTS-WSN: A Wireless Sensor Network implemented with off-the-shelf components. *IEEE Symposium on Wireless Technology & Applications (ISWTA)*, 327 - 332.
- Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación - COLCIENCIAS. (27 de Abril de 2016). *colciencias*. Obtenido de <http://www.colciencias.gov.co/node/828>
- Elsevier B.V. (16 de Abril de 2016). *Scopus*. Obtenido de <https://www.scopus.com/>
- Equipo Técnico de la Presidencia. (2014). *Perspectiva del Sector Agropecuario en Colombia*. Bogotá: FINAGRO.
- Eto, M., Katsuma, R., Tamai, M., & Yasumoto, K. (2015). Efficient Coverage of Agricultural Field with Mobile Sensors by Predicting Solar Power Generation. *IEEE 29th International Conference on Advanced Information Networking and Applications*, 62 - 69.
- Fidalgo, A. L., González, L., Brandariz, J., & González, X. (2010). Redes de Sensores sin Cables para Agricultura de Precisión en Regiones Minifundistas. *CONAMA10 Congreso Nacional del Medio Ambiente*, 1-26.
- Gommes, R. (1998). *CLIMATE-RELATED RISK IN AGRICULTURE*. Toronto : FAO.
- Hema, N., & Kant, K. (2013). Optimization of sensor deployment in WSN for precision irrigation using spatial arrangement of permanent crop. *Contemporary Computing (IC3)*, 455 - 460.
- Iacono, L., Godoy, P., Osvaldo, M., García Garino, C., & Párraga, C. (2012). Estudio de la Integración entre WSN y redes TCP/IP. *Memoria de Trabajos de Difusión Científica y Técnica*, 57-68.

- ITU. (27 de Abril de 2016). *Unión Internacional de Telecomunicaciones*. Obtenido de <http://www.itu.int/pub/R-REC/es>
- Jeong, H., & Yoe, H. (2014). Design and Implementation the Wireless Sensor Networks based Estrus Detection System for Stalled Sow. *International Information Institute (Tokyo)*, 1783-1788.
- Mariño, P., Fontán, F., Domínguez, M., & Otero, S. (2009). Viticulture Zoning by an Experimental WSN. *International Journal of Information Technology and Web Engineering*, 12-14.
- McBratney, A. W. (2005). Future Directions of Precision Agriculture. En *Precision Agriculture* (págs. 6, 7-23).
- Mohd Kassim, M., Mat, I., & Nizar Harun, A. (2014). Wireless Sensor Network in precision agriculture application. *Computer, Information and Telecommunication Systems (CITS)*, 1 - 5.
- Navarrete Cardona, S. (14 de Abril de 2014). "TLC, lejos de ser el principal problema del agro en Colombia". *El Espectador*, pág. Nacional.
- Perfetti, J., Balcázar, Á., Hernández, A., & Leibovich, J. (2013). *Políticas para el desarrollo de la agricultura en Colombia*. Bogotá: SAC y Fedesarrollo.
- Pressman, R. S. (2010). *Ingeniería de Software, un Enfoque Práctico*. Mexico D.F.: Mc Graw Hill.
- Pugsley, L., Cruvinel, P. E., & Caramori, P. H. (2001). New agroclimatic digital images classification system and risk zone mapping. *Computer Graphics and Image Processing*, 237 - 244.
- Quiñones, A. P., Godoy, D. A., & Sosa, E. O. (2013). Redes Inalámbricas de Sensores: Una experiencia en la. *Congreso Argentino de AgroInformática*, 161-171.
- Romero Acero, A., Marín Canol, A., & Orozco Quice, J. (2013). Integration in wireless sensor networks (WSN) IEEE 802.15.4–802.11 for industrial automation. *Engineering Mechatronics and Automation (CIIMA)*, 1-6.
- Sakthipriya, N. (2014). An Effective Method for Crop Monitoring Using Wireless Sensor Network. *Middle-East Journal of Scientific Research*.
- Suarez, C., & Medez, D. (2014). APA topology control algorithm for WSN. *Communications and Computing (COLCOM)*, 1-5.
- Torrente Artero, Ó. (2013). *Arduino : curso práctico de formación*. Madrid: RC Libros.
- Tutorials Point. (2015). *GPRS, General Packet Radio Service*. Tutorials Point (I).
- UNAM. (2007). *Apuntes curso Consultores junior*. Distrito Federal : MOPROSOFT.
- Whelan, B. M. (2003). Definition and Interpretation of potential management zones in Australia. *Proceedings of the 11th Australian Agronomy Conference* (págs. 2-6). Victoria: Geelong.
- Xu, H., & Harfoush, K. (2011). The node degree for wireless ad hoc networks in shadow fading environments. *6th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications*, 815 - 820.

Bucaramanga, Octubre 29 de 2016

Señor

Jorge Andrick Parra Valencia

Programa de Ingeniería de Sistemas

Universidad Autónoma de Bucaramanga

Ciudad

Asunto: Carta aval para la presentación de Proyecto de Trabajo de Grado

Mediante la presente me permito avalar el envío del Proyecto de Trabajo de Grado de los estudiantes Silvia Juliana Pineda Fajardo y Christian Felipe Jaimes González titulado: ***“Desarrollo, implementación y socialización de un sistema de redes inalámbricas de sensores enfocado al sector agrícola colombiano para la optimización de recursos y control de riesgos agroambientales y agroclimáticos”***.

Cordialmente,



Diana Teresa Parra Sánchez

Directora Trabajo de Grado