



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

Por: Jaime Castelblanco, Autónoma de Nariño

Abstract. Agriculture constitutes one of the most important lines in the country's economy due to the impact it has on the income and sustainability of rural areas; According to DANE, it has a contribution of 8% to the gross domestic product, which, although its participation has decreased in recent years, is still representative for Colombia. This project develops a prototype of software for displaying environmental parameters associated with coffee berry and rust; Through the visualization of the web platform, the status of the crop can be monitored through certain sensors that provide information in real time, generating alerts in the event that environmental conditions represent a greater risk of coffee berry or rust; that allow the farmer to make better decisions in relation to his crops, optimizing his production. 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

Keywords: Internet of Things (IoT), Coffee Crops, Precision Agriculture

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.).

Una alternativa para mejorar y optimizar la producción agrícola es el uso de las nuevas tecnologías, en particular de las tecnologías basadas en IOT, tema objeto de estudio del presente documento.

Las herramientas esenciales que se tienen en cuenta son los sensores, los cuales día a día mejoran su nivel de precisión, reducción en tamaño y costo; se pueden encontrar en el mercado sensores individuales para la medición de determinada variable o la integración de diferentes sensores que han sido previamente desarrollados; 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.

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 materia de estudio en el presente documento, específicamente en lo relacionado a la detección de plagas y enfermedades.

En la primera parte 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.

En la segunda parte se 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.

Conceptos Teóricos

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.

Tabla 1. *Sensores*

Principales Sensores existentes	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.)



Las características principales de los sensores están dadas por:

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.

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

Característica	Rango de operación
Tipo de inalámbrica	Señal Rf con frecuencia de 433 MHz
Distancia máxima conexión 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%

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, envío 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.

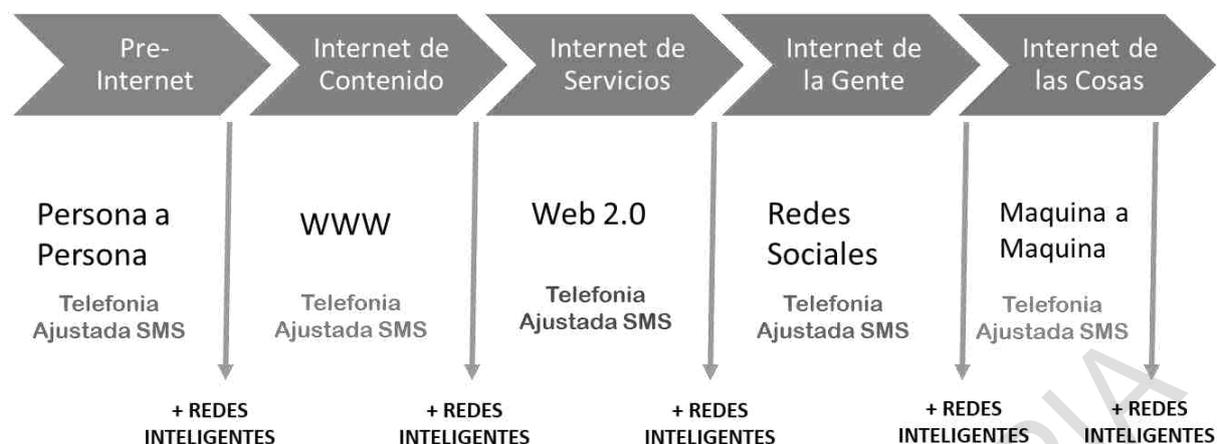


Figura 1 Evolución comunicaciones en internet. Fuente: Internet society

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.

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.

La roya del caféto (*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.

Metodología

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.

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.

Plan de Acción

Para la consecución de este proyecto se tienen estipuladas tres fases, en la primera fase se realizará la determinación de las variables que de acuerdo a sus características pueden ser relacionadas con el desarrollo de enfermedades en cultivos de café. En la siguiente fase se implementará 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 utilizaran instrumentos electrónicos cuya comunicación se realiza a través de protocolos para IoT. La última etapa del proyecto está dada por 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 utilizará un microambiente controlado, en el cual a través de dispositivos tales como un humidificador, un calentador y un dispositivo de micro goteo, se modificarán 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.

RESULTADOS

Determinación de un conjunto de variables climáticas relacionadas con el desarrollo de enfermedades de cultivos de café

Para la obtención de resultados consistentes de este proyecto se siguen las etapas planteadas en el capítulo anterior hasta la obtención de un prototipo funcional que cumpla el objetivo planteado.

Selección de la Arquitectura del Proyecto



La arquitectura del proyecto describe la solución de IOT aplicada, que incluye los aspectos físicos como virtuales vinculando múltiples niveles, lo cual a través un enfoque modular 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.



Figura 2 Arquitectura del proyecto. Fuente: Autor

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.

Envío 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.

Definición de variables y subvariables 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 subvariable que facilita la medición la cual es definida al final de la figura 3.

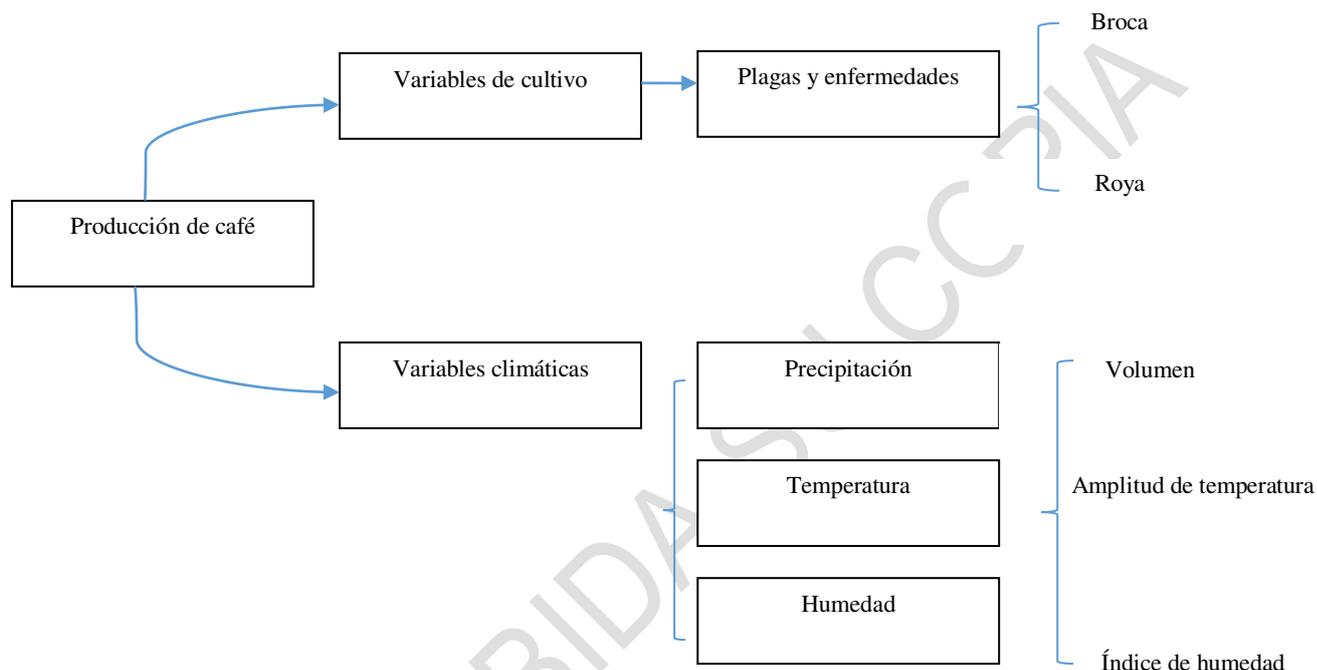


Figura 3 Variables involucradas en la producción de café. Fuente: autor

Implementación de un sistema de adquisición de variables climáticas mediante el uso de instrumentación electrónica a través de comunicaciones para IOT

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.

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.

Selección de plataformas IOT a utilizar

Para realizar la selección adecuada de la plataforma Iot se realizó una tabla comparativa 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.

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.

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.

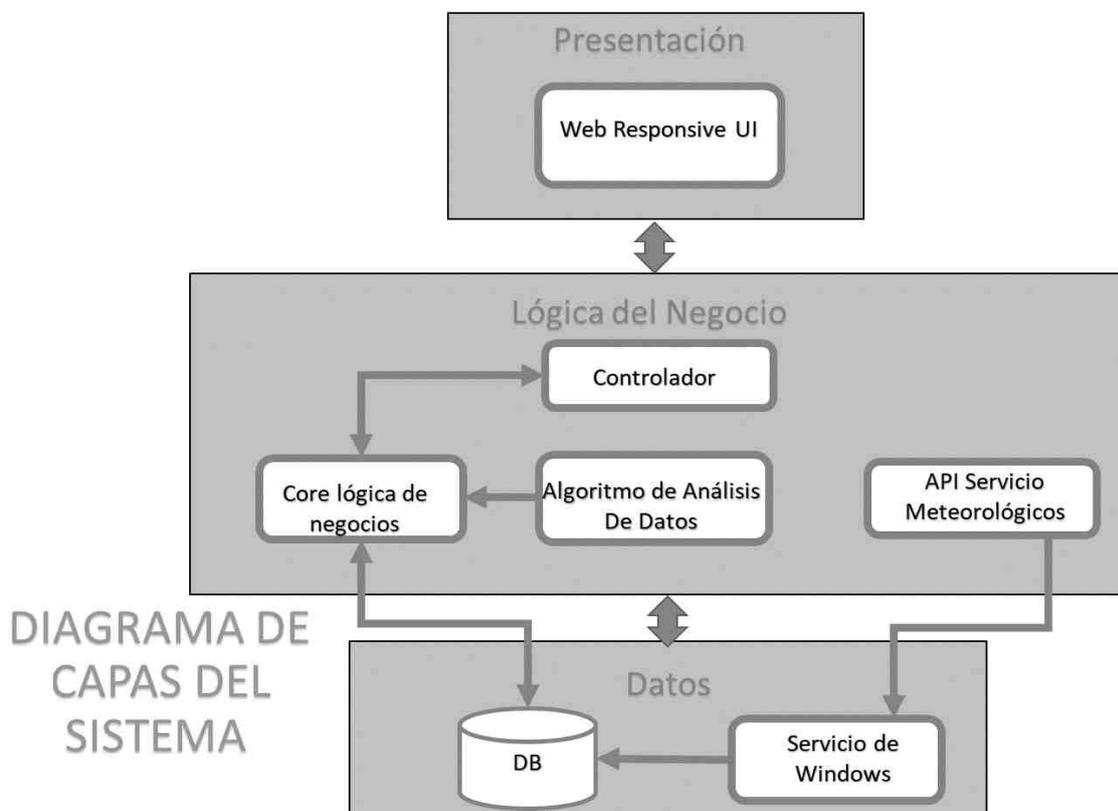


Figura 4 Diagrama de Capas del Sistema

Fuente. Autor

En el diagrama 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.

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.

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

Conclusiones

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 las 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.

Referencias

- 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
- Cauas, D. (2015). *Definición de las variables, enfoque y tipo*. Obtenido de <https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/36805674/1>
- Federación Nacional de Cafeteros. (2016). *Ensayos sobre economía cafetera*. Obtenido de <https://www.federaciondefcafeteros.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/bibliotecaeansp/detail.action?docID=4721683>
- Montes, C. (2012). *Infestación e incidencia de Broca, Roya y Mancha de Hierro en el Cultivo del Café*. 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>



Pardey, Á. E. (2007). El manejo de cafetales y su relación con el control de broca del café en Colombia. Obtenido de <http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/4012/1/155.pdf>

PROHIBIDA SU COPIA