



**SISTEMA DE APOYO PARA LA DETECCIÓN DE BROCA Y ROYA EN SISTEMAS
DE PRODUCCIÓN TRADICIONAL DE CULTIVOS DE CAFÉ A PARTIR DEL
ANÁLISIS A VARIABLES CLIMÁTICAS A TRAVÉS DE PROTOCOLOS DE
COMUNICACIONES PARA IOT**



PROHIBIDA SU COPIA

**PRESENTADO POR:
JAIME MIGUEL CASTELBLANCO BEDOYA**

**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA AUTÓNOMA DE NARIÑO, SEDE PASTO
SAN JUAN DE PASTO**

2020



**SISTEMA DE APOYO PARA LA DETECCIÓN DE BROCA Y ROYA EN SISTEMAS
DE PRODUCCIÓN TRADICIONAL DE CULTIVOS DE CAFÉ A PARTIR DEL
ANÁLISIS A VARIABLES CLIMÁTICAS A TRAVÉS DE PROTOCOLOS DE
COMUNICACIONES PARA IOT**



**PRESENTADO POR:
JAIME MIGUEL CASTELBLANCO BEDOYA**

PRESENTADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO INFORMÁTICO

**ASESORES:
JOSÉ ALEJANDRO SALAZAR CASTRO
DAGOBERTO MAYORCA TORRES**

**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA AUTÓNOMA DE NARIÑO, SEDE PASTO
SAN JUAN DE PASTO**

2020



CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE FIGURAS	7
RESUMEN	9
1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	13
1.1 Planteamiento del problema	13
1.1.1 Descripción del problema.....	13
1.1.2 Formulación del problema.....	15
1.2 Justificación.....	15
1.2 Objetivos.....	17
1.3.1 Objetivo general.....	17
1.3.2 Objetivos específicos	17
1.4 Marco contextual	18
1.4.1 Perspectivas económicas de Colombia.....	18
1.4.2 Economía del Departamento de Nariño	18
1.4.3 Producción de café en Colombia y en el Departamento de Nariño.....	19
1.4.4 Modelo productivo del Café.....	20
1.4.5 Manejo de plagas y enfermedades en cultivos de café	20
1.4.6 Sensores para la detección y control de plagas y enfermedades	21
1.5 Marco de antecedentes	24
1.5.1 Sistemas expertos para la detección de enfermedades en el café	24
1.5.3 Sistema de riego basado en Internet de las Cosas (IoT).....	26
1.5.4 Sistemas basados en redes de sensores y agricultura de precisión	27
1.6 Marco teórico-conceptual.....	29
1.6.1 Definición del Internet de las Cosas, IoT	29
1.6.2 Modelo de comunicación ‘dispositivo-dispositivo’	30
1.6.3 Modelo de comunicación ‘dispositivo-nube’	31
1.6.4 Modelo de comunicación ‘dispositivo-puerta de enlace’	32
1.6.5 IoT en la agricultura	33
1.6.6 Agricultura de Precisión	34



1.6.7 Tecnologías para medición de variables y desarrollo de software	34
1.6.8 Servidor Web	37
1.6.9 Cultivos Agrícolas (Café).....	39
1.6.9.1 Fase de desarrollo vegetativo.	39
1.6.9.2 Factores que limitan el desarrollo de las raíces del cafeto	40
1.6.9.3 Factores que inciden en la producción Vegetal	40
1.6.9.5 Plagas y enfermedades que atacan al cultivo del café	44
1.6.9.6 Enfermedades comunes en cultivos de café	45
1.7 Marco Legal.....	46
1.8 Metodología.....	47
1.8.1 Paradigma	47
1.8.2 Enfoque	47
1.8.3 Tipo de investigación	47
1.8.4 Población y muestra.....	48
1.8.5 Variables.....	48
1.8.7 Plan de Acción	49
2. MARCO DE DESARROLLO Y RESULTADOS	51
2.1 Especificaciones para el desarrollo.....	51
2.1.1 Selección de la Arquitectura del Proyecto	51
2.1.2 Estructuración matriz de estado del arte	53
2.1.4 Definición de variables y sub-variables que afectan la producción de café ...	53
2.2 Sistema de adquisición y comunicación.....	55
2.2.1 Sensores a utilizar	55
2.2.2. Gateway para acceso, recepción de información y acceso a internet	57
2.2.3. Selección de plataformas IOT a utilizar	58
2.2.4 Selección de Plataformas IoT	62
2.2.5 Selección de la tecnología de desarrollo	63
2.2.5.1 Criterios para selección del servidor Web	63
2.2.6 Criterios para la selección del Framework y Lenguaje de desarrollo	63
2.2.7 Criterios de selección para la Base de Datos	64
2.2.8 Sistematización de información recolectada	64
2.2.9 Estado de la plantación de café utilizada	67



2.3. Aplicativo Web para Visualización de datos y Alertas	71
2.3.1. Análisis y Levantamiento de Requerimientos	72
2.3.2.1. <i>Requerimientos Funcionales</i>	72
2.3.2.2. <i>Requerimientos no Funcionales</i>	72
2.3.2.3 <i>Arquitectura basada en capas</i>	73
2.3.2 Descripción del modelo “4+1” Vistas	73
2.3.2.1 <i>Vista lógica</i>	73
2.3.2.2 <i>Capa de acceso a datos</i>	75
2.3.2.2.1 <i>Diseño Base de Datos de la Solución</i>	75
2.3.2.3 <i>Vista de despliegue</i>	78
2.3.2.4 <i>Vista Física</i>	80
2.3.2.5 <i>Capa de presentación</i>	80
2.3.2.5.1 <i>Diseño de la Interfaz de Usuario</i>	81
2.3.2.5.2 <i>Vista de escenarios</i>	85
2.3.2.5.3 <i>Casos de Uso</i>	85
2.3.2.5.3.1 <i>Definición de Casos de uso</i>	88
2.3.3 Implementación de la Solución	94
2.3.2.1 <i>Construcción del modelo de datos</i>	94
2.3.2.2 <i>Desarrollo de una capa de comunicaciones y servicios web</i>	95
2.3.2.3 <i>Generación de Alertas para Roya y Broca</i>	96
2.3.4 Pruebas del prototipo	97
2.3.4.1 <i>Validación y Pruebas de componentes</i>	98
2.3.4.2 <i>Prueba de estado de sensores</i>	99
2.3.4.3 <i>Prueba variables del microambiente</i>	99
2.3.4.4 <i>Prueba historial de Variables generadas</i>	102
2.3.4.5 <i>Demostración del prototipo</i>	102
2.4 Conclusiones y Trabajos Futuros.....	103
BIBLIOGRAFÍA.....	106
ANEXOS	109



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Sensores	20
Tabla 2. Características de los sensores utilizados	22
Tabla 3 Factores que afectan el crecimiento del cultivo	41
Tabla 4 Diagrama de Actividades	49
Tabla 5 Unidades de medida para el monitoreo de variables climáticas.	52
Tabla 6 características sensor de pluviometría	54
Tabla 7 características sensor de Temperatura y Humedad	55
Tabla 8 Tabla comparativa de plataformas IOT factibles para el proyecto	57
Tabla 9 Tabla evaluativa de para selección de plataformas IOT	58
Tabla 10 Tabla de ponderación	59
Tabla 11 Rangos de amenaza para cultivos	68
Tabla 12 Caso de uso 1	85
Tabla 13 Caso de uso 2	86
Tabla 14 Caso de uso 3	86
Tabla 15 Caso de uso 4	86
Tabla 16 Requerimiento 1.	87
Tabla 17 Requerimiento 2.	88
Tabla 18 Requerimiento 3.	88
Tabla 19 Requerimiento 4.	89
Tabla 20 Requerimiento 5	90
Tabla 21 Requerimiento 5	90
Tabla 22 Requerimiento 6	91
Tabla 23 Requerimiento 7	91
Tabla 24 Requerimiento 8	92
Tabla 25 Requerimiento 9	92
Tabla 26 Máximos y Mínimos para Alertas meteorológicos	95



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Arquitectura de sistema experto	25
Figura 2 Árbol de Decisión	26
Figura 3 Estructura proyecto Riego Iot	27
Figura 4 Estructura proyecto iot con xbee	28
Figura 5 Estructura de nodos proyecto	29
Figura 6 Modelo de comunicación dispositivo - dispositivo	31
Figura 7 Modelo de comunicación dispositivo -nube	32
Figura 8 Modelo de comunicación ‘dispositivo - puerta de enlace’	33
Figura 9 Evolución comunicaciones en internet	34
Figura 10 Barómetro de mercurio	36
Figura 11 Pluviómetro	36
Figura 12 Higrómetro	38
Figura 13 Factores que inciden en la producción vegetal y niveles de productividad alcanzados de acuerdo con las prácticas de cultivo.	42
Figura 14 Factores ambientales que inciden en la producción vegetal	44
Figura 15 Arquitectura del proyecto	53
Figura 16 Variables	56
Figura 17 Sensor para obtención de cantidad de agua- pluviómetro	57
Figura 18 Sensor para medición de Temperatura y Humedad	58
Figura 19 Gateway para recepción y envío de variables climáticas	59
Figura 20 Vereda el Maco	67
Figura 21 Nodo Sensor	68
Figura 22 Gateway y terminal	68
Figura 23 Plataforma IOT	69
Figura 24 Fruto con broca	70
Figura 25 Hojas con inicios de roya	71
Figura 26 Terreno deforestado	72
Figura 27 Diagrama de Capas del Sistema	75
Figura 28 Modelo Entidad Relación	77
Figura 29 Modelo Relacional de Datos	78



Figura 30 Modelo Vista controlador del proyecto	79
Figura 31 Diagrama de Clases	80
Figura 32 Diagrama de componentes	81
Figura 33 Diagrama de despliegue	82
Figura 34 Pantalla de ingreso al aplicativo	83
Figura 35 Pantalla de inicio del aplicativo	84
Figura 36 Pantalla consulta de estado actual de variables ambientales	85
Figura 37 Pantalla de visualización de alertas	86
Figura 38 Pantalla configuración de rangos de las variables	87
Figura 39 Pantalla historial de Variables	88
Figura 40 Diagrama de casos de uso	89
Figura 41 Tablas de la base de datos	98
Figura 42 Resultado consulta api	99
Figura 43 Proceso de análisis y almacenamiento de Alerta	100
Figura 44 Dispositivos para controlar microambiente	101
Figura 45 Dispositivos para controlar microambiente	102
Figura 46 Valores ambiente controlado de pruebas	103
Figura 47 Visualización de valores en la plataforma	103
Figura 48 Variables temperatura, humedad y precipitación para generación de alarma	104
Figura 49 Visualización de la alerta en la plataforma	105
Figura 50 Visualización de historial de variables ambientales	105
Figura 51 visualización de aplicativo en pantallas móviles	106



RESUMEN

La agricultura constituye uno de los renglones más importantes en la economía del país por la incidencia que tiene en los ingresos y sostenimiento de las áreas rurales; de acuerdo con el DANE tiene una contribución del 8% al producto interno bruto, que si bien ha disminuido su participación en los últimos años, aún sigue siendo representativo para Colombia.

De esta manera, con el fin de mejorar las capacidades productivas del sector agrícola a través de una mejor toma de decisiones, se plantea como una de las estrategias la introducción de la agricultura de precisión, mediante el uso de tecnologías de información y comunicación, resaltando entre estas tecnologías, el concepto de Internet de las Cosas, concepto que hace posible suministrar una solución tecnológica para mejorar la productividad del sector.

El presente trabajo de grado desarrolla un prototipo de software funcional para la visualización de parámetros ambientales asociados a la broca y la roya. A través de la visualización con la plataforma web se puede hacer un seguimiento al estado del cultivo a través de determinados sensores que proveen información en tiempo real, generando alertas en caso de que las condiciones ambientales representen un riesgo mayor de broca o roya; que permitan al agricultor tomar mejores decisiones en relación con sus cultivos, optimizando su producción.

Un aporte adicional del software, ya que cuenta con características genéricas que permiten su parametrización y ajuste en cuanto al uso de sensores y variables, es la posibilidad de despliegue en cultivos diferentes al café, ampliando su campo de uso y funcionalidad.

PALABRAS CLAVES

Internet de las Cosas (IoT), Cultivos de Café, Agricultura de Precisión, Variables Ambientales



INTRODUCCIÓN

La agricultura es un renglón importante en la economía del País, con una participación del 8% en el producto interno bruto (DANE, s.f.), que genera significativos ingresos en el sector rural. De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Colombia es uno de los siete países de Latinoamérica que cuenta con un gran potencial de expansión agrícola, sin necesidad de afectar la extensión de sus bosques naturales. En Colombia, el sector agropecuario ha presentado en el último año, una tendencia de crecimiento que se ubica por encima de la economía general, según el último informe publicado por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), en el último trimestre del 2017, presentó un crecimiento del 7,1%, mientras que la economía general sólo creció un 2%. (DANE, s.f.).

La agricultura de precisión es un concepto emergente que, valiéndose de las tecnologías de la información y la comunicación, busca mejorar el rendimiento económico de la producción agrícola. Existen varias definiciones para la agricultura de precisión, pero todas convergen en la misma idea, por eso, se ha tomado como definición la siguiente: *“La agricultura de precisión es un conjunto de técnicas de cultivo que utilizan tecnologías de la información, para ajustar el uso de semillas y de agroquímicos en función de la diversidad del medio físico y del medio biológico; esto conlleva una reducción de los costes de producción y una gestión agrícola más respetuosa con el medio”* (Fernández-Quintanilla, 2002). Este concepto permite inferir que la agricultura de precisión establece un nuevo sistema de administración del sector agrícola, sistema que brinda especial preponderancia al estudio de ciertos parámetros o variables, tales como: las características específicas del suelo, el nivel de humedad, la temperatura, el histórico de cultivos realizados, el nivel de nutrientes del suelo, el acceso a fuentes hídricas, entre otros criterios; así como la adopción de los conceptos de tiempo y espacio, los cuales hacen que el trabajo del agricultor sea más planificado y soportado en el conocimiento a priori de las condiciones de sus terrenos. No se contempla la existencia de características y necesidades similares en todas las áreas del terreno, sino que se trabaja en el estudio de cada fracción del mismo, comprendiendo su variabilidad y necesidades especiales.



Una alternativa para mejorar y optimizar la producción agrícola es el uso de las nuevas tecnologías, en particular de las tecnologías basadas en Internet de las Cosas (IoT, Internet of Things, por sus siglas en inglés), una de las tecnologías que ha generado desarrollos importantes en este campo y el cual es uno de los temas objeto de estudio del presente documento.

En la agricultura de precisión basada en IoT una de las principales funcionalidades que se usa corresponde al mapeo de las variables presentes en el terreno, variables que pueden ser estudiadas en campo o de manera remota, a través de una tecnología conocida como sensores, los cuales serán estudiados específicamente en lo relacionado a la detección de plagas y enfermedades. Es importante resaltar que los sensores mejoran su nivel de precisión, presentan una reducción en tamaño y varían su costo día a día. Además, por un lado, se pueden encontrar en el mercado sensores individuales para la medición de determinada variable, pero, por otro lado, se puede encontrar una integración de diferentes sensores en un mismo dispositivo. También, debido a que gran parte de los sensores cuentan con capacidad inalámbrica, es posible la integración total de la información en un solo nodo central utilizando los principios de las redes de datos centralizadas.

Mortensen (1999) indica que la población de malezas en un cultivo, presenta variabilidad espacial a lo largo y a lo ancho de los lotes debido a las diferencias en materia orgánica, textura del suelo, topografía y la interacción de todos estos factores con el manejo del cultivo y otras interacciones que existen dentro de un lote (Rodolfo Bongiovanni, s.f.). Dicha condición hace necesario el estudio específico de cada área del terreno, que permita realizar aplicación de dosis variables de insecticidas, herbicidas u otros agroquímicos en el suelo, en función de textura, pH y capacidad de intercambio catiónico del mismo, incidiendo en un mejor control de plagas y malezas, como resultado de una aplicación racionalizada de productos químicos, así como también en la consecuente mejora del costo-beneficio en relación al uso de los mismos productos, así como la reducción en el impacto ambiental y las posibles contaminaciones de fuentes hídricas.

Finalmente, se presenta la estructura del documento, de la siguiente forma:



En el capítulo uno se realiza un acercamiento a la bibliografía que existen alrededor de los conceptos de IoT y agricultura de precisión, mostrando algunos de los desarrollos implementados utilizando estas tecnologías; se hace referencia a varios conceptos teóricos como son las variables que pueden afectar los cultivos, las diferentes plagas y enfermedades que atañen a las plantaciones de café y se presenta la metodología de investigación estipulada para la realización de este trabajo de grado, y las fases y las actividades planificadas para la consecución de los objetivos.

En el capítulo dos se dan a conocer los resultados que se obtuvieron con la realización de las diferentes actividades desde la definición de las variables específicas que se utilizaran en el proyecto, la instrumentalización para la adquisición de los datos hasta el despliegue y pruebas en campo de los mismos, estableciendo así, un comparativo entre los elementos teóricos estudiados y el trabajo en sitio, para pasar por último al desarrollo del aplicativo que dará a conocer tanto los datos obtenidos de los sensores, como alertas tempranas asociadas a la proliferación de broca y roya en el café.



1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

1.1 Planteamiento del problema

1.1.1 Descripción del problema

La agricultura es un renglón importante en la economía del País debido a que genera significativos ingresos en el sector rural. De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Colombia es uno de los siete países de Latinoamérica que cuenta con un gran potencial de expansión agrícola, sin necesidad de afectar la extensión de sus bosques naturales. En Colombia, el sector agropecuario ha presentado en el último año una tendencia de crecimiento que se ubica por encima de la economía general. Según el último informe publicado por el DANE, en el último trimestre del 2017, presentó un crecimiento del 7,1%, mientras que la economía general sólo creció un 2%. (DANE, s.f.). Desde ésta perspectiva, la agricultura es un sector de la economía que debe ser potencializado, aprovechando las ventajas geográficas y climatológicas del país, logrando incrementar así la oferta de productos agrícolas con altos estándares de calidad, convirtiendo a Colombia, en uno de los principales proveedores de productos agrícolas que abastezca un porcentaje representativo de la demanda de alimentos a nivel mundial.

Si bien, la agricultura ha sido y continúa siendo un eje central dentro de la economía del país, aún carece de sistemas que optimicen sus procesos y permitan equilibrar los criterios de productividad, minimización de costos y sostenibilidad ambiental; por lo tanto, se hace necesario el fortalecimiento del sector a través de la implementación de nuevas tecnologías, que permitan mejorar la productividad y rentabilidad del mismo.

En este contexto, el café es uno de los principales renglones de la economía del país. De acuerdo con la Federación Nacional de Cafeteros, el impacto del café en la economía puede ser medida a través de cuatro indicadores: empleo, exportaciones, valor de la producción, así como el costo de oportunidad de la caficultura (Federación Nacional de Cafeteros, 2016). En relación al empleo, el café genera el 26% del total del empleo en el sector agrícola, en cuanto a producción y exportaciones, en el 2017 la producción de café alcanzó los 14, 3 millones de sacos



con un valor récord de la cosecha cercano a los \$7,8 billones, y exportaciones de 13,4 millones de sacos por un valor cercano a US\$ 2.854 millones (Vallejo, 2017), notificándose, así como un sector promisorio de la economía en Colombia.

Sin embargo, la productividad de los cultivos de café se ve condicionada a la genética de la planta o variedad y, por su interacción con el ambiente (suelo y clima), así como por las prácticas de cultivo (Arcila, Farfán, Moreno, & Salazar, 2017), factores que al no tener un adecuado control pueden reducir la tasa de producción o la calidad en sí del producto. Dentro del sector agrícola en Colombia, uno de los cultivos más destacados corresponde a la producción de café, el país produce cerca de 14 millones de sacos anuales, que representan aproximadamente ocho billones de pesos (Vallejo, 2017), ubicándolo como un producto clave dentro de la economía del país; es uno de los principales productos de exportación del país que contribuye al crecimiento económico y generación de empleo en la Región.

Bajo este concepto se puede inferir que la productividad se mira especialmente afectada por las condiciones químicas del suelo, la disponibilidad de nutrientes y la calidad del mismo; la presencia de arvenses, enfermedades y plagas, los cambios climáticos, entre otros; entendiendo que si bien existen factores que el agricultor difícilmente puede controlar, existen otros cuyo efecto sobre el cultivo estará en función de que tan buen manejo se haga de ellos. Según Arcila P., Farfán V., Moreno B., & Salazar G. (2017), “El desafío de un productor o asesor técnico es identificar en forma precisa todos los factores limitantes y eliminar o minimizar la influencia de aquellos que pueden manejarse”, generando así un campo de estudio que ha despertado el interés de diferentes sectores.

Entre las principales variables que afectan el café están las plagas y las enfermedades, las cuales son causadas por hongos, bacterias, virus y nematodos; estas últimas afectan el grano de café (Federación Nacional de Cafeteros, 2010). Las principales enfermedades que pueden afectar a los cultivos son: germinadores y almácigos, gusano trozador, chiza o mojojjoy, hormiguero de arrieras, arañita roja, la broca, la roya, la mancha de hierro, entre otros.



La presencia de plagas como la broca o la roya del café, puede incidir en pérdidas económicas considerables, esto hace necesario contar con un mecanismo en el sitio, que tenga en cuenta las variables que inciden en su proliferación. Según un estudio de CENICAFÉ, la broca constituye la principal plaga que afecta los cultivos, la cual penetra a las cerezas y se reproduce en el interior del grano, ocasionando la pérdida definitiva y en muchos casos, la caída prematura del fruto lo cual afecta la calidad física del grano y a su vez la bebida del café (Isaza, 2015).

Al generarse una herramienta que le permita al pequeño caficultor controlar de manera anticipada las condiciones de humedad, temperatura y pluviometría, se evitaría el surgimiento o cuando ya existan indicios de broca o roya, evitar su proliferación y, por ende, evitar las pérdidas en cultivos, que afectan de manera radical al pequeño y mediano productor.

1.1.2 Formulación del problema

¿Cómo se puede apoyar la detección de broca y la roya en cultivos de café bajo un sistema de producción tradicional, contemplando variables ambientales y utilizando IoT para la generación de alertas tempranas?

1.2 Justificación

La implementación de sistemas de agricultura de precisión a través de sensores capaces de evaluar el posible surgimiento de plagas y enfermedades o de determinar en forma precisa la cantidad y el momento adecuado para la utilización de fertilizantes, es una práctica que conduce a disminuir las pérdidas en la producción del cafetal, posibilita el uso de herbicidas pre-emergentes o post-emergentes en una dosis razonable acorde con las necesidades de los cultivos y sin afectar el medio ambiente. En el mundo las pérdidas anuales debido a la interferencia de arvenses se estiman en 287 toneladas de alimentos; cantidad suficiente para alimentar a más de 570 millones de personas (Arcila P., V., & G., 2007).

En este sentido, junto con la comprensión de las necesidades de un sector fuerte de la economía nacional y conociendo a manera general el concepto de agricultura de precisión, se



evidencia que este proyecto es pertinente debido a que pretende aplicar de manera específica algunas de las tecnologías a la vanguardia relacionadas con la agricultura de precisión y que se están utilizando para mejorar el rendimiento/productividad del sector agrícola. Sin embargo, a pesar de todos los beneficios que se tienen al implementar tecnología en la agricultura uno de las grandes limitantes se encuentra en los costos de los dispositivos y la complejidad del despliegue, si consideramos que gran parte de los cultivos de Nariño corresponden a minifundios con una cantidad de plantas no superior a 500 cafetos, esto no amerita los altos costos de inversión que supone el uso de tecnologías ya desarrolladas, por esto, este proyecto busca que el sistema generado contemple una parte de hardware de bajo costo.

En este contexto, la justificación de la presente investigación surge de la posibilidad de brindar una solución estimativamente viable a uno de los tantos problemas que enfrenta el sector agrícola; si bien el agricultor tradicional está sujeto a los constantes cambios climáticos, la carencia de maquinaria y la imposibilidad de acceder a capital para invertir en sus cultivos; se suma a esto las constantes pérdidas en la producción por la presencia de arvenses, enfermedades y plagas, tema que se profundizará a lo largo del presente documento, desde el punto de vista de estudiar la aplicación de tecnologías de agricultura de precisión para el manejo integral de las mismas. Por lo expuesto anteriormente, se ratifica la importancia de aportar desde el área tecnológica con un nuevo y eficiente sistema para el manejo de arvenses, plagas y enfermedades en cultivos de café en Colombia, apoyando a un sector clave dentro de la economía del País.

Por esto, se propone una solución basada en IoT, que permita el monitoreo de variables climáticas que puedan aumentar la incidencia de broca y roya, de tal forma que a través del seguimiento de las mismas se pueda generar alertas tempranas que faciliten la identificación y posterior toma de acciones preventivas. En cuanto, a la parte académica la propuesta brinda el montaje de una estación climatológica que permite el monitoreo de tres variables ambientales, sin embargo, dada característica modular puede ser acoplada a múltiples sensores y sus datos pueden ser usados para muchos otros desarrollos que se realicen desde el aula.

Es así, como este proyecto apunta a brindar al agricultor una nueva y mejor posibilidad de controlar la presencia de plagas y enfermedades como la roya y la broca en sus cultivos, sin



tener que recurrir al uso en exceso de fertilizantes químicos, que no solo acaban con estas en los cultivos, sino que repercuten en el deterioro del medio ambiente, incrementando sus costos de producción y reduciendo tanto la productividad como el retorno de la inversión. Entonces, contando con alertas tempranas se puede optar por alternativas basadas en métodos de control biológicos que sean amigables con el medio ambiente manteniendo un equilibrio simbiótico en torno al cultivo.

1.2 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Desarrollar un sistema de análisis que apoye la detección de broca y roya en sistemas de producción tradicional de cultivo de café a partir del seguimiento a variables climáticas a través de protocolos de comunicaciones para IOT.

1.3.2 Objetivos específicos

- ✓ Establecer un conjunto de variables climáticas relacionadas con el desarrollo de broca y roya en el café.
- ✓ Implementar un sistema de adquisición de variables climáticas mediante el uso de instrumentación electrónica a través de comunicaciones para IOT.
- ✓ Desarrollar un aplicativo web que integre las etapas de monitoreo y análisis de variables climáticas que permitan determinar el nivel de riesgo del cultivo en relación a la roya y la broca en el café.



1.4 Marco contextual

1.4.1 Perspectivas económicas de Colombia

La economía colombiana ha presentado una desaceleración en los últimos años, la participación del PIB pasó de crecer un 3,1 % en el 2015, a un 2% en el 2016 y tan solo un 1,2 % en el primer trimestre del 2017 (Centro de Investigaciones Económicas y Financieras, Cief-Universidad EAFIT, 2017). En el 2016, el crecimiento económico se vio principalmente representado por el sector seguros, sector inmobiliario, sector servicios, construcción e industria manufacturera, de acuerdo con las estadísticas presentadas por el DANE; mientras que en 2017, las actividades que más apoyaron el crecimiento económico fueron la agricultura, caza, ganadería, silvicultura, pesca; los establecimientos financieros, actividades inmobiliarias y actividades de servicios (DANE, 2017).

Específicamente la rama económica de Agricultura, creció en valor agregado en un 7,1% durante el 2017, mientras en el 2016 solo creció un 0,5% en relación al 2015; el moderado crecimiento durante el 2016, correspondió principalmente al incremento de la producción en el sector pecuario y de otros productos agrícolas, en tanto en 2017 este importante nivel de crecimiento fue soportado especialmente a un crecimiento del 21, 2% en los cultivos de café y, un 6% adicional al cultivo de otros productos agrícolas (DANE, 2017).

1.4.2 Economía del Departamento de Nariño

El departamento de Nariño, ubicado en el Sur Occidente Colombiano, soporta su economía fundamentalmente en el sector agrícola y ganadero, para el año 2015 las actividades agropecuarias tuvieron una participación del 14.1% dentro del PIB a nivel Departamental (Cámara de Comercio de Pasto, 2016), lo cual ratifica su notoria participación en la producción del Departamento.

De acuerdo con el informe de Competitividad de los Departamentos en Colombia, publicado por la CEPAL en el 2015, Nariño ocupa el puesto 19 en productividad entre 32 Departamentos evaluados; nivel de productividad que se ve especialmente afectado, por la falta



de tecnificación en los procesos productivos, el manejo artesanal especialmente del sector agrícola y pecuario y por la tercerización de la economía.

Como se expresaba anteriormente, el departamento de Nariño es una región que, por sus características geográficas biodiversas, basa su economía fundamentalmente en la agricultura; una de las principales y quizás más importantes cadenas productivas dentro del sector agrícola, corresponde al café, cadena que se ve especialmente favorecida por las condiciones geográficas y condiciones del suelo del Departamento, lo cual hace que su producto tenga características de calidad superior. La cadena productiva del café, es una de las actividades económicas con mayor aporte en la generación de empleo y reducción de la pobreza en el sector rural del Departamento.

1.4.3 Producción de café en Colombia y en el Departamento de Nariño

Según las Estadísticas presentadas por el informe Coffee World Markets and Trade, del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (Usa), Colombia ocupa el tercer lugar en exportación de café, con una producción de más de 11,5 millones de sacos, después de Brasil quien presenta una producción de 53,7 millones de sacos y Vietnam con 29 millones de sacos.

La producción de café en Colombia continúa una tendencia de crecimiento, después de la desaceleración presentada en 2011 y 2012, donde la producción bajo 7,7 millones de sacos; para el 2016 Colombia tuvo una producción de 14,23 millones de sacos de 60 kilos de café (Revista Dinero, s.f.), alcanzando la meta propuesta para el mismo año; para el 2017 la producción fue similar a la de 2016, cerrando el año en 14.2 millones de sacos, producción que se vio afectada por los constantes cambios climáticos y especialmente por la cantidad de lluvia presentada.

La producción de Café en Colombia, se concentra esencialmente en los Departamentos de Antioquia, Boyacá, Caldas, Cauca, Cesar, Caquetá, Casanare, Cundinamarca, Guajira, Huila, Magdalena, Meta, Nariño, Norte de Santander, Quindío, Risaralda, Santander, Tolima y Valle (Ovalle, 2008); el tipo de semilla que se cultiva corresponde a arábigo, Borbón, Caturra, Colombia y Tabí.



1.4.4 Modelo productivo del Café

La producción de café puede ser realizada bajo diferentes sistemas de producción, existen así, sistemas tradicionales con poca o escasa tecnificación, sistemas tecnificados, con semi-sombra y con sombra. Los sistemas de producción de café tradicionales responden a aquellas producciones de las familias campesinas, en donde la producción no excede las 2500 plantas por hectárea, por lo cual se realiza bajo un sistema de baja tecnificación, por lo general los cultivos de este tipo son expuestos al sol, sin ningún tipo de sombrío; existen también los sistemas de producción con semi-sombra que corresponde a sistemas de producción en los cuales se asigna un componente arbóreo para regular la luz solar en las plantaciones y, los cultivos con sombra los cuales tienen una protección arbórea permanente para regular la luz en los cultivos.

Los cultivos de café se miran afectados por diferentes variables, las cuales se clasifican en controlables y no controlables, dichas variables pueden ser manejadas con mayor o menor eficiencia por el agricultor o administrador del cafetal y así determinar la productividad del cafetal. Las principales variables a tener en cuenta son: condiciones ambientales, calidad del suelo, nivel de nutrientes, disponibilidad de fuentes hídricas adecuadas, arvenses, plagas y enfermedades, calidad de la semilla, la forma como sea tratada cada una de estas variables determinará la eficiencia del proceso productivo y a su vez la calidad de la cosecha.

1.4.5 Manejo de plagas y enfermedades en cultivos de café

La aparición de arvenses, plagas y enfermedades en los cultivos, es una de las variables que más afecta la productividad del cafetal, aun así esta variable puede ser tratada por parte del agricultor con la implementación de sistemas que le faciliten poder detectar de forma temprana la posible presencia de esas plagas antes de que éstas invadan las plantaciones o en el caso de que ya se encuentren afectadas las plantaciones permitan el uso racional de fertilizantes para erradicar las plagas y enfermedades sin generar perjuicios a los cultivos.

Las enfermedades y plagas constituyen una de las principales razones por las cuales, se generan pérdidas en los cultivos, causando un impacto negativo en la economía del agricultor,



productividad del cafetal y rentabilidad del cultivo, además, incide en la contaminación ambiental y de las fuentes hídricas debido al uso exagerado de herbicidas y fertilizantes.

El café, se da a conocer por ser uno de los cultivos más sensibles a la presencia de enfermedades o plagas, que generan pérdidas hasta en un 65% del total de cafetal (Arcila P., V., & G., 2007), es por ello que el manejo integrado y eficiente permite reducir los costos al momento de usar insecticidas y demás productos para la erradicación de plagas haciendo viable alcanzar un nivel de producción óptimo.

Como se explicaba anteriormente, no todas las arvenses afectan la productividad, las mismas se pueden clasificar según el nivel de interferencia en el desarrollo de cada uno de los cultivos, entre las cuales se puede encontrar: plantas benéficas, arvenses aceptables en la plantación, pero, que requieren manejo y arvenses que interfieren en alto grado en los cultivos y que exigen control (Arcila P., V., & G., 2007).

Los cultivos de café son afectados por diferentes tipos de plagas y enfermedades, entre algunas que se puede referenciar se encuentran: gusano trozador, chizao o mojoyoy, hormiguero de arrieras, minador, arañita roja y la broca, considerada la principal plaga de los cultivos de café, otras enfermedades considerables son: la roya del cafeto, mancha del hierro del cafeto, llaga macana, entre otras (Fundación Manuel Mejía).

1.4.6 Sensores para la detección y control de plagas y enfermedades

La agricultura de precisión abarca la identificación, comprensión y utilización de la información que cuantifica las variaciones del suelo y el medio ambiente en el sector agrícola. La información necesaria debe ser precisa y en tiempo real, lo cual lleva al desarrollo de varias tecnologías de detección que evalúan el suelo o el cultivo. Estos sistemas de detección se basan en diversos conceptos de medición, incluidos los eléctricos, electromagnéticos, ópticos, radiométricos y electroquímicos.



La funcionalidad de un sensor en particular está directamente relacionada con la necesidad de un parámetro básico a investigar, por ejemplo, el nivel de humedad en el suelo que puede estar relacionado con la cantidad de precipitación a la cual este sometido el terreno o la densidad del mismo.

Dada la variabilidad de características en los suelos y a las distintas condiciones climáticas de acuerdo a la ubicación de los cultivos, es necesario evaluar las diferentes tecnologías que existen referentes al tema de agricultura de precisión para así poder seleccionar la más idónea en términos de costo, tiempo de implementación y beneficio obtenido a fin de mejorar el nivel de productividad y competitividad de la cadena agroalimentaria principalmente el cultivo de café.

El uso de sensores para determinar las condiciones del suelo puede ayudar a identificar las áreas dentro del campo que son menos rentables o ambientalmente riesgosas para la granja, por cuanto mejora las condiciones socioeconómicas del agricultor. A pesar de la gran variedad de diseños de sensores la Tabla 1 resume los principales.

Tabla 1. Principales sensores y su función

PRINCIPALES SENSORES	FUNCIÓN
Sensores eléctricos y electromagnéticos	Miden la resistencia y conductividad eléctrica, capacitancia o inductancia afectada por la compactación del suelo.
Sensores ópticos y radiométricos que usan ondas electromagnéticas	Detectar los niveles de energía absorbida y reflejada por las partículas del suelo.
Sensores Mecánicos	Miden las fuerzas resultantes de una herramienta vinculada al suelo.
Sensores acústicos	Cuantifican el sonido producido por una herramienta que interactúa con el suelo.
Sensores Neumáticos	Evalúan la posibilidad de inyectar aire en el suelo



Sensores Electroquímicos

producen un voltaje de salida en respuesta a la actividad de iones seleccionados (Hidrógeno, potasio, calcio, sodio, etc.)

Fuente: Autor.

Además de la gran variedad de sensores, existen diferentes características que los definen y diferencian. Entre las principales están:

La **precisión**, ya que esta determina el mejor tratamiento de la información obtenida, por cuanto si la información es errónea o desfasada constituirá en una toma de decisiones equivocada que puede desencadenar un riesgo económico.

La **confiabilidad**, se refiere a la capacidad del sensor de suministrar la información para la cual fue diseñado, ante condiciones difíciles del ambiente, sin que eso interfiera en su operación y suministro de datos.

El **costo de implementación**, es el valor que tiene para el agricultor la implementación y puesta en marcha, lo cual está relacionado con el tiempo de retorno de su inversión y periodo de obsolescencia que este pueda tener y el valor agregado que tendrá en su cultivo por la utilización de esta tecnología.

Para este proyecto se utilizará un conjunto de sensores, compuesto por un sensor WH40, el cual permite medir la cantidad de lluvia y el sensor WH32 como sensor de humedad y temperatura. Las características técnicas de este sensor están dadas por la tabla 2.

Tabla 2. Características técnicas del conjunto de sensores, los cuales serán implementados para la recolección de información.

CARACTERÍSTICA	RANGO DE OPERACIÓN
Tipo de conexión inalámbrica	Señal Rf con frecuencia de 433 MHz
Distancia máxima de transmisión	300 metros



Intervalo de envío de datos	61 segundos
Rango de medición de lluvia	0- 6000 mm
Rango de medición de temperatura	-9.9 pc a 60 cc
Rango de medición de humedad	10% a 99%

Fuente. Autor.

1.5 Marco de antecedentes

En la actualidad existen diferentes soluciones tecnológicas para el sector agrícola que usan IoT como base de su tecnología, así mismo existen diferentes tipos tecnología aplicables al mismo objetivo como algunas metodologías que son usadas para el desarrollo de esta propuesta. A continuación, se relacionarán algunas de ellas que tienen relevancia dentro del proyecto.

1.5.1 Sistemas expertos para la detección de enfermedades en el café

En el caso del trabajo presentado por Marcos (2011), se plantea el diseño de un sistema experto usando una metodología específica conocida como Buchanan para construir un mecanismo que pueda realizar la detección de roya en los cultivos, la metodología usa un ciclo de vida jerárquico que define cinco módulos, que son identificación, conceptualización, formalización, implementación y validación. La arquitectura del sistema planteado está compuesta como se muestra en la figura 1, por una interfaz de usuario, un módulo de procesamiento de variables básicas, un módulo py know como centro de información y los módulos de niveles.

Este sistema experto tiene una precisión de un 66.7% y puede ser adaptado para aumentar su precisión, los investigadores colombianos usaron algoritmos de *Machine Learning* para crear modelos capaces de detectar la roya en granjas experimentales, estos modelos se crearon con set de datos que contenían información de las variables que afectan el cultivo y algunos ejemplos de plantas infectadas.

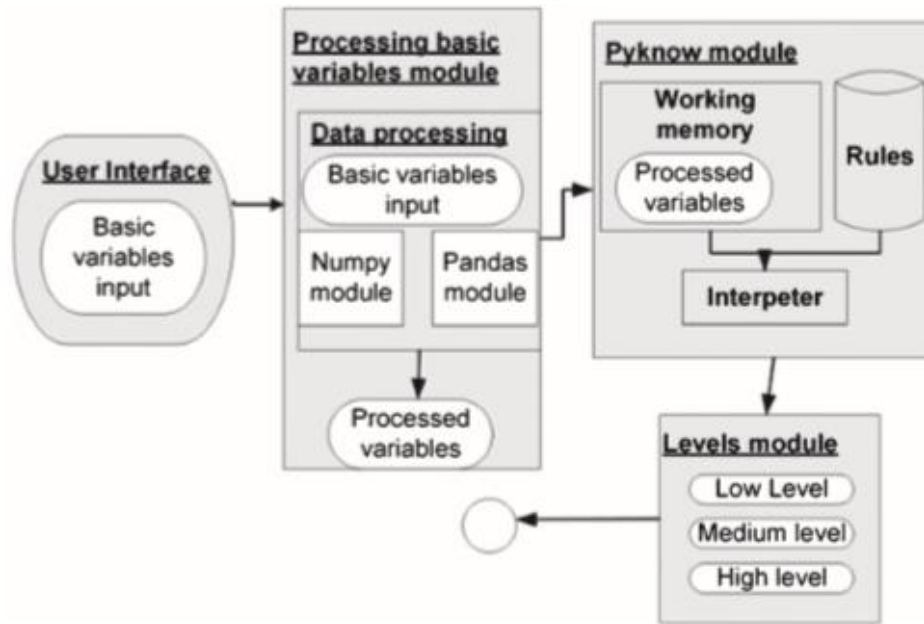


Figura 1. Arquitectura de un sistema experto. Fuente. (Marcos, 2011)

Además, se reconoce la existencia de proyectos que se fundamentan en sistemas expertos a partir de un conocimiento sólido en la detección de enfermedades en cultivos; los investigadores presentan el uso de esta tecnología en Indonesia, se usan diferentes variables, pero, principalmente el sistema está basado en un sistema de reconocimiento de patrones que apoyada en una base de conocimiento y un motor de inferencia permiten que a través de determinadas reglas se establezcan síntomas de enfermedades de café y se continúen aplicando reglas hasta que ninguna regla sea aplicable y se obtenga un resultado, basado en estos factores acerca de los síntomas de enfermedades de las plantas, se construye un árbol de decisión ajustada a la predicción.

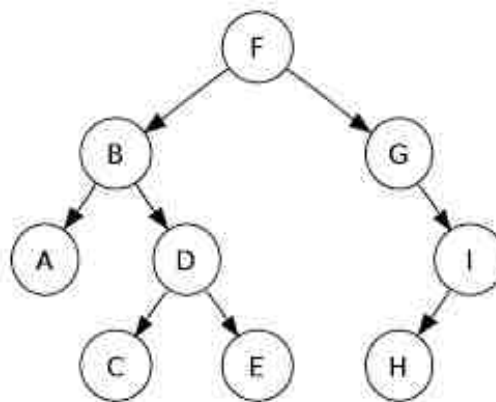


Figura 2. Estructura de un árbol de Decisión. Fuente: Autor.

Se cuenta con reglas de clasificación a través de un árbol de decisión IF-THEN (como el que se presenta en la figura 2) con técnicas de aplicación hacia adelante con un encadenamiento, es decir, impulsado por datos, donde el sistema comenzó con entrega de un elemento de inicialización temprana, es decir, un síntoma de enfermedad del café y continúan aplicando la regla hasta que no haya reglas que puedan ser aplicadas o que el objetivo haya sido logrado.

1.5.3 Sistema de riego basado en Internet de las Cosas (IoT)

Para la realización de este proyecto en la parte de arquitectura se emplearon diferentes componentes de hardware y software de uso libre denominados open hardware y open software a fin de disminuir los costos y así responder a las características socio económicos de la población.

En cuanto a la etapa de computación en la nube se ha utilizado lenguaje Java y un servidor de aplicaciones WildFl y para dar soporte a la implementación del sistema se tiene un gestor de base de datos Postgresql y un sistema operativo Linux que permite el paso de información con formatos JSON Y XML a través de servicios Web, el sistema cuenta con un nodo actuador, nodo sensor, Gateway y un servidor en la nube como se muestra en la figura 3.

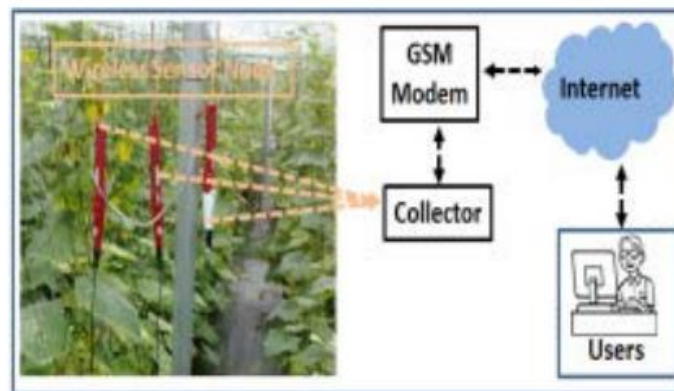


Figura 3. Estructura proyecto Riego IoT. Fuente: (Anaya-Isaza, 2017).

Aunque, en el mercado se encuentran sistemas autónomos que realizan este proceso planteado en este proyecto, este se convierte en una opción accesible debido a su precio en



relación a los otros y de esta manera suministra una solución al uso eficiente del agua en la irrigación de cultivos.

1.5.4 Sistemas basados en redes de sensores y agricultura de precisión

Desde las redes de sensores orientadas a la agricultura de precisión encontramos dos importantes proyectos. Los cuales se han tratado de especificar así:

- **Monitoreo de cultivos con redes de sensores XBee, Arduino, y dispositivos de medición de suelos**

En este proyecto se implementan cada una de las etapas planteadas en la ingeniería de software para crear un sistema de información Web que permite tener acceso al estado y comportamiento de la plantación y así poder realizar un seguimiento y control de sus variables y así garantizar el crecimiento óptimo del cultivo y desarrollo de la planta, atenuando la pérdida en las cosechas, para esto se cuenta con sistema de alertas a cargo de los administradores los cuales tomarían las decisiones adecuadas en pro del bienestar del cultivo.

El sistema de agricultura de precisión integra conocimientos sobre sensores, automatización, control, transmisión digital en redes, almacenamiento y procesamiento de información; para la toma de los datos el sistema usa WSN(Wireless Sensor Networks) constituida por varios dispositivos distribuidos adecuadamente y entrelazadas para recoger, procesar y comunicar las medidas de cada variable.

El sistema está compuesto por una red de sensores conectados a un Gateway a través de módulos Xbee y un servidor web para acceso y control de las variables por parte del usuario final. En la figura 4 se presenta un proyecto implementado por Grass Gis utilizando los XBee y Gateways en un proyecto de agricultura de precisión.



Figura 4. Estructura proyecto IoT con XBee. Fuente: Grass gis

Al final del proyecto se obtiene un aplicativo web, accesible desde cualquier navegador web, desde donde el usuario puede monitorear constantemente las variables obtenidas por el sistema, realizar gráficas históricas del comportamiento de las variables en un intervalo de tiempo definido, por otra parte, el sistema genera alertas cuando existan valores fuera de rangos definidos. Como parte de las características del aplicativo, este posee dos tipos de usuario para el acceso a la información, lo cual permite parametrizar el sistema de acuerdo a los diferentes tipos de cultivo y tipos de alertas requeridas.

- **Redes de sensores inalámbricos aplicados a optimización en agricultura de precisión para cultivos de café en Colombia.**

El trabajo plantea el uso de sensores inalámbricos para agricultura de precisión en cultivos de café con el estándar 802.15.4. la arquitectura del sistema planteado consta de tres nodos que se utilizan para temperatura, humedad del suelo, temperatura de las hojas, radiación solar y flujo fotosintético, la transmisión se hace a través de un módulo Xbee, el nodo coordinador cuenta con una estación climatológica y un modem GSM que tiene la función de enviar la información a un servidor central el cual cuenta con un microcontrolador principal que recibe la información suministrada por los sensores de temperatura, humedad del suelo, flujo

fotosintético, temperatura en las hojas y radiación solar, en cuanto al nodo coordinador este cuenta con una arquitectura similar al nodo sensor pero con la diferencia que este va conectado con un módulo Xbee y se encarga de recibir la información de los nodos sensores para enviar la información a través de GSM a un servidor central (Véase figura 5).

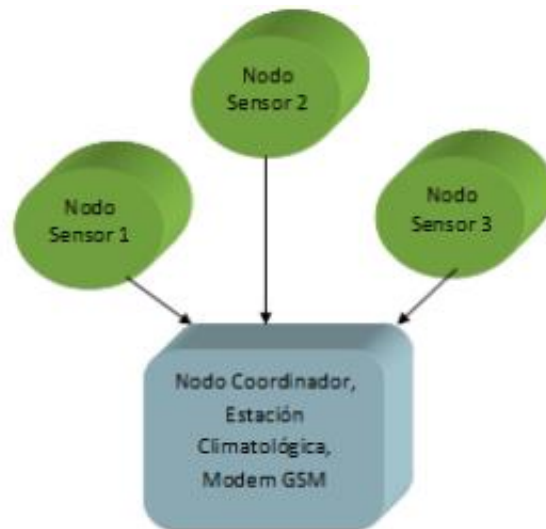


Figura 5. Estructura de nodos proyecto. Fuente: Autor.

En este proyecto se utilizan principios básicos de una red de sensores inalámbricos aplicados a la optimización en agricultura de precisión y en particular para los cultivos de café en Colombia. Se utilizaron redes WSN y se realizaron pruebas de transferencia de datos en los cuales se detectaron problemas debido a las condiciones climáticas, lo cual es de tener en cuenta para proyectos similares.

1.6 Marco teórico-conceptual

1.6.1 Definición del Internet de las Cosas, IoT

Aunque el término “Internet de las Cosas” (IoT) es relativamente nuevo, el concepto de combinar computadoras y redes para monitorear y controlar diferentes dispositivos ha existido durante décadas. El término se usó por primera vez en 1999 por Kevin Ashton, quien lo usó para poder definir un sistema mediante el cual objetos físicos se podían conectar a internet a través del



uso de sensores. El día de hoy, el término se ha popularizado para dar a conocer el escenario en el cual objetos cotidianos tiene la capacidad de cómputo para acceder a internet.

El primer dispositivo doméstico que se conectó a internet fue una tostadora conectada mediante IP, la cual se podía prender y apagar, esta fue presentada en una conferencia sobre internet en 1990, durante los años siguientes, se fueron conectando más cosas y, este aumento de los dispositivos que se conectan fue acompañado de la tecnología que permitía su conexión, la cual cada vez permitía un acceso más amplio, económico y sencillo.

Desde este punto de vista, la IoT representa la convergencia de una variedad de tendencias en las áreas de la computación y la conectividad que se vienen dando desde hace muchas décadas (Rose, Eldridge, & Chapin, s. f.).

1.6.2 Modelo de comunicación ‘dispositivo-dispositivo’

En este modelo se representan dos o más dispositivos los cuales se interconectan directamente o a través de un servidor de aplicaciones que actúa como intermediario. Este modelo es utilizado en muchos tipos de redes entre las cuales resaltan las redes IP o la internet. Los protocolos usados para establecer conexiones directas normalmente son Bluetooth, Zigbee o Z-Wave.

El modelo de comunicación dispositivo a dispositivo presentado en la figura 6 representa dos o más módulos que se conectan y se comunican directamente entre sí y no a través de un servidor de aplicaciones intermediario. Estos dispositivos se comunican sobre muchos tipos de redes, entre ellas las redes IP o la Internet. Sin embargo, para establecer comunicaciones directas de dispositivo a dispositivo, muchas veces se utilizan protocolos como Bluetooth, Z-Wave o ZigBee.

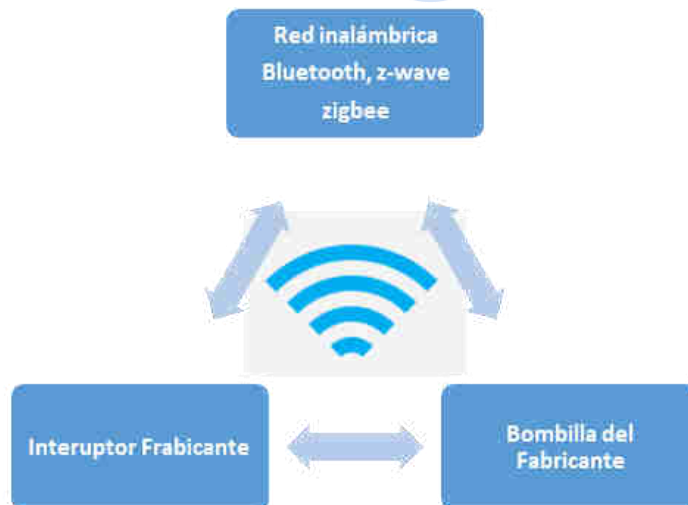


Figura 6. Modelo de comunicación dispositivo – dispositivo. Fuente: Autor.

1.6.3 Modelo de comunicación ‘dispositivo-nube’

En este modelo (figura 7) existe un dispositivo IoT que tiene la capacidad de conectarse directamente a un servicio en línea, es el caso de proveedores de servicios de aplicaciones para intercambio de datos y control del tráfico de mensajes, mediante este modelo se puede aprovechar las formas de comunicaciones existentes como son redes Wi-Fi, o cableadas para establecer conexiones entre el dispositivo y una red que luego suministra acceso a internet.

En adición, este tipo de conexión hace que el usuario pueda acceder a su dispositivo IoT de manera remota ya sea a través de un teléfono inteligente o una plataforma web que también brinda las actualizaciones que pueda requerir el dispositivo IoT.



Figura 7. Modelo de comunicación dispositivo –nube Fuente: Internet Society

1.6.4 Modelo de comunicación ‘dispositivo-puerta de enlace’

En este tipo de modelo, como el presentado en la figura 8, que se conoce comúnmente como dispositivo a puerta de enlace de capa de aplicación (ALG), un dispositivo IoT tiene acceso a través de una puerta de enlace de aplicación y la usa como una forma de tener acceso a la nube. En otras palabras, significa que hay un software en la puerta de enlace que da acceso a internet de acuerdo a determinadas condiciones, actuando como intermediario entre el dispositivo y la nube, esto hace que se provea gran seguridad además de la traducción de protocolos o datos según se requiera.

Además de este tipo de conexión el enlace también se puede dar a través de los nuevos dispositivos puerta de enlace conocidos como “Hub” que comúnmente están en los dispositivos de automatización de las casas. Estos dispositivos sirven de puerta enlace a los dispositivos individuales IoT y un servicio en la nube lo cual reduce los problemas de interoperabilidad de un dispositivo con otro (Rose et al., s. f.).

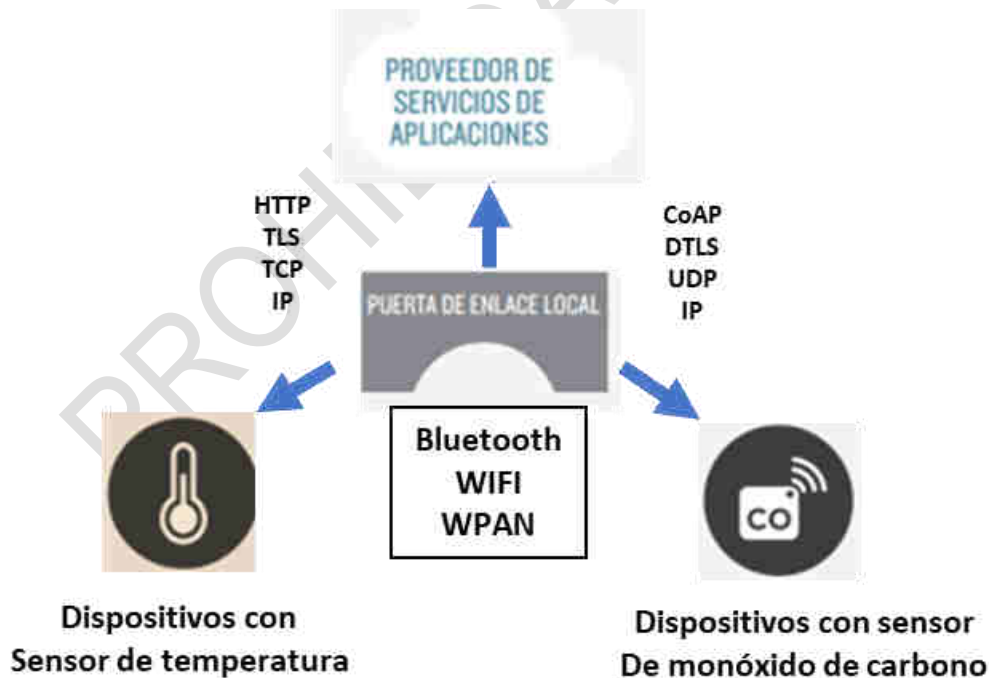


Figura 8. Modelo de comunicación ‘dispositivo - puerta de enlace’ Fuente: Internet Society

1.6.5 IoT en la agricultura

En el desarrollo de internet desde su inicio se llevaron a cabo varias fases las cuales y aunque IoT trata principalmente de la sincronización de objetos en el internet, existe un nivel de intervención humana que hace que esto sea posible, esto con el pasar del tiempo y las constantes mejoras en el campo permitieron que cada vez se mejorará el nivel de interconexión empezando en una primera fase que fue el Pre-Internet , donde las comunicaciones eran posibles a través de líneas telefónicas y mensajes de texto(SMS) a través de dispositivos de telefonía, posteriormente se avanzó a la fase de internet en la cual era posible enviar y recibir mensajes grandes, se implantaron los navegadores, envió de correos electrónicos que eran capaces de tener archivos adjuntos. La tercera fase es el internet de servicios que fue focalizado en aplicaciones electrónicas que permitían aumentar el nivel de productividad o comercio electrónico. Posteriormente como cuarta fase se encuentra el internet de la gente el cual permitía la inter relación entre las personas y aparecieron numerosas plataformas como las redes sociales que se conocen habitualmente. Finalmente, se encuentra la última fase que es el Internet de las cosas donde los dispositivos poseen una parte funcional que permite comunicarse unos a otros y realizar diferentes actividades. La figura 9 resume la evolución del internet desde el pre-internet hasta el IoT.

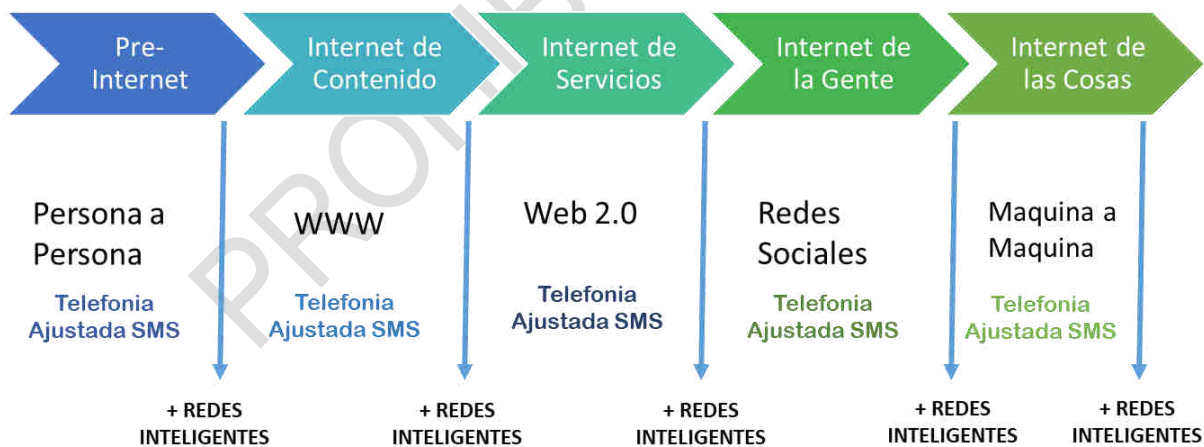


Figura 9. Evolución comunicaciones en internet. **Fuente:** Internet society

La agricultura de precisión permite que la toma de decisiones en las fincas pueda contar el apoyo tecnológico, así, de esta manera, se puede evaluar el nivel óptimo en el cual se



encuentra los cultivos para maximizar su productividad. El objetivo de usar sistemas IoT en la agricultura es proveer herramientas que mejoren la protección del ambiente, rendimiento de los cultivos y aprovechamiento de los recursos.

Con el uso de las tecnologías de IOT, los productores han pasado de la agricultura tradicional a implantar teorías y prácticas que permiten incorporar dispositivos inteligentes a fin de lograr evaluar los parámetros que contribuyan a el crecimiento de las plantas acorde con los datos que son entregados por los dispositivos.

1.6.6 Agricultura de Precisión

La agricultura de precisión se conoce como un núcleo de información el cual es controlado a través de un sistema que ha sido diseñado para mejorar la producción y la reducción del impacto en el ambiente que se produce, esto por medio del monitoreo que se realiza al cultivo. En un sistema de agricultura de precisión, se integran conocimientos de sensores, automatización y control, así como mecanismos para la transmisión digital de los datos, almacenamiento y procesamiento de estos. Normalmente para la adquisición de información se usa una red WSN(Wireless Sensor Network) en la cual se encuentran varios dispositivos unidos para la recolección de información la cual es enviada para su procesamiento y valor de cada variable (Khanna & Kaur, 2019).

1.6.7 Tecnologías para medición de variables y desarrollo de software

- **Variables físicas**

Las variables físicas que afectan las plantas son aquellas que cumplen una condición directa sobre los cultivos y su entorno, por lo que es necesario realizar una medición de estas como son la temperatura, humedad, radiación solar, pH, para que de esta manera se le pueda dar una interpretación adecuada de acuerdo al uso que se tiene establecido.

- **Presión Atmosférica**

La presión atmosférica se conoce como la fuerza por unidad que ejerce la atmósfera sobre una superficie en relación a su peso; se compara con el peso de una columna de aire desde el nivel dado hasta el límite superior de la atmósfera. Esta variable puede medirse en varias unidades: Hectopascales, Milibares, Pulgadas o milímetros de mercurio(Hg). Para la medición se cuenta con varios dispositivos denominados barómetros y entre estos están:

- Barómetro de Ebullición
- Barómetro aneroide
- Barómetro de mercurio

Los barómetros (como el presentado en la figura 10) constituyen instrumentos esenciales cuando se pretende determinar el estado de la atmósfera y así, poder realizar una predicción atmosférica. Normalmente las presiones altas van acordes con regiones con bajas precipitaciones y las presiones bajas indican lluvias. (*Instrumentos Meteorológicos y Humedad Atmosférica.pdf*, s. f.).



Figura 10. Barómetro de mercurio. Fuente: René Garreaud

- **Precipitación**

La precipitación constituye cualquier forma de agua, en estado líquido o sólido la cual cae desde las nubes hasta llegar a la tierra, en mediciones de precipitación, se mide la tasa de

acumulación de lluvia o nivel por unidad de área horizontal. Normalmente, una acumulación de 1 mm es igual a un volumen de 1 litro por metro cuadrado de superficie.

- **Pluviómetro**

Este es el instrumento utilizado para medir la cantidad de agua lluvia que cae en un intervalo de tiempo determinado. Para ello se dispone de una probeta graduada donde se efectúan las lecturas directamente en mililitros o en litros por metro cuadrado. Este instrumento se compone de un vaso cilíndrico que recoge el agua y este contiene marcaciones, como lo muestra la figura 11.



Figura 11. Pluviómetro. El pluviómetro de báscula es ampliamente utilizado en estaciones meteorológicas Fuente: RED, M E. (2017)

- **Temperatura**

La temperatura permite cuantificar la actividad de las moléculas que se encuentran en la materia. Se encuentra principalmente relacionada con la energía cinética la cual es la energía que se relaciona con movimientos de partículas en un sistema. Entre más es la energía mayor es la temperatura. La temperatura constituye una propiedad de la materia que se puede percibir cuando se toca un objeto, constando que se encuentra frío o caliente. Comúnmente el instrumento usado para realizar mediciones de temperatura es el termómetro el cual se calibra de acuerdo a diferentes escalas según la zona del planeta donde se localice.

Históricamente se han tenido como referencia varias escalas, pero actualmente existen tres que son las más reconocidas: Grados Celsius, Grados Kelvin y Grados Fahrenheit. Se desarrollaron una serie de escalas que tomaban distintos puntos de referencia; en la actualidad, hay tres escalas internacionalmente reconocidas, la escala en grados Celsius, la escala en grados

Kelvin y la escala en grados Fahrenheit. (Sociedad Andaluza de Educación Matemáticas Thales, 2019).

- **Humedad**

El higrómetro (figura 12) es un instrumento utilizado para medir el grado de humedad en el aire, suelo o plantas. Para realizar la medida mide la cantidad de agua que existe en el ambiente, estos sensores perciben la variación del grado humedad en el aire. La unidad de medida que se utiliza en la medición está dada por el porcentaje de humedad, para el caso de los higrómetros electrónicos funcionan a partir de dos electrodos entre los cuales hay un tejido que se encuentra impregnado en cloruro de litio mezclado con agua. (RED, 2017)



Figura 12. Higrómetro. Fuente:RED,M.E.(2017)

1.6.8 Servidor Web

Un servidor Web se define como un software que usa HTTP (Hypertext Transfer Protocol) para suministrar archivos a usuarios o para realizar las respuestas a solicitudes, una computadora dedicada a ofrecer estos servicios se denomina también servidor web. Se conocen cuatro principales servidores web que son: Apache, IIS, lighttpd y Jigsaw, se dará más detalle a continuación.

- **Servidor Apache HTTP**



Constituye el servidor más usado a nivel global, fue desarrollado por Apache Software Foundation. Este servidor es de código abierto y puede ser instalado en la mayoría de sistemas operativos incluyendo Linux, Windows, Mac Os, entre otros. Alrededor del 60% de los servidores web tiene un servidor apache.

- **Internet Information Server (IIS)**

Internet Information Server (IIS) es un servidor Web desarrollado por Microsoft. Este servidor se ejecuta en máquinas con Windows en las cuales viene ya instalado.

- **Lighttpd**

El lighttpd, al igual que apache es un servidor gratuito que se encuentra el sistema operativo FreeBSD. Se destaca por ser rápido, seguro y consume menos recursos de la CPU. También es multiplataforma pudiendo instalarse en Windows, MacOS y linux.

- **Sun Java Web Server System**

Este servidor web es desarrollado por Sun Microsystems se usa en sitios web medianos y grandes, aunque es de pago puede ejecutarse en plataformas Windows, Linux y Unix. Este tipo de servidor soporta distintos lenguajes, scripts como son JSP, Java Servlets, PHP, Perl, Python, Ruby , ASP y Coldfusion («Qué es un Servidor Web», s. f.)

- **Gateway**

Se conoce por Gateway a un dispositivo que permite interconectar dos redes con protocolos o arquitecturas diferentes. El propósito del mismo es traducir la información de una red a otra.

El Gateway generalmente tiende a ser un equipo informático que se encuentra configurado para permitir a las máquinas de una red local (LAN) que se encuentren conectadas a



él a un acceso a una red externa, para lo cual normalmente se realiza una traducción de IPs (NAT:network address translation). Para poder realizar este proceso se usa una técnica denominada enmascaramiento de IP con la cual se puede dar acceso a equipo a internet a través de una sola dirección ip externa.(«¿Qué es una puerta de enlace (Gateway)?», s. f.)

- **Web Service**

Un *web service* es un conjunto de protocolos y estándares que sirven para intercambiar datos entre aplicaciones. Distintas aplicaciones de software desarrolladas en lenguajes de programación diferentes, y ejecutadas sobre cualquier plataforma, pueden utilizar los servicios web para intercambiar datos en redes de ordenadores como internet.

- **Clases de Web Services**

De acuerdo a sus características técnicas los Web Service pueden categorizarse en dos tipos de servicios principales: SOAP y REST.

1.6.9 Cultivos Agrícolas (Café)

1.6.9.1 Fase de desarrollo vegetativo.

Se denomina al periodo transcurrido entre la germinación hasta la salida de las primeras flores; esta fase puede tener una duración de un día y puede estar afectada por la época de siembra, la temperatura y las condiciones hídricas. Se le llama primera floración al momento en el cual al menos el 50% de las plantas poseen flor. En el momento en que se ha completado la siembra hasta la primera floración se considera un periodo vegetativo y reproductivo, los cuales transcurren simultáneamente mientras se mantenga la planta. La fase de cenestesia del cafeto se denomina cuando este alcanza su máximo nivel de desarrollo y productividad que va entre los seis a ocho años de edad, luego de estos el nivel de productividad se deteriora drásticamente.



1.6.9.2 Factores que limitan el desarrollo de las raíces del cafeto

En el momento en que un cafetal se establece en un suelo con condiciones desfavorables estas toman un sistema de raíces limitado, el cual se ve en el crecimiento débil de la parte alta del árbol, se puede apreciar también el tono amarillento de las hojas que muestran deficiencias nutricionales, gran cantidad de la mancha de hierro en hojas y frutos, bajo desarrollo de los brotes, defoliación, secamiento de las ramas y los frutos de esta, nivel bajo de producción y en algunos escenarios la muerte del árbol. En la fase vegetativa y reproductiva tienen gran incidencia las condiciones físicas y químicas del suelo, así como el ataque que se pueda presentar por arvenses (Arcila P., V., & G., 2007).

Características físicas del suelo. En cuanto a las características del suelo a nivel físico que limitan el desarrollo radical se encuentran: la alta pedregosidad, condiciones hídricas inadecuadas, poco nivel de aire y bajo nivel de retención de agua. En cuanto al nivel químico un suelo que no cuente con condiciones de fertilidad adecuada hace que se afecte el desarrollo radical. Para el caso de las zonas cafeteras de Colombia predominan los suelos ácidos los cuales inciden en la fertilidad y poseen características como el PH ácido en mayor medida, es decir mayor de 5,0; un alto nivel de aluminio es decir mayor a 60% lo cual causa un nivel bajo de desarrollo en la raíz por bloqueamiento de las partes vasculares del árbol y los bajos niveles de materia orgánica y fósforo (Arcila P., V., & G., 2007)

Entre las variables ambientales están el índice de humedad en el suelo, disponibilidad de nutrientes y el mismo estrés que presentan el árbol, a pesar de esta información se considera que existe muy poca información cuantitativa sobre el desarrollo radical de los árboles (Arcila P., V., & G., 2007).

1.6.9.3 Factores que inciden en la producción Vegetal

Existen determinados factores que inciden en la producción agrícola alterando de una manera positiva o negativa la productividad, estos factores pueden ser determinantes, limitativos o reductores. Existen algunos factores que pueden ser ajustados y otros que no pueden ser corregidos como son los factores limitantes, a continuación se mostraran los factores que inciden

en la producción vegetal y los niveles de productividad de acuerdo a las prácticas que se realizan en el cultivo. Mediante la figura 13 se agrupa los factores de acuerdo a la producción y los niveles de producción.

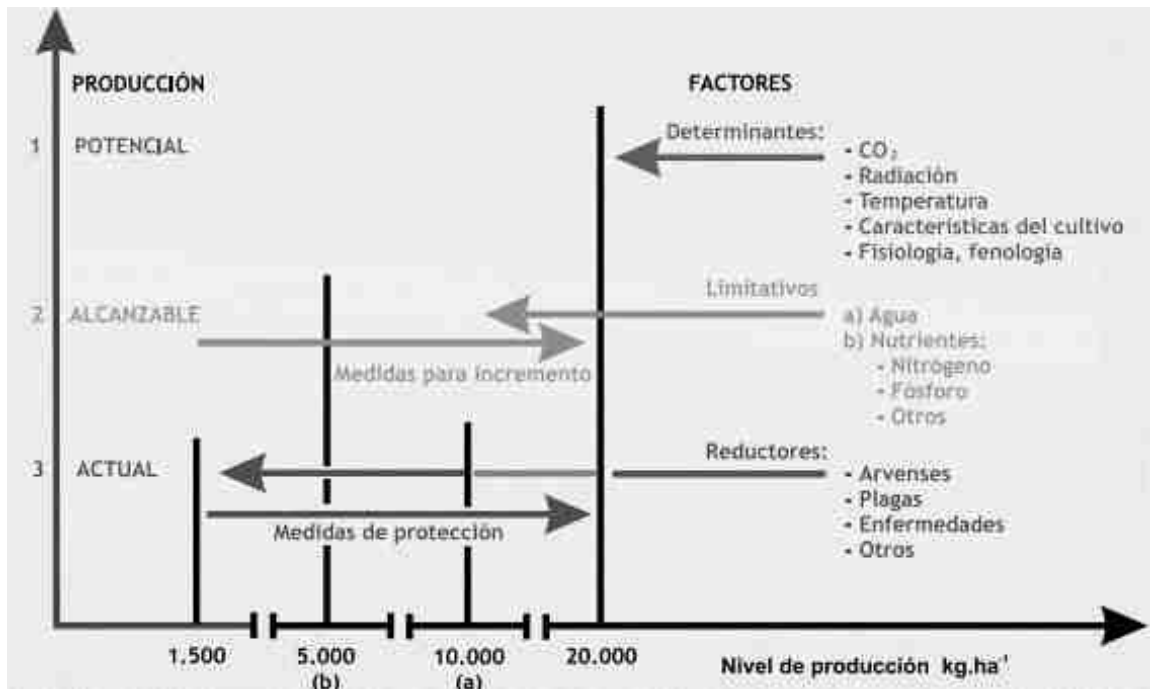


Figura 13. Factores que inciden en la producción vegetal y niveles de productividad alcanzados de acuerdo con las prácticas de cultivo. **Fuente:** López et al

Usualmente los agricultores que tiene éxito en sus cultivos utilizan el principio de la Ley del Mínimo de manera consciente o inconsciente. Esto lo podemos ver cuando un agricultor después de haber sembrado la variedad adecuada en el momento oportuno con la densidad apropiada y el nivel de fertilizante correcto no logra alcanzar una producción óptima, en este caso porque el factor del agua fue un factor limitante para la planta. El nivel de productividad de un cafetal se calcula por los kilogramos de café (Kg cps) obtenidos por unidad de recurso utilizado para su producción. Los factores que determinan la productividad del cafetal, están dados por:

- Calidad del sitio (condiciones de suelo y clima).
- Variedad utilizada.
- Densidad de siembra (número de plantas/hectárea y renovación oportuna).



En el proceso productivo la eficiencia depende de la oportunidad y pertinencia con que se realicen las prácticas administrativas asociadas con el control de arvenses, enfermedades y plagas. La sinergia que existe entre estos conjuntos de factores y opciones tecnológicas, brindan lo que se conoce como un sistema de producción. Por ende, existe una amplia gama de sistemas de producción de café: intensivo, extensivo, subsistencia, campesino, empresarial, plena exposición solar, sistemas agroforestales orgánicos y algunos otros. La tabla 3 agrupa los factores climáticos, geográficos, relacionados al suelo y al cultivo.

Tabla 3. Factores que afectan el crecimiento del cultivo

Factores climáticos y geográficos	Factores del suelo	Factores del cultivo
Precipitación (cantidad y distribución)	Contenido de Materia Orgánica	Especie y variedad
Temperatura del aire	Textura	Calidad de la Semilla
Humedad Relativa	Estructura	Fecha de siembra
Luz (cantidad, intensidad y duración)	Capacidad de intercambio catiónico	Densidad de siembra y su geometría.
Viento (velocidad, distribución)	Saturación de bases	Evapotranspiración
concentración de Co ₂	Pendiente y topografía	Disponibilidad hídrica
Altitud	Temperatura del suelo	Nutrición
Latitud	Factores de manejo del suelo	Plagas y Enfermedades
	Profundidad efectiva	
	Fertilidad del suelo	

Fuente: Autor

Entre los factores ambientales se cuentan la disponibilidad de energía y agua como los más importantes en la producción, al realizar su inclusión en los procesos físicos y bioquímicos que se necesitan para el crecimiento y desarrollo del cafeto. La disponibilidad de energía tiene un

papel vital para el desarrollo de la planta por sus efectos térmicos y su relevancia en el proceso fotosintético en donde parte de la energía es usada en la síntesis de compuestos de alta energía y compuestos carbonados.

La radiación solar normalmente al límite de la atmósfera terrestre llega a un valor aproximado de 1370 Wm^2 , este valor se denomina constante solar, sin embargo, este valor es reducido en tres cuartas partes al llegar a la superficie de la tierra aproximadamente 342 Wm^2 , esto debido a la filtración en el paso por la atmósfera, en ese momento se dispersa gran parte de la radiación (Jaramillo, 2005). La temperatura que en diversas investigaciones se ha dado a conocer, presume que el valor óptimo para el desarrollo del café está entre 19 y 21°C , con un límite inferior de 13°C y un límite superior de 32°C . Cuando este valor está por fuera de este rango se asume que la productividad es baja y su nivel de crecimiento es pobre (López et al., 1972). En el caso del agua en las zonas cafeteras alcanza una precipitación entre 2000 y 2500 mm. Dadas las condiciones climáticas de las tierras colombianas existen dos periodos secos y dos periodos lluviosos en el año y los volúmenes anuales de evaporación no superan los 1.200 mm. Aun así, existen zonas con limitaciones por agua o una inapropiada distribución de las lluvias o por el nivel alto de evaporación, así como también existen limitaciones cuando el nivel de lluvia es tal en zonas con alta capacidad de retención de agua (Jaramillo, 1982, 2005). La relación de estos y otros factores ambientales que inciden en la producción vegetal se presentan en la figura 14.



Figura 14. Factores ambientales que inciden en la producción vegetal. Fuente: Autor



Existen diferentes problemas en el manejo de plagas y enfermedades por qué no se hace un manejo adecuado. Las plagas y enfermedades muestran capacidad para desarrollar resistencia a la aplicación de pesticidas, esto ocasiona que el agricultor incremente la dosis de aplicación. Algunas plagas o enfermedades que antes no eran importantes, pasan a ser plagas claves, porque desaparecen sus enemigos naturales; este es el caso del minador de las hojas de café, que en varias ocasiones se convierte en plaga, cuando se hacen muchas aplicaciones para otros problemas. Con relación a la salud humana, incremento en los riesgos del cafetero y sus trabajadores al manipular productos peligrosos para la salud, mayor posibilidad de intoxicación, presencia de residuos tóxicos en el producto. En relación al ambiente, se produce contaminación de las corrientes de aguas por pesticidas, contaminación del suelo, etc.

1.6.9.5 Plagas y enfermedades que atacan al cultivo del café

Los insectos que tienden a atacar las raíces del cafeto pueden ser como la palomilla (*Dismicoccus* sp.) la cual se alimenta de la savia radical. De igual manera, se ha tenido registro de asociaciones de cóccidos y hormigas para tener un ejemplo está la hormiga de Amagá y la hormiga de la Esperanza. Estos insectos son comunes en los suelos pesados y húmedos o pueden encontrarse en árboles de café viejos y mal fertilizados los cuales al alcanzar la raíz la debilitan e impiden el desarrollo normal del cafeto (Cárdenas et al., 1973). Entre las principales enfermedades que atacan al cultivo del café están:

- **La broca (*Hypothenemus hampei*)**

Esta plaga penetra en los frutos maduros cuando estos tienen más de 150 días de formados. Esta es la principal plaga actualmente, la cual se reproduce en el interior del grano, lo que ocasiona la pérdida total en gran parte de los casos y caída anticipada de los frutos afectando la calidad física del grano y de la bebida del café.

Este insecto completa su ciclo de vida desde huevo hasta adulto en 27,5 días, vive normalmente en ambientes con temperaturas aproximadas a los 24,5°C; la tendencia en la



infestación de broca es afectada por cambios en la temperatura y precipitación de acuerdo a estudios realizados por CENICAFÉ, en los cuales se observó que la infestación se incrementa en periodos prolongados de sequía donde se hace presentan aumentos de temperatura y bajas en las precipitaciones (Montes, 2012)

Además de esta, que es la plaga principal de los cultivos se tiene:

Germinadores y almácigos:

- **Gusano trozador**, estas son larvas de mariposas nocturnas las cuales atacan el tallo de las plántulas por lo cual se marchitan y perecen.
- **Chiza o mojoyoy**, son larvas de cucarrones las cuales viven en el suelo y se alimentan tanto de raíces como de materia orgánica.
- **Hormiguero de arrieras**, un insecto que realiza un corte permanente en las hojas en forma de luna es la característica del daño de estos insectos
- **Arañita roja**, Este insecto ataca normalmente en periodos secos de larga duración, en los cafetales tecnificados tanto como en los tradicionales

1.6.9.6 Enfermedades comunes en cultivos de café

- **La roya del cafeto (Hemileai Vastatrix):**

Se conoce como la principal enfermedad que ataca el café, es causada por un hongo el cual afecta las hojas de todas las edades. Se caracteriza por manchas redondas en el envés de la hoja, estas están cubiertas por un polvo amarillo donde normalmente la hoja atacada se desprende y cae. En cafetales bajo sombra la roya es menos severa que en cafetales al sol. Algunas prácticas que permiten prevenir y disminuir el impacto de la roya son: hacer un buen proceso de establecimiento con plantas sanas y bien nutridas, ejecutar planes de fertilización



adecuados con las exigencias del cultivo (producción esperada), hacer un buen manejo de arvenses, y establecer los cafetales en lotes con buenas condiciones físicas y químicas.

La tendencia de infestación de broca es afectada por la temperatura y precipitación.

- **La mancha de hierro del café:**

Esta enfermedad afecta las hojas, ramas y frutos de todas las variedades de café cultivadas en Colombia.

De otro lado, es importante conocer la influencia del clima en el nivel de las plagas y/o enfermedades. Algunas prácticas son: uso de semilla sana, fechas de siembra adecuadas, buena preparación del suelo al momento de la siembra, cosecha oportuna, destrucción de residuos de cosecha, monitoreo de plagas y enfermedades, fertilización oportuna, y prácticas fitosanitarias, entre otras (Carlos Hernando Isaza & Ramírez- Fundación Manuel Mejía, 2018).

1.7 Marco Legal

En Colombia, no existe una reglamentación específica referente a IOT, se considera que, aunque hay algunas normas que se relacionan con el uso de dispositivos de telecomunicaciones, parte de esto es debido a la gran cantidad de dispositivos y a la onda de radiofrecuencia (RF) lo que hace difícil regular este espectro de RF en que funcionan.

Debido a la complejidad de reglamentar el uso de los dispositivos IOT las reglamentaciones se han hecho desde una perspectiva legal general y tecnológicamente neutra, como por ejemplo leyes y reglamentos de protección al consumidor.

La normatividad que se aplica estaría relacionada al espectro electromagnético usado en Colombia, el cual está regulado en la Ley 1341 de 2009, que también se conoce como ley TIC de 2009, esta norma establece la entidad reguladora de las telecomunicaciones, que corresponde a la Comisión de Regulación de Comunicaciones (CRC), con la función específica de regular los



mercados de las redes y los servicios de comunicaciones para que los servicios prestados sean económicamente eficientes y reflejen calidad.(Cruz, s. f.)

1.8 Metodología

1.8.1 Paradigma

Dado que el proyecto se guía por una investigación cuantitativa y busca comprobar una hipótesis mediante expresiones numéricas, se deduce que se fundamenta en un paradigma positivista, en tal sentido, busca establecer teorías que fundamentan distintos sucesos encontrando soluciones lógicas a las actuales problemáticas que se presentan en torno a la roya y la broca en los cultivos de café tradicional

1.8.2 Enfoque

El proyecto tiene un enfoque **Empírico Analítico** que tiene como base la experimentación, además de usar la lógica empírica para dar a conocer determinados resultados considerando entre otros, los aspectos y las causas que provocan una determinada situación.

1.8.3 Tipo de investigación

La presente investigación se desarrollará mediante el **método cuantitativo**. El enfoque cuantitativo, usa la recolección de datos para probar hipótesis y, con base en la medición numérica y el análisis estadístico, determina patrones de comportamiento y prueba teorías (Hernández Sampieri, 2006). De acuerdo con Bunge (1979) y Muñoz (1998) en (Bernal, 2016), la ciencia desde el enfoque cuantitativo presenta las siguientes características:

- El conocimiento científico es fáctico (verdadero), esto explica que se trata de descubrir los hechos como son, independiente del valor comercial o emocional que tenga.
- El conocimiento trasciende los hechos. El investigador observa los eventos y, posterior a eso los describe y experimenta.



- Es analítico, se abordan problemas específicos, los descompone en elementos y busca entenderlos a través de las relaciones que se generan.
- El conocimiento científico es especializado, claro y preciso, comunicable.
- El conocimiento científico es verificable. Para que el conocimiento sea admitido como científico, debe someterse a comprobación y a la crítica de la comunidad científica.
- La investigación científica es metódica, la investigación científica se fundamenta en un método, unas técnicas y unos procedimientos (Bernal, 2016).

1.8.4 Población y muestra

De acuerdo al tipo de investigación que se lleva a cabo, la población objetivo son los cultivos de café, para los cuales se ha definido la población de una finca cafetera con un universo investigativo de una hectárea, la finca cuenta con alrededor de 800 plantas cultivadas en una distancia de 1.50 metros, el tipo de café producido por esta plantación es arábigo y se encuentra ubicada en la vereda el Maco del municipio de la Florida entre Sandoná y Nariño, se realizó un pre diagnóstico del área con el asesoramiento de un Ingeniero Agroforestal a fin de establecer unas condiciones iniciales del estudio y el lugar óptimo para la ubicación de los sensores dentro la finca.

1.8.5 Variables

En la investigación científica se encuentran dos tipos de variables, siendo estas cualitativas y cuantitativas; para el presente estudio, se seleccionaron variables de tipo cuantitativo, cuyos elementos de variación son susceptibles de medición numérica (Cauas, 2015).

Se analizarán las variables climáticas y, se tendrá en cuenta su relación con las enfermedades o plagas (roya y broca) en el cultivo. Para la adquisición de valores de las variables climáticas se utilizarán sensores electrónicos, los cuales serán puestos en marcha en el cultivo seleccionado; conociendo que el monitoreo se realiza en un área externa, los sensores cuentan con características que les permiten estar a la intemperie, así como un consumo energético bajo que se refleja en una autonomía amplia.



1.8.7 Plan de Acción

Para la consecución de este proyecto se estipularon tres fases. En la primera fase se realizó la determinación de las variables que, de acuerdo a sus características, pueden ser relacionadas con el desarrollo de enfermedades en cultivos de café. Después, en la siguiente fase, se implementó un sistema que permita la adquisición de las variables climáticas que han sido asociadas a la proliferación de enfermedades y plagas en cultivos de café, para esto se utilizarán instrumentos electrónicos cuya comunicación se realiza a través de protocolos para IoT. Finalmente, la última etapa del proyecto implicó el desarrollo de un aplicativo que tome los datos suministrados por los sensores y permita determinar el nivel de riesgo al que se encuentra expuesto el cultivo de café en relación con la roya y la broca, esto finalmente permitirá generar alertas tempranas que le permitirán al productor de café a tomar medidas preventivas para el control de la enfermedad.

Para realizar las pruebas de funcionamiento del prototipo generado se utilizó un microambiente controlado, en el cual a través de dispositivos tales como un humidificador, un calentador y un dispositivo de micro goteo, se modificó las condiciones climáticas del micro entorno, simulando un escenario con la combinación de variables que representen las condiciones de un ambiente externo y un segundo escenario con los valores que representen un riesgo de broca o roya; se usará un instrumento de control que muestre los valores generados en el ambiente. En estos escenarios se ubican los sensores que enviarán los datos obtenidos al aplicativo web.



PLAN DE ACCIÓN	ACTIVIDADES	ENTREGABLES
<p>Determinación un conjunto de variables climáticas relacionadas con el desarrollo de enfermedades de cultivos de café.</p>	Definición de la arquitectura IOT que se usará para el proyecto	Diagrama de Arquitectura IOT del proyecto
	Estructuración matriz de estado del arte	Matriz para marco teórico
	Definición de variables para análisis	Documento con variables seleccionadas
<p>Implementación de un sistema de adquisición de variables climáticas mediante el uso de instrumentación electrónica a través de comunicaciones para IOT.</p>	Selección y definición de instrumentos electrónicos para seguimiento de variables seleccionadas	Ficha técnica de instrumentos electrónicos
	Parametrización de instrumentos para seguimiento de variables seleccionadas	Instrumentos parametrizados
	<p>Selección de plataformas IOT a utilizar</p> <p>Sistematización y Tabulación de información recolectada</p>	<p>Matriz de selección de plataformas Iot</p> <p>Resultado de las pruebas</p>
<p>Desarrollo de un aplicativo web que integre las etapas de monitoreo y análisis de variables climáticas que permitan determinar el nivel de riesgo del cultivo en relación a la roya y la broca en el café.</p>	Diseño del sistema e integración con instrumentos de medición	Modelo del sistema para monitoreo
	Desarrollo del aplicativo y pruebas	Documentación del software
	Documentación para entrega	Documento Final



2. MARCO DE DESARROLLO Y RESULTADOS

Éste capítulo contempla las etapas de planificación de experimentos, su desarrollo y pruebas, la presentación de resultados, su discusión y las conclusiones que se generan a través de este trabajo de grado. Por lo tanto, se ha dividido en dos secciones que agrupan estos aspectos en el marco experimental y en los resultados.

2.1 Especificaciones para el desarrollo

En esta sección se presenta las especificaciones para el desarrollo del proyecto. Este marco sigue las etapas planteadas en el capítulo anterior para organizar una estructura de desarrollo que permita la obtención de un prototipo funcional que cumpla el objetivo planteado.

2.1.1 Selección de la Arquitectura del Proyecto

La arquitectura del proyecto describe la solución de IoT aplicada, que incluye tanto aspectos físicos como virtuales, vinculando múltiples niveles, mediante los cuales, a través de un enfoque modular, se permite gestionar la complejidad de la solución IoT. Para que la arquitectura IoT del proyecto sea viable esta debe cumplir determinados criterios como son principalmente que la tecnología utilizada sea distribuida para que los objetos puedan interactuar entre sí, además de ser robusta, flexible, segura y eficiente. Así, la Arquitectura IoT seleccionada consta de las siguientes etapas:

- **Obtención de variables climáticas** seleccionadas por parte de sensores. En esta fase los sensores conectados recolectan los datos del entorno, para este caso las variables ambientales seleccionadas.
- **Envío de variables climáticas** a Gateway con acceso a internet. Una vez se tienen los datos el nodo se encarga de enviar la información a un centro de comunicaciones que unifica la información.

- **Envió de datos** desde el Gateway hasta servidor de servicios climáticos. En esta fase se realiza el filtrado de la información permitiendo que esta pueda ser enviada a la nube y viceversa.
- El servidor de servicios climáticos expone las **API para que sean usadas** por el aplicativo web. El servidor de servicios IOT recibe la información en la nube y les da acceso a fuentes externas para su extracción y posterior procesamiento
- El **aplicativo web recibe la información**, además de realizar el análisis para su posterior visualización, alertas y otra información de utilidad para el cafetero.
- La **información es visualizada** través de un navegador web convencional

En esta última parte la información ya es interpretada de una manera amigable para el usuario final. Finalmente, la figura 15 resumen estos conceptos a través de un diagrama que muestra la arquitectura generada para este proyecto.



Figura 15. Arquitectura del proyecto. **Fuente:** Autor



2.1.2 Estructuración matriz de estado del arte

Dentro de este estudio se llevó a cabo un análisis de bibliografía para determinar tecnología a utilizar centrada en el IoT. Así, se desarrolla una matriz incluyendo los postulados teóricos de diferentes autores en relación a la agricultura con base en el café y los componentes tecnológicos que atañen a IoT. Por la extensión de la revisión, los autores y las características que se contemplaron dentro del análisis, se incluye un resumen de este proceso en la tabla 4, pero se adjunta la matriz en el Anexo A de este trabajo.

Tabla 4. Resumen matriz del estado del arte.

EJES PRINCIPALES	DESCRIPCIÓN
Cultivo de Café	Se muestran las publicaciones realizadas que tienen como contenido el estudio de anomalías en los cultivos de café de manera total o parcialmente.
IoT	Son bases documentales de los principales conceptos asociados a las tecnologías IoT, así como su implementación y aplicabilidad en el campo de la agricultura.
Tipos de Variables	Se dan a conocer las principales variables climáticas asociadas al cultivo de café
Plataformas IoT	Se establece una comparación entre las diferentes plataformas que permiten la gestión de tecnologías IoT, desde la recepción, envío de información y administración de dispositivos.

*Resumen de la matriz del estado del arte con la descripción de las tablas contenidas

Fuente. Autor

2.1.4 Definición de variables y sub-variables que afectan la producción de café

Para la selección de las variables se tuvo en cuenta las características de la roya y la broca como las enfermedades y plagas más comunes en los cultivos, las variables climáticas que inciden en la proliferación de estas plagas y enfermedades, son la precipitación, la temperatura y la humedad a la cual se vea expuesto el cultivo y, estas a su vez tienen una sub-variables que facilita la medición la cual es definida al final de la figura 16.

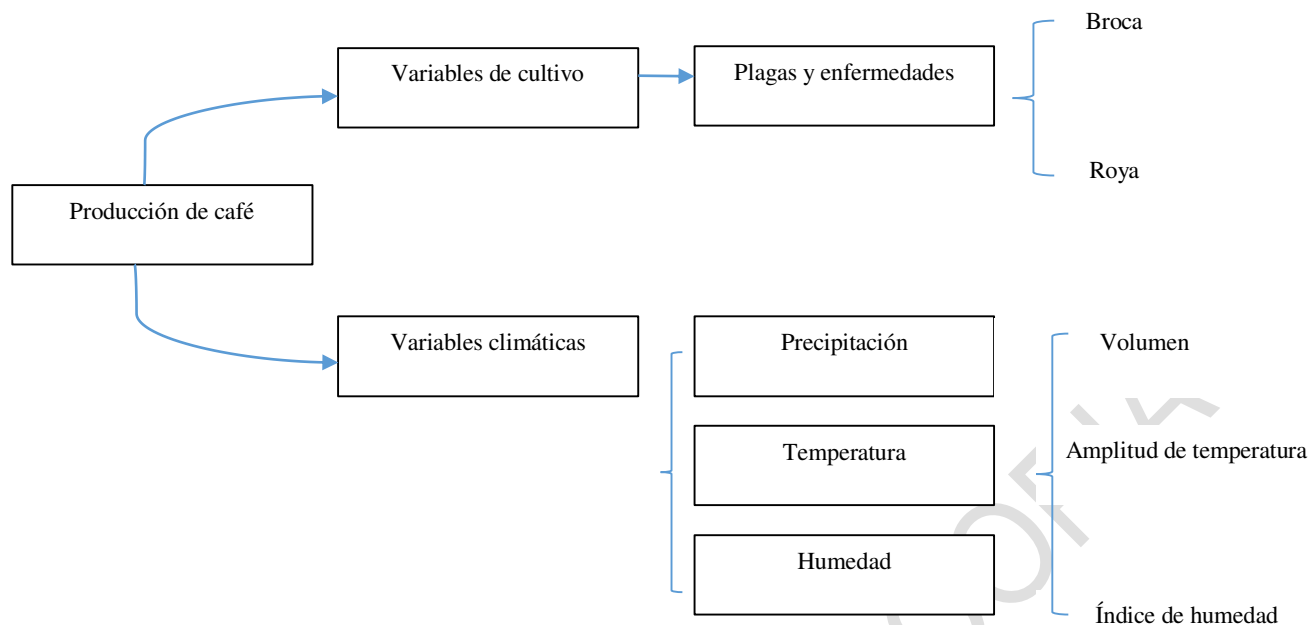


Figura 16. Variables involucradas en la producción de café. **Fuente:** autor

Variables y sub-variables

En la figura 16 se puede observar los tipos de variables que afectan los cultivos de café y, a su vez estas variables se clasifican en sub variables de mayor o menor incidencia en la productividad del cafetal. En la tabla 5 se definen las unidades de medidas y el sensor que permitirá generar la relación con la respectiva variable.

Tabla 5. Unidades de medida para el monitoreo de variables climáticas.

Variables Cuantitativas	Unidad de Media	Sensor utilizado
Temperatura	Grados Centígrados	Termómetro
Pluviometría	Milímetros de agua	Pluviómetro
Humedad	Porcentaje de humedad	higrómetro

*En la tabla se muestran las unidades de medida que se utilizaron para realizar el monitoreo al cultivo.

Fuente. Autor



La calibración de los sensores se realizó por el método de comparación en el cual se analiza la lectura obtenida por los sensores con la lectura de un dispositivo de medición que tenga características conocidas. Este método tiene su base científica en la Ley de Cerote, la cual fue formulada en 1931 en la cual se establece que, si dos sistemas están en equilibrio cada uno de ellos teniendo el mismo valor que un tercer sistema, los dos sistemas tendrán los mismos rangos entre sí.

2.2 Sistema de adquisición y comunicación

En esta sección se describen los sensores que se utilizan para el proyecto, así como sus características técnicas y la plataforma de recolección de información que será utilizada como *web services* para el aplicativo que finalmente llevará los datos al usuario y generará las alertas. El reunir estos elementos genera un sistema de adquisición de variables climáticas y define el proceso de comunicación enmarcado dentro del campo del IoT.

2.2.1 Sensores a utilizar

De acuerdo a las características técnicas requeridas de los sensores se ha seleccionado un dispositivo que agrupa los sensores con la capacidad de realizar la transmisión de la información por medio de RF siendo la forma más eficiente de transmisión, debido a su bajo consumo de energía y distancia de transmisión. La selección de estos sensores se realizó evaluando la disponibilidad en el mercado, consumo energético y principalmente la precisión de las medidas. La tabla 6 presenta las principales características de un sensor de pluviometría.

Tabla 6 características sensor de pluviometría

Tipo de conexión inalámbrica	Señal RF con frecuencia de 433 MHz
Distancia máxima de transmisión	300 metros
Intervalo de envío de datos	61 segundos
Rango de medición de lluvia	0- 6000 mm

*Características técnicas del dispositivo de obtención de variables ambientales

Fuente. Autor

Este sensor permite medir la cantidad de lluvia que ha caído en un periodo de tiempo a través de un embudo que a medida que se llena cuenta la cantidad de lluvia que se ha precipitado, puede estar a intemperie y el consumo de batería permite una duración de un año con una batería AA, como lo presenta la figura 17. Esta tecnología de cubeta basculante de vaciado automático se usa con mayor frecuencia para pluviómetros en estaciones meteorológicas. El área de recolección de ocho pulgadas ofrece una precisión superior, midiendo cada 0,01 pulgadas de precipitación líquida cada vez que se inclina el colector de lluvia con forma de balancín.

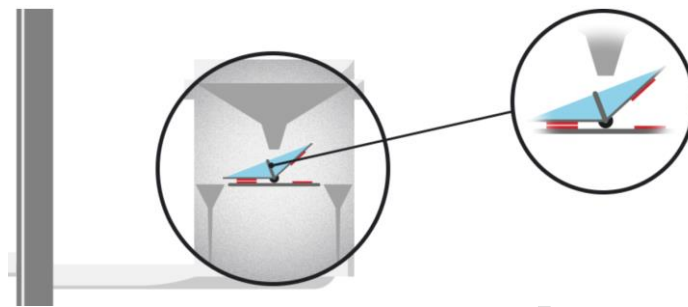


Figura 17. Sensor para obtención de cantidad de agua- pluviómetro. Fuente: wunderweather.com

El sensor de temperatura y humedad tiene la ventaja de poder realizar un envío de información hasta de 100 metros a través de transmisión RF con una frecuencia de 433MHZ lo cual a su vez hace que no sea necesario tener línea de vista, es alimentado por dos baterías 2AA que dan la autonomía de un año.

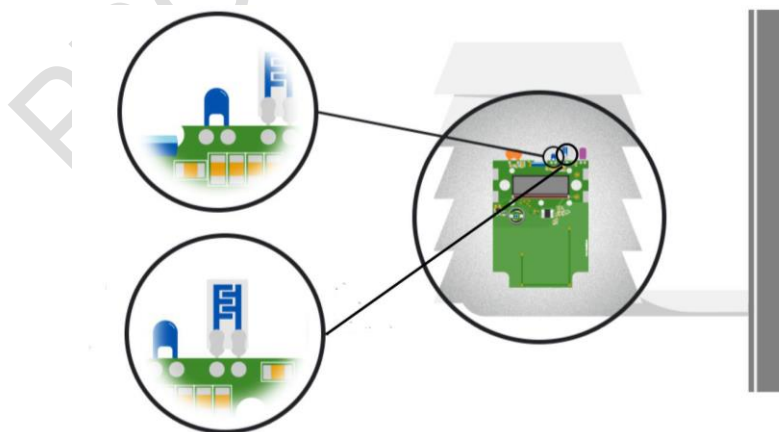


Figura 18. Sensor para medición de Temperatura y Humedad, con capacidad de comunicación RF. Fuente: manual wh32e

Tabla 7. Características sensor de Temperatura y Humedad

Distancia máxima de transmisión	100 metros
Intervalo de envío de datos	64 segundos
Rango de medición de temperatura	-9.9 °C a 60 °C
Rango de medición de humedad	10% a 99%
Precisión de medición de temperatura	±°
Precisión de medición de humedad	±3%

Fuente. Autor

Este sensor (figura 18) se basa en un termistor que usa una resistencia térmicamente activa hecha de óxidos metálicos encerrados en epoxi o vidrio; la salida de resistencia varía según la temperatura y, un higrómetro de tipo condensador se usa generalmente para medir la humedad relativa. El sensor tiene una capa de polímero dieléctrico que absorbe las moléculas de agua del aire a través de un electrodo de metal delgado, esto provoca un cambio en la capacitancia y significa un cambio proporcional en la humedad relativa. El sensor de humedad se suele montar junto al sensor de temperatura para garantizar una correlación entre la temperatura y la humedad relativa, que luego se utilizan para calcular el punto de rocío.

2.2.2. Gateway para acceso, recepción de información y acceso a internet

El dispositivo que se encarga de hacer la recepción de las señales emitidas por el conjunto de sensores está compuesto por un a antena receptora RF, una tarjeta Wi-Fi, una unidad procesadora de información y una entrada de alimentación por USB. Finalmente, en la figura 19 se presenta el GateWay utilizado para este proyecto.



Figura 19. Gateway para recepción y envío de variables climáticas. Fuente. Autor



- **Características del dispositivo:**

El dispositivo tiene la capacidad de recibir la información enviada por los sensores externos de temperatura, humedad y pluviometría mediante comunicación RF de los dispositivos, la información es enviada a plataformas en la nube utilizando el estándar HTTP GET través de un router o concentrador, el intervalo con el cual se envía la información es de un minuto. El método GET envía la información codificada de los sensores en el header del HTTP request, directamente en la URL de wunderground. La página web y la información codificada se separan por un interrogante como se mira de ejemplo en la siguiente estructura:

<https://weatherstation.wunderground.com/weatherstation/updateweatherstation.php?ID=ISANJU36&PASSWORD=XXXXXXXX&dateutc=now&tempf=60&action=updateraw>

Entre las características del método GET está el envío de información, en el cual se envía la información en la propia URL, estando limitada a 2000 caracteres, la información es visible por lo que con este método no se usa para información sensible.

2.2.3. Selección de plataformas IOT a utilizar

Para realizar la selección adecuada de la plataforma IoT se realizó una tabla comparativa (ver tabla 7) entre diferentes plataformas o tecnologías relacionadas en total o parcialmente con la tecnología IoT, se analizaron variables como protocolos utilizados, versatilidad, costo y características específicas, de acuerdo a esto se realiza una selección de la o las que mejor se adecuen al proyecto.



Tabla 8. Tabla comparativa de plataformas IOT factibles para el proyecto

PLATAFORMA	PROTOCOLOS	SEGURIDAD	SDK/LENGUAJE	FUNCIONALIDADES PRINCIPALES	PRECIO
AWS (Amazon Web Services) IoT	HTTP, MQTT	TLS(EN EL CLIENTE Y EN EL SERVIDOR)	C, NodeJS, Javascript, Arduino, Java, Python, iOS, Android	Ofrece los servicios de la nube Azure como complemento a los sistemas IOT, cuenta con servicios de hosting	Pago por tráfico en millones de mensajes
Google Cloud Platform IoT	MQTT y HTTP estándar	claves asimétricas con TLS 1.2 y a los certificados firmados por una autoridad de certificación	Java, Javascript, C, NodeJS, iOS, Android, Python, .Net, Arduino	Este servicio se centra en los objetos conectados y permite escalar sistemas desde las primeras fases, donde apenas hay tráfico de datos, hasta las fases donde el volumen de información es grande	Permite periodo gratuito con 300\$ para gastar durante 60 días en sus servicios.
Azure IoT Suite	HTTP,AMQP,Y PROTOCOLOS PERSONALIZADOS	TLS(SOLO EN EL SERVIDOR)	.Net y UWP, Java, C, NodeJS	Ofrece muchos servicios relacionados con la comunicación entre servicios y el análisis de datos	se paga por número de dispositivos y mensajes por día
Servidor Local con Open IOT	HTTP,AMQP,Y PROTOCOLOS PERSONALIZADOS	TLS	Java, Javascript, C, NodeJS, iOS, Android, Python, .Net, Arduino	constituye una plataforma open source con una interfaz de usuario amigable para conectar dispositivos(sensores, teléfonos) y servicios web	open source con uso gratuito
Servidor local con Thinger.io	MQTT, CoAP, HTTP	SSL/TLS	Java, Javascript, iOS, Android, Python, Arduino	plataforma de código abierto, cuenta con librería en el repositorio oficial de Arduino. Es compatible con ESP8266, Raspberry Pi o Intel Edison.	cuenta gratuita open source
TheThingsIO	http,mqtt,coap,tcp,udp	TLS	Java, Javascript, C, NodeJS, iOS, Android, Python, .Net, Arduino	Especializado en aplicaciones de agricultura, logística, industria 4.0, casas y ciudades inteligentes	periodo de prueba de 15 días y luego el paquete más



					básico son 25€ por mes
ThingSpeak	HTTP	SSL	Java, Javascript, C, NodeJS, iOS, Android, Python, .Net, Arduino	Está enfocado exclusivamente a la construcción de aplicaciones del IoT. Permite almacenar datos, visualizarlos y exponerlos a otras APIs	Gratuita pero limitada en cantidad de consultas api
Zatar	HTTP, RFID	SSL	Java, JS, iOS, Android, Python, .Net	Esta plataforma está enfocada a dispositivos de marcas compatibles con sus servicios. No soporta conexiones con Arduino pero si con Raspberry Pi.	Ofrecen una cuenta gratuita de 60 días con límites
Spark	HTTP	TLS	Javascript, iOS, Android	plataforma tipo ecosistema, que une hardware y software, por lo que nos ofrece todo lo necesario para poder desarrollar nuestra aplicación sin tener que salir de esta plataforma	el precio por placa es a partir de los 25 dólares
Wunder weather	HTTP	SSL	JSON, PWS	Permite capturar los datos de dispositivos como estaciones climáticas y suministro de información a través de api	Servicio de captura de datos climáticos gratuito
OpenWeatherMap	HTTP	SSL	JSON, XML, HTML	Plataforma para visualización de información climática en tiempo real con servicios api	gratuito



En la tabla 8 se muestran las principales plataformas para la gestión de proyectos IoT, con los protocolos utilizados, tipo de seguridad, y características particulares.

A continuación, en la tabla 9 se describe el proceso de selección mediante ponderación en una escala de 1 a 3 de acuerdo al grado acondicionamiento al proyecto, siendo el 1 el más bajo.

Tabla 9. Tabla evaluativa de para selección de plataformas IOT

TABLA EVALUATIVA PARA SELECCIÓN DE PLATAFORMA IOT				
PLATAFORMA	CAN. LENGUAJES	FUNCIONALIDADES	PRECIO	CALIFICACIÓN
AWS (Amazon Web Services) IoT	Alto	Alta	Medio	8
Google Cloud Platform IoT	Alto	Alta	Medio	8
Azure IoT Suite	Alto	Alta	Medio	8
Servidor Local en Raspberry Pi con Open IOT	Bajo	Alta	Bajo	5
Servidor local con Thinger.io	Medio	Alta	Bajo	6
TheThingsIO	Bajo	Alta	Alto	6
ThingSpeak	Bajo	Alta	Medio	6
Zatar	Bajo	Media	Alto	4
Wunder weather	Bajo	Alta	Bajo	7
OpenWeatherMap	Bajo	Alta	Bajo	7
Spark	Bajo	Media	Medio	5

En la tabla evaluativa para la selección de la plataforma IOT se tuvieron en cuenta características como la cantidad de lenguajes que soporta, las funcionalidades que ofrece y el precio de adquisición de la misma; se realizó un estimado de cuál es la plataforma que más se



adapta al proyecto. La información sobre las plataformas se realizó a partir de la información registrada en cada uno de los sitios web de las mismas.

Para generar la calificación de selección que se presenta en la tabla 9 se determinó un valor cuantitativo de acuerdo a sus características. En este sentido, si se observa que la característica de la plataforma es alta su puntaje sería de 3 (o alto), pero si no presenta un buen desempeño su puntaje sería mínimo de 1 (o bajo). Al final, la calificación se puede encontrar entre los rangos que presenta la tabla 10.

Tabla 10. Tabla de ponderación

PONDERACIÓN	CONCEPTO
3-4	INSUFICIENTE
5-6	REGULAR
7-8	ADECUADA
9	MUY ADECUADA

Fuente. Autor

2.2.4 Selección de Plataformas IoT

Considerando la ponderación la plataforma seleccionada para la publicación de la información es Wunderground, esta es una plataforma IoT dedicada a datos climáticos que permite almacenar y recopilar los datos a través de un API o protocolo de estaciones climáticas PWS, con esta plataforma es posible hacer el registro de los datos de sensores, aplicaciones de seguimiento y ubicación.

- **Principales Funciones de Wunder Weather**

- API abierto
- Recolección de datos en tiempo real
- Datos de geolocalización
- Visualización de datos

La plataforma puede integrarse con arduino, raspberry, aplicaciones móviles, Http, redes sociales y aplicativos web.



2.2.5 Selección de la tecnología de desarrollo

Para la selección de las tecnologías de desarrollo se definieron determinados criterios, para de esa manera escoger la más idónea para el proyecto

2.2.5.1 Criterios para selección del servidor Web

- **Seguridad:** se cuenta con un nivel de protección y consistencia de la información en el servidor.
- **Versatilidad:** Se cuenta con un alto grado de recursos de máquina para realizar el procesamiento en las comunicaciones de datos.
- **Estabilidad:** El servidor es estable y cuenta con buen nivel de carga para realizar los procesos involucrados en el aplicativo.
- **Precio:** el costo unitario es accesible.
- **Actualización:** se realizan actualizaciones requeridas por el sistema para garantizar la seguridad y estabilidad.

Revisando estas características, el servidor web seleccionado para almacenamiento del aplicativo web es a cargo de la empresa **DPHIR S.A.S.** quien suministra un servicio de hosting en un servidor virtualizado ESXI. Las características principales del servidor son:

- Dos CPUs Intel Xeon Silver de 4 núcleos cada uno
- 9gb de memoria RAM DDR4 2400Mhz
- 500 Gb SSD

Además de las características propias del servidor se ofrece un servicio de infraestructura escalable de acuerdo a las necesidades del aplicativo y la cantidad de información que se esté procesando.

2.2.6 Criterios para la selección del Framework y Lenguaje de desarrollo

- **Documentación y Librerías:** se refiere a la documentación y apoyo que se pueda obtener por diferentes fuentes externas para el desarrollo del aplicativo.



- **Flexibilidad:** se refiere a las características que permiten la implementación de algoritmos o funcionalidades de manera sencilla.
- **Complejidad:** se refiere a la capacidad del lenguaje para implementar la solución de software incorporando múltiples tecnologías.
- **Precio:** Se refiere al costo monetario en sí del lenguaje que se usará para la implementación de la solución.

Para el desarrollo del sistema se utiliza lenguaje C# sobre el entorno para desarrollo de aplicaciones web ASP.Net de acuerdo a los criterios anteriormente planteados ya que este lenguaje posee un gran versatilidad y soporte de desarrollo.

2.2.7 Criterios de selección para la Base de Datos

- **Almacenamiento:** es el volumen de datos que se pueden alojar en el esquema de base de datos.
- **Desempeño:** cantidad de datos transmitidos hacia y desde la base de datos se refiere la eficiencia en las operaciones sobre la misma.
- **Confiabilidad y Consistencia:** Está dado por el nivel de consistencia y confiabilidad que tienen los datos que se almacenan en la base de datos.
- **Escalabilidad:** Se refiere a la capacidad que tiene la base de datos para adaptarse a un posible crecimiento en el sistema.

Con referencia a estos criterios se seleccionó como base de datos Sql server, puesto que brinda un alto nivel de confiabilidad y consistencia, además de contar con un nivel de escalabilidad adecuado para este tipo de proyecto.

2.2.8 Sistematización de información recolectada

El despliegue de los dispositivos se realizó en una finca cafetera Chicaguaico ubicada en la vereda el Maco del municipio de la Florida entre Sandoná y Nariño, el área establecida para el presente estudio es de una hectárea, esta zona es catalogada como el inicio de los cafés de altura.



Figura 20. Vereda el Maco, ubicada entre el municipio de Sandoná y Nariño. **Fuente.** Autor

La finca cuenta con alrededor de 800 plantas sembradas en una distancia de 1.50 metros, el tipo de café producido por esta plantación es Arábigo, el cual se procesa a través de un modelo permacultural cafetero; en este tipo de modelo se tiene un hábitat simbiótico que utiliza una maceración carbónica para el proceso de fermentación avalado por la Asociación de Agricultura orgánica y limpia de Colombia, en este modelo se busca el equilibrio entre el medio ambiente y la producción. La figura 20 presenta la vereda y el cultivo en donde se realiza el despliegue del proyecto.

Los principios básicos con los que se fundamenta el concepto de permacultura que se aplican en esta finca hacen referencia a él cuidado de la tierra, cuidado de las personas y compartir equitativamente mientras se observa, interactúa, captura y conserva la energía, se obtiene rendimiento y se valoran los recursos renovables.

Como nodo sensor principal, se ubican los sensores de temperatura, humedad y pluviometría a una distancia de un metro de la planta, los cuales miden continuamente las variables seleccionadas y envían por RF la información hacia un nodo central en un intervalo de 61 segundos.

El nodo sensor (figura 15) cuenta con una cúpula que sirve de repositorio para el agua, permite medir periódicamente la cantidad que se recolecta, además de mantener la fuente de alimentación de los sensores la cual es una batería AA de 1.5 que brinda autonomía de al menos un año, haciendo muy eficiente el consumo energético.



Figura 21. Nodo Sensor. Instalación de nodo sensor en el cultivo, utilizando un mástil para el sensor de pluviometría y fijando el sensor de humedad y temperatura a la mata de café. Fuente. Autor.

Una vez la información se recolecta es enviada al nodo central, el cual se instaló a una distancia de 60 metros, distancia inferior a la distancia máxima de alcance que son cien metros. El nodo sensor se compone de un Gateway y una terminal para revisión de los datos en sitio a fin de revisar que los datos se estén entregando correctamente, como se presenta en la figura 22.



Figura 22. Gateway y terminal. Unidad receptora de información con información recibida para revisión de recepción de datos y Gateway con soporte de energía. Fuente. Autor.

La información recibida por el Gateway es transmitida a través de una conexión a internet suministrada en este caso por un hotspot GSM y enviada a la plataforma Wunderground la cual permite visualizar la información de manera plana y genera el API requerido por el aplicativo para el análisis de la información.



La plataforma Wunderground nos muestra información específica de la estación climatológica desplegada como la localización, altura, y los datos suministrados a través del Gateway, esta información está disponible para su envío a través de un API (véase figura 23).

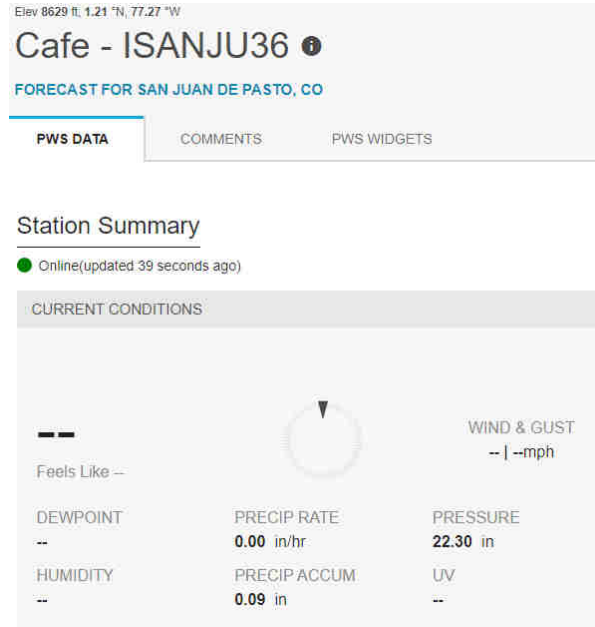


Figura 23. Plataforma IOT. Verificación de información en la plataforma IOT seleccionada.
Fuente: Autor.

La cantidad de solicitudes con las que se cuenta es hasta de 10 por minuto y hasta 500 al día con el servicio gratuito, estas llamadas se pueden obtener en formato JSON y XML, esta información será procesada por el aplicativo para suministrar las alertas oportunas de acuerdo al rango en el que se encuentre la variable ambiental.

2.2.9 Estado de la plantación de café utilizada

La plantación de Café que se usó cuenta con matas infectadas por broca, lo cual se pudo analizar mediante la comparación con un fruto sano. Se pudieron observar las tres principales etapas de la plaga, de acuerdo a ello se tiene en cuenta el método de control, estas etapas pudieron ser observadas en la plantación siendo: huevo, insecto larvario e insecto volador. La figura 24 muestra el estado actual de la plantación.



Figura 24. Fruto con broca. Reconocimiento de un fruto de café infectado por broca. Fuente.

Autor

En la plantación se realiza control biológico de la broca, con un tipo de hongo denominado *Beauveria Bassiana*, el cual se caracteriza por tener una apariencia algodonosa y de color blanco que crea una capa en la parte superior del fruto evitando el acceso de la broca. Actualmente se considera a este hongo el mayor controlador natural de esta plaga del café, aunque, es la segunda opción que se tiene en cuenta por parte de los caficultores a pesar de ser una buena alternativa amigable con el ambiente.

En la plantación no se encuentran plantas con un nivel alto de roya debido al control biológico que se realiza y la época del año, normalmente este hongo limita el crecimiento de la planta afectando el área de fotosíntesis causando defoliación, secamiento de las ramas y finalmente la muerte de la planta (véase figura 25).



Figura 25. Hojas con inicios de roya. Reconocimiento de una hoja de plantación de café con inicios de roya. Fuente. Autor

Entre los métodos de control que se utilizan para esta enfermedad están los métodos químicos, sin embargo, en algunas plantaciones se realiza un control biológico con arvenses con un tipo de tréboles que controlan la aparición de las esporas de roya que principalmente se encuentran en la parte baja de las hojas.

El uso de controles químicos para detener el avance de las plagas y enfermedades supone cierto nivel de daño para el ecosistema causando erosión y exterminando otro tipo de plantaciones, sin embargo, es usada ampliamente por casi el 85% de los agricultores debido a su funcionalidad. En la figura 26 se muestra algunos de estos efectos, generando un terreno deforestado.



Figura 26. Terreno deforestado. Terreno con deforestación por uso excesivo de químicos para control de las plagas. Fuente. Autor

El uso de esta tecnología permite conocer con antelación la exposición que tiene la planta a la broca o roya, de esta manera el caficultor puede implementar controles biológicos antes de que la planta se encuentre infectada, evitando causar daño innecesario al ambiente, por otra parte en la actualidad existe un gran interés en el mercado por una caficultura orgánica y limpia, teniendo conciencia de los daños medioambientales que causa el uso de insecticidas químicos.

Aludiendo a la literatura y las recolecciones de información en sitio con personal experto en el cultivo de las plantas se establecieron rangos para las variables a fin de poder dar continuidad al desarrollo del proyecto.



Tabla 11. Rangos de amenaza para cultivos

Variable	Medición promedio local	Rango amenaza broca	Rango de amenaza roya
Humedad	74%	60%-80%	50%-70%
Pluviometría	234 mm	50-150 mm	50-150mm
Temperatura	21°C	18-25°C	16-23°C

*Variables con su promedio y el rango de amenaza para la broca y roya.

Fuente. Autor

La tabla 11 muestra los rangos de amenaza, estos se basan en publicaciones especializadas de Cenicafé, acerca de la broca y la roya en los cultivos de café, en los datos asociados a las variables ambientales se encuentran:

Temperatura broca

La incubación del huevo dura 7,6 días (23°C) y el estado de larva 15 días para los machos y 19 días para las hembras, la prepupa 2 días y la pupa 6,4 días (25,8°C). El ciclo total de huevo a emergencia de adulto se estima en 27,5 días (24,5°C).

Humedad broca

La emergencia de la broca de frutos infestados se incrementa con humedades altas entre 90 y 100% H.R y es muy baja a temperaturas inferiores a 20°C (90-100% H.R.)". También se incrementa considerablemente entre 20-25°C (15, 16).

- **Pluviometría broca**

Normalmente la emergencia en la zona central cafetera coincide con períodos lluviosos y los picos se presentan durante los meses lluviosos de abril y mayo, y en la época de la cosecha entre septiembre y octubre (Osorio, 2014).



- **Temperatura Roya**

El hongo requiere de una capa de agua, condiciones de poca o ninguna luminosidad, y temperaturas inferiores a 28°C y superiores a 16°C (23).

- **Pluviometría Roya**

Los ambientes con precipitaciones constantes, especialmente en horas de la tarde o en la noche, con ocurrencia de cielos nublados constituyen un entorno propicio para la proliferación de la roya.

- **Humedad Roya**

La disminución del brillo solar y la humedad relativa estando por encima del 85%, se establece como una condición favorable para la presencia de hongos patógeno (Pardey, 2002).

2.3. Aplicativo Web para Visualización de datos y Alertas

Con la información provista por el *web service* se realiza el desarrollo de un aplicativo web que, considerando los rangos de amenaza para roya o para broca, envía una alerta al usuario informando la anomalía que se presenta en su cultivo. Este aplicativo permite visualizar las variables y generar alertas de riegos de afección por Roya y Broca, de darse el caso.

A continuación, se realiza el análisis, especificaciones y diseño del software para lo cual se ha tomado como base una metodología personalizada, en la cual se dará como resultado un prototipo funcional que permitirá el seguimiento de las variables ambientales asociadas a las plagas y enfermedades del café. Con esta información se realizó una fase de análisis y levantamiento de requerimientos, se da a conocer los respectivos requerimientos funcionales y requerimientos no funcionales además de esto se complementa el diseño con recursos de ingeniería de software, entre estos están los diagramas de casos de uso, diagramas de flujo, diseño de la base de datos, diagrama de clases, arquitectura del sistema y diagrama de capa para de esta manera permitir la especificación del sistema.



2.3.1. Análisis y Levantamiento de Requerimientos

En esta sección se realiza el análisis de los requisitos mínimos que debe tener el aplicativo para tener la funcionalidad deseada

2.3.2.1. *Requerimientos Funcionales*

Para el diseño del software se requiere tener como base los requerimientos funcionales los cuales son planteados a continuación:

- Visualización de Sensores: el usuario puede visualizar la variable ambiental asociada al sensor.
- Visualización de historial de las variables ambientales: el usuario puede visualizar el historial de manera gráfica de las variaciones en las variables ambientales reportadas.
- Visualización de alertas por plaga o enfermedad: el usuario puede visualizar la alerta de acuerdo al riesgo de broca o roya de acuerdo a la información suministrada por el servicio externo.
- Adquisición de los datos meteorológicos de un servicio externo: el sistema consulta y almacena los datos de los sensores enlazados en el servicio wunderweather.
- Conteo de alertas: el sistema cuenta las alertas generadas asociadas a una plaga o enfermedad.
- Envío de alertas: el sistema envía una alerta a un correo electrónico cuando se presenten rangos que de riesgo para una enfermedad o plaga.

2.3.2.2. *Requerimientos no Funcionales*

Los requerimientos no funcionales se plantean así:

- Visualización multiplataforma del sistema: se puede acceder a la plataforma desde cualquier navegador independiente del sistema operativo y realizar las actividades descritas, las vistas se adaptan al tamaño de la pantalla donde se consulte.
- Seguridad: se requiere autenticación para el uso de la plataforma.
- Disponibilidad: el sistema debe estar disponible los siete días de la semana.



- Generación de reporte: el sistema genera un reporte de la información mostrada por variable ambiental en un periodo.

2.3.2.3 Arquitectura basada en capas

De esa manera se realiza la separación de la lógica del negocio, de la lógica del diseño; para el caso del proyecto se separa la capa de datos, de la capa de presentación del usuario.

2.3.2 Descripción del modelo “4+1” Vistas

En el modelo 4+1 vistas se logra realizar una descomposición de los elementos principales que componen el desarrollo de software, estableciendo unos módulos para cada parte del proyecto, lo cual permite que el proyecto sea escalable y ajustable a diversos entornos, las vistas que se verán a continuación permiten ver el proyecto desde diferentes usuarios, como pueden ser los desarrolladores, los clientes generales o los directores de un proyecto.

2.3.2.1 Vista lógica

En esta vista se tiene como objetivo describir la estructura y funcionalidad del sistema para el proyecto. El sistema consta de las siguientes capas (ver figura 27).

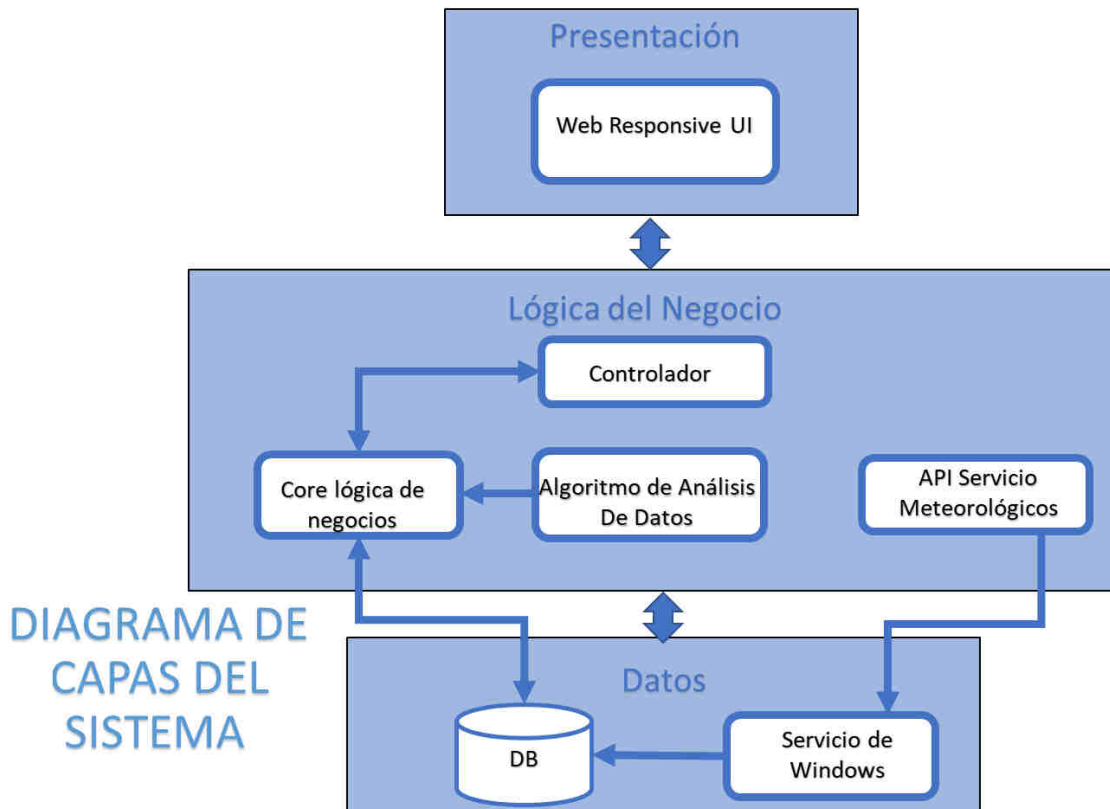


Figura 27. Diagrama de Capas del Sistema. Fuente. Autor

En el diagrama de la figura 27 se definen las capas de presentación, lógica de negocio y de datos. De acuerdo a cada una de estas capas se provee funcionalidades o mecanismos que permiten el procesamiento de las actividades definidas para el software.

En la capa de presentación se realiza toda la lógica de interacción con el usuario y el sistema, se capturan los datos mediante la interfaz gráfica

En la capa correspondiente a la lógica de negocio, existen cuatro componentes:

- El controlador el cual es encargado de proveer al usuario todos los mecanismos de administración y brindar acceso a la consulta de los datos ambientales.
- El Core de la lógica de negocios, están todas las lógicas que se requieren para el desarrollo del sistema.
- El algoritmo de análisis de datos, el cual es el encargado de analizar las variables y suministrar la información adecuada.



- El servicio de consulta de datos meteorológicos utiliza la información suministrada por los sensores que se encuentran desplegados en las plantaciones de café.

Por último, está la capa de datos, en esta existe el servicio de Windows que realiza el proceso de transmisión de información de los datos suministrados por los sensores a través del servicio meteorológico hacia el sistema principal. Este componente transporta los datos hacia la base de datos.

Esta arquitectura permite la consulta de datos de sensores que estén gestionados por la plataforma *Wunderground* y no solo de los sensores desplegados en el proyecto.

2.3.2.2 Capa de acceso a datos

En esta capa se encuentran los componentes que permiten el acceso a la información en los cuales están los repositorios de los datos.

2.3.2.2.1 Diseño Base de Datos de la Solución

Para el diseño de la solución y modelado de los datos del sistema se realizó un modelo entidad relación y un modelo relacional de datos, en los cuales se estructuran de forma definida como se obtiene y almacena la información, así mismo, como es posible acceder a la colección de datos.

En el diagrama de la figura 28 se observa el modelo entidad relación el cual entre sus aspectos principales muestra la funcionalidad de las alertas al usuario. Con base en los requerimientos funcionales y datos con los que se cuenta, se realiza el modelado de los datos por medio del siguiente diagrama. De acuerdo al modelo entidad relación se realiza la descripción y diseño de las tablas de la base de datos, como lo presenta la figura 29. En este diagrama se da a conocer la manera como se almacena la información en las tablas con sus distintos atributos y las relaciones básicas.

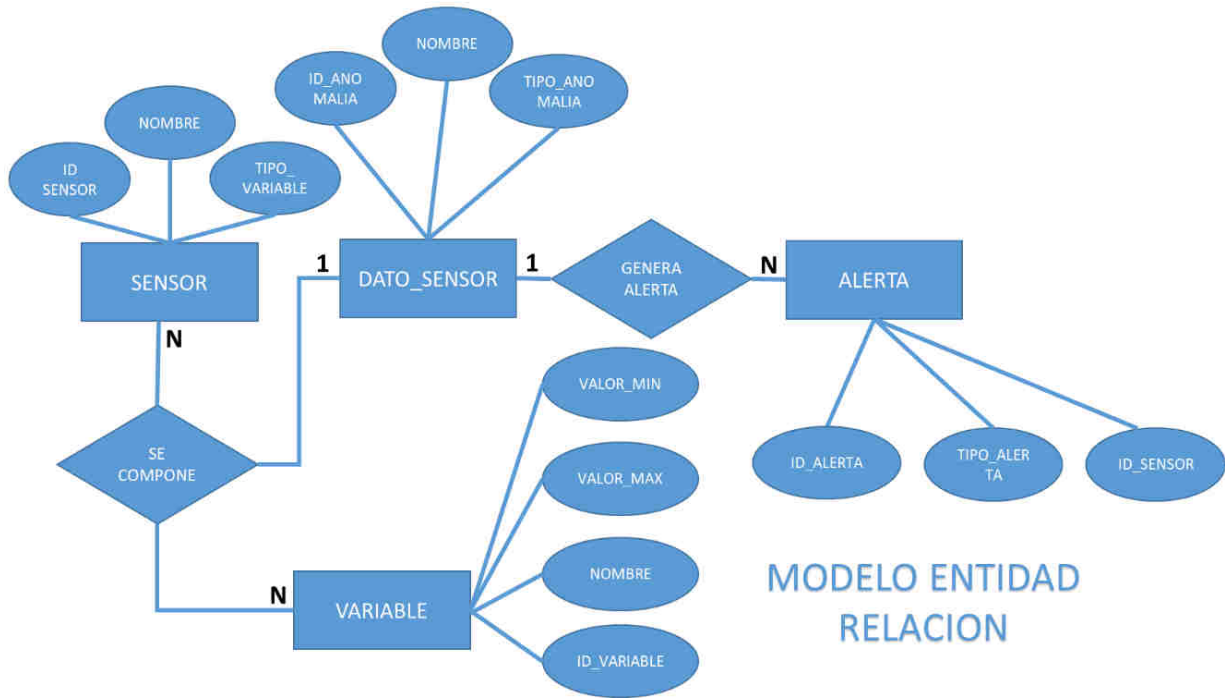


Figura 28. Modelo Entidad Relación

Fuente. Autor

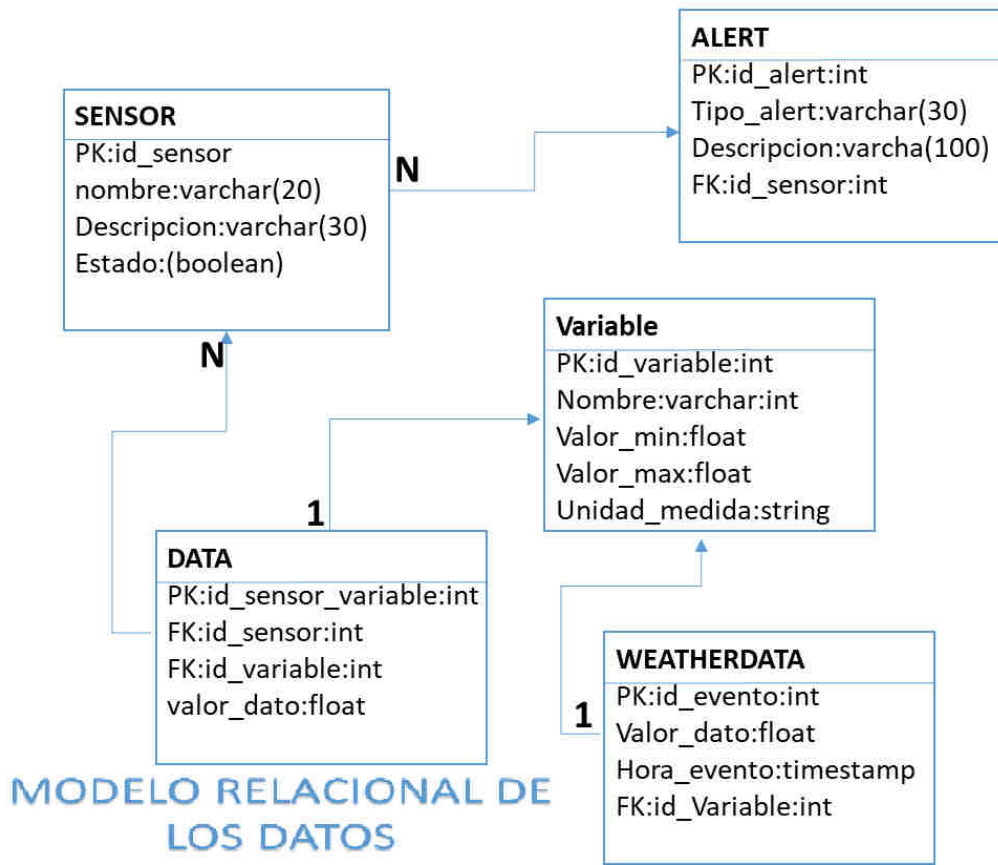


Figura 29. Modelo Relacional de Datos. Fuente. Autor

El gráfico de la figura 30 presenta el modelo vista-controlador extendido, el cual es el responsable de hacer funcionar el sistema.

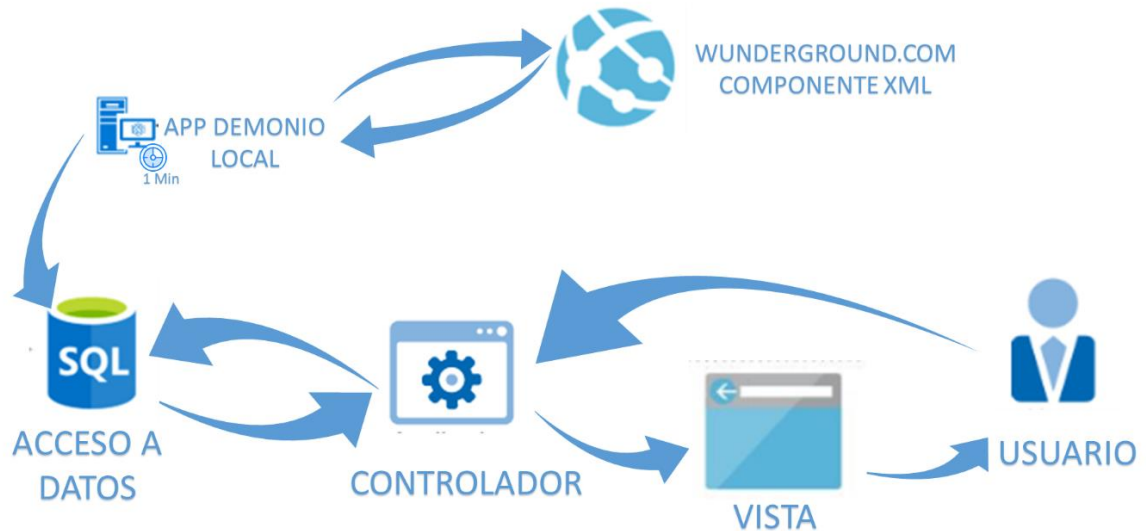


Figura 30. Modelo Vista controlador del proyecto

El modelo es el responsable de:

Acceder a la capa de almacenamiento de datos. Lo ideal es que el modelo sea independiente del sistema de almacenamiento.

- Definir las reglas de negocio (la funcionalidad del sistema).

El controlador es responsable de:

- Recibir los eventos de entrada para este programa las variables.
- Integrar las reglas de control de eventos.

La vista es responsable de:

- Recibir datos del modelo y mostrarlo al usuario.
- Mostrar el análisis de los datos obtenidos.

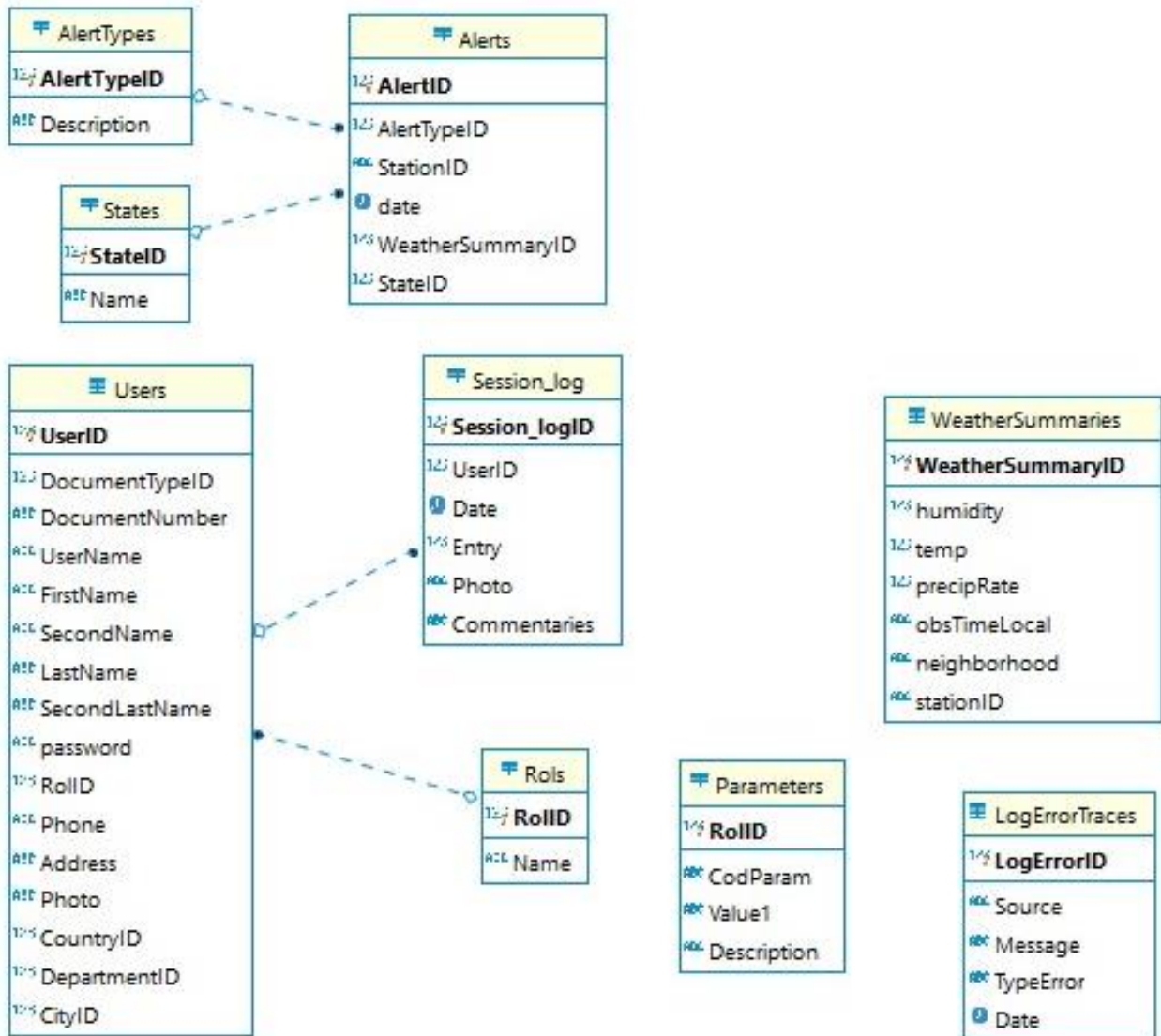


Figura 31. Diagrama de Clases. Fuente. Autor

El diagrama muestra el diagrama de clases del proyecto siendo una representación de la estructura interna del proyecto.

2.3.2.3 Vista de despliegue

Esta sección resume mediante un diagrama de componentes la vista de despliegue.

Diagrama de componentes

A través de este diagrama se da a conocer la construcción física del sistema de información, dando a conocer también los componentes del software, interfaces y dependencia entre ellos, de esta forma se puede entender la comunicación entre ellos, con este diagrama se muestra cómo se realiza el flujo de la información desde que ingresa hasta que llega al usuario final. En el diagrama de la figura 32 se puede visualizar desde los componentes de software, base de datos hasta la interfaz de usuario.

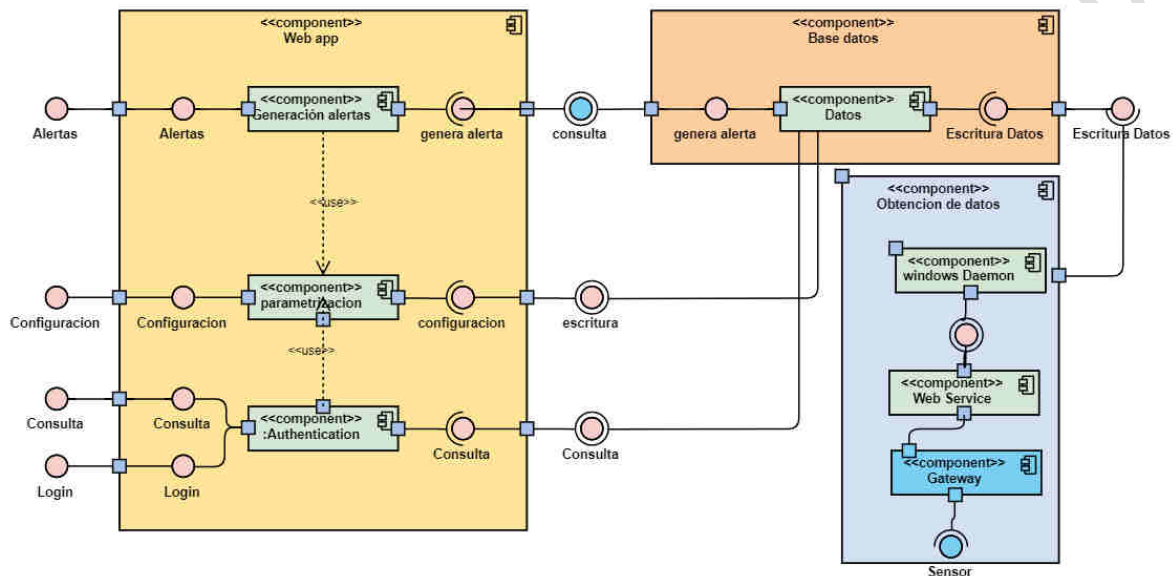


Figura 32. Diagrama de componentes. *Fuente. Autor*

En el diagrama de componentes se observa la interacción de las principales partes del sistema, se tiene tres componentes principales como son: el componente de obtención de datos, componente base de datos y componente web app.

2.3.2.4 Vista Física

Diagrama de Despliegue

Este diagrama tiene la función de dar a conocer la distribución física de los componentes del software en los diferentes nodos de la red, de esta manera se puede representar de forma clara la red, en este diagrama se ve principalmente dos elementos, nodos y conexiones.

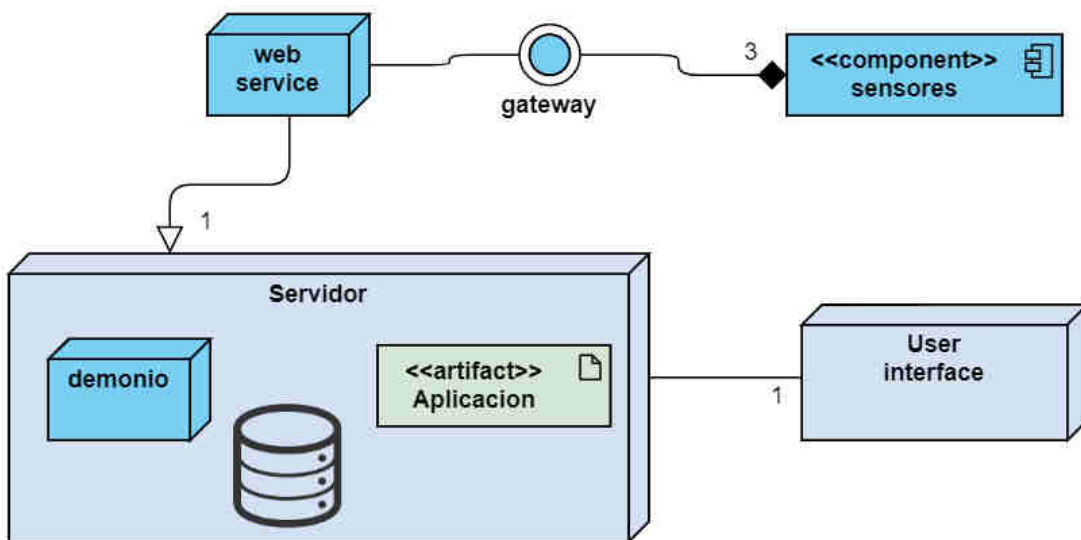


Figura 33. Diagrama de despliegue. *Fuente. Autor*

El diagrama de despliegue de la figura 33 muestra los nodos del sistema, así como los sub-nodos que lo integran para visualizar desde el momento en que los sensores toman los datos hasta el usuario.

2.3.2.5 Capa de presentación

En esta capa se despliega la interfaz gráfica del usuario, capa encargada de capturar la información del usuario y de comunicar a la capa de lógica de negocio.



2.3.2.5.1 Diseño de la Interfaz de Usuario

Para el diseño de la interfaz de usuario, se siguen los lineamientos del diseño responsivo; estos tienen el objetivo de adaptar la apariencia de las páginas web al dispositivo que se esté utilizando para visualizar el sitio, así, se logra reducir los costos de desarrollo al tener un solo diseño optimizado para todos los dispositivos, en lugar de varios diseños independientes.

The image shows a web browser window with the title 'WEATHER SENSORS'. The main content area displays a login interface. On the left is the logo of the Corporación Universitaria Autónoma de Nariño. The central heading reads 'BIENVENIDO A WEATHER SENSORS CAFE'. To the right of the heading is a login form consisting of two input fields: 'USUARIO' and 'CONTRASEÑA'. Below these fields is a button labeled 'INGRESAR' with a dashed border.

Figura 34. Pantalla de ingreso al aplicativo. Fuente. Autor

La pantalla de inicio (figura 34) cuenta con un sistema de autenticación de usuario para la visualización de la información de los sensores, así como la configuración de las variables y datos de las alertas.



Figura 35. Pantalla de inicio del aplicativo. Fuente. Autor

En la estructuración de la pantalla de inicio, como se presenta en la figura 35, se puede visualizar las opciones en la parte izquierda, así como información del terreno donde se encuentran desplegados los sensores, las opciones accesibles son:

- Inicio
 - Visualiza información del terreno y la visualización georreferenciada del cultivo.
- Variables
 - Se visualizan los valores actuales de las variables suministradas por los sensores.
- Alertas
 - Se visualizan las alertas generadas en un periodo de tiempo.
- Configuración
 - Se configuran los rangos de las variables para la generación de las alertas.
 - Se configura el correo de envío de las alertas.

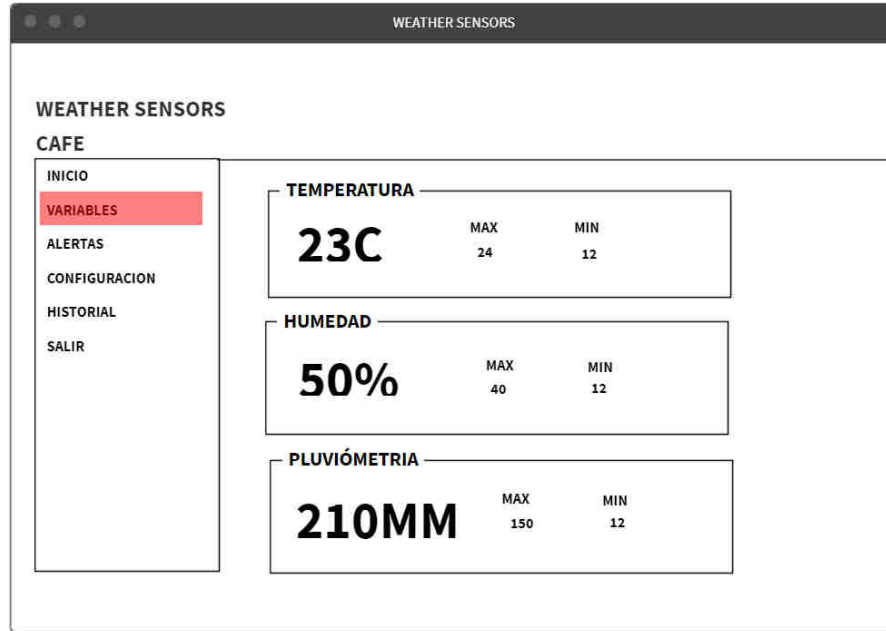


Figura 36. Pantalla consulta de estado actual de variables ambientales. Fuente. Autor

En la pantalla de consulta que se presenta en la figura 36 se puede ver los valores actuales de las variables, así como los máximos y mínimos alcanzados en un periodo de tiempo.

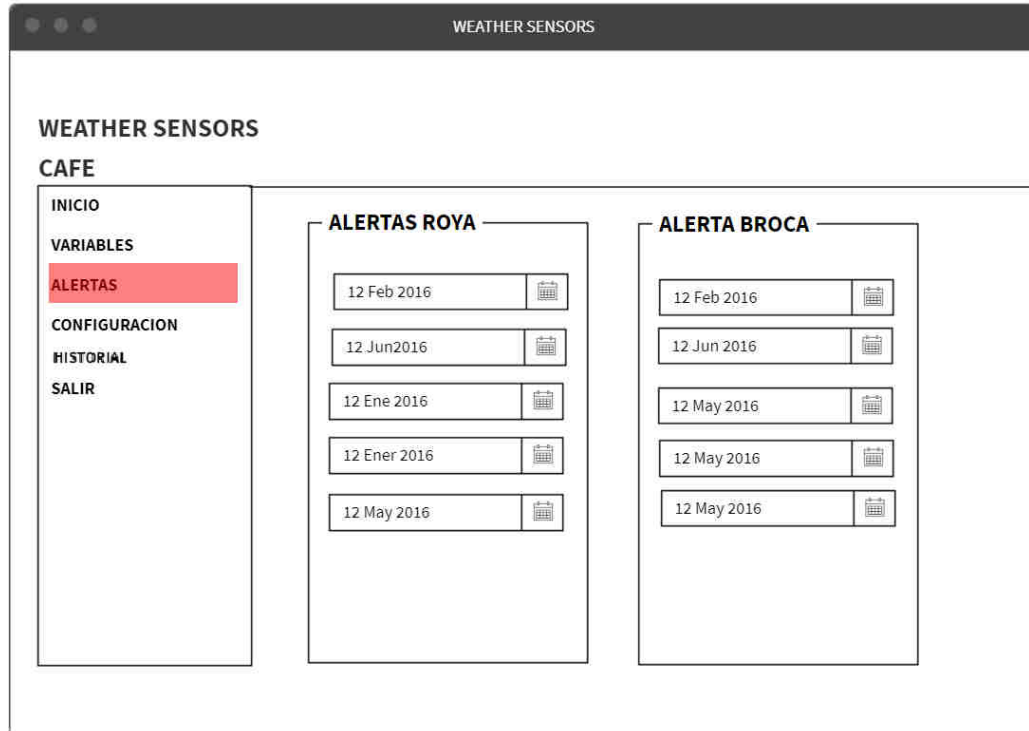


Figura 37. Pantalla de visualización de alertas. Fuente. Autor



En la pantalla de visualización de alertas es posible visualizar las alertas que se han ejecutados por fechas relacionadas con la broca o la roya, como lo muestra la figura 37.

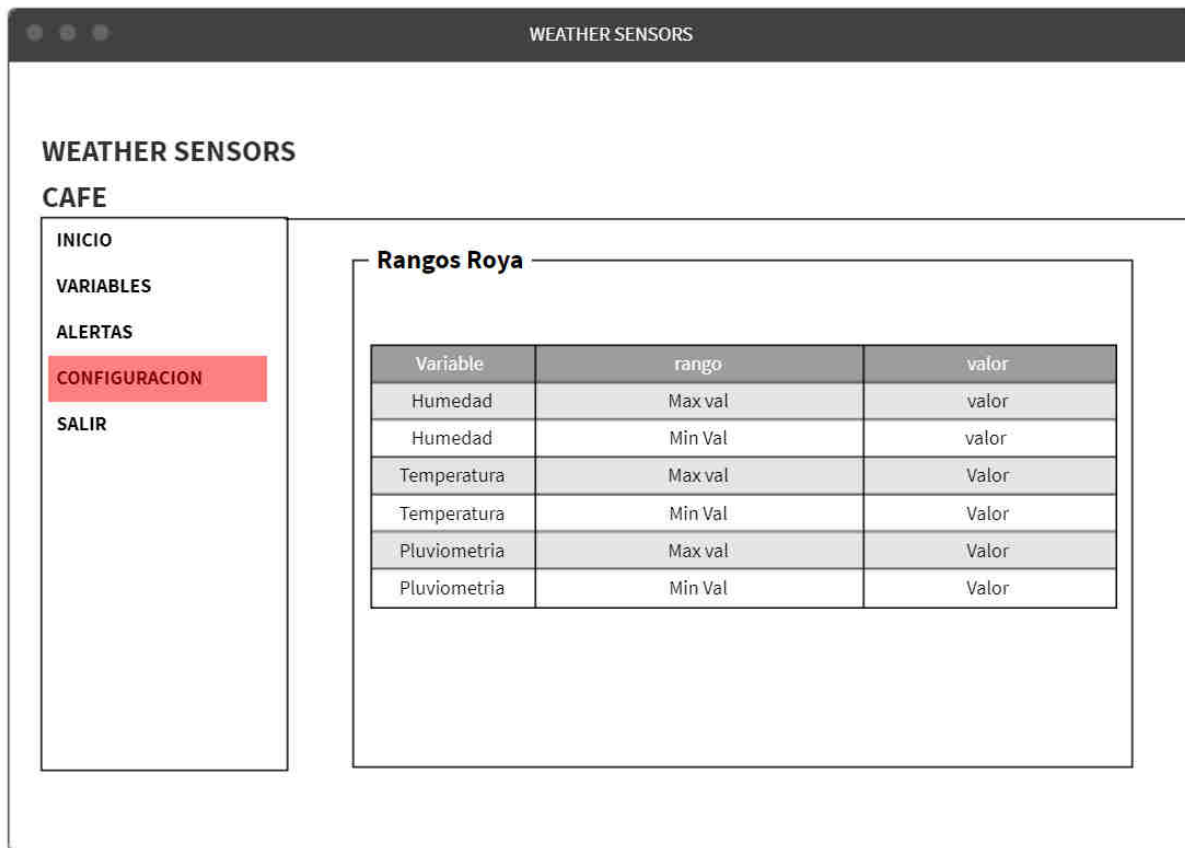


Figura 38. Pantalla configuración de rangos de las variables. Fuente. Autor

En la pantalla de configuración el usuario asigna los máximos y mínimos de cada variable de acuerdo a los rangos de riesgo asociados con cada plaga o enfermedad (véase figura 38), los cuales son enviados a un correo electrónico también configurado.

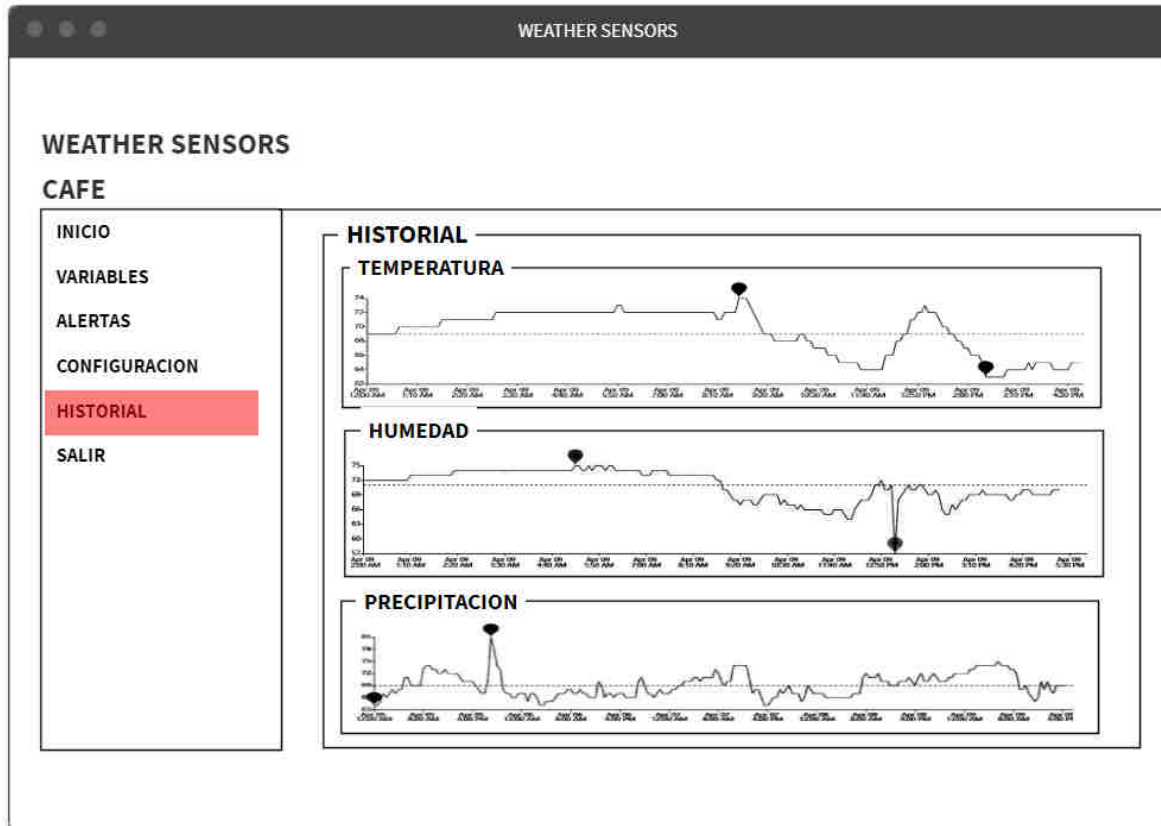


Figura 39. Pantalla historial de Variables. Fuente. Autor

Finalmente, la figura 39 muestra cómo se puede acceder a los comportamientos de las variables en un periodo seleccionado a través de un gráfico histórico que permite visualizar los picos máximos y mínimos de cada una mediante un historial de variables.

2.3.2.5.2 Vista de escenarios

La vista escenario logra integrar las otras 4 vistas a través de los casos de uso y da a conocer los requerimientos más importantes, entre sus propósitos están el servir como validación para después finalizar el modelo arquitectónico.

2.3.2.5.3 Casos de Uso

Los casos de uso son parte de los diagramas comportamentales que incluyen las funcionalidades y, dan a conocer las interacciones entre el sistema y su entorno; para el proyecto

de monitoreo de variables ambientales el usuario puede realizar la consulta de las variables y el sistema tiene la capacidad de enviar alertas a un correo electrónico de acuerdo a las anomalías de que se detecten.

Actores

Administrador: es el usuario que posee la administración de la plataforma, configuración de los rangos y modificaciones.

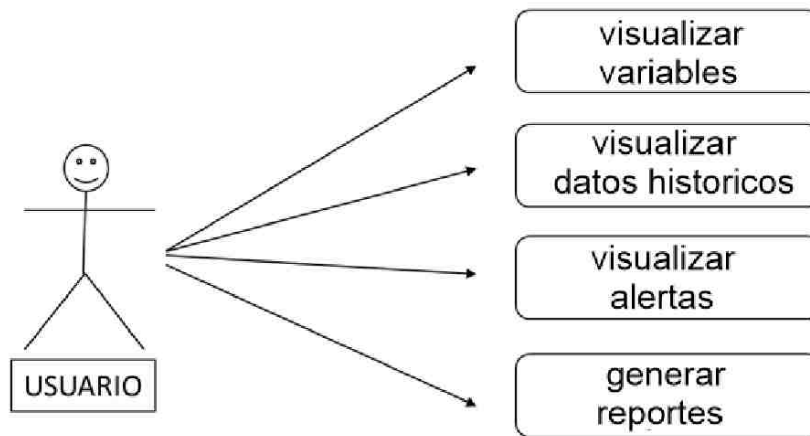


Figura 40. Diagrama de casos de uso. Fuente. Autor

En el gráfico de la figura 40 se ilustran los casos de uso y la interacción con el usuario principal, el cual puede acceder a las distintas funcionalidades del sistema. Además, de la tabla 12 a la tabla 15 se presenta el detalle de los casos de usos.

Tabla 12. Caso de uso 1

CÓDIGO	CU 1	Nombre	Loguearse
Descripción	Acceder a la aplicación por medio de usuario y contraseña		
Actores	Precondiciones	Flujo de eventos	
Administrador	Usuario y contraseña válida	1. El usuario introduce su usuario y contraseña 2. El usuario presiona el botón entrar	



3. La aplicación carga la página principal

Fuente. Autor

Tabla 13. Caso de uso 2

CÓDIGO	CU 2	Nombre	Visualización de datos
Descripción	El usuario visualiza los datos actuales de las variables ambientales		
Actores	Precondiciones	Flujo de eventos	
Administrador	No aplica	<ol style="list-style-type: none">1. El usuario accede a la aplicación2. La aplicación carga los valores actuales de los sensores	

Fuente. Autor

Tabla 14. Caso de uso 3

CÓDIGO	CU 3	Nombre	Informe
Descripción	El usuario puede visualizar y exportar reporte de los datos		
Actores	Precondiciones	Flujo de eventos	
Administrador	Usuario y contraseña válida	<ol style="list-style-type: none">1. El usuario introduce su usuario y contraseña2. El usuario selecciona generar reporte3. La aplicación genera archivo descargable	

Fuente. Autor

Tabla 15. Caso de uso 4

CÓDIGO	CU 4	Nombre	Configura rangos
Descripción	El usuario configura los rangos máximos y mínimos de alerta para las variables		
Actores	Precondiciones	Flujo de eventos	



Administrador	Usuario y contraseña válida	<ol style="list-style-type: none"> 1. El usuario introduce su usuario y contraseña 2. El usuario configura valores máximos y mínimos para cada variable 3. La aplicación establece datos máximos y mínimos para cada variable ambiental
---------------	-----------------------------	--

Fuente. Autor

2.3.2.5.3.1 Definición de Casos de uso

Especificación de requerimientos

El sistema de información tiene como objetivo el monitoreo de las variables ambientales seleccionadas y visualización de la tendencia que pueda darse hacia las plaga o enfermedad seleccionada para el caso de estudio. Desde la tabla 16 hasta la tabla 25 se presentan los requerimientos evaluados.

Tabla 16. Requerimiento 1.

Sistema de apoyo para la detección de broca y roya en sistemas de producción tradicional de cultivos de café a partir del análisis a variables climáticas a través de protocolos de comunicaciones para IoT				
CÓDIGO	NOMBRE	TIPO	GRADO DE NECESIDAD	
RF-1	Seguridad de la aplicación	No funcional	Esencial	
Descripción	El sistema debe contar con un módulo de autenticación de usuarios para la parametrización de los rangos			
Entradas	Fuente	Salida	Destino	Restricciones
URL	Formulario ingreso	Acceso permitido	Base de datos	El usuario debe estar activo para
Usuario	de datos	Acceso denegado		
Contraseña				



que el acceso
sea válido

Fuente. Autor

Tabla 17. Requerimiento 2.

Sistema de apoyo para la detección de broca y roya en sistemas de producción tradicional de cultivos de café a partir del análisis a variables climáticas a través de protocolos de comunicaciones para iot

CÓDIGO	NOMBRE	TIPO	GRADO DE NECESIDAD		
RF-2	Visualización de estado actual de las variables	Funcional	Esencial		
Descripción	El sistema debe permitir la visualización en tiempo real de las variables				
Entradas	Fuente	Salida	Destino	Restricciones	
Valores de las variables	Web services	Visualización de las variables	Base de datos	Lapso de tiempo entre cada valor	

Fuente. Autor

Tabla 18. Requerimiento 3.

Sistema de apoyo para la detección de broca y roya en sistemas de producción tradicional de cultivos de café a partir del análisis a variables climáticas a través de protocolos de comunicaciones para IoT

CÓDIGO	NOMBRE	TIPO	GRADO DE NECESIDAD		
RF-3	Visualización datos históricos de las variables	Funcional	Esencial		



Descripción	El sistema debe permitir un histórico del comportamiento de cada variable en un periodo de tiempo			
Entradas	Fuente	Salida	Destino	Restricciones
Valores de las variables en un periodo de tiempo	Web services	Visualización de histórico de las variables	Base de datos	Periodo de tiempo

Fuente. Autor

Tabla 19. Requerimiento 4.

Sistema de apoyo para la detección de broca y roya en sistemas de producción tradicional de cultivos de café a partir del análisis a variables climáticas a través de protocolos de comunicaciones para iot

CÓDIGO	NOMBRE	TIPO	GRADO DE NECESIDAD	
RF-4	Visualización de alerta de riesgo para enfermedad o plaga	Funcional	Esencial	
Descripción	El sistema muestra una alerta de riesgo para la enfermedad o plaga			
Entradas	Fuente	Salida	Destino	Restricciones
Variables ambientales	Web services	Visualización de estado de alerta	Base de datos	Rango de alerta para las variables ambientales

Fuente. Autor



Tabla 20. Requerimiento 5

Sistema de apoyo para la detección de broca y roya en sistemas de producción tradicional de cultivos de café a partir del análisis a variables climáticas a través de protocolos de comunicaciones para iot				
CÓDIGO	NOMBRE	TIPO	GRADO DE NECESIDAD	
RF-5	Configuración de rangos de riesgo	Funcional	Esencial	
Descripción	El sistema debe permitir el ingreso de los rangos de riesgo para las variables ambientales			
Entradas	Fuente	Salida	Destino	Restricciones
Rangos de riesgos para las variables	Formulario ingreso de datos	Rangos de riesgo definidos	Base de datos	Solo usuario autenticado puede ingresar

Fuente. Autor

Tabla 21. Requerimiento 6

Sistema de apoyo para la detección de broca y roya en sistemas de producción tradicional de cultivos de café a partir del análisis a variables climáticas a través de protocolos de comunicaciones para iot				
CÓDIGO	NOMBRE	TIPO	GRADO DE NECESIDAD	
RF-6	Informe de estado histórico de los datos	Funcional	Esencial	
Descripción	El sistema debe permitir la visualización en tiempo real de las variables			
Entradas	Fuente	Salida	Destino	Restricciones



Formato plantilla para informe	Informe de variables ambientales	Plantilla	Base de datos	El informe está dado por tipo de variable
--------------------------------	----------------------------------	-----------	---------------	---

Fuente. Autor

Tabla 22. Requerimiento 7

Sistema de apoyo para la detección de broca y roya en sistemas de producción tradicional de cultivos de café a partir del análisis a variables climáticas a través de protocolos de comunicaciones para iot

CÓDIGO	NOMBRE	TIPO	GRADO DE NECESIDAD	
RF-6	Conteo de alertas en periodo	Funcional	Esencial	
Descripción	El sistema muestra la cantidad de alertas generadas para el cultivo			
Entradas	Fuente	Salida	Destino	Restricciones
Datos de variables ambientales	Base de datos	Cantidad de alertas emitidas en periodo de tiempo	Base de datos	Las alertas están dadas por un mes

Fuente. Autor

Tabla 23. Requerimiento 8

Sistema de apoyo para la detección de broca y roya en sistemas de producción tradicional de cultivos de café a partir del análisis a variables climáticas a través de protocolos de comunicaciones para iot

CÓDIGO	NOMBRE	TIPO	GRADO DE NECESIDAD	
RF-7	Sistema de alertas	Funcional	Esencial	
Descripción	El sistema permite el envío de alertas ante variaciones de los variables ambientales fuera de rango			
Entradas	Fuente	Salida	Destino	Restricciones



Fecha	Web services	Alerta	Base de datos	La alerta se envía por correo electrónico
Hora				
Variable de alerta				
Valor				

Fuente. Autor

Tabla 24. Requerimiento 9

Sistema de apoyo para la detección de broca y roya en sistemas de producción tradicional de cultivos de café a partir del análisis a variables climáticas a través de protocolos de comunicaciones para iot

CÓDIGO	NOMBRE	TIPO	GRADO DE NECESIDAD	
RF-8	Disponibilidad	No funcional	Esencial	
Descripción	El sistema deberá estar disponible 24 horas al día los 7 días de la semana			
Entradas	Fuente	Salida	Destino	Restricciones
No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	Depende de los factores externos

Fuente. Autor

Tabla 25. Requerimiento 10

Sistema de apoyo para la detección de broca y roya en sistemas de producción tradicional de cultivos de café a partir del análisis a variables climáticas a través de protocolos de comunicaciones para iot

CÓDIGO	NOMBRE	TIPO	GRADO DE NECESIDAD	
RF-9	Portabilidad	No funcional	Esencial	
Descripción	La aplicación deberá funcionar en todos los sistemas operativos a través de un navegador convencional			
Entradas	Fuente	Salida	Destino	Restricciones



Navegadores

No aplica

Navegadores

No aplica

No aplica

Fuente. Autor

2.3.3 Implementación de la Solución

El proceso de la implementación del sistema, considerando todos los requisitos técnicos se hizo con las siguientes etapas:

- Construcción de un modelo de datos.
- Desarrollo de una capa de comunicaciones y servicios web.
- Implementación de un demonio en el servidor Windows.
- Generación de alertas en el sistema.
- Creación de interfaz de usuario y frontend.
- Pruebas del prototipo.

2.3.2.1 Construcción del modelo de datos

El modelo de datos hace referencia al almacenamiento de la información, para este caso se utilizó una base de datos relacional a través de SQL server 2017 para administración de la base de datos y para el desarrollo de la aplicación Visual Studio 2017.

El proyecto tiene como base la aplicación desarrollada en ASP.NET MVC que usa el mapeador objeto relacional ORM entity framework 6 utilizando Code First para el flujo de trabajo en el cual lo primero que se realiza son las entidades, posteriormente cuando se compila se genera la base de datos partir las clases y las relaciones entre ellas con un esquema de tablas (ver figura 41).



+	db.	dbo._MigrationHistory
+	db.	dbo.Alerts
+	db.	dbo.AlertTypes
+	db.	dbo.AspNetRoles
+	db.	dbo.AspNetUserClaims
+	db.	dbo.AspNetUserLogins
+	db.	dbo.AspNetUserRoles
+	db.	dbo.AspNetUsers
+	db.	dbo.LogErrorTraces
+	db.	dbo.Parameters
+	db.	dbo.Rols
+	db.	dbo.Session_log
+	db.	dbo.States
+	db.	dbo.Users
+	db.	dbo.WeatherSummaries

Figura 41. Tablas de la base de datos. Fuente. Autor

2.3.2.2 Desarrollo de una capa de comunicaciones y servicios web

Para el desarrollo de la capa de comunicaciones se utilizó el api proporcionada por el web service de wunderground.com, la cual puede ser usada de la siguiente manera:

Construcción de la Url:

Dirección Url ejemplo:

<https://api.weather.com/v2/pws/observations/current?stationId=ISANJU36&format=json&units=h&apiKey=be06c9df19a94dd986c9df19a92dd9ea>

```

1 {
2   "observations": [
3     {
4       "stationID": "ISANJU36",
5       "obsTimeUtc": "2020-04-11T15:58:50Z",
6       "obsTimeLocal": "2020-04-11 10:58:50",
7       "neighborhood": "San Juan de Pasto",
8       "softwareType": "GW1000B_V1.5.7",
9       "country": "CO",
10      "solarRadiation": null,
11      "lon": -77.268127,
12      "realtimeFrequency": null,
13      "epoch": 1586620730,
14      "lat": 1.209756,
15      "uv": null,
16      "winddir": null,
17      "humidity": 69,
18      "qcStatus": 0,
19      "uk_hybrid": {
20        "temp": 21,
21        "heatIndex": 21,
22        "dewpt": 15,
23        "windChill": null,
24        "windSpeed": null,
25        "windGust": null,
26        "pressure": 751.41,
27        "precipRate": 0,
28        "precipTotal": 0.09,
29        "elev": 8629
30      }
31    }
32  ]
33 }

```

Figura 42. Resultado consulta API. Fuente. Autor

El resultado de la consulta del API se puede observar viendo las variables en tiempo real suministradas por los sensores instalados (Compan, 2020), como lo muestra la figura 42.

2.3.2.3 Generación de Alertas para Roya y Broca

El sistema muestra cada variable ambiental dentro de los rangos previamente definidos con sus valores máximos y mínimos para las alertas, como se muestra en la tabla 26.

Tabla 26. Máximos y Mínimos para Alertas meteorológicos

VARIABLE	ALERTA MIN	ALERTA MAX	UNIDAD
TEMPERATURA	X1	X2	C°
HUMEDAD	Y1	Y2	%

Cuando el web service reporta un valor comprendido entre estos dos valores genera una alerta denominada “Alerta de Riesgo”, de acuerdo al conjunto de variaciones que generó la alerta ya sea para broca y para roya.

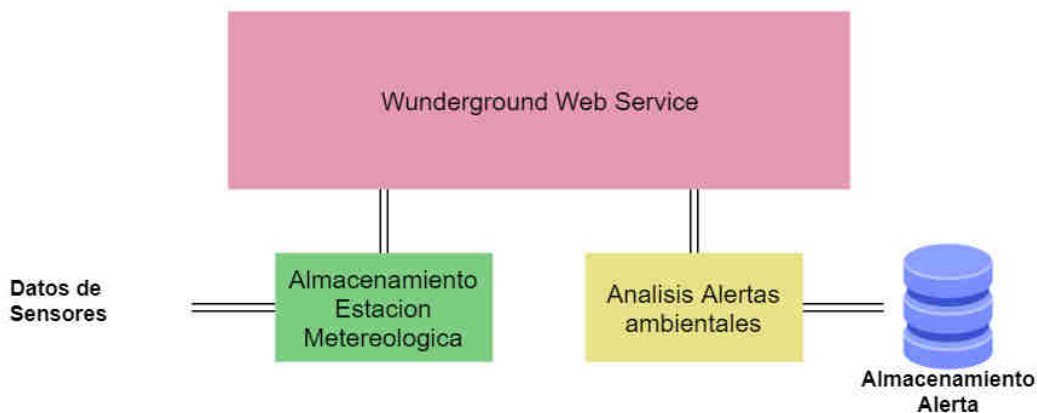


Figura 43. Proceso de análisis y almacenamiento de Alerta. Fuente. Autor

En el diagrama de la figura 43 se observa el proceso de generación de alertas, desde la obtención de datos por parte de los sensores hasta su análisis y almacenamiento.

El proceso de generación de alertas brinda al usuario final información acerca del estado del cultivo informando el posible riesgo de una enfermedad o plaga una vez se valida los mínimos y máximos para cada variable.

Mediante el servicio web el usuario puede visualizar las últimas alertas que se han generado de la siguiente forma:

2.3.4 Pruebas del prototipo

Como parte del desarrollo del prototipo funcional del sistema de apoyo para la detección de broca y roya en sistemas de producción tradicional de cultivos de café a partir de del análisis de variables climáticas en esta sección se describen y dan a conocer los resultados de llevar a

cabo las pruebas sobre el prototipo y su adecuado funcionamiento en cuanto al diseño y requerimientos descritos anteriormente.

A continuación, se mostrará las pruebas de funcionamiento de los sensores en un ambiente controlado ajustando de manera artificial las condiciones climáticas a fin de generar las alertas en la plataforma y la visualización de las mismas, así como los valores en tiempo real suministrados por los sensores, por cuando se inicia desde la transmisión de los datos por parte de los sensores hasta la visualización por parte del usuario final.

2.3.4.1 Validación y Pruebas de componentes

Se realizó verificación en cada uno de los módulos funcionales del sistema, considerando que es un sistema en la nube orientado a una solución IoT, la alta transferencia y manipulación de los datos en el sistema constituyen un factor importante (véase figura 44).

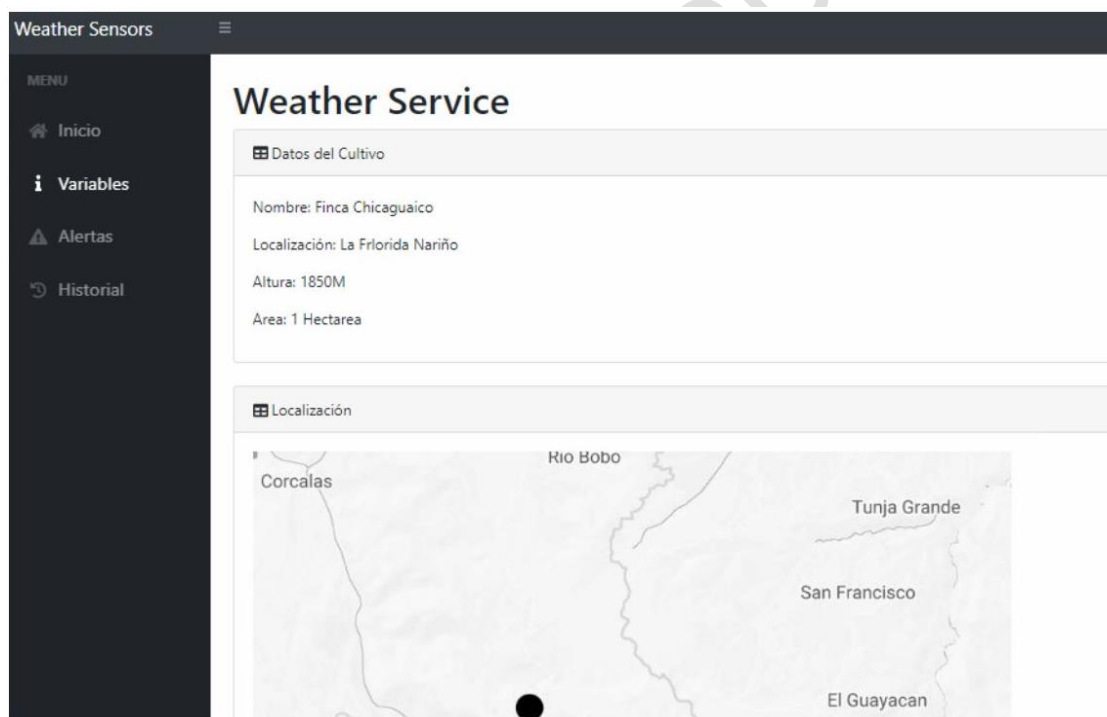


Figura 44. Dispositivos para controlar microambiente presentado en la pantalla de inicio de la plataforma web con información básica del cultivo Fuente. Autor

2.3.4.2 Prueba de estado de sensores

Para realizar esta prueba se observó los valores que suministran los sensores en un ambiente controlado, verificando el valor con una unidad capaz de medir estas variables a fin de tener unos valores de referencia.

Para el ambiente controlado se hizo uso de elementos que permitieron manipular las condiciones climáticas en un micro entorno de acuerdo a la figura 45.



Figura 45. Dispositivos para controlar microambiente Fuente. Autor

La figura 45, muestra las variables del ambiente controlado, temperatura, humedad y precipitación y los sistemas utilizados para su ajuste.

2.3.4.3 Prueba variables del microambiente

La figura 46 muestra los resultados de las variables en el ambiente controlado. Finalmente, la figura 47 muestra los valores visualizados en la plataforma web. De acuerdo a los resultados obtenidos los valores suministrados por la plataforma correspondientes a los valores de los sensores en tiempo real.



Figura 46. Valores ambiente controlado de pruebas. **Fuente.** Autor

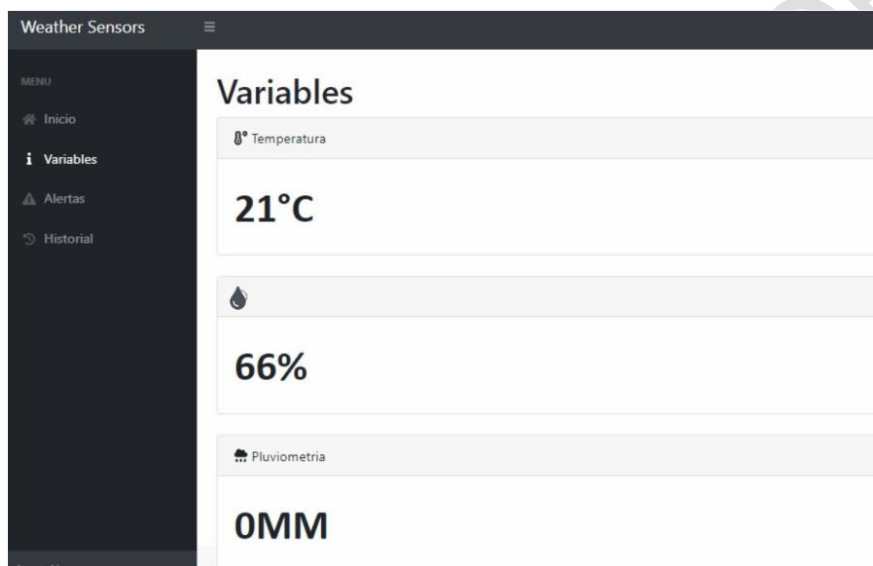


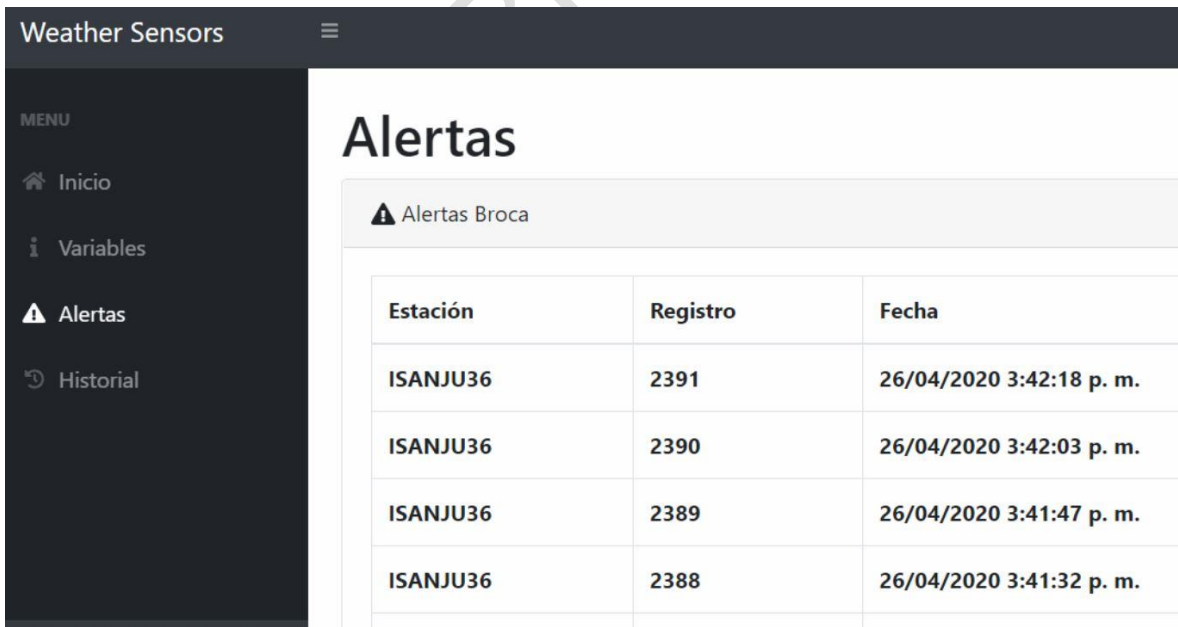
Figura 47. Visualización de valores en la plataforma. **Fuente.** Autor

En la siguiente prueba se generó de manera artificial una la alteración de las condiciones climáticas para cada uno de los sensores, con este se logró alcanzar los máximos y los mínimos que disparan cada una de las alertas, permitiendo su visualización en la plataforma.



Figura 48. Variables temperatura, humedad y precipitación para generación de alarma
Fuente. Autor

La figura 48, muestra la prueba de ajuste de temperatura en el sensor, humedad y precipitación en el microambiente para la generación de la alerta. La figura 49 muestra las alertas generadas en la plataforma debido a que los conjuntos de variables ambientales suministradas por los sensores están en el rango de generación de alerta para broca y roya.



Estación	Registro	Fecha
ISANJU36	2391	26/04/2020 3:42:18 p. m.
ISANJU36	2390	26/04/2020 3:42:03 p. m.
ISANJU36	2389	26/04/2020 3:41:47 p. m.
ISANJU36	2388	26/04/2020 3:41:32 p. m.

Figura 49. Visualización de la alerta en la plataforma. **Fuente. Autor**

Las alertas son enviadas en tiempo real, a través del servicio de Windows instalado en el servidor, el cual de acuerdo al intervalo parametrizado valida las variables obtenidas del web service y si se encuentra en los rangos de amenaza se guarda en la tabla de alertas y posteriormente se envía a un correo electrónico por medio de un servidor de correo SMTP.

2.3.4.4 Prueba historial de Variables generadas

De acuerdo a la información recibida por los sensores en los últimos siete días se visualiza un historial gráfico. En la figura 50 se visualiza el historial de valores suministradas por sensores referentes a las variables ambientales.

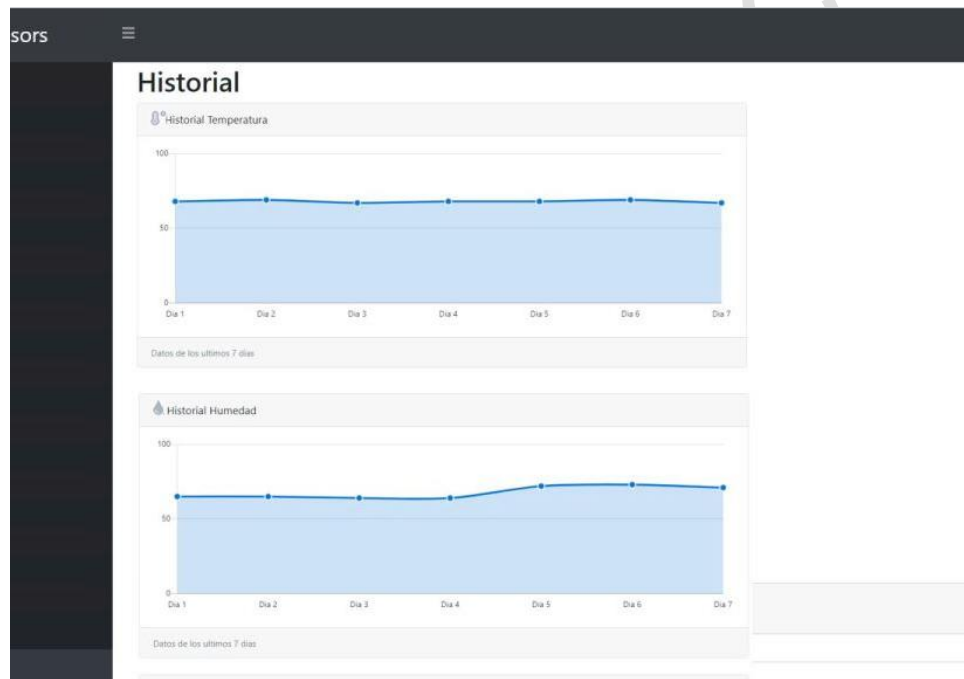


Figura 50. Visualización de historial de variables ambientales. **Fuente.** Autor

2.3.4.5 Demostración del prototipo

En el siguiente enlace <https://youtu.be/OXUDwVIDY8Y> se puede observar un video demostrativo donde se evidencia el funcionamiento del aplicativo, la interacción con el software y la visualización de los módulos que lo componen a partir de la información suministrada por

los sensores. La figura 51. muestra la visualización los módulos de la plataforma web en un dispositivo móvil.

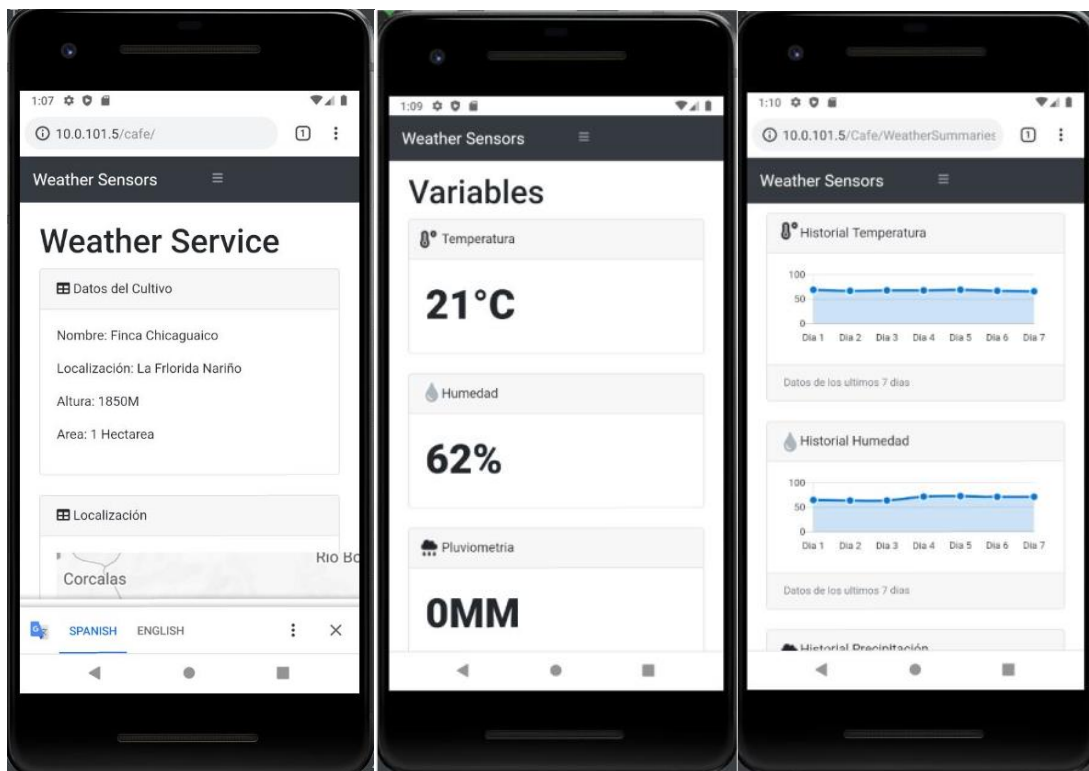


Figura 51 visualización de aplicativo en pantallas móviles. **Fuente.** Autor

2.4 Conclusiones y Trabajos Futuros

El software de apoyo para la detección de broca y roya en sistemas de producción tradicional de cultivos de café a partir del análisis de variables climáticas, es una solución que pretende contribuir e impactar de manera positiva a los pequeños agricultores, a quienes se les dificulta el acceso a este tipo de tecnología, debido a los altos costos y desconocimiento sobre el proceso de implementación.

Mediante la investigación de nuevas tecnologías basadas en IoT y aplicativos en la nube, se establecieron las mejores plataformas para creación, configuración y administración de sistemas basados en IoT que a partir de sensores puedan aportar al desarrollo socio económico



del sector de la agricultura. Con base en esto y a la identificación de las tecnológicas existentes se proporcionó un mecanismo para monitoreo de cultivos en cuanto a sus condiciones climáticas.

Tecnologías como la comunicación y transmisión de datos entre componentes, así como el desarrollo de sistemas distribuidos fue de vital importancia para el desarrollo del proyecto donde se identificó que mediante las tecnologías IoT se puede llegar con múltiples ideas o soluciones a este sector, que en ocasiones se encuentra aislado por diferentes coyunturas que le afectan, de esta manera se puede permitir al usuario manipular, visualizar e interactuar en algunos casos con los datos que los sistemas le proveen, esto para poder tomar decisiones tempranas en el desarrollo de sus actividades asociadas a la producción de sus cultivos. En este trabajo de grado la solución que se provee brinda al agricultor información del ambiente y de acuerdo a determinados criterios alertas tempranas sobre las condiciones que pueden llegar a generar broca o roya en sus cultivos de esta manera el agricultor puede tomar medidas que le permita prevenir la afectación de estas enfermedades o plagas.

Aunque, el proyecto es funcional cuenta con la capacidad de ampliación y mejoramiento de sus funcionalidades, de tal manera que al ajustar los parámetros de máximos y mínimos de las variables puede servir para establecer otras condiciones climáticas que puedan incidir en la proliferación de otras enfermedades o plagas, así debido a la arquitectura y el despliegue que se dio a los sensores, su tiempo de autonomía, facilidad de instalación, tipo de transmisión características que hacen favorecer la instalación en muchos tipos de cultivos. De acuerdo a esto, es importante establecer que esta es una arquitectura genérica que el usuario final puede ajustar a su presupuesto y necesidades específicas reduciendo o incrementando el tipo de sensores.

Tener una solución de este tipo permite que los pequeños agricultores mejoren sus condiciones de competitividad respecto a agricultores que cuentan con sistemas tecnificados de cultivo los cuales suelen ser costosos y complejos en su despliegue, lo cual fue corroborado con el trabajo de campo realizado en este trabajo constando las dificultades que se presentan en cuanto a comunicación y cuyas extensiones de cultivos no compensan una alta inversión que no sería recuperada por parte del agricultor.

Como trabajo futuro el sistema tiene la capacidad de incorporar otro tipo de sensores, tales como son sensores de luz, sensores de radiación solar, sensores de humedad en el suelo,



sensores de rayos, sensores de contaminación ambiental entre otros, así como el mejoramiento en la precisión de la alertas, para lo cual se puede incorporar como herramienta la lógica difusa, técnica que a partir del establecimiento de reglas de inferencia permite aumentar, extraer información más acotada a las necesidades del sistema, además de esto se pueden incorporar alertas basadas en inteligencia artificial que puedan recomendar específicamente al usuario que acciones tomar en cada caso para la productividad de su cultivo.

PROHIBIDA SU COPIA



BIBLIOGRAFÍA

- Anaya-Isaza, A. J. (2017). Obtenido de http://www.diegopeluffo.com/publicaciones/2016_JornadasFica_IOT.pdf
- ARCILA P., J., FARFÁN V., F., MORENO B., A., & SALAZAR G. (2007). *Sistemas de producción de café en Colombia*. Cenicafé.
- Arcila, P. J., Farfan, V., Moreno, B., & Salazar, G. (2017). *Sistemas de producción de café en Colombia*. Obtenido de https://www.cenicafe.org/es/publications/sistemas_de_produccion.pdf
- Bernal, C. A. (2016). *Metodología de la Investigación*. Colombia: Pearson.
- Cámara de Comercio de Pasto. (2016). *Informe de Coyuntura Económica Regional- Departamento de Nariño*. Obtenido de <http://www.ccpasto.org.co/wp-content/uploads/2017/03/Informe-de-Coyuntura-Economica-Regional-2016.pdf>
- Cauas, D. (2015). *Definición de las variables, enfoque y tipo*. Obtenido de https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/36805674/1-Variables.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1557470721&Signature=AJoU3gAB6RfvIvwtIkae4gP0S5s%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3Dvariables_de_Daniel_Cauas.pdf
- Centro de Investigaciones Económicas y Financieras, Cief- Universidad EAFIT. (5 de 10 de 2017). *ECONOMÍA COLOMBIANA- Análisis de Coyuntura*. Obtenido de http://www.eafit.edu.co/escuelas/economiafinanzas/cief/Documents/Informe_de_Coyuntura_octubre_2017.pdf
- DANE. (s.f.). Obtenido de <http://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/agropecuario>
- DANE. (22 de 11 de 2017). *Producto Interno Bruto PIB Tercer Trimestre 2017*. Obtenido de https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/pib/bol_PIB_IIItrim17_oferta_de_manda.pdf
- Federación Nacional de Cafeteros. (2010). *Manejo agronómico*. Obtenido de http://www.cafedecolombia.com/particulares/es/sobre_el_cafe/el_cafe/manejo_agronomico/
- Federación Nacional de Cafeteros. (2016). *Ensayos sobre economía cafetera*. Obtenido de <https://www.federaciondecafeteros.org/static/files/EEC30.pdf>



- Fundación Manuel Mejía. (s.f.). *Sistemas de Producción de Café sostenibles*. Obtenido de http://www.fmm.edu.co/fileadmin/Documentos/Recursos_educativos/JC_SistemasProduccionCafeSostenibles_tomo2_guia1.pdf
- Hernández Sampieri, R. (2006). *Metodología de la Investigación* (Cuarta Edición ed.). McGraw-Hill Interamericana. Obtenido de <https://bdbiblioteca.universidadean.edu.co:2091/lib/bibliotecaansp/detail.action?docID=4721683>
- Isaza, C. (2015). *Sistemas de producción de café sostenibles- tomo II*. Obtenido de http://www.fmm.edu.co/fileadmin/Documentos/Recursos_educativos/JC_SistemasProduccionCafeSostenibles_tomo2_guia1.pdf
- Montes, C. (2012). Infestación e incidencia de Broca, Roya y Mancha de Hierro en el Cultivo del Cafe. Popayán, Cauca, Colombia.
- OVALLE, G. A. (2008). *IDENTIFICACION Y ANALISIS DE LOS RIESGOS LABORALES PARA TRABAJADORES EN EL PROCESO DE PRODUCCION DE CAFE*. Obtenido de <https://contenidos.usco.edu.co/salud/images/documentos/grados/T.G.Salud-Ocupacional/60.T.G-Gloria-Amparo-Torres-Ovalle,-Maria-Aydee-Martinez-Hymes,-Raquel-Medina-Osorio-2008.pdf>
- RED, M. E. (2017). *Todo lo que debes saber sobre los higrómetros*. Obtenido de <https://www.meteorologiaenred.com/higrometros.html>
- Revista Dinero. (s.f.). *Dinero*. Obtenido de <http://www.dinero.com/economia/articulo/pib-de-colombia-en-el-tercer-trimestre-de-2017-dane/252405>
- Sociedad Andaluza de Educación Matemáticas Thales. (11 de marzo de 2019). *ESCALAS DE TEMPERATURA*. Obtenido de <https://thales.cica.es/rd/Recursos/rd99/ed99-0265-04/escalas.htm>
- Vallejo, R. V. (2017). *Federación Nacional de Cafeteros*. Obtenido de https://www.federaciondecafeteros.org/static/files/Periodico_CNC2017.pdf
- Pardey, Á. E. (2007). El manejo de cafetales y su relación con el control de broca del cafe en Colombia. Obtenido de <http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/4012/1/155.pdf>



Osorio, C. A. (2014). La roya del cafeto en Colombia. Obtenido de <https://www.cenicafe.org/es/publications/bot036.pdf>

PROHIBIDA SU COPIA



ANEXOS

A. Matriz de estado del arte

En la matriz del estado del arte se estructuraron los autores más representativos que tuvieron incidencia en el proyecto discriminados por los relacionados a los cultivos de café, IoT, , se definieron las variables que afectan estos cultivos, las plataformas funcionales que pueden ser utilizadas con estas tecnología y por último los factores climáticos, del suelo y del cultivo que afectan el desarrollo del cultivo, debido a la extensión de la matriz esta puede ser consultada en el siguiente link:

<https://drive.google.com/file/d/1iqmLXk88ft37xOj43pYfIkHrZzJpiEBK/view?usp=sharing>

B. Repositorio del código fuente

El código fuente fue cargado a plataforma gitlab y se puede acceder a través del siguiente link:

<https://github.com/jmcastelblanco/wheather>

C. BackUp de la base de datos

El BackUp de la base de datos se encuentra disponible en siguiente url:

https://drive.google.com/drive/folders/1-0u8MIP1VKcX3vsVP5_02XtIi1O1JlbP?usp=sharing