

SISTEMA DE MONITORIZACIÓN DE PARÁMETROS DE SUELO PARA UN SISTEMA PRODUCTIVO DE CAFÉ EN EL DEPARTAMENTO DEL CAUCA



Monografía de trabajo de grado para optar por el título de
Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones

Juan Camilo Campo Ordoñez
cod. 100614021700

Director:

Ph.D. Ing. Cristián Nicolás Figueroa Martínez (Universidad del Cauca)

Co-Director:

Ph.D. Ing. Juan Carlos Corrales (Universidad del Cauca)

Asesor:

Mg. Ing. Juan Fernando Casanova (Ecotecma S.A.S)

Universidad del Cauca

Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones

Departamento de Telemática

Línea de Investigación en Interacción e-ambiente

Popayán, 2022

Nota de Aceptación

Nombre del Jurado

Nombre del Jurado

En el transcurso de mi vida he aprendido que el desarrollo profesional debe ser integral. Debe estar ligado al desarrollo personal, donde los valores deben de primar en nuestro actuar y reflejar nuestra crianza. Agradezco a Dios porque crecí en un hogar donde el amor y respeto se convirtieron en el lenguaje que pongo en práctica donde quiera que vaya. Agradezco a mis papas, los pilares de mi vida, a mi hermano, mi héroe, a mis hermanas, mi otra mitad y a mi familia, por ser mi apoyo y alimentar cada día el deseo de ser un mejor ser humano. A mis directores de trabajo de grado por su guía, acompañamiento y apoyo. Que Dios bendiga y guarde a cada persona que está y no está nombrada en este parlamento, que sabe que contribuyo en la culminación de esta meta. Que Dios recompense y retribuya a todas aquellas personas que obran desde el amor y permiten que personas como yo sueñen con un mundo mejor.

Agradecimiento especial:

A mi asesor, el ingeniero Juan Fernando Casanova Olaya por su apoyo incondicional y mentoría, por su confianza y oportunidad de desarrollar este proyecto dentro de su empresa.

Resumen estructurado

Motivación: En Colombia, la actividad agrícola es fundamental para la estabilidad económica y social. De hecho, dentro de este sector, la caficultura representa uno de los aportes más importantes a los ingresos del país [1]. No obstante “el campo se está quedando sin el apoyo que necesita” [2]. Es un sector que carece de estrategias contundentes y amigables de inmersión tecnológica dentro del paradigma de la industria 4.0 y la conectividad que permitan a los agricultores tradicionales mejorar su producción y consecuentemente su calidad de vida [3]. Una de las actividades más importantes en este contexto es la identificación de la cantidad óptima de aplicación de nutrientes al cultivo, lograda a partir del conocimiento de la dinámica de las condiciones físicas y químicas del suelo, elementos minerales y de requerimientos mínimos en los cultivos para su desarrollo.

Objetivo: Construir un sistema de monitorización de parámetros de suelo en pequeños sistemas productivos de café.

Metodología: Adaptación del modelo de solución IoT definido por Gartner Inc. para el diseño de una arquitectura de referencia compuesta por tres procesos definidos como: Levantamiento de requerimientos, Implementación de la arquitectura de referencia IoT e Interfaz de programación para el consumo de datos. El uso de esta arquitectura permitió monitorizar los parámetros críticos de suelo de un sistema productivo de café, con el fin de tomar medidas preventivas y correctivas que contribuyan a la mejora de las prácticas de manejo del cultivo.

Resultados: Un sistema de monitorización de parámetros de suelo para pequeños sistemas de producción de café que apoya los servicios prestados por Ecotecma S.A.S., tales como asistencia técnica virtual, generación de alertas tempranas y análisis predictivos relacionados con el manejo nutricional del cultivo. Esto, teniendo en cuenta que los servicios mencionados requieren de una alta disponibilidad de datos de un sistema de producción a escala local, que permita la generación de información específica de manejo.

Conclusiones: Emplear herramientas dentro del paradigma de la agricultura de precisión mejora la productividad y sostenibilidad de las prácticas agrícolas ya que se realiza un control efectivo de los cultivos y reduce el tiempo de obtención de datos de control de parámetros en comparación a los métodos tradicionales. Se desarrolló un sistema de monitorización de parámetros de suelo que integra un sensor comercial de nitrógeno, fósforo, potasio, humedad, temperatura, conductividad eléctrica y salinidad en un sistema productivo de café del departamento del Cauca que sirve y se puede incorporar a los servicios ofrecidos por la empresa Ecotecma.

Palabras Clave: Sistemas de monitorización, Arquitectura de referencia IoT, Parámetros de suelo, café.

Structured abstract

Motivation: In Colombia, agricultural activity is fundamental for economic and social stability. In fact, coffee farming represents one of the most important contributions to the country's income [1]. However, “the countryside is running out of the support it needs [2]”. This sector lacks strong and friendly strategies of technological immersion within the industry 4.0 paradigm and connectivity that allow traditional farmers to improve their production and quality of life [3]. One of the most significant activities in this context is the identification of the optimal amount of nutrient application to the crop, which in many scenarios becomes very complex considering the access to tests with chemical reagents and their respective added costs. Such analysis is achieved from the knowledge of the dynamics of mineral elements in the soil and the minimum requirements of crops for their development.

Objective: To build a system for monitoring soil parameters in small coffee production systems.

Methodology: An adaptation of the IoT model solution proposed by Gartner to design a reference architecture composed of three processes represented: Requirements assessment, Implementation of the IoT reference architecture e Programming interface for data consumption. The use of this architecture made it possible to monitor the critical soil parameters of a coffee production system to take preventive and corrective measures that contribute to the improvement of crop management practices.

Results: A soil parameter monitoring system for small coffee production systems that support the services provided by Ecotecma S.A.S., such as virtual technical assistance, generation of early warnings, and predictive analysis related to the nutritional management of the crop. This, considering that the forenamed services require high availability of data from a production system at a local scale, allowing the generation of specific management information.

Conclusion: Employing tools within the paradigm of precision agriculture improves productivity and sustainability of agricultural practices since effective crop control is performed and reduces the time to obtain parameter control data compared to traditional methods. A soil parameter monitoring system was developed that integrates a commercial sensor for nitrogen, phosphorus, potassium, humidity, temperature, electrical conductivity and salinity in a coffee production system in the department of Cauca that serves and can be incorporated to the services offered by the company Ecotecma.

Keywords: Monitoring systems, IoT reference architecture, Soil parameters, coffee.

Índice

Capítulo 1. Introducción	1
1.1 Planteamiento del problema	1
1.2 Justificación	3
1.3 Antecedentes de la empresa	4
1.4 Objetivos	6
1.4.1 Objetivo General	6
1.4.2 Objetivos específicos	6
1.5 Metodología de investigación	7
1.5.1 Fase de Levantamiento de requerimientos	7
1.5.2 Implementación de la Arquitectura de Referencia IoT	7
1.5.3 Interfaz de Programación de Aplicaciones para el consumo de los datos en el servidor de Ecotecma	8
1.6 Estructura del documento	8
Capítulo 2. Contextualización de desarrollo	10
2.1 Fundamento Teórico	10
2.1.1 Sistemas de monitorización	10
2.1.2 Parámetros de suelo en la agricultura	10
2.1.3 Pequeño sistema productivo de café	11
2.2 Mapeo Sistemático de la literatura	11
2.2.1 Planificación del mapeo sistemático:	12
2.2.2 Extracción de datos y ejecución	13
2.2.3 Brechas Existentes Mapeo Sistemático de Literatura	18
Capítulo 3. Levantamiento de requerimientos	20
3.1 Revisión Sistemática de Literatura	20
3.1.1 Preguntas de Investigación	21
3.1.2 Búsqueda y Selección de documentación	21
3.1.3 Prueba de Calidad, extracción de datos y síntesis	22
3.2 Resultados de la Revisión	23
3.2.1 Conclusiones - Requerimientos del Sistema	27
3.2.2 Artículos añadidos a la revisión	28
Capítulo 4. Implementación de la arquitectura de referencia IoT	29
4.1. Prototipo N	29
4.1.1 IoT Endpoints	30
4.1.2 IoT Edge Platform	32
4.1.3 IoT Platform Repository	32
4.1.4 Enterprise Applications	33
4.1.5 Configuración y montaje de prueba	33
4.1.6 Montaje del sistema de monitorización	36
4.1.7 Pruebas de comunicación	39
4.1.8 Verificación de transmisión y almacenamiento de datos	40
4.2. Prototipo I	40

4.3. Prototipo II	43
4.3.1 IoT Endpoints	43
4.3.2 IoT Edge Platform	46
4.3.3 IoT Platform Repository	47
4.3.4 Enterprise Applications	47
4.3.5 Diseño de la solución	47
4.3.6 Implementación	48
4.3.7 Resultados	54
Capítulo 5. Interfaz de programación para el consumo de los datos	58
Capítulo 6. Conclusiones y trabajos futuros	63
6.1 Conclusiones	63
6.2 Trabajos futuros	64

Índice de figuras

1.	Metodología general de desarrollo. <i>Fuente: Autor</i>	7
2.	Mapa mental de distribución de capítulos. <i>Fuente: Autor</i>	8
3.	Proceso de realización de mapeo sistemático	12
4.	Producción científica. <i>Fuente: Autor</i>	14
5.	Cluster/Sensores. <i>Fuente: Autor</i>	15
6.	Resultado longitudinal - Mapa de evolución. <i>Fuente: Autor</i>	16
7.	Parámetros de medida. <i>Fuente: Autor</i>	18
8.	Protocolo a seguir Revisión Sistemática de Literatura. <i>Fuente: Autor</i>	20
9.	Fuente de Documentación y Artículos elegidos. <i>Fuente: Autor</i>	23
10.	Calidad de la Documentación. <i>Fuente: Autor</i>	24
11.	Arquitectura Prototipo N	29
12.	Enterprise Application	33
13.	Instalación de tarjeta SIM	34
14.	Montaje de prueba y verificación	34
15.	Mapa de cobertura del municipio de Cajibío	35
16.	Pequeño sistema productivo de café	36
17.	Emplazamiento de dispositivos en lote No. 1	37
18.	Emplazamiento de dispositivos en lote No. 2	38
19.	Ubicación - Gateway	39
20.	Pruebas de comunicación	40
21.	Arquitectura Prototipo I	41
22.	Estructura del paquete LoRa	42
23.	Trama de respuesta esperada	42
24.	Arquitectura Prototipo II	43
25.	Sensor RD-S7	44
26.	MAX 485	44
27.	Convertor lógico	44
28.	MB102 3.3V/5V	45
29.	ESP32	46
30.	GSM/GPRS SIM900	46
31.	Breadboard del circuito. <i>Fuente: Autor</i>	47
32.	Esquemático del circuito. <i>Fuente: Autor</i>	48
33.	Configuración de pruebas de transmisión de componentes	48
34.	Pinout ESP32. <i>Fuente: Autor</i>	49
35.	Diagrama de flujo de aplicación. <i>Fuente: Autor</i>	50
36.	Información para configuración APN movistar	51
37.	Trama de consulta y respuesta	52
38.	Trama de recepción y transmisión de datos	52
39.	Diagrama de consulta en BD. <i>Fuente: Autor</i>	53
40.	Montaje circuital de pruebas	54
41.	Pruebas de captura y visualización de datos.	55
42.	Diseño PCB del Sistema. <i>Fuente: Autor</i>	56
43.	Visualización de los datos.	56

44.	Diagrama API. <i>Fuente: Autor</i>	58
45.	Dirección de consumo de datos	62
46.	Ejemplo de consulta	62

Índice de cuadros

1.	Preguntas orientadoras del mapeo sistemático	12
2.	Criterios de estructuración PICOC	13
3.	Cadena de búsqueda	13
4.	Criterios de inclusión y exclusión	13
5.	Fuentes seleccionadas para el proceso de búsqueda	21
6.	Criterios de Inclusión y Exclusión Revisión Sistemática	22
7.	Escala tomada en el Proceso de Calidad	22
8.	IoT Endpoints	31
9.	Características operativas - Gateway	32
10.	Datos recibidos en Sniffer	43

Source Code

1.	Módulos	58
2.	API-Handler	59
3.	Query Constructor	60

ACRÓNIMOS

SciMAT	Science Mapping Analysis Software Tool
OECD	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
IDB	Red de Área Local Inalámbrica
I+D+i	Investigación, desarrollo e innovación
TIC	Tecnologías de la información y la comunicación
ITU	Unión Internacional de Telecomunicaciones
WAN	Red de área amplia
WSN	Redes de sensores inalámbricos
IoT	Internet de las cosas
URL	Uniform Resource Locator
LoRa	long range
GPRS	General Packet Radio Service
APN	Access Point Name
TTL	Lógica transistor a transistor
TCP	Protocolo de control de transmisión
UDP	Protocolo de datagramas de usuario
Http	Hypertext Transfer Protocol
CRC	Verificación de redundancia cíclica
OSI	Modelo de interconexión de sistemas abiertos
USB	Bus universal en serie
MCU	Unidad de control multipuerto
Wi-Fi	Wireless Fidelity
UART	Universal Asynchronous Receiver/Transmitter
IDE	Integrated Development Environment
URI	Uniform Resource Identifier
API	Application Programming Interface

Capítulo 1. Introducción

Una de las actividades más importantes en el sector agrícola y especialmente en la caficultura, es la identificación de la cantidad óptima de aplicación de nutrientes al cultivo. El conocimiento de la dinámica de las condiciones físicas y químicas del suelo, elementos minerales y de requerimientos mínimos en los cultivos permite tomar medidas preventivas y correctivas que contribuyen en la mejora de las prácticas de manejo del cultivo.

Implementar herramientas tecnológicas para monitorizar variables dependientes del medio ambiente son necesarias para facilitar el conocimiento de los parámetros críticos de los cultivos, ya que en la práctica tradicional esto se ve obstaculizado por el costo y acceso de pruebas con reactivos.

El presente trabajo conlleva a la implementación de un sistema de monitorización de parámetros de suelo para pequeños sistemas productivos de café en el departamento del Cauca, que contribuye en el soporte de servicios prestados por la empresa Ecotecma S.A.S., tales como, asistencia técnica virtual, generación de alertas tempranas y análisis predictivos relacionados con el manejo nutricional del cultivo, ya que requieren de una alta disponibilidad de datos que permitan generar información específica de manejo.

De acuerdo con el contexto empresarial y el enfoque de investigación del proyecto, se realizó una recopilación y análisis documental de la evolución de las tecnologías y metodologías aplicadas en el entorno académico y empresarial involucradas en el desarrollo de la agricultura 4.0 a lo largo de diez años, con el uso de la herramienta de código abierto SciMAT, destacando el proceso cualitativo llevado a cabo para la determinación de los parámetros de medición más relevantes del cultivo, siendo: humedad de suelo, calcio, NO₃⁻, NPK, humedad relativa, oxigenación del suelo, resistencia eléctrica, NH₃, conductividad eléctrica, temperatura, azufre, hierro y salinidad.

1.1 Planteamiento del problema

Según la OECD - FAO en su perspectiva y proyección agrícola [4] determinan que los principales retos para el crecimiento de la producción agrícola son los crecientes costos en insumos de energía, forrajes, agroquímicos y mano de obra. Adicionalmente, se consideran otras limitaciones relevantes como la degradación del suelo, la escasez de agua, la variación de las condiciones del medio ambiente, y las restricciones en cuanto a expansión de cultivos, ya sea por delimitación de predio o los costos de compra por metro cuadrado. De acuerdo a lo anterior, se da la inversión

continúa en torno a la investigación para lograr que las ganancias de productividad agrícola sean suficientes para ayudar a impulsar a los países en vía de desarrollo y así se superen las limitaciones de acceso a pruebas químicas y físicas, necesarias para la detección de enfermedades endémicas en los cultivos (ejemplo: La roya del Café ¹) y por falta de infraestructura de este sector.

De acuerdo a la demanda alimentaria global proyectada por parte del IDB [6] se puede estimar un incremento en la población global lo cual plantearía una necesidad relacionada a la hiper-producción de alimentos que por consiguiente conllevaría a la evaluación de sistemas de mantenimiento por medio del uso de fertilizantes nitrogenados de síntesis química. Este tipo de químicos contaminan el medio ambiente mediante su uso y producción, por ejemplo en [7] se plantea la importancia de la gestión apropiada de los ciclos químicos en aras de que la contaminación en el sector agrícola sea mínima y proporcional a la producción. Adicionalmente, el aporte sería en el sentido ambiental, y económico ya que este sector se beneficiaría monetariamente al aprovechar mejor el uso de los recursos reduciendo el uso de combustibles fósiles, y los costos de materia prima en forma de insumos externos a la línea de producción.

En la aplicación de fertilizantes nitrogenados de síntesis química en los cultivos, existe una pérdida considerable de nutrientes por procesos de lixiviación, volatilización, desnitrificación, erosión, escurrimiento e inmovilización, lo que disminuye la cantidad de nutrientes absorbidos por las plantas [8] y por ende afecta directamente la producción. De igual forma, los aportes externos de nitrógeno están regidos por los procesos bioquímicos del ciclo del mismo, los principales factores determinantes para el ciclo son las variables climáticas, condiciones fisicoquímicas del suelo, la biomasa y el tipo de manejo del cultivo. Para lo cual, se debe tener en consideración la dosis, el tipo de fertilizante, la época, temporada y el sistema de aplicación [8].

Uno de los mecanismos para garantizar la productividad es la optimización en la aplicación de nutrientes, esto se ve traducido en la reducción de las pérdidas de formas de nitrógeno perjudiciales para el medio ambiente, lo cual sin duda alguna mejoraría la calidad fisicoquímica del suelo [9]. La tasa de aplicación óptima puede determinarse mediante técnicas de análisis de datos que generen información significativa para las prácticas agrícolas. Razón por lo cual los sistemas de monitorización desempeñan un papel importante en estas técnicas en lo que respecta a la necesidad del acceso a una gran cantidad de datos. Parámetros como los índices de salinidad del suelo, el pH [10, 11], los índices de vegetación, las variables relacionadas con la agronomía como el clima, la temperatura, la radiación solar, la humedad y las precipitaciones [12] son de gran importancia para el desarrollo de ese tipo de soluciones [13, 14].

En este contexto, algunos investigadores como Ferguson, et al.[3], se han enfocado en la medición de factores que afectan la productividad del café para estimar los impactos potenciales que se producen, y por ello identifican la necesidad de dos factores con el fin de tomar decisiones encaminadas a la adaptación: la primera es avanzar en la modelación de los cultivos y la segunda es investigar el análisis de los factores [15]. Por ejemplo, un caficultor en búsqueda de conseguir la máxima producción y beneficio económico de su cosecha se beneficiaría de herramientas

¹La roya del Café es una enfermedad dada en forma de manchas blancas en las hojas del café originada por el hongo *Hemileia Vastatrix*[5]

tecnológicas ya que se le permitiría implementar estrategias orientadas a la reducción de costos de aplicación de fertilizantes, definición de la densidad de siembra, ciclos de rejuvenecimiento y porcentajes de sombra para encontrar el mejor sistema de producción para su cultivo [16]; todo esto a partir de la información proveída. Adicionalmente, los retos en el sector agrícola son grandes debido a factores externos tales como el cambio climático, el cual plantea de igual manera el cambio de temperaturas y variabilidad en lluvias en las regiones cafeteras [17] que desplaza las zonas de cultivo y por ende se toma como factor afectado de igual manera.

En Colombia, la actividad agrícola es fundamental para la estabilidad económica y social. La caficultura representa una de las prácticas con mayor contribución a la renta del país [1]. Sin embargo, es un sector que se ha mantenido a través de prácticas bastante tradicionales, sin dejarse influenciar por la industria tecnológica que avanza en el contexto. Los esfuerzos de investigación a nivel nacional tienen un enfoque técnico orientado a la eficiencia del cultivo y la producción [18], sin embargo han presentado inconvenientes para ponerlos en práctica ya que estos en su mayoría dejan de lado el componente social y las estrategias de inmersión tecnológica en el contexto de la industria 4.0 y la conectividad. Si se logra un balance entre los esfuerzos tecnológicos de la mano de la aceptación por parte de los caficultores tradicionales se aportaría a mejorar en conjunto, la productividad y calidad de vida de la población [3].

El desarrollo de estas herramientas tecnológicas enfocadas hacia la agricultura para la monitorización de variables dependientes del medio ambiente, requiere de mecanismos de control, de parámetros críticos en los cultivos, que en la práctica tradicional son complejos de medir debido al costo y acceso a análisis físicos y químicos en suelo [18]. Los indicadores que determinan los componentes nutricionales necesarios para el desarrollo de los cultivos son cruciales para identificar la cantidad óptima de aplicación de fertilizantes. El conocimiento de la dinámica de los elementos minerales en el suelo, y los requerimientos mínimos de los cultivos mejoran las condiciones y resultados de siembra.

Teniendo en cuenta el contexto expuesto, se planteó la construcción de un **Sistema de Monitorización de parámetros de suelo en un pequeño sistema productivo de café**, El cual sirve de soporte para la optimización del manejo nutricional, con el fin de disminuir el uso de fertilizantes químicos, garantizar la disponibilidad de nutrientes para las plantas e impactar directamente en la reducción de costos de mantenimiento; factores que inciden en la implementación de sistemas agrícolas sostenibles.

1.2 Justificación

La necesidad de los pequeños y medianos caficultores colombianos de aumentar su producción y la calidad de sus cultivos [18] lleva a la búsqueda de tecnologías y modelos que ayuden a mejorar sus prácticas. En el marco de la agricultura de precisión o agricultura 4.0, el acceso a los parámetros críticos del cultivo son de gran importancia debido a su variabilidad relacionada con el medio ambiente [19]. El objetivo del conocimiento obtenido a partir de estos datos, proporciona la base para ajustar el mantenimiento del cultivo en función de los requerimientos de

la planta, el impacto ambiental y la eficiencia productiva. Uno de los beneficios más relevantes a considerar es que se puede ejercer un uso consciente de fertilizantes nitrogenados que ayude en la reducción de emisiones de Oxido nitroso y de desechos tóxicos en agua subterráneas, y en el aumento del rendimiento y la resiliencia del cultivo [7].

En consideración de los fenómenos relacionados con el medio ambiente, existen modelos de cambio climático [17] que predicen que las regiones productoras de café se verán afectadas por el aumento de la temperatura y la variabilidad de las precipitaciones climáticas [20]. Así como se expone en [2], el calentamiento global está afectando significativamente la práctica cafetera de la región andina ya que las condiciones climáticas no están acorde al ciclo productivo del café. La práctica cafetera se ha desplazado, ahora las zonas más apropiadas para continuar con la tradición y práctica que caracteriza a nuestro país se encuentran en los departamentos del Cauca, Huila, Tólima y Nariño. Estas zonas altas entre 1450 y 1800 m.s.n.m [21] demarcan la nueva zona de la producción de Café en Colombia.

La construcción de sistemas de monitorización que permitan controlar y reconocer el estado del cultivo mejorará entonces la productividad ajustada a las condiciones ambientales. Según Cenicafé, un importante centro nacional de investigación cafetera, “las prácticas esenciales para la producción y rentabilidad del café en Colombia incluyen múltiples actividades como el manejo adecuado del suelo, la nutrición, la acidez y otras” que en el panorama general pueden ser controladas por sistemas de recolección de datos. Como se ha comentado en el apartado de adaptación tecnológica de [17], los sistemas de medición e información son vitales en la optimización de la producción de café.

1.3 Antecedentes de la empresa

La empresa Ecotecma S.A.S ha desarrollado un software (Web y Móvil) de gestión del cultivo de café (*FarmBrain*), para realizar el registro del cultivo, gestión financiera, asistencia técnica virtual y envío de alertas y notificaciones relacionadas con los procesos de producción y comercialización del café. Las recomendaciones generadas se basan en la aplicación de modelos analíticos a partir de las fechas de establecimiento del cultivo y demás actividades productivas.

Adicionalmente, la empresa se ha venido articulando con el Grupo de Ingeniería Telemática a través del desarrollo conjunto de resultados de I+D+i:

- Vinculación de Ingeniero de grado doctor para la realización del trabajo postdoctoral “Sistema de Recomendación para la aplicación de fertilizantes nitrogenados en pequeños cultivos soportado en sensores de bajo costo y técnicas de aprendizaje automático”; donde también se enmarcan diferentes pasantías de estudiantes de la tecnología en Telemática y el pregrado en Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones (Convocatoria programa de estancias postdoctorales para beneficiarios de formación colciencias en entidades del SNCTeI 2018).

- Tesis de maestría orientada a la estimación del rendimiento potencial de café en Colombia, en la cual la empresa participó como contrapartida del estudiante en la obtención de la beca de maestría en el marco del proyecto “Innovación Cauca”.
- Tesis de maestría orientada al análisis comparativo de la disponibilidad de nitrógeno mineral y calidad del suelo bajo diferentes manejos nutricionales, en la cual la empresa participó como contrapartida del estudiante en la obtención de la beca de maestría en el marco del proyecto “Innovación Cauca”.
- Tesis de doctorado enfocada en apoyar procesos de comercialización en aguacate, mediante técnicas de aprendizaje automático.
- Tesis doctoral orientada al fortalecimiento del esquema de seguros agropecuarios mediante blockchain y aprendizaje profundo, apoyando la vinculación del estudiante y otorgando un apoyo como contrapartida en el marco de la “convocatoria de alta formación de talento humano AF-2019-2 doctorado nacional”, realizada bajo el desarrollo del proyecto “Fortalecimiento de las capacidades de las EBT-TIC del Cauca para competir en un mercado global CLUSTER CREATIC”.

En el mismo sentido, la empresa ha realizado desarrollos tecnológicos y asesorías orientados al fortalecimiento del sector agropecuario y ambiental:

- En el marco del programa Cauca Vive Digital se implementó un sistema de soporte para la toma de decisiones en el sector agropecuario en 9 municipios del departamento del Cauca (Contrato de prestación de servicios No. VD:3.4.2-04-01)
- En el proyecto de “Fortalecimiento de los mecanismos de gestión integral del recurso suelo para la producción agrícola sostenible en el departamento del Cauca”, financiado por el Fondo CTeI del Sistema General de Regalías – SGR, la empresa participa como contrapartida asesorando el equipo técnico del proyecto en la caracterización, ubicación e implementación de estaciones agroclimáticas en los siete (7) municipios priorizados, a partir de los requerimientos técnicos que favorezcan una fiable transmisión de datos en tiempo cercano al real.
- Ecotecma realizó un ejercicio de consultoría al Cluster Creativ para “Diseñar e implementar un centro de desarrollo tecnológico para el despliegue de un modelo de I+D+i del Cluster Creativ, centrado en el fortalecimiento del sector productivo TIC del departamento del Cauca” – (Contrato de consultoría No. CT-41 de 2014).
- Se prestó asesoría a la Fundación Tropenbos, en el manejo de estaciones ambientales con enfoque participativo para el monitoreo del cambio climático en ecosistemas de páramo, en el marco del proyecto “Comunidades de los páramos y adaptación al cambio climático en el departamento de Cundinamarca” – (Contrato de prestación de servicios celebrado entre la Fundación Tropenbos y Ecotecma SAS).
- En el proyecto de “Análisis de vulnerabilidad en sistemas de abastecimiento de agua potable en el departamento del Cauca - AQUARISC” financiado por el Fondo CTeI del Sistema General de Regalías – SGR, la empresa ha llevado a cabo los siguientes objetos contractuales:

- Construir una plataforma de monitoreo meteorológico, de caudal y de calidad de agua con transmisión de datos en tiempo cercano al real para la toma de decisiones de gestión en el departamento del Cauca, en el marco del proyecto “Análisis de vulnerabilidad y alertas tempranas para sistemas de abastecimiento de agua en el departamento del Cauca.
- Soportar el proceso de definición de variables, estándares y métodos para sistemas de alertas, adquisición y montaje de equipos, pruebas, simulación y prototipo de emisión de alertas.

Finalmente, este trabajo realizado por el aspirante a Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones Juan Camilo Campo Ordoñez que corresponde a la construcción de un **Sistema de Monitorización de parámetros de suelo en pequeños sistemas productivos de café**. Investigación que contribuye como soporte a los servicios prestados de la empresa, como asistencia técnica virtual, generación de alertas tempranas y análisis predictivos relacionados con la gestión nutricional del cultivo, considerando, que los servicios mencionados requieren de una alta disponibilidad de datos del sistema productivo a escala local, que permitan la generación de información específica de manejo.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Construir un sistema de monitorización de parámetros de suelo en pequeños sistemas productivos de café.

1.4.2 Objetivos específicos

- Determinar un conjunto de sensores para la monitorización de parámetros de suelo en un sistema productivo de café.
- Establecer la arquitectura IoT de monitorización de parámetros de suelo en un sistema productivo de café del departamento del Cauca.
- Crear una Interfaz de Programación de Aplicaciones para el consumo de los datos obtenidos a partir del sistema de monitorización establecido.

1.5 Metodología de investigación

La propuesta metodológica de desarrollo para este proyecto es la ilustrada en la figura 1, donde la Fase I acoge la metodología de Kitchenham et al para la Revisión Sistemática de Literatura [22], la fase II el modelo de solución IoT End to End propuesto por Gartner [23] y la fase III denominada como *Interfaz de Programación de Aplicaciones para el consumo de los datos en el servidor de Ecotecma*.

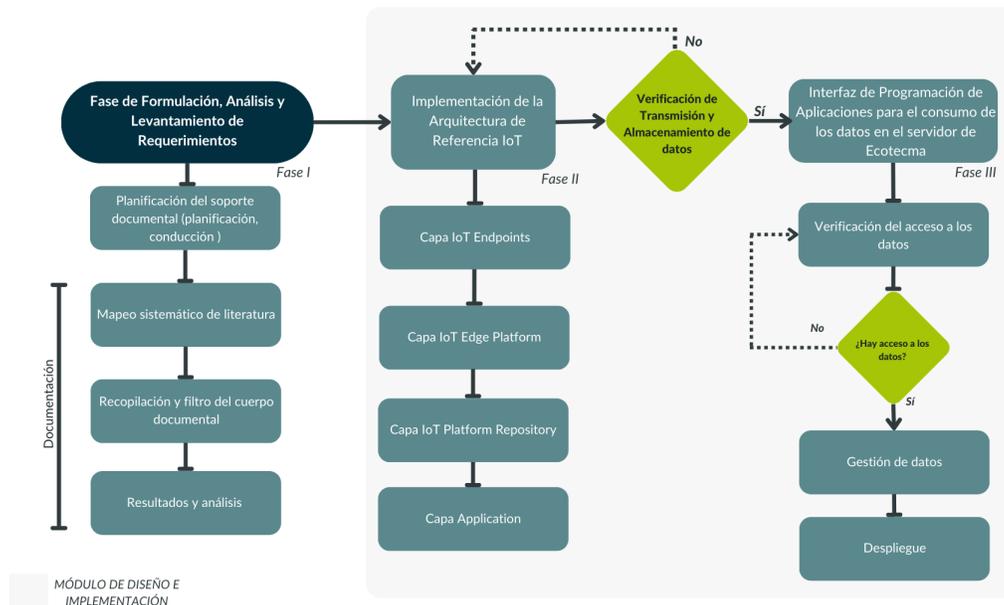


Figura 1: Metodología general de desarrollo. Fuente: Autor

1.5.1 Fase de Levantamiento de requerimientos

Para el desarrollo de esta fase se realizó una revisión sistemática de literatura a partir del uso de la metodología propuesta por Kitchenham et al [22].

- **Actividad 1:** Planificación de la Revisión.
- **Actividad 2:** Conducción de la Revisión.
- **Actividad 3:** Documentación (síntesis y validación documental).

1.5.2 Implementación de la Arquitectura de Referencia IoT

Gartner Inc., una empresa de investigación y asesoramiento que presenta un modelo de solución IoT End-to-End que es aplicable a cualquier tipo de proyecto. Para la ejecución de esta fase se llevó a cabo el modelo de acuerdo a las necesidades del sistema de monitorización de parámetros de suelo.

- **Actividad 4:** Definición de los componentes de la Capa IoT Endpoints
- **Actividad 5:** Capa IoT Platform
- **Actividad 6:** Capa IoT Platform Repository
- **Actividad 7:** Capa Applications

1.5.3 Interfaz de Programación de Aplicaciones para el consumo de los datos en el servidor de Ecotecma

Posterior a la verificación y análisis de la naturaleza de los datos, en esta fase se realizó un conjunto de pruebas de validación para poder hacer uso de los datos generados por el sistema para descentralizar los datos y con ello poder desplegarlos en la plataforma de la empresa para que sirva de soporte para los servicios que ellos prestan.

- **Actividad 8:** Verificación del acceso a los datos
- **Actividad 9:** Gestión de los datos
- **Actividad 10:** Despliegue

1.6 Estructura del documento

Esta monografía se organiza en seis capítulos:

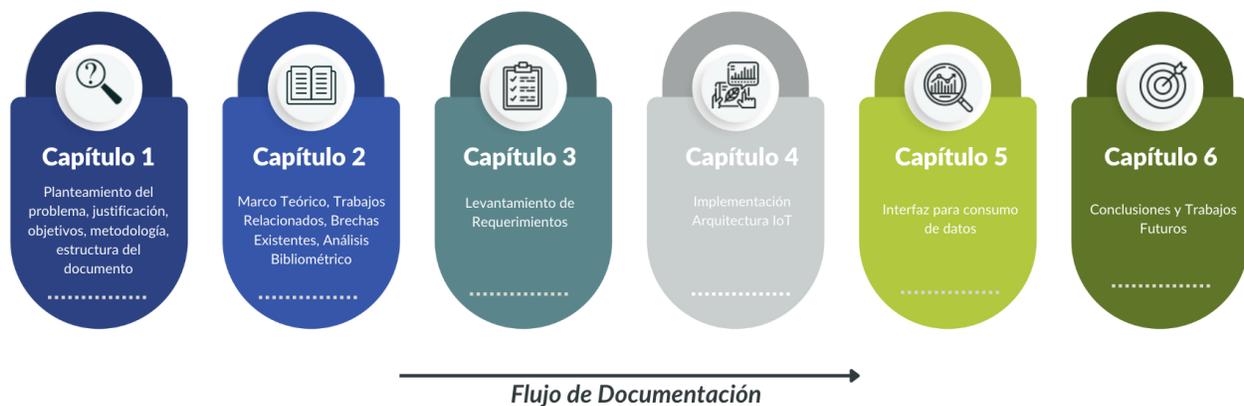


Figura 2: Mapa mental de distribución de capítulos. *Fuente: Autor*

Capítulo 1: Comprende la introducción, el planteamiento del problema, objetivos, metodología y estructura general del proyecto realizado

Capítulo 2: Titulado como “Contextualización”, abarca los conceptos empleados para enfocar la línea de estudio relacionada a sistemas de monitorización en la agricultura, especialmente en

la practica asociada al café. Incluyendo el Mapeo Sistemático de Literatura siguiendo la metodología de Petersen et al [24]. Ahondando en las temáticas indispensables para el entendimiento del alcance del presente trabajo de grado.

Capítulo 3: Titulado como “*Estado Actual del conocimiento*”, donde se hace referencia a investigaciones relacionadas y se identifican de ellas los aportes al presente trabajo. Es un proceso en el que se emplea la metodología Kitchenham et al [22]; con el fin de realizar una revisión sistemática de la literatura. Finalizando la Fase I de la metodología general de desarrollo de la investigación observada en la figura 1

Capítulo 4: Titulado como “*Implementación de la arquitectura de referencia IoT*”, es el proceso que acoge la metodología de diseño de arquitecturas de referencia IoT definida por Gartner Inc.[23], empresa de investigación y asesoramiento en el contexto. Aquí se definen las capas: *IoT Endpoints*, *IoT Edge Platform*, *IoT Platform Hub* y *Enterprise Applications*. Y se muestran los diferentes prototipos originados a partir de esta implementación hasta el Desarrollo final. Finalizando la Fase II de la metodología general de desarrollo de la investigación observada en la figura 1.

Capítulo 5: Titulado como “*Interfaz de Programación de Aplicaciones para el consumo de los datos en el servidor de Ecotecma*”, es el proceso que acoge la fase final (*Fase III*) de la metodología expuesta en la figura 1. Esta fase describe el proceso realizado para la captura, almacenamiento y despliegue de los datos producto de los sensores adquiridos por la empresa.

Capítulo 6: Comprende los resultados y conclusiones del presente trabajo práctico y de investigación, así como los posibles trabajos futuros a realizar.

Capítulo 2. Contextualización de desarrollo

En este capítulo se exponen las bases teóricas con las cuales se diseñó este proyecto y se brinda una visión general sobre las temáticas relacionadas a sistemas de monitorización en la agricultura por medio del desarrollo de un mapeo sistemático de la literatura partiendo de la metodología propuesta por Petersen et al. [24].

2.1 Fundamento Teórico

En esta sección se definen los principales conceptos empleados para el desarrollo del presente trabajo.

2.1.1 Sistemas de monitorización

Basados en la recomendación *ITU-T Y.2238* [25] un sistema de monitorización consiste principalmente en la interconexión de sensores mediante redes de telecomunicaciones que en el campo de la agricultura permite lograr una mayor eficiencia en la práctica y en la calidad productiva. Actualmente, el despliegue de este tipo de sistemas se realiza con el fin de recolectar datos del entorno y así obtener información de control y gestión de recursos.

Sus componentes definidos por las tecnologías de la información empleadas se definen de acuerdo a arquitecturas de referencia fundamentadas en las necesidades de despliegue así como se evidencia en [26], donde se documentan las diferentes arquitecturas según sus capas.

En lo que respecta este proyecto, a partir de implementaciones como las realizadas en [27, 28] se seleccionó *LoRa* como la tecnología inalámbrica del sistema de monitorización. Tecnología de capa física patentada por *Semtech* [28] que en conjunto al uso del protocolo abierto *LoRaWAN* permite que dispositivos de baja potencia se comuniquen con aplicaciones conectadas a internet a través de varias tecnologías que ofrecen conectividad IP.

2.1.2 Parámetros de suelo en la agricultura

A partir de la definición de *suelo* en [29] consideramos como *parámetros de suelo en la agricultura* a todo material mineral y/u orgánico generalmente libre en la superficie terrestre.

En lo que respecta al cultivo de café, su productividad y calidad de la semilla se encuentra asociada a las condiciones ambientales [30], de siembra y técnicas de cultivo [31] que son factores que afectan las condiciones del suelo. En síntesis, las prácticas de cultivo se deben a la interacción de los factores genéticos y ambientales de la planta los cuales están condicionados por variables que afectan sus condiciones físicas y químicas.

En relación a dicha variación encontramos en [32] el efecto de la humedad, temperatura y nutrientes en el sustrato, en [30] un sistema de recomendación orientado al rendimiento del cultivo del café partiendo de parámetros como Nitrógeno, Fósforo, Potasio, pH, humedad y temperatura, en [33] un análisis experimental que identifica variables críticas relacionadas a la calidad del suelo para cultivos de café, siendo: pH, conductividad, Humedad, Fósforo, Nitratos y Potasio, en [34, 35] identificación de nutrientes en el sustrato como nitrógeno, fósforo y potasio y en [36, 37] el impacto de factores ambientales a la calidad de la tierra como la humedad de suelo, temperatura, conductividad eléctrica, salinidad y pH .

2.1.3 Pequeño sistema productivo de café

Para la definición de un *pequeño sistema productivo de café* se tuvo en cuenta el contexto global del agricultor tradicional expuesto en [38], en donde se entiende que es una práctica heredada que se adapta para generar un ingreso económico que satisfaga las necesidades básicas del agricultor y es independiente de lineamientos o iniciativas de mecanización o implementación de tecnologías acogidas dentro el paradigma de la agricultura de precisión. Adicionalmente, teniendo en cuenta la tipificación realizada a sistemas productivos de café en [39] en relación a su metodología de caracterización cualitativa de las dimensiones socio-demográficas, ambientales, económicas y agrícolas, se definió para este proyecto que un *pequeño sistema productivo de café* cuenta con las siguientes características:

- **Modelo de práctica:** Sistema productivo tradicional
- **Extensión:** La superficie de la propiedad oscila entre las tres y las cuatro hectáreas (3-4 hectáreas inclusivo)
- **Tipo de fertilización:** Mixta
- **Ecosistema:** Existe biodiversidad en el terreno y cuentan con prácticas de reciclaje de nutrientes y de manejo de plagas.

2.2 Mapeo Sistemático de la literatura

Para el mapeo sistemático de la literatura se siguió el protocolo guía de mapeo y revisiones sistemáticas propuesto por Petersen et al.[24] (*basado en [40]*) con el fin identificar el contexto del área de investigación. Es de resaltar que esta metodología plantea cinco fases de desarrollo que se sintetizaron en dos con fines de facilidad en la lectura del documento, así como se muestra en la Figura 3. Cabe resaltar que el análisis bibliométrico realizado con SciMAT se encuentra consignado en su totalidad en el Anexo A.

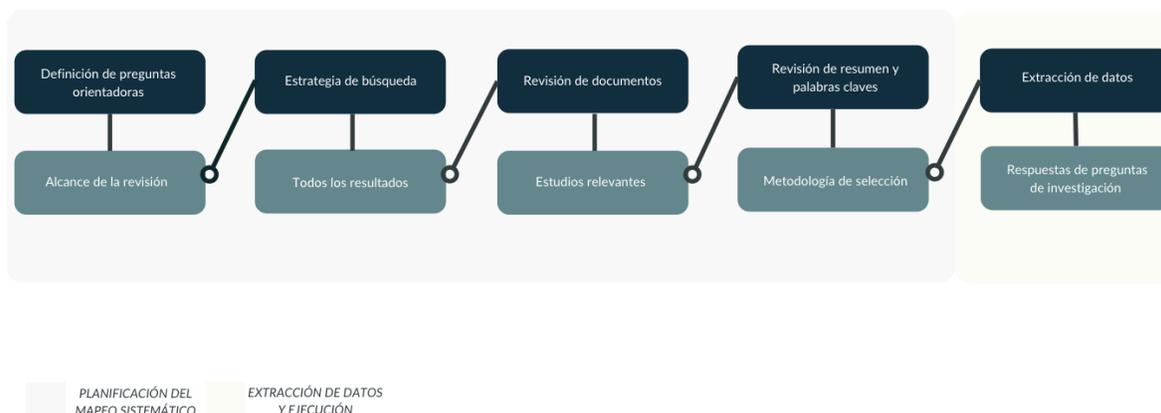


Figura 3: Proceso de realización de mapeo sistemático. Adaptado de [24]

2.2.1 Planificación del mapeo sistemático:

Definición de preguntas orientadoras: Las preguntas definidas en esta fase metodológica permitieron seleccionar y clasificar el material científico relacionado a sistemas de monitorización en el sector agrícola, en aras de definir las tendencias relacionadas al nicho de investigación

Pregunta orientadora	Justificación	Resultado
¿Cuál es la relación de los sensores respecto al material científico recolectado?	Determinar los tipos de cultivos, sus publicaciones y tendencias actuales asociadas a la implementación de sistemas de monitorización	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo de cultivos • Definición de tendencias de investigación en el sector agrícola
¿Cuál es la frecuencia de publicación de investigaciones asociadas a sensores?	Comprobar con qué frecuencia se están realizando estudios relacionados y determinar si es una tendencia positiva.	<ul style="list-style-type: none"> • Tendencia de comportamiento de las publicaciones
¿Qué tipo de herramientas se están desarrollando para implementar sistemas de monitorización en el sector agrícola?	Establecer dispositivos, tecnologías, arquitecturas y metodologías utilizadas para la implementación de sistemas de monitorización.	<ul style="list-style-type: none"> • Arquitecturas de referencia • Marco de trabajo • Metodología o modelo implementado • Dispositivos comerciales o desarrollos académicos
¿En qué contexto se está haciendo los principales aportes al dominio de la implementación de sistemas de monitorización?	Determinar las las mayores contribuciones y las brechas en el área conocimiento.	<ul style="list-style-type: none"> • Académico • Empresarial, entendido desde la implementación de dispositivos comerciales
¿Cuales son lo parámetros más relevantes que son sentidos en las implementaciones de sistemas de monitorización?	Determinar el trabajo científico y necesidades respecto a una determinada área de investigación	<ul style="list-style-type: none"> • Parámetro(s) relevantes en el control de cultivos

Cuadro 1: Preguntas orientadoras del mapeo sistemático

Estrategia de búsqueda: Teniendo en cuenta el marco *PICOC* para la estructuración ordenada de las temáticas como se muestra en 2, se realizo una búsqueda partiendo de la cadena de búsqueda expuesta en el cuadro 3.

Cabe resaltar que este proceso se aplicó a las bases de datos suscritas por la universidad del Cauca *EBSCO*, *IEEE Xplore* y *SCOPUS* y la base de datos paga *WOS*, en una ventana de tiempo de 10 años (2010-2020).

Problema-Objeto	Intervención a analizar	Comparación	Resultado	Contexto
Literatura gris en bases de datos suscritas de la Universidad del Cauca y Web of Science	Material científico relevante, sesgado por el número de citaciones, pertinencia y enfoque en una ventana de tiempo de 12 años	Comparación entre repositorios con el fin de definir la relevancia y grado de visibilidad	Selección de documentación relevante, con alto grado de visibilidad e impacto en el área de conocimiento.	Desarrollos académicos y comerciales

Cuadro 2: Criterios de estructuración PICOC

Cadena de búsqueda
<p>(“Agriculture 4.0” OR “internet of things” OR “IoT” OR “Technology” OR “Agriculture” OR “crop health” OR “crops health” OR “critical parameters” OR “soil parameter” OR “soil parameters” OR “nutrients” OR “minerals” OR “soil conditions”) AND (“programming” OR “development” OR “framework” OR “Hardware” OR “monitoring” OR “Monitoring system” OR “wireless sensor network” OR “Sensor network” OR “Architecture” OR “Reference architecture”) AND (“sensor based” OR “sensor” OR “sensors” OR “comercial sensor”)</p> <p>(Precision OR agriculture OR soil OR health) AND (“internet of things” OR “IoT” OR monitoring OR sensor) AND (nutrient OR parameter OR mineral)</p>

Cuadro 3: Cadena de búsqueda

Criterios de selección: Según los fundamentos establecidos por [24] se filtro el cuerpo documental de acuerdo a los criterios de selección y exclusión expuestos en el cuadro 4

Criterios de inclusión
Calidad del material científico, enmarcado en criterios de Número de citaciones, pertinencia del tema y su enfoque
Desarrollo de soluciones orientadas a la implementación de redes de sensores
Documentos con metodologías, tecnologías, métodos y/o arquitecturas de referencia específicas que sean de uso en redes de sensores en la agricultura
Criterios de exclusión
El estudio primario no presenta una solución orientada al área del conocimiento o aporte al proyecto
Estudios relacionados a cultivos hidropónicos y aeropónicos
Documentación duplicada

Cuadro 4: Criterios de inclusión y exclusión

2.2.2 Extracción de datos y ejecución

Una vez realizada la búsqueda en cada una de las bases de datos, por medio de la herramienta de software de mapeo científico de código abierto SciMAT, orientados por los lineamientos establecidos del cuadro 1 y los criterios de inclusión y exclusión del cuadro 4 se identificaron 704 artículos de los cuales, considerando el factor de correlación de SciMAT y la fase IV de [24] se seleccionaron 207 artículos así como se muestra en la figura 4.

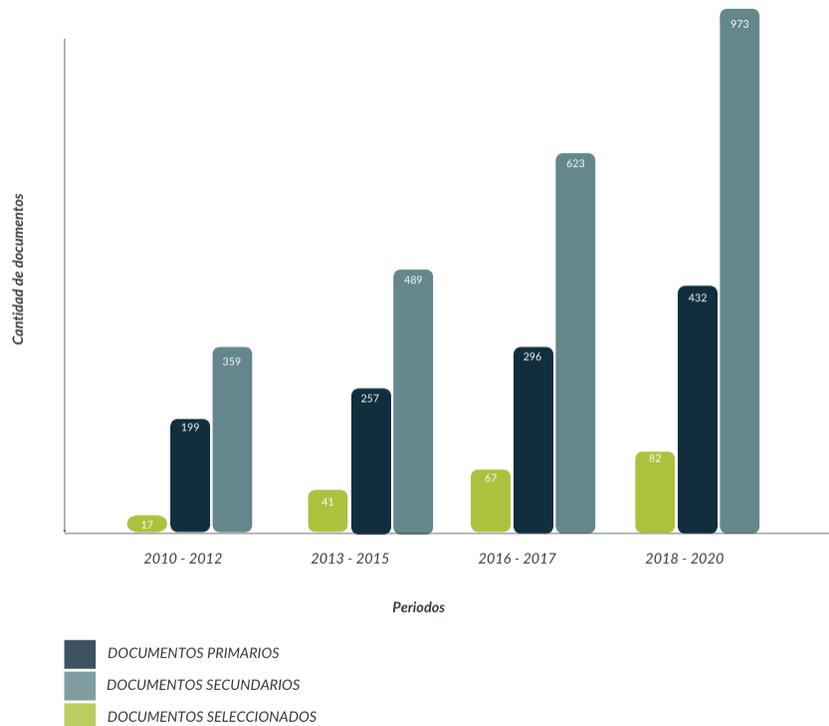


Figura 4: Producción científica. *Fuente: Autor*

En la figura 4 se detalla el crecimiento del volumen de artículos primarios y secundarios en la línea temporal establecida. El uso de herramientas como SciMAT agilizo el proceso investigativo reduciendo el tiempo de revisión de referencias bibliográficas. Su diseño y metodología a partir de la agrupación de palabras clave alrededor de la ciencia permite identificar por medio de clusters la tendencia del conocimiento científico. A continuación, se les da solución a las preguntas de investigación planteadas anteriormente.

P1. ¿Cuál es la relación de los sensores respecto al material científico recolectado?

Para el área de la agricultura se pudo definir diferentes modalidades de sensado respecto al tipo de cultivo. Se encontraron prácticas relacionadas a la captura de imágenes en cultivos extensivos desde sensores remotos ubicados en vehículos aéreos tripulados y no tripulados o plataformas gubernamentales satelitales [41, 42, 43]. Investigaciones enfocadas en la construcción de invernaderos con el fin de buscar soluciones a los principales problemas relacionados con la agricultura, como la adaptación de los cultivos a cambios en el entorno, la productividad y rentabilidad [44, 45, 46]. Sistemas implementados con sensores comerciales [47, 48, 49] y desarrollos académicos como [50, 51, 52].

De los documentos principales se destaca el uso de sensores en la implementación de sistemas de monitorización de parámetros de suelo y vegetativos como base de estudio para la definición de las necesidades del cultivo y el empleo de fórmulas de medición indirecta. En lo que respecta a la correlación de los sensores con el suelo y la nutrición, como se evidencia en la figura 5 esta orientado a la identificación de nutrientes en suelo a partir de parámetros como temperatura específica y relativa, humedad de suelo, conductividad eléctrica, salinidad e índices relacionados a macro-nutrientes como el nitrógeno, potasio y fósforo.

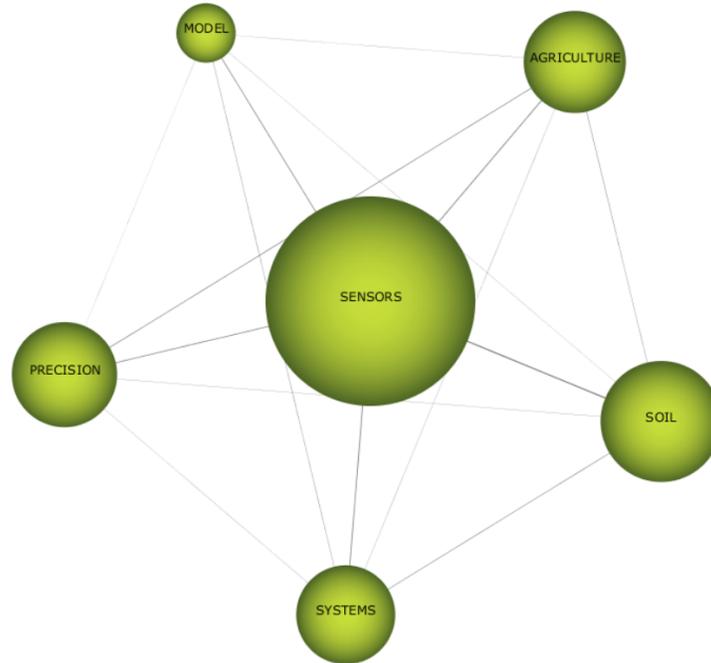


Figura 5: Cluster/Sensores. *Fuente: Autor*

Por otra parte, en el contexto del control de parámetros vegetativos, se enfoca en obtención de datos fenotípicos, los cuales comúnmente son calculados a través de combinaciones algebraicas de bandas espectrales denominados índices de vegetación y metodologías de clasificación a partir de la caracterización estructural de las plantas, la detección de sus frutos y evaluación de la fisiología vegetal. Estos sensores utilizan propiedades ópticas y eléctricas para medir parámetros como la clorofila, la reflectancia de la cobertura vegetal y la fluorescencia de los flavonoles, propiedades eléctricas como la conductividad, resistividad y permitividad, principios de transmitancia y la reflectancia RGB, las propiedades del espectro (*multiespectral e hiper-espectral*), la dinámica térmica, y la fluorescencia de la clorofila.

Adicionalmente, se encontraron diferentes tipos de sensores que varían respecto a la tecnología (*ópticos, eléctricos, radiométricos, basados en fuerza, electroquímicos*), los parámetros que mide (*suelo, vegetativos y meteorológicos*) y su ubicación (*terrestres, bajo tierra, bajo el agua, móviles, satelitales, proximales, aerotransportados*).

P2. ¿Cuál es la frecuencia de publicación de investigaciones asociadas a sensores?

En el mapeo sistemático se definieron cuatro periodos con el fin de analizar el comportamiento de las temáticas orientadas a la agricultura de precisión. A continuación, se muestra el mapa de evolución obtenido a partir de la herramienta SciMAT:

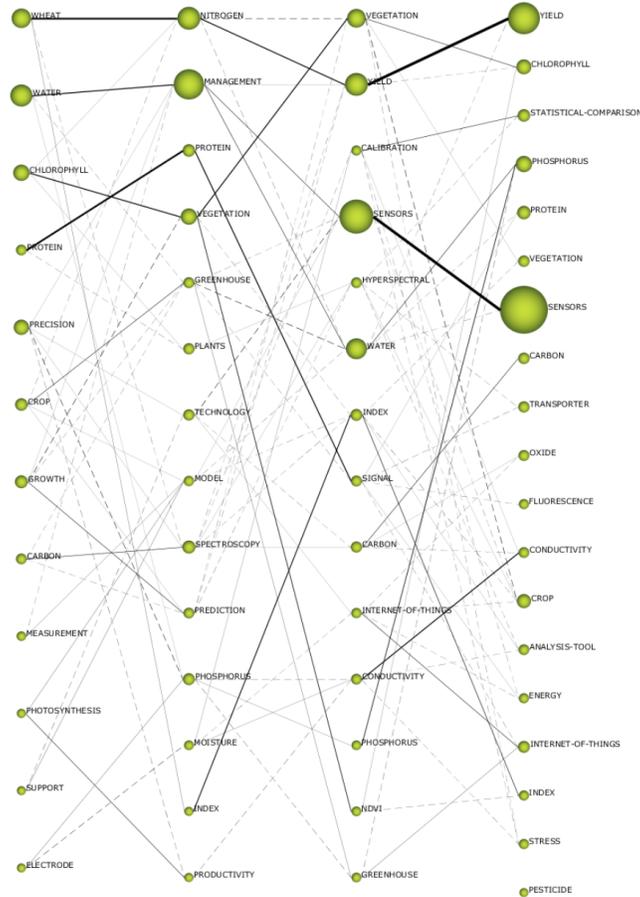


Figura 6: Resultado longitudinal - Mapa de evolución. *Fuente: Autor*

En la figura 6 se observan los periodos de tiempo considerados frente a las temáticas involucradas en la evolución del área de investigación. Las principales tendencias que se pueden ver en la figura se relacionan con la transición que se ha generado en torno al uso de sensores en la práctica agrícola. La influencia de la automatización y dispositivos de medición indirecta aumenta con el pasar del tiempo y esto se evidencia con el aumento de la densidad y clusters que denotan las tendencias asociadas a los sensores.

P3. ¿Qué tipo de herramientas se están desarrollando para implementar sistemas de monitorización en el sector agrícola? En la agricultura, los sistemas de monitorización requieren de implementaciones inalámbricas debido a las facilidades que ofrecen entorno a la comunicación remota, la fácil implementación, el bajo costo y bajo consumo de energía [53]. El reconocimiento de las tecnologías y topologías implementadas en desarrollos similares permiten que los avances sean trazables. En [47] se presenta un diseño preliminar de una WSN para cultivos de café usando el estándar 802.15.4 y una estructura de cuatro nodos con núcleo central de un microcontrolador *PIC 24*, distribuidos en un coordinador y tres nodos que utilizan sensores de medida de temperatura y humedad del suelo, temperatura de las hojas, radiación solar y flujo fotosintético usando un radio *XBee 802.15.4* y conectados a una estación climatológica que tiene adicionalmente un módulo *XbeeTM Pro en modo FFD*. En [48] se emplea

la misma topología y protocolos de transmisión y se recolectan datos de variables ambientales, como la temperatura ambiente, la humedad relativa, la humedad del suelo y la presión atmosférica haciendo uso de los sensores *TEGR-101* Y *TEHU-120* para después ser analizada y mostrada en el entorno gráfico alojado en la nube *Ubidots* [54]. En [55] se propone una red inalámbrica de sensores comerciales *WATERMARK*, equipos de la empresa *Libelium sensors* y protocolo de transmisión *Zigbee*. La arquitectura se compone de tres unidades principales, los sensores, los tableros de sensores y la estación base (*Meshlium ZigBee-Mesh- AP*), con ánimo de medir la resistencia eléctrica de la humedad del suelo del terreno y convertirlo en lecturas calibradas de la absorción de agua del suelo. En [49], se expone un sistema de medición del potencial hídrico del suelo en cultivos de caña de azúcar para la evaluación de la programación del riego a partir de un sistema de monitorización compuesto por sensores de potencial hídrico de suelo *WATERMARK*, un sensor de temperatura de suelo, un registrador de datos *HOBO* y un microcontrolador *ATMEL AT89S52* y sus respectivos protocolos de transmisión como *Zigbee* y *radiofrecuencia*.

P4. En qué contexto se está haciendo los principales aportes al dominio de la implementación de sistemas de monitorización? Cabe resaltar que respecto a despliegues de sistemas de monitorización en el marco de revisión de protocolos y arquitecturas, estos están en marcados en desarrollos investigativos a partir de plataformas abiertas y aplicaciones académicas.

P5. ¿Cuales son lo parámetros más relevantes que son sensados en las implementaciones de sistemas de monitorización? Las tecnologías involucradas en el paradigma de la agricultura de precisión evolucionan rápidamente ya que están ligadas a la adaptación de las condiciones medioambientales, rendimiento y producción. El emplazamiento de sistemas de monitorización en los cultivos son una herramienta diferenciadora en toda la práctica ya que son base para el desarrollo de estrategias y sistemas de recomendación orientados al manejo de los cultivos. Su presencia en las practicas agrícolas incluyen un conjunto de procesos enfocados en el control de parámetros que afectan la salud del cultivo. De acuerdo al material seleccionado podemos definir, así como se evidencia en la figura 7, los parámetros con mayor incidencia en el material científico: humedad de suelo, calcio, NO₃⁻, Nitrógeno, Potasio, Fósforo, Humedad, oxigenación de suelo, Resistencia eléctrica, NH₃, Conductividad eléctrica, Temperatura, Sulfuro, Hierro y Salinidad.

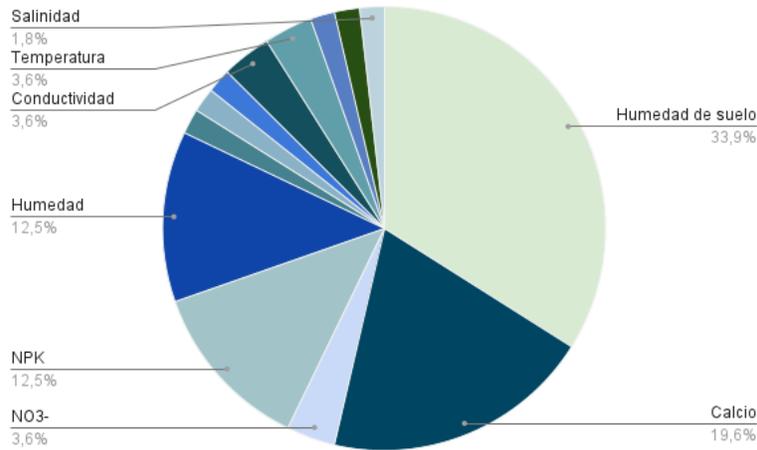


Figura 7: Parámetros de medida. *Fuente: Autor*

El adecuado manejo de nutrientes influye en la productividad, resistencia del cultivo a plagas y adaptación al entorno. Por lo que cada vez se utiliza más una amplia gama de herramientas de medición directa e indirecta con el fin de tecnificar todos los procesos en el sector agrícola. Adicionalmente, es de resaltar el uso de sensores activos y su gran variedad de aplicaciones. Estos dispositivos utilizan propiedades ópticas, eléctricas y biométricas para medir características específicas del suelo, ambiente y planta.

2.2.3 Brechas Existentes Mapeo Sistemático de Literatura

De acuerdo con la búsqueda bibliográfica realizada se determinó que el cuerpo documental asociado a investigaciones en el sector agrícola está centrado en cultivos extensivos como: la soya, el maíz y el trigo y áreas productivas controladas como invernaderos.

En el caso de la caficultura, los avances en el territorio colombiano se centran en el desarrollo de modelos de buenas prácticas agrícolas, dejando rezagado el componente de implementación de posibles herramientas tecnológicas que ayuden a la toma de decisiones entorno a la disminución de costos involucrados en el proceso de siembra, mantenimiento y cultivo, especialmente lo relacionado con el desarrollo de esquemas de monitorización mediante arquitecturas de sensores.

Adicionalmente es importante resaltar la dificultad de acceso a información relacionada a sistemas de monitorización de parámetros de suelo y vegetación en el contexto colombiano por parte las diferentes organizaciones que encabezan las investigaciones en el área como: La Federación Nacional de Cafeteros y El Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Aunque es de resaltar que sus esfuerzos se aúnan hacia la construcción de mapas de manejo de la caficultura por regiones y a la construcción de indicadores bioclimáticos necesarios para mitigar "las cuatro mega-presiones: el crecimiento demográfico, los cambios extremos de clima, el deterioro implacable de los ecosistemas y nuestra incapacidad como seres humanos para enfrentarlas"[56], su falencia entorno a la alcanzabilidad de sus desarrollos y reacción temprana ante los efectos del

cambio climático obliga a muchos caficultores a continuar las practicas tradicionales, así como lo que sucede en el pueblo indígena de Puracé que inició un proyecto Custodios de Semillas con conocimientos ancestrales mediante la diversificación de variedades propias como estrategia de mitigación de daños en consecuencia del cambio climático [57].

Así como se evidencia en [58] respecto a las lineas de acción en el desarrollo científico y tecnológico en el panorama nacional y regional "falta ampliar las líneas de trabajo alrededor de tecnologías y conocimientos apropiados, competitivos y sostenibles alrededor del café y cambio climático y avanzar en la articulación local y apoyo extensionista en plataformas tecnológicas de modelación o predicción y sistemas de alerta temprana para afrontar las condiciones climáticas a futuro".

Los desarrollos encontrados en el área como [47] y [48], son propuestas investigativas que requieren condiciones específicas lo que limita la implementación del sistema de monitorización respecto a la gestión y tipo de sensores. Adicionalmente, fue un trabajo meramente académico que debido a su tipo limita la adaptación comercial requerida en el desarrollo de este proyecto.

Capítulo 3. Levantamiento de requerimientos

En este capítulo se expone la revisión sistemática realizada a partir del modelo de proceso para una Revisión Sistemática de Literatura propuesto por Kitchenham et al. [22] enfatizando en los aportes de otras investigaciones al desarrollo de este proyecto y la identificación de las brechas en el temática relacionada a sistemas de monitorización en café.

3.1 Revisión Sistemática de Literatura

La presente revisión sistemática de literatura, sigue las guías propuestas por Kitchenham and Charters [22]. Cabe resaltar que esta metodología permite identificar las limitaciones, conocimiento actual y dirección a futuro de una investigación. En la figura 8 muestra el protocolo que se va a seguir en este capítulo con fin de identificar los requerimientos del Sistema de Monitorización, clave para el desarrollo de este trabajo de grado.

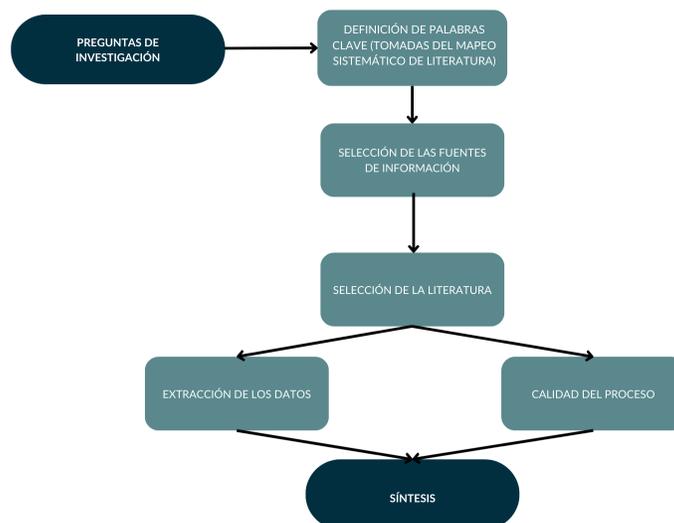


Figura 8: Protocolo a seguir Revisión Sistemática de Literatura. *Fuente: Autor*

3.1.1 Preguntas de Investigación

En congruencia con el Capítulo 2 de este trabajo de investigación, se plantean las siguientes preguntas de investigación:

- **P1.** ¿Existen Sistemas de Monitorización de parámetros del suelo enfocados a pequeños sistemas productivos del café?
- **P2.** ¿Qué limitaciones/ problemas se plantean en el área de la monitorización de parámetros del suelo?
- **P3.** ¿Cuáles son parámetros son los principales medidos en pequeños sistemas productivos del café?
- **P4.** ¿Cuáles son los principales protocolos de comunicación IOT usados en Sistemas de Monitorización de parámetros del suelo enfocados a pequeños sistemas productivos del café?
- **P5.** ¿Cuales son los principales estudios realizados con objetivos a medio/largo plazo con respecto a Sistemas de Monitorización en pequeños sistemas productivos del café?

Posterior a ello se realizó la definición de palabras clave relevantes a las preguntas de investigación: monitorización, parámetros de suelo, café, IOT, comunicación inalámbrica, red de sensores. Con base en estas palabras clave, se elaboró la cadena de búsqueda general que será usada posteriormente para su ejecución en motores de búsqueda en bibliotecas científicas digitales. Sin embargo, es de destacar que cada librería digital cambia la sintaxis de la cadena de búsqueda por diseño de sus sistemas.

**(“MONITORIZATION” OR “MONITOR” OR “SMART FARMING” OR
“REMOTE SENSING”) AND (“COFFEE” OR “COFFEE SOIL PARAMETERS”)
AND (“IOT” OR “WIRELESS COMMUNICATION”)**

Adicional a ello se seleccionaron las librerías científicas digitales, de donde se tomará la literatura a indexar a esta revisión.

Librería Digital	URL
IEEE Explore	https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp
ACM Digital Library	https://dl.acm.org/
Science Direct	https://www.sciencedirect.com/
Redalyc	https://www.redalyc.org/home.oa

Cuadro 5: Fuentes seleccionadas para el proceso de búsqueda

3.1.2 Búsqueda y Selección de documentación

La literatura seleccionada en esta Revisión Sistemática de Literatura, fue filtrada de las fuentes de búsqueda a partir de criterios de inclusión y exclusión 6.

Criterios de Inclusión	Criterios de Exclusión
Documentos que involucren sistemas de monitorización de parámetros del suelo en sistemas productivos de café	Documentos que no involucren sistemas de monitorización en la temática de la agricultura
Documentos que ahonden en los protocolos de comunicación para sistemas de monitorización en la agricultura	Literatura Gris, en este escenario se considerará como relevante la información encontrada en fuentes primarias de información
Documentos publicados desde 2015 hasta la fecha, donde se identificó en el mapeo sistemático que se dieron los mayores avances en la temática tratada	Documentos que midan parámetros de monitorización para cultivos diferentes al café
Documentación en Español e Inglés	Documentos que planteen Sistemas de Monitorización aislados, se priorizará los documentos que estudien sistemas de monitorización con componentes de comunicación

Cuadro 6: Criterios de Inclusión y Exclusión Revisión Sistemática

3.1.3 Prueba de Calidad, extracción de datos y síntesis

Con el fin de evaluar en términos de calidad cada uno de los artículos obtenidos de las fuentes de información se hace uso de una escala de medida, con la cual se calificará cada documento. De esta manera, se escala por cada pregunta de investigación un número entre 0, 0.5 y 1 para representar el peso de relevancia del documento en responder la pregunta correspondiente (equivalencias observadas en la tabla 7).

La discusión con respecto a los documentos encontrados después de este proceso, ocurrió con los investigadores de esta investigación de manera conjunta.

Escala de calificación	Correspondencia
Prueba de Calidad	Cualitativa en los documentos
0	No responde la pregunta
0.5	En parte responde la pregunta
1	Sí responde la pregunta

Cuadro 7: Escala tomada en el Proceso de Calidad

Lista de puntos a calificar con base a la escala establecida del proceso de calidad.

- **P1.** ¿La documentación describe un Sistemas de Monitorización de parámetros del suelo para el café?
- **P2.** ¿La documentación describe de manera completa las limitaciones/ falencias encontradas en el proceso de desarrollo de las investigaciones?
- **P3.** ¿La documentación establece los parámetros del suelo relevantes para el café?
- **P4.** ¿La documentación establece protocolos de comunicación claros y comerciales para sistemas de monitorización?

- **P5.** ¿La documentación presenta de manera clara sus conclusiones y sobre el alcance de su investigación?

La calificación de la documentación encontrada se consignó en el ANEXO B de la investigación, en la sub-página B1.

La extracción de datos se realizó a medida que se calificaba la relevancia de la documentación encontrada bajo el paradigma de la calidad establecido. Los datos extraídos de cada documento relevante a partir del proceso de calidad, puede ser encontrado en el ANEXO B de la monografía en la sup-página B2 y en la siguiente URL https://docs.google.com/spreadsheets/d/1vqIplg-EziDdnhVhAAxiwzHM0-_05rWLGZA8gA7nRo/edit?usp=sharing, se tomaron datos de cabecera de cada artículo como: ID, título, autores, año de publicación, volumen, localización, ISBN, DOI, editorial, biblioteca digital donde fue encontrado el artículo, resumen, limitaciones, trabajo a futuro, información adicional.

3.2 Resultados de la Revisión

La revisión sistemática de literatura presentó entonces 21 artículos relevantes para la investigación, estos datados entre 2015-2022 pueden ser encontrados en la indexación de documentos bajo la biblioteca Tesis en el espacio del trabajo de investigación en Mendeley. ²

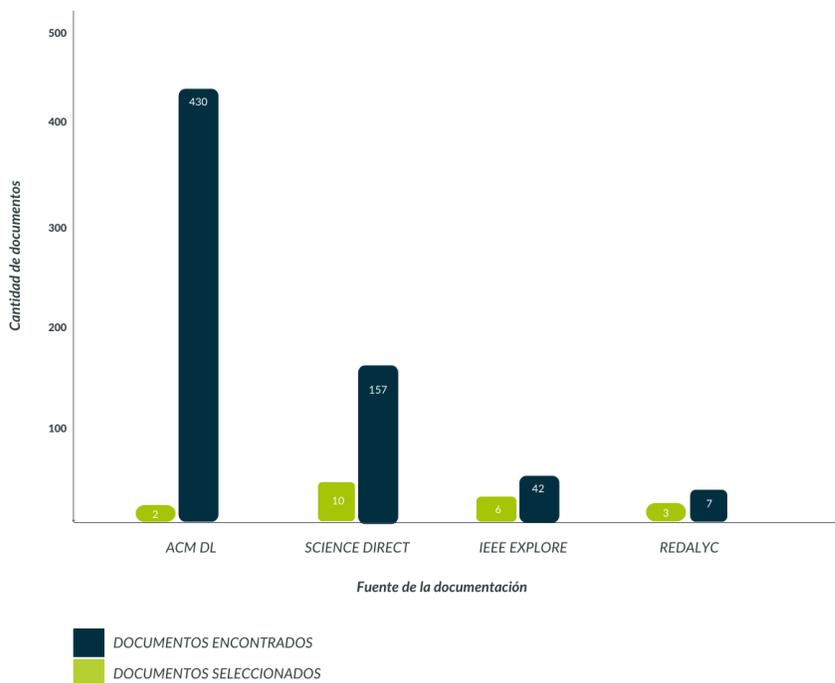


Figura 9: Fuente de Documentación y Artículos elegidos. *Fuente: Autor*

²“Mendeley es una empresa de software con sede en Londres, Reino Unido, que ofrece productos y servicios para investigadores académicos. Es más conocido por su gestor de referencias, que se utiliza para gestionar y compartir trabajos de investigación y generar bibliografías para artículos académicos” [59].

Como se puede observar en la figura 9, la mayor parte de documentación relevante a la investigación fue encontrada en *SCIENCE DIRECT*, seguido por *IEEE EXPLORE*, *REDALYC* y *ACM DL*.

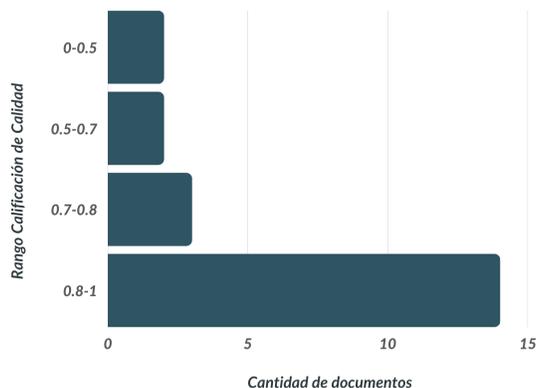


Figura 10: Calidad de la Documentación. *Fuente: Autor*

Con el fin de abordar el contenido de toda la literatura encontrada se dividirán los artículos en 2 grupos documentales: documentación de Sistemas de Monitorización enfocados a parámetros del suelo y documentación de tecnologías que miden otros parámetros relevantes para los cultivos/ Sistemas de Comunicación.

- **Documentación de Sistemas de Monitorización enfocados a parámetros del suelo**

El primer documento encontrado de esta revisión sistemática de literatura ocurre en Rwanda donde se da la producción del café por medio de ciclos productivos de fermentación, ocurre la calidad del cultivo varía dependiendo del análisis de la fertilización. Este proceso es realizado por personas encargadas de los cultivos que puede presentar inconvenientes en la calidad de los cultivos por el factor humano, razón por la cual Rutayisire *et al* en su paper [60] propone una solución de bajo costo para monitorizar los parámetros del suelo y la fermentación para apoyar y hacer más eficiente el proceso. Este tipo de iniciativas se dan en todo el mundo como en Ecuador, donde García-Cedeño *et al* desarrollaron un sistema que permite la monitorización Multicultivo en diferentes zonas geográficas, los autores hacen uso de diferentes protocolos de comunicación como WIFI, GPRS, y LoRa-WAN para comunicar los diferentes sensores, como protocolo para el nodo hacen uso de Zigbee y como microcontrolador una Arduino Nano [61]. Cabe resaltar en esta investigación los autores no se enfocan en ningún cultivo en específico sino que lo hacen de manera transversal a todo el sembrado.

Otro de los Sistemas de monitorización encontrado fue desarrollado en India donde se plantea un Robot Itinerante que mide los parámetros climáticos, de suelo, y otros para solucionar una limitante de los sistemas de monitorización: el mantenimiento de los sensores en piso. Niranjana, R *et al* establecen entonces el protocolo de comunicación del robot por

medio de GPRS el robot regresa al final de sus labores a una estación base donde carga toda la información recolectada en el campo [62].

El último sistema de monitorización analizado fue IOT AGRo, un sistema diseñado por Rodriguez, J *et al* donde los autores plantean un sistema enfocado en el consumidor final [63]; donde se miden los parámetros del suelo y estos son tomados por una plataforma Web como servicio al público en general.

- **Documentación de tecnologías que miden otros parámetros relevantes para los cultivos**

Algunas investigación están más enfocadas en el análisis de parámetros ambientales como los vientos, temperatura, etc. Cabe resaltar que el consumo de estas variables puede diferir dependiendo del cultivo o la problemática analizada.

En [64] se da el análisis de variables del ambiente y suelo para determinar la probabilidad de un posible deslizamiento. Esto, ya que en el lugar de la investigación los cultivos de desarrollan precisamente en montañas con un alto grado de pendiente que constantemente sufren de deslizamientos y equivalen a pérdidas monetarias por parte los involucrados en el proceso de cultivación. Adicionalmente en [65, 66] se plantea un sistema de monitorización que más allá de establecer parámetros para garantizar la calidad del producto se enfoca mucho más en el proceso productivo como tal donde se busca la reducción de costos como fin principal. Los autores de los artículos, involucran elementos como el agua para el riego de los cultivos, la energía eléctrica invertida en el proceso, entre otros; como las principales variables medidas por el sistema de monitorización; ahondan hasta el uso de Blockchain para el procesamiento de estos datos.

Otros investigadores se han enfocado más en el escenario de la inteligencia artificial con base en procesamiento de imágenes con el fin de identificar variables medio ambientales que puedan afectar los cultivos. En [67] los autores en Sri Lanka, plantean una problemática que no permite muchas veces la proliferación de los cultivos del coco en esa zona y es las enfermedades presentadas por las plantas, por ello los autores por medio de la monitorización visuales de las plantas en el sembrado son capaces de identificar diferentes enfermedades que pueda presentar la planta. Esta aproximación también es realizada por los autores de [68, 69, 70, 71] donde por medio del procesamiento de imágenes se analizan las diferentes patrones de los cultivos con el fin de determinar su calidad y tomar decisiones; en el paradigma de la Agricultura de precisión es de gran importancia mencionar que adicional a la captura de las variables visuales/ fisico-químicas, lo más importante es el procesamiento de estos datos que serán usados para optimizar la agricultura en general, como se plantea en [72] para el uso consiente de los recursos.

[73] Este artículo se encaja dentro del conjunto de investigaciones que buscan aportar al paradigma de la Agricultura de Precisión. La caña de azúcar, como muchos otros cultivos en Colombia, es el sustento de una gran población sin embargo los procesos que se le aplican a la materia prima para crear producto final son en su mayoría deficientes. Con el fin de mejorar ese panorama la investigación aborda una arquitectura en capas funcionales, estas capas se podrían clasificar en los sistemas de interconexión ubicua como lo realizan en [74].

- **Documentación enfocada en los Sistemas de Comunicación**

En los sistemas de monitorización se usan diversos protocolos de comunicación entre los módulos de sensado, procesamiento y transmisión. Esta unidad documental se enfoca en la intercomunicación de los sensores y estos con el modulo de procesamiento para analizar los datos sensados.

En sistemas de monitorización donde la ubicación lo permite el principal protocolo de comunicación es Wi-Fi debido a su baja latencia, esta tecnología presenta módulos funcionales no visualmente llamativos, razón por la cual supera la limitación cultural. Este panorama se presenta en [75, 76, 77] donde en [77] se adiciona el uso de *MQTT* como protocolo de comunicación entre dispositivos.

En sistemas productivos con poco acceso a este tipo de tecnologías se plantea el uso de GPRS, para el desarrollo se deben tener en cuenta factores como la intensidad de señal entregada por los proveedores en el sembrado [78]. Por parte de la comunicación entre nodos, cabe resaltar que se da en sistemas de 1 o más nodos; donde se denota que el principal protocolo de comunicación es *Zigbee*.

P1. ¿Existen Sistemas de Monitorización de parámetros del suelo enfocados a pequeños sistemas productivos del café? Como tal existen sistemas de monitorización de parámetros del suelo, los mismos involucran variables medio- ambientales/ visuales/ químicas; estos datos recolectados por todo el mundo en su mayoría son consumidos de manera local. Cabe resaltar que la literatura documentada en esta revisión sistemática, no existe de manera comercial/ académica un sistema de monitorización enfocado en pequeños sistemas productivos de café.

P2. ¿Qué limitaciones/ problemas se plantean en el área de la monitorización de parámetros del suelo? Existen varias limitaciones para los sistemas de monitorización, como por ejemplo: socialmente se presentan inconvenientes con las comunidades que se encargan del desarrollo de los cultivos pues la inserción de sistemas de monitorización pueden afectar de manera visual los cultivos y causar rechazo para quienes han planteado un escenario de cultivo tradicional.

Adicionalmente, en términos tecnológicos específicamente en Colombia, se da una limitación a nivel de comunicación y recepción de señales por factores medio ambientales y de desarrollo tecnológico en las zonas como tal (baja señal de celular, alta latencia, energía eléctrica inestable, etc). Del mismo modo, es importante resaltar que a partir de la revisión se puede determinar también una falta de conocimientos específicos para le desarrollo de este tipo de soluciones tecnológicas en pequeños sistemas productivos de café.

P3. ¿Cuáles son parámetros son los principales medidos en pequeños sistemas productivos del café? Se plantea que los principales parámetros que se miden en el suelo por parte de los sensores de sistemas de monitorización, en diferentes cultivos del mundo son: pH, conductividad, Humedad, Fósforo, Nitratos y Potasio. Razón por la cual a niveles comerciales son también las variables/ parámetros que miden los sensores.

P4. ¿Cuáles son los principales protocolos de comunicación IoT usados en Sistemas de Monitorización de parámetros del suelo enfocados a pequeños sistemas productivos del café? Uno de los enfoques que se da en los sistemas de monitorización hoy en día es en su sistema de comunicación, donde Wi-Fi, GPRS, y LoRaWAN son los principales protocolos usados para los desarrollos y los que se proponen para el presente trabajo de investigación.

P5. ¿Cuales son los principales estudios realizados con objetivos a medio/largo plazo con respecto a Sistemas de Monitorización en pequeños sistemas productivos del café? Como tal no hay sistemas de monitorización enfocados a pequeños sistemas productivos del café, sin embargo, se puede determinar que los principales estudios se dan en países como Ecuador, Etiopía e India los cuales a nivel gubernamental están desarrollando propuestas de sistemas de monitorización para optimizar sus procesos de agricultura y plantear un escenario acorde a la Industria 4.0.

3.2.1 Conclusiones - Requerimientos del Sistema

Dentro de los requerimientos establecidos a partir de la revisión encontramos que se debe abordar la limitante de la ubicación del cultivo, propendiendo zonas con condiciones medioambientales adecuadas para la puesta en práctica de las pruebas.

El sistema deberá contar la capacidad de medida de conductividad, Humedad, Fósforo, Nitratos y Potasio [64, 65, 77] y el uso de tecnologías de comunicación como GPRS o LoRaWAN teniendo en cuenta la zona de cobertura en cuanto a la ejecución en un pequeño sistema productivo de café en la zona rural.

Al no tener iniciativas de inmersión tecnológica en pequeños sistemas productivos de café dentro del paradigma de la agricultura de precisión en aras de mejorar la práctica agrícola, deberían haber sistemas trazables, replicables y accesibles.

Con base en los resultados obtenidos en esta revisión y siguiendo las recomendaciones funcionales hechas en los documentos analizados, el desarrollo de un sistema de monitorización modular permitirá abordar las necesidades de mejora de la práctica de pequeños caficultores.

A su vez el componente empresarial provee lineamientos de ejecución de los cuales se resaltan la selección de dispositivos y elección de tecnologías de transmisión. esto teniendo en cuenta la línea de ejecución del proyecto, donde se procede de acuerdo a las políticas de la empresa Ecotecma que ciñe el proyecto a las necesidades y recursos de la misma.

3.2.2 Artículos añadidos a la revisión

ID	Autores	Año	Título	Detalles de la Publicación
Paper_1	J. Rutayisire; S. Markon; N. Raymond	2017	IoT based Coffee quality monitoring and processing system in Rwanda	IEEE-ICASI 2017
Paper_2	A. García-Cedeño; J. C. Guillermo; B. Barzallo; C. Punín; A. Soto; D. Rivas; R. Clotet; M. Huerta	2019	PLATANO: Intelligent Technological Support Platform for Azuay province Farmers in Ecuador	IEEE-ICEV 2019
Paper_3	A. Sanyal; P. Chowdhury; C. Ganguly	2022	IoT- based Wireless Real-time Temperature and Humidity Surveillance System for Hill Stations	IEEE-ICCE 2022
Paper_4	R. Niranjana; R. S. Krishnan; K. L. Narayanan;	2022	Intelligent Itinerant Robot [IIR] for Agricultural Farm Monitoring using IoT	IEEE-ICAIS 2022
Paper_5	X. A. Presskila; E. G. Julie; S. Sundararajan; D. Nesarajan; L. Kunalan; M. Logeswaran; S. Kasthuriarachchi; D. Lungalage	2020	Coconut Disease Prediction System Using Image Processing and Deep Learning Techniques	IEEE-IPAS 2020
Paper_6	R. J. Silva; P. Nuno Leite; A. M. Pinto	2020	Multi-Agent Optimization for Offshore Wind Farm Inspection using an Improved Population-based Metaheuristic	IEEE-ICARSC 2020
Paper_7	Li Y,Zheng Y	2021	Regional agricultural industry economic development based on embedded system and Internet of Things	Microprocessors and Microsystems 82
Paper_8	Nigussie E,Olwal T,Musumba G, Tegegne T,Lemma A,Mekuria F	2020	IoT-based Irrigation Management for Smallholder Farmers in Rural Sub-Saharan Africa	The 11th International Conference on Emerging Ubiquitous Systems and Pervasive Networks (EUSPN 2020)
Paper_9	Sinha BB,Dhanalakshmi R	2022	Recent advancements and challenges of Internet of Things in smart agriculture: A survey	Future Generation Computer Systems 2022
Paper_10	Ayoub Shaikh T, Rasool T,Rasheed Lone F	2022	Towards leveraging the role of machine learning and artificial intelligence in precision agriculture and smart farming	Computers and Electronics in Agriculture 2022
Paper_11	Alwis S,Hou Z,Zhang Y, Na MH,Ofoghi B,Sajjanhar A	2022	A survey on smart farming data, applications and techniques	Computers in Industry Volume 138
Paper_12	Sarpal D,Sinha R,Jha M,Th P	2022	AgriWealth: IoT based farming system	Microprocessors and Microsystems 89
Paper_13	Tao M,Ota K,Dong M	2017	Ontology-based data semantic management and application in IoT- and cloud-enabled smart homes	Future Generation Computer System 2017
Paper_14	Rejeb A,Abdollahi A, Rejeb K,Treiblmaier H	2022	Drones in agriculture: A review and bibliometric analysis	Computers and Electronics in Agriculture 2022
Paper_15	Rodríguez JP, Montoya-Munoz AI,Rodriguez-Pabon C,Hoyos J,Corrales JC	2021	IoT-Agro: A smart farming system to Colombian coffee farms	Computers and Electronics in Agriculture 190
Paper_16	Khanna A,Kaur S	2019	Evolution of Internet of Things (IoT) and its significant impact in the field of Precision Agriculture	Computers and Electronics in Agriculture 157
Paper_17	Dario Enamorado J,Luis Ordoñez Avila J, Gustavo Ordoñez Avila M,Aguiluz Guevara O	2020	IoT-SPA Billing System to Improve the Coffee Recollection in Beneficio Rio Frio, Honduras, Santa Bárbara	Association for Computing Machinery
Paper_18	Joshi J,Polepally S,Kumar P,Samineni R, Rahul SR,Sumedh K,Tej DG,Rajapriya V	2017	Machine Learning Based Cloud Integrated Farming	ICMLSC '17
Paper_19	Ruiz Martinez, William; Ferro Escobar, Roberto; Moncada Sanchez, Javier Felipe	2019	Application of the Internet of Things through a Network of Wireless Sensors in a Coffee Crop for Monitoring and Control its Environmental Variables	Tecnológicas, vol. 22
Paper_20	Ruiz Martinez, William; Ferro Escobar, Roberto; Moncada Sanchez, Javier Felipe	2020	Application of a Supervised Learning Model to Analyze the Behavior of Environmental Variables in a Coffee Crop	INGENIERÍA • VOL.25
Paper_21	Arley Orozco, Óscar; Llano Ramírez, Gonzalo	2015	Sistemas de información enfocados en tecnologías de agricultura de precisión y aplicables a la caña de azúcar	Revista Ingenierías Universidad de Medellín 2016

Capítulo 4. Implementación de la arquitectura de referencia IoT

De acuerdo a la metodología general de desarrollo en este capítulo se abordará la *Fase II* definida en 1. Adicionalmente, se evidenciarán las iteraciones realizadas a partir de la verificación de la transmisión y almacenamiento de los datos para proseguir a la implementación de los servicios en la web.

La arquitectura de los prototipos (N, I y II) expuestos en este capítulo se acogen al modelo de solución de proyectos IoT propuesto por Gartner [23] que divide su arquitectura en cuatro capas: *IoT Endpoints*, *IoT Edge Platform*, *IoT Platform repository* y *Application*.

4.1. Prototipo N

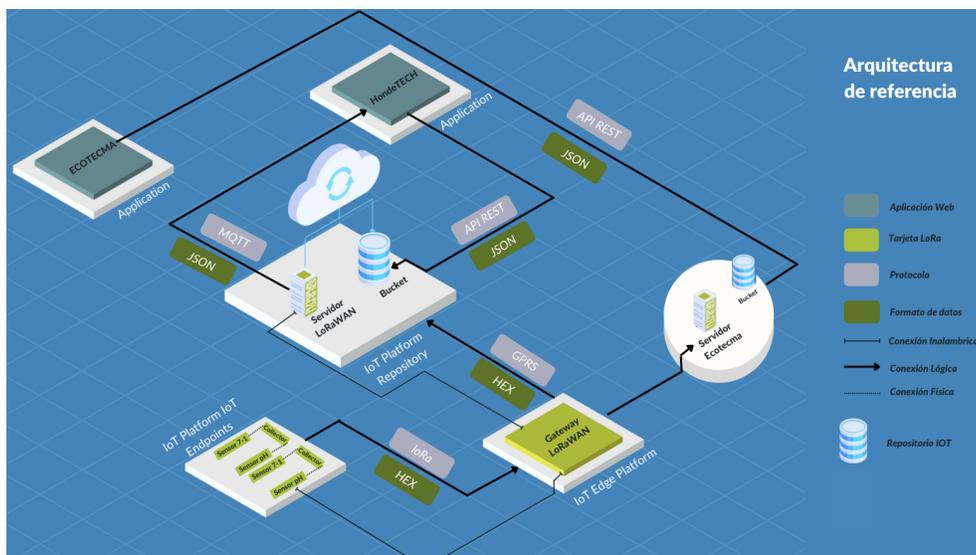


Figura 11: Arquitectura Prototipo inicial. Adaptado de [23]

Su funcionalidad parte de los datos recolectados de los sensores por el colector, los cuales con enviados hacia la capa IoT Edge Platform que actúa como Gateway, traduciendo el protocolo

de envió de datos y direccionándolos hacia la siguiente capa. En la capa IoT Platform Hub se almacenan y analizan los datos para ser visualizados en la capa Enterprise Applications por medio de aplicaciones y demás herramientas web.

Para la implementación de este modelo propuesto fue necesario identificar los componentes que se ajustaran a cada capa con el fin de realizar una recolección de parámetros de suelo. El proceso requerido en la ultima capa se orienta al envió de datos al servidor de Ecotecma. La identificación de cada elemento será descrito en su respectiva capa.

4.1.1 IoT Endpoints

A partir de la revisión comercial presente en el *ANEXO C* y las consideraciones de la empresa Ecotecma, los requerimientos del sistema en cuanto a la selección de los dispositivos para esta capa se consideraron como requerimiento mínimo los siguientes lineamientos:

- **Requerimiento nutricional:** Como se ha destacado en el cuerpo documental, la presencia de macro-nutrientes como el nitrógeno, potasio y fósforo incide en la salud y desarrollo de las plantas. Por lo que se considero como un factor crucial de monitorización.
- **Requerimiento de entorno:** Existen múltiples parámetros que a partir de su monitorización permiten mejorar la calidad y productividad del cultivo. La estabilidad del sistema productivo esta relacionado en la estabilidad de las condiciones físicas y químicas del suelo por lo que para este sistema de monitorización se considero como factor crucial la selección de dispositivos que permitan sensar las condiciones del suelo como temperatura, humedad, conductividad y otras.

Consiguiente a los lineamientos y selección de la empresa, los dispositivos que fueron seleccionados para esta capa son:

Dispositivo	Tipo	Descripción	Elemento
Soil moisture and temperature and EC and salinity and NPK 7 IN 1 sensor	RD-S7-S	Longitud: 2 metros Alimentación: DC5V-24V Salida: RS485	
		Rango de medida de humedad: 0 ~100 %RH Resolución de medida de humedad:1 % Precisión de medida de humedad:±2 % (m3/m3)	
		Rango de medida de temperatura:-30 ~70 °C Resolución de medida de temperatura:0.1°C Precisión de medida de temperatura:±0.2°C	
		Rango de medida de EC:0~20000s/cm Resolución de medida de EC:1us/cm Precisión de medida de EC:±3 %	
		Rango de medida de salinidad:0~10000ppm Resolución de medida de salinidad:1ppm Precisión de medida de salinidad:±3 %	
		Rango de medida de NPK: 0 ~1999mg/kg Resolución de medida de NPK:1mg/kg Precisión de medida de NPK:±2 %FS	
Collector	RD-LRC	Temperatura de trabajo: -25 ~55 grados Humedad de funcionamiento: 0 ~95RH % Tensión de alimentación: DC 12 ~24V Consumo de energía: 5W	
		Interfaz de comunicación: RS485, RS232 El puerto serie está equipado con RS-485 como estándar Rango de velocidad 1200bps ~115200bps;	
		Parámetros del puerto serie [velocidad de transmisión, bit de datos, bit de paridad, bit de parada] por defecto 9600, 8, N, 1	
		Protocolo de comunicación: MODBUS-RTU Transmisión de datos y conversión de protocolo transparentes Banda de frecuencia de trabajo de Lora: inalámbrica 410 ~525MHZ, 863-870MHZ,902-928MHZ, 915-928MHZ, banda de frecuencia libre global ISM, modulación de espectro ensanchado Lora, soporte FSK, GFSK, MSK, GMSK, métodos de modulación OOK	
		Velocidad de comunicación: 300Kbps, programable. Método de comunicación: Carga activa -Formato de datos: 1, 8, 1, 1200 (1 bit de inicio, 8 bits de datos, 1 bit de parada, sin paridad, tasa de baudios de 1200bps) Frecuencia de adquisición: 1 minuto por defecto, se puede ajustar a distancia Sensibilidad de recepción: estándar, -140dBm Distancia de comunicación: Aire libre>2000 metros (antena externa, 18dBm @ 1200bps). Categoría de terminal: Esclavo	

Cuadro 8: IoT Endpoints

Los criterios de compra de estos dispositivos se sustentan en la necesidad de la monitorización de múltiples parámetros de suelo que se relacionen a la mejora en la productividad y bienestar de las plantas de café en todo su ciclo productivo. Como cualquier cultivo, el café tiene determinadas exigencias agro-climáticas que se deben tener en cuenta para garantizar el rendimiento y productividad en la cosecha. Como se ha expuesto a lo largo del proyecto la etapa de fertilización del suelo es de gran importancia ya que es donde la aplicación de insumos debe realizarse a partir de las condiciones específicas de la planta. Es de resaltar que a nivel comercial los sensores de nutrientes, tanto de planta como de suelo son de costos elevados y su método de medida es mediante reactivos químicos que implican el contacto directo con la planta.

De lo anterior, la asequibilidad y múltiples parámetros de medida de los sensores RD-S8-S por parte de la empresa fueron los factores de elección.

El colector por su parte es el encargado de realizar la conversión de la interfaz RS485 al módulo de radiofrecuencia inalámbrico Lora/ LoraWAN. Este utiliza el protocolo MODBUS-RTU para

comunicarse con el ordenador central a través de la interfaz RS485 / RS232. La plataforma de gestión se comunica con los nodos in-situ en modo de transmisión transparente. Mientras los protocolos de comunicación entre las dos partes sean consistentes, las funciones de adquisición in-situ y de control remoto pueden ser implementadas y no hay necesidad de preocuparse por la compilación del software de la pasarela serial y la tediosa conversión del código de comunicación inalámbrica Lora/ LoraWAN.

4.1.2 IoT Edge Platform

Los dispositivos que componen esta capa son la antena de 433 MHz y la Gateway LoRa. La Gateway por elección de la empresa cuenta con un modulo inalámbrico de tecnología GPRS y una configuración con el APN “internet.movistar.com.co”. Cuenta con un conversor de puerto serie a Ethernet que realiza la transmisión transparente de datos directos entre el puerto de red RJ45 y la interfaz TTL. Soporta formatos de comunicación TCP y UDP, opera con bajo consumo de energía, adopta la solución Cortex-M4, y la frecuencia principal es de hasta 120MHz. El módulo integra una interfaz Ethernet adaptable de 10/100M, la velocidad de transmisión más alta de la comunicación serie es de hasta 1Mbps, tiene modos de trabajo como servidor TCP, cliente TCP, UDP, cliente Http, Websocket, entre otros, y puede ser configurado fácilmente a través de servicios web.

Dispositivo	Descripción	Elemento
	Trabaja con Ethernet	
	Estándar del puerto: cuatro pines RJ45 Velocidad: 10/100Mbps, conexión cruzada MDI/MDIX y conexión directa de conmutación automática	
	Protección: aislamiento electromagnético de 1,5KV	
Gateway	Protocolo de red: IP, TCP, UDP, DHCP, DNS, HTTP, ARP, ICMP Websocket, Cliente HTTP Caché: Tx 16Kbyte - RX 16Kbyte	
	Alimentación: 7-24VDC Consumo de energía: menos de 1W	
	Temperatura de trabajo: -40~85°C Humedad de trabajo:5 %-95 %	

Cuadro 9: Características operativas - Gateway

4.1.3 IoT Platform Repository

En esta capa se realiza el almacenamiento de los datos. La información es verificada y direccionada por medio de servicios web en el servidor donde se administran todos los dispositivos que tienen acceso a la red. Una vez realizada la verificación, la información sera procesada y transmitida a la siguiente capa.

4.1.4 Enterprise Applications

Esta capa se conforma por las aplicaciones web las cuales permiten visualizar los datos adquiridos del proceso previamente descrito. De acuerdo a la compra realizada por parte del Ingeniero Juan Fernando Casanova en nombre de Ecotecma, se adquirió un servicio web como se evidencia en la Figura 12 en donde se pueden visualizar los datos en tiempo real, gestionar los dispositivos conectados y programar alertas.

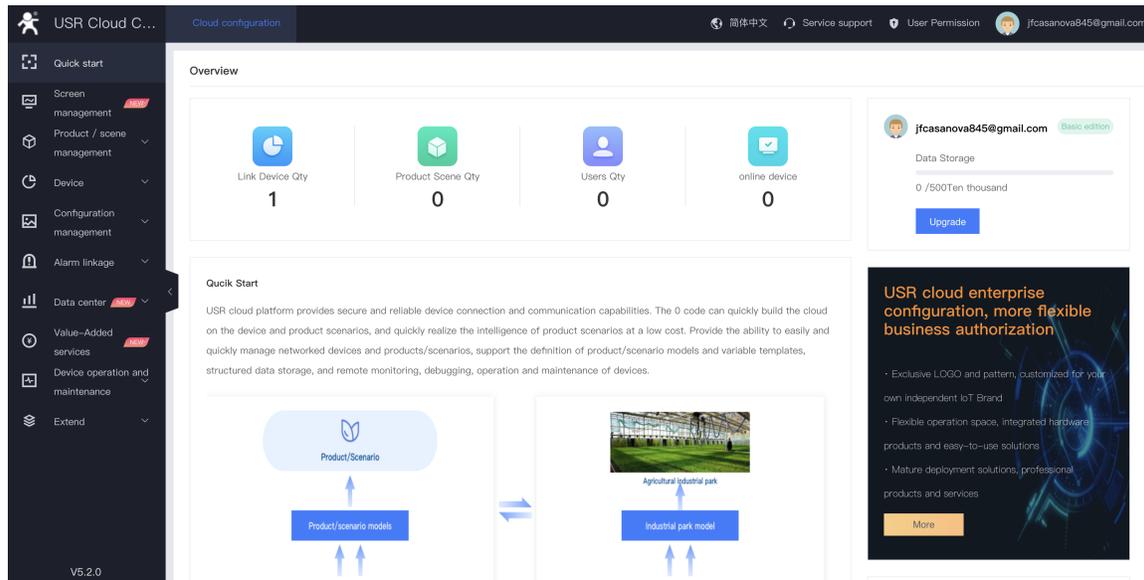
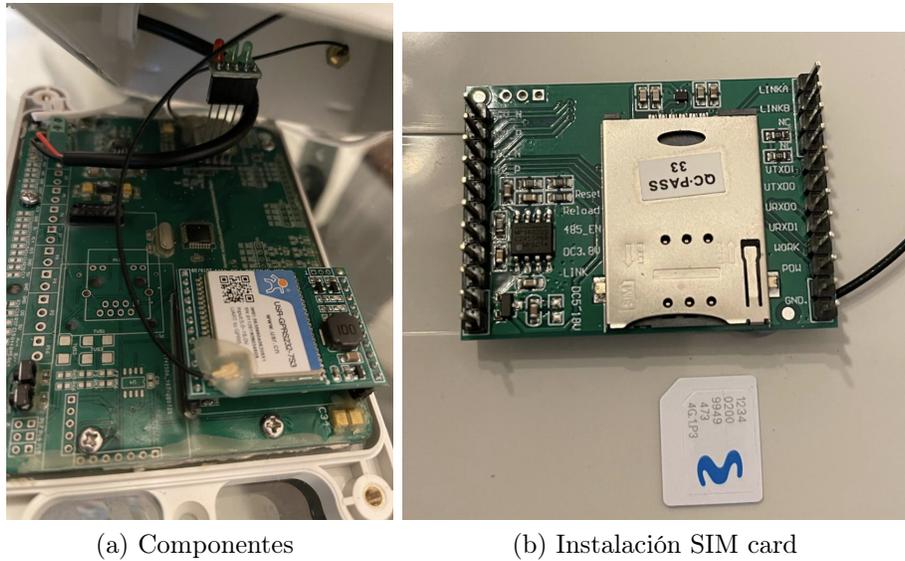


Figura 12: Enterprise Application

4.1.5 Configuración y montaje de prueba

las consideraciones iniciales que tuvieron lugar en las primeras dos capas respecto a la configuración de los dispositivos fueron el montaje y acople de los sensores con el colector y la configuración de transmisión de la Gateway.

En lo que respecta la Gateway, la empresa contrato un servicio de datos verticales con el operador de telecomunicaciones movistar. La tarjeta SIM adquirida fue instalada como se muestra en la Figura 13. Adicionalmente, el envío de datos se configuro cada 4 horas en consideración de la baja variación de los parámetros en cortos periodos de tiempo.



(a) Componentes

(b) Instalación SIM card

Figura 13: Instalación de tarjeta SIM

Posterior a la configuración de los dispositivos se procedió a realizar pruebas iniciales de funcionamiento. Con el objetivo de analizar la captura de datos por parte de los sensores el sustrato se sometió a pruebas experimentales de variación de sus componentes minerales y condiciones físicas y químicas. El análisis por medio de muestras simples sometidas a diferentes condiciones como: Aumento de la salinidad y humedad en el suelo mediante el incremento de NaCl, aumento del nivel de nitrógeno empleando fertilizantes químicos nitrogenados y mezcla de sustratos inertes en tierra, permitió evidenciar variaciones significativas y coherentes en los datos mostrados en la plataforma de la empresa, constatando el funcionamiento del prototipo en diferentes circunstancias.



(a) Emplazamiento sensores



(b) Colector



(c) Gateway



(d) Resultados

Figura 14: Montaje de prueba y verificación

Previo a las pruebas de campo y la selección del pequeño sistema productivo de café donde se llevo a cabo el montaje, se analizaron las posibles zonas donde ejecutar la practica ya que la empresa a partir de proyectos de investigación previos realizados en el municipio tenia en consideración lugares específicos en los cuales era viable implementar el proyecto. Justificados en el mapa de cobertura del operador Movistar sobre el municipio de Cajibío como se muestra en la Figura 15. y con animo de seleccionar el mejor lugar para llevar a cabo las pruebas se tuvieron los siguientes criterios:

- **Relación con la empresa:** El propietario del sistema productivo tendría que haber tenido una relación con la empresa. Vinculación en proyectos previos.
- **Extensión de terreno:** Finca cafetera con una extensión entre tres y cuatro hectáreas.
- **Seguridad:** Lindero definido y cercado. Zona de cultivo alejado de la vía de transito de carros y peatones.
- **Compromiso:** Comunicación directa con el propietario con el fin de conocer el posible interés y disposición de llevar a cabo el emplazamiento del sistema en su sistema productivo y de esta manera establecer un compromiso verbal de cuidado de los dispositivos.
- **Cobertura:** Teniendo en cuenta la Figura 15 se identifico que la zona con mejor cobertura en el municipio de Cajibío es aquella cercana a la cabecera municipal.

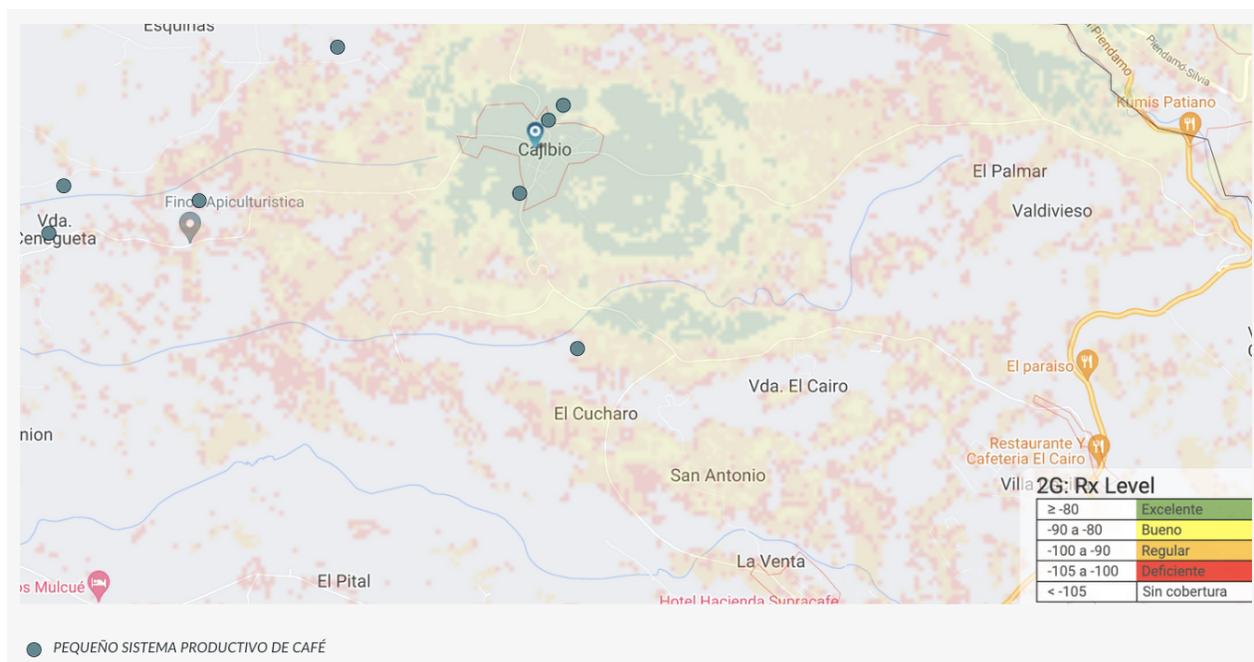


Figura 15: Mapa de cobertura del municipio de Cajibío

4.1.6 Montaje del sistema de monitorización

A partir de los criterios ya mencionados, la selección del pequeño sistema productivo de café en el municipio de Cajibío fue realizado por parte de la empresa Ecotecma. Esta finca ubicada a cinco minutos de la cabecera municipal cuenta con dos lotes destinados al cultivo de café (Lote No. 1 - Lote No. 2), los cuales manejan diferentes modelos de cuidado. En relación a una evaluación visual realizada de las propiedades de la tierra (color, estructura, consistencia, porosidad, profundidad) se definió que la calidad del suelo es bueno. Del mismo modo, el diagnóstico de la finca fue prometedor teniendo en cuenta los aspectos biofísicos y bio-diversos de los cultivos, los aspectos económico-productivos, administrativos y financieros del propietario.



(a) Lote No 1. Fertilización Mixta



(b) Lote No 2. Fertilización Orgánica

Figura 16: Pequeño sistema productivo de café

La descripción general del sistema productivo fue muy buena por parte de la empresa. Se trata de un cultivo tradicional y sostenible ambientalmente que mezcla sus cafetales con otros árboles de mayor tamaño (Arboles de guama y aguacate) preservando la diversidad de flora y fauna con el fin de controlar posibles plagas y la temperatura en el cultivo (Zona de sombrío). Además, es de resaltar que los árboles fijan mejor el nitrógeno en el suelo y evitan la erosión, por lo que el fruto crece de más lentamente y mejora su calidad. De acuerdo al tipo de cultivo la separación entre cafetales es de aproximadamente un metro con el fin de dar espacio a los demás árboles y que haya mayor material orgánico en el suelo.

Emplazamiento de los dispositivos: Como se evidencia en la Figura 16 la biodiversidad y esquemas de producción de los lotes aumenta el nivel de componentes orgánicos en el suelo que bajo el criterio de la empresa permite evidenciar la variación de los parámetros. Adicionalmente, considerando factores de seguridad (integridad de los dispositivos), método de fertilización (mixto y orgánico) y zona de sombrío, el emplazamiento de los sensores con su respectivo colector se realizaron como se evidencia a continuación:



Figura 17: Emplazamiento de dispositivos en lote No. 1



Figura 18: Emplazamiento de dispositivos en lote No. 2

Para el emplazamiento de los dispositivos en los lotes se tuvo en consideración las características ya mencionadas respecto a las ventajas de la zona de sombrío y el uso de fertilizantes nitrogenados y orgánicos. De igual forma, se resalta que los arboles fueron usados para emplazar los colectores y evitar el contacto con los animales de la zona.

En lo que respecta la elección del lugar donde situar la Gateway, es de considerar que de acuerdo al alcance de la señal de 3 a 5 kilómetros este dispositivo tenía un amplio rango de posibilidades, sin embargo, por consideraciones del propietario este dispositivo no podía estar dentro de la vivienda ya que suponía algún efecto o implicación a la comodidad o salud sus habitantes. Adicionalmente, el escaso número de toma corrientes por fuera de la vivienda fue una limitante que nos conllevó a situar el dispositivo en el *beneficiadero*³, ya que era un lugar techado que nos permitiría cuidar la integridad de los dispositivos. Es de resaltar que debido a la naturaleza del sector la corriente eléctrica es inestable y con el fin de mitigar los picos de corriente se instaló un dispositivo de protección contra sobretensiones.

³Lugar donde se realizan una serie de pasos para quitar o eliminar todas las capas o cubiertas de la semilla de café de la forma más eficiente posible sin afectar su calidad y el rendimiento. Es una transformación primaria del grano.



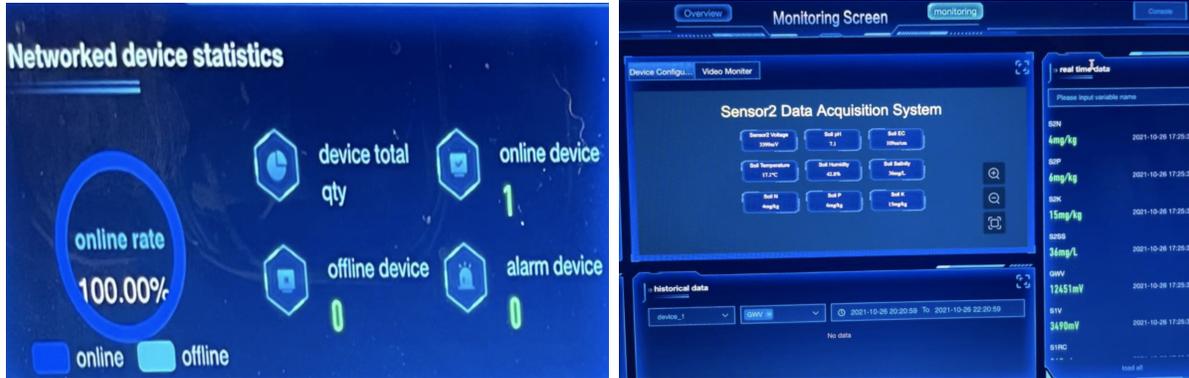
(a) Emplazamiento de la Gateway

(b) Emplazamiento de sensores

Figura 19: Ubicación - Gateway

4.1.7 Pruebas de comunicación

Posterior a la configuración de los dispositivos se procedió a realizar pruebas iniciales de funcionamiento. Con el objetivo de analizar la captura de datos por parte de los sensores el sustrato se sometió a pruebas experimentales de variación de sus componentes minerales y condiciones físicas y químicas que se ven reflejados en el software adscrito por la empresa en el momento de la compra. El análisis fue realizado por medio de muestras simples sometidas a diferentes condiciones como: Aumento de la salinidad y humedad en el suelo mediante el incremento de NaCl, aumento del nivel de nitrógeno empleando fertilizantes químicos nitrogenados y mezcla de sustratos inertes en tierra, permitió evidenciar variaciones significativas y coherentes en los datos mostrados en la plataforma de la empresa, constatando el funcionamiento del prototipo en diferentes circunstancias. Es de resaltar que este funcionamiento es de desarrollo privado, por lo que la evidencia se hace mediante procesos de corroboración mediante variaciones coherentes. La pruebas realizadas posterior al emplazamiento de los dispositivos se centraron en ensayos de la conexión de la Gateway y el seguimiento de los parámetros recolectados por los dispositivos. Es de resaltar que todas las pruebas tuvieron éxito.



(a) Pruebas de conexión

(b) Seguimiento de parámetros

Figura 20: Pruebas de comunicación

4.1.8 Verificación de transmisión y almacenamiento de datos

El carácter comercial de los dispositivos lleva que factores como la privatización de datos y derechos de desarrollo sean un inconveniente para acceder a los datos (modificación de enrutamiento). La empresa vendedora de los dispositivos presta el servicio de monitorización por medio de un archivo .xlsx que se actualiza mensualmente.

A partir de lineamientos de la empresa Ecotecma y su necesidad de tener los datos a disposición en su servidor conlleva a realizar modificaciones en los dispositivos como se muestra en la siguiente sección denominada *Prototipo I* y por consiguiente la primera iteración de la metodología general definida en la Figura 1 entre la *Fase II* y la *Fase III*.

4.2. Prototipo I

A partir del requerimiento de la empresa sobre tener control y acceso a los datos recolectados por los sensores se realizó una modificación en la arquitectura como se evidencia en la figura 21. En consideración a que el cambio realizado fue a nivel de la capa *IoT Edge Platform* se abordaron únicamente las modificaciones realizadas en la misma. A partir de una consulta con

expertos se reemplazo la Gateway adquirida por un sniffer.

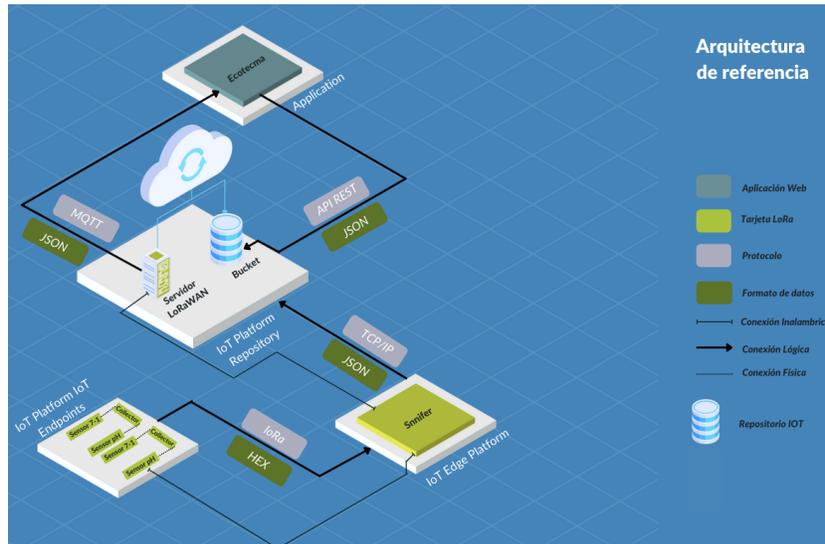


Figura 21: Arquitectura Prototipo I. Adaptado de [23]

El dispositivo RD-LRC envía la información suministrada por los sensores (humedad, temperatura, conductividad eléctrica, salinidad, nitrógeno, potasio, fósforo y pH) y su voltaje de batería, concatenada en un payload a través de la antena LoRa hacia la Gateway.

De acuerdo a los componentes presentes en el receptor se identificó un módulo transceptor RF LoRa RA-02 que en conjunto a un microcontrolador STM32F103 sirvieron el montaje del sniffer.

Las consideraciones para la elecciones de dichos dispositivos fueron:

- **STM32F103:** Microcontrolador de 32 Bits, posee la suficiente memoria para realizar procesos de encriptación y desencriptación, además de poseer librerías que permitan configurar fácilmente un dispositivo LoRa.
- **Modulo transceptor RF LoRa RA-02:** Modulo de LoRa utilizado en la Gateway y colector, usado para tener compatibilidad de ancho de banda y canal.
- **STLINK-V2 Clone:** Dispositivo encargado de flashear el microcontrolador.

A partir de la guía presente en la sección del prototipo I de los anexos, se hizo uso de la herramienta STM32CubeIDE que es parte del ecosistema de software de STM32Cube para la configuración del microcontrolador STM32F103. Adicionalmente, se descargaron las librerías LoRa para la configuración del RA-02 en el entorno.

El módulo Ra-02 LoRa funciona a una frecuencia de 433MHz y mediante el uso de los transceptores SX1287 proporciona una comunicación de espectro extendido de gama ultra larga y una inmunidad de alta interferencia mientras minimiza el consumo de corriente. Según sus

características operativas y la información suministrada por el vendedor, de acuerdo a las variables del formato del mensaje LoRaWAN como se muestra en la Figura 22, los parámetros de configuración para la captura de los datos enviados por el colector, fueron:

Fb: 433 Mhz **Ptx:** 17 DBm **SF:** 7 **CR:** 4/5
CRC: Enable **Longitud:** 10 Bytes

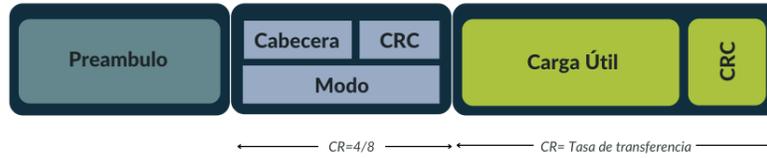


Figura 22: Estructura del paquete LoRa. Adaptado de [79]

La estructura de los paquetes LoRa es una cadena de datos hexadecimales en dónde se tiene un preámbulo, una cabecera, una verificación del código, la sección de la carga útil (donde estaría la información capturada de los sensores) y un código de verificación de redundancia cíclica que valida la fiabilidad de los datos en la carga útil. Por lo que el decifrar la carga útil requiere conocer cada una de las variables relacionadas y definidas en el diseño del envío de los datos. Es de resaltar que previo a la captura de los datos provenientes del colector se realizaron pruebas de comunicación con el fin de comprobar la integridad del montaje. Posterior a ello, se realizo la captura de los datos mostrados en el Cuadro 10 y al no contar con la estructura de la carga útil la cual podía ser suministrada únicamente por la empresa vendedora, se evidencio una encriptación de los datos a nivel de colector. Es de resaltar que aunado a lo ya mencionado, a partir de la información expuesta en el anexo de los dispositivos, la estructura de los datos no corresponde a la estructura de referencia mostrada en la Figura 23.

Address code	Function code	Number of valid bytes	Data area							Low	High
			Moisture	Temp	EC	N	P	K	Salinity	check bit	Check bit
0X01	0X03	0X10	0x03 0XA8	0x01 0x11	0x05 0XB3	0x00 0X69	0x00 0X8F	0x01 0X63	0x03 0X22	0X02	0XD9

Figura 23: Trama de respuesta esperada

³CRC: Código de detección de errores definido por formulas matemáticas y usado frecuentemente en redes digitales y en dispositivos de almacenamiento para detectar cambios accidentales en los datos.

Datos recibidos
A6 01 EB 03 5F 0D 17 62 00 0B 0A 06 05 0A 3C 02 69 06 F5 2F 81 B9 DF 8E 00 E1 00 42 E4 22 E0 14 21 62 05 01 01 5E 00 04 05 01 4B 07 FD 02

Cuadro 10: Datos recibidos en Sniffer

Debido a la dificultad de decifrar la carga útil de la estructura hexadecimal del paquete sin información suministrada por el fabricante respecto al diseño del envío de datos no se pudo realizar la verificación de transmisión y almacenamiento de datos. Por tal motivo se realizó la segunda iteración de la fase II la cual es abordada en la sub-sección denominada *Prototipo II*.

4.3. Prototipo II

Dado que la estructura de parseo de payload entre colector y el Gateway no pudo ser adquirida, se definió una alternativa de solución para la limitante del *Prototipo I* a partir de la modificación de la arquitectura evidenciada en la Figura 24.

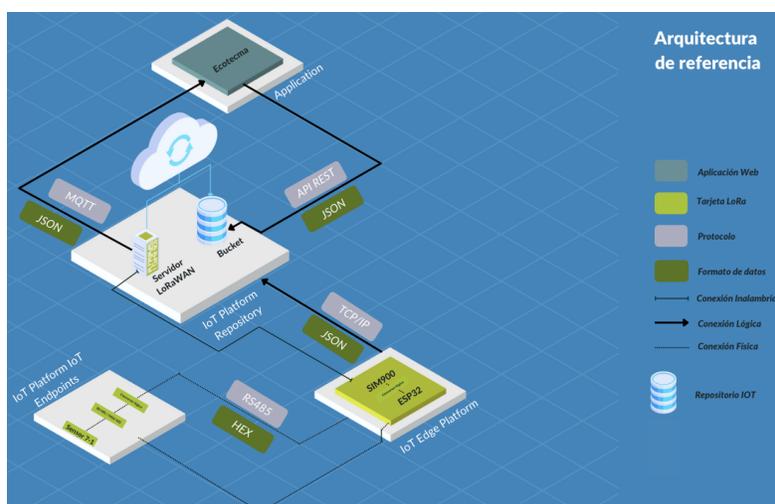


Figura 24: Arquitectura Prototipo II. Adaptado de [23]

4.3.1 IoT Endpoints

Esta capa corresponde a los nodos de captura de los parámetros de suelo. Cada uno de ellos se compone físicamente de los siguientes componentes:

SENSOR RD S7



Figura 25: Sensor RD-S7

Es un sensor de alta precisión y de respuesta rápida a las variaciones de las condiciones de suelo. Su capacidad de sensado simultáneo de datos de temperatura, humedad, conductividad, salinidad, nitrógeno, fósforo y potasio del sustrato lo convierte en una herramienta importante para observar y estudiar el comportamiento de los parámetros físicos y químicos del suelo.

Su sensado a partir de electrodos requiere un contenido mínimo volumétrico de agua superior a 20% para captar la conductividad del suelo ya que es cuando los iones solubles pueden reflejar con precisión. Adicionalmente teniendo en cuenta su material y composición, este no debe estar emplazado en una zona con luz solar directa ya que puede llegar a temperaturas hasta los

50°C.

El sensor opera bajo el protocolo de comunicación maestro/esclavo *MODBUS RTU* el cual permite establecer una comunicación rápida, fácil y fiable entre los dispositivos. Este sensor cuenta con una entrada de alimentación de voltaje que oscila en el rango de 5V a 30V y una salida de señal RS485 A y B.

MAX485 CONVERTOR DE COMUNICACIÓN SERIAL



Figura 26: MAX 485

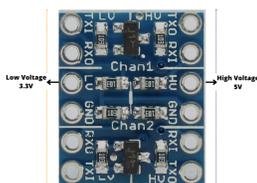
El estándar RS485 proporciona una solución robusta y de fácil implementación a partir de una transmisión semi dúplex de datos balanceados. Este estándar industrial también conocido como *EIA-485* se adopta como especificación de la capa física, según el modelo OSI, al protocolo de comunicación. En términos generales, este estándar no pone normas ni restricciones sobre el contenido, forma, o codificación de los mensajes enviados.

Este dispositivo es un transceptor de bajo consumo para la comunicación RS-485 a una tasa de 2,5Mbps.

RS485 está definido como un sistema de comunicación

en bus diferencial multi-punto que es ideal en la transmisión a través de canales ruidosos, ya que al emplear voltajes diferenciales reduce los ruidos eléctricos que aparecen en la línea de transmisión.

CONVERSOR DE DOS CANALES BIDIRECCIONALES 5V Y 3.3V



Este dispositivo ha sido diseñado para minimizar la resistencia de estado activado y proporcionar un buen rendimiento de conmutación. Este tipo de producto es especialmente adecuado para aplicaciones de baja tensión y baja corriente. En lo que respecta este desarro-

llo, la necesidad de conectar dispositivos con diferente nivel llevo al uso de este convertor de 2 canales bidireccional que permite convertir de señales lógicas de 5V a 3.3V y de 3.3V a 5V. Su implementación permite acoplar señales que trabajan a diferentes voltajes para evitar estresar las entradas de los módulos o sensores.

FUENTE DE ALIMENTACIÓN MB102 3.3V/5V



Este módulo de alimentación de referencia YwRobot Power MB V2 permite a partir de una entrada de 6,5V a 12V seleccionar salidas de 3,3V, +5V y una de 5V por conector USB. Este es un módulo de suministro de energía para circuitos electrónicos o en placas perforadas, que simplifica la alimentación.

Figura 28: MB102 3.3V/5V

4.3.2 IoT Edge Platform

Esta capa esta conformada por los módulos de procesamiento y transmisión del montaje. Los componentes de esta capa son:

ESP32-WROOM-32



Figura 29: ESP32

Es un potente módulo MCU genérico que agrupa las tecnologías Wi-Fi y Bluetooth. Este microcontrolador es útil en múltiples aplicaciones como en la implementación de redes de sensores de baja potencia hasta en tareas exigentes como la codificación de voz. Cuenta con grandes beneficios en cuanto a desarrollo debido a su bajo consumo de energía y sus múltiples entornos de desarrollo de código abierto y bibliotecas.

El ESP32 cuenta con un gran grupo de periféricos y 34 pines digitales los cuales permiten agregar LEDs, botones y un sin número de adiciones a nuestro montaje. Cuenta con módulos UART que permiten establecer comunicaciones asíncronas entre dos dispositivos utilizando solamente dos pines.

El núcleo de este módulo es el chip ESP32-D0WDQ6 y cuenta con 4 MiB de memoria flash adicional. En lo que respecta la programación del dispositivo es posible usar entornos como el IDF de espressif, el IDE de Arduino y MicroPython.

GPRS SIM900 Arduino

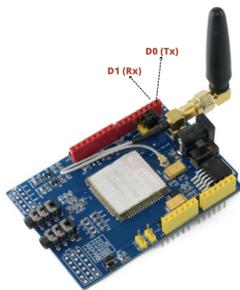


Figura 30: GSM/GPRS SIM900

Es una tarjeta ultra compacta de comunicación inalámbrica que trabaja en las bandas GSM 850MHz, EGSM 900MHz, DCS 1800MHz y PCS 1900MHz. SIM900 cuenta con GPRS multi-ranura clase 10/ clase8 (opcional) y soporta los esquemas de codificación GPRS CS-1, CS-2, CS-3 y CS-4. SIM900 integra el protocolo TCP/IP y los comandos AT TCP/IP extendidos que son muy útiles para las aplicaciones de transferencia de datos.

El puerto serie y el puerto de depuración pueden ayudar al usuario a desarrollar fácilmente aplicaciones. En Arduino se puede utilizar un puerto serial por software en los pines D7 y D8, el puerto Serial por hardware en los pines 0 y 1 o utilizar directamente el conversor

USB-Serial de la placa Arduino utilizando los pines D0(TX) y D1(RX) como se muestra en la Figura 30.

4.3.3 IoT Platform Repository

Su función es almacenar en una base de datos los datos recolectados por el micro-controlador ESP32 mediante el protocolo RS485 para después ser enviados vía TCP/IP por la tecnología de transmisión GPRS al servidor de la empresa Ecotecma. Como criterio de diseño se programo el envío de datos por medio de Wi-Fi como soporte de transmisión.

4.3.4 Enterprise Applications

Es la capa que permite a consumir los datos a partir del desarrollo de una API con protocolo http. En este caso, La arquitectura del sistema se tiene de forma tal que la empresa pueda consumir los datos desde su base de datos MongoDB de la forma más conveniente posible. Esta capa está compuesta por un servicio web el cual permite consultar y aprovechar los datos relacionados a los parámetros de suelo capturados en la *Capa IoT Endpoints*.

4.3.5 Diseño de la solución

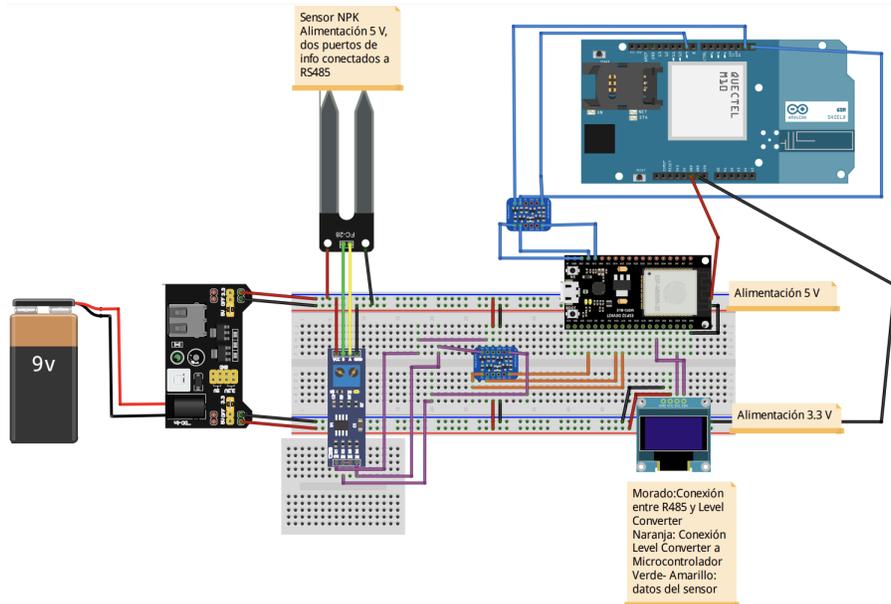


Figura 31: Breadboard del circuito. *Fuente: Autor*

El diseño de la solución se ejecuto modularmente de acuerdo al modelo de soluciones definido por Gartner. Como se abordó en el protoipo N de este desarrollo, la selección del sensor por parte de la empresa fue el eje orientador del diseño y desarrollo de este sistema. Como ya fue caracterizado en la sección de la *capa IoT endpoints* del presente prototipo, este sensor opera bajo el protocolo de comunicación maestro-esclavo *MODBUS RTU* por lo que fue necesario usar el módulo MAX485 Modbus para convertir las señales eléctricas entre TTL y la señalización diferencial utilizada por RS-485.

La *capa IoT platform repository* se compone de dos módulos definidos como procesamiento y envío de datos. El módulo de procesamiento esta conformado por el microcontrolador ESP32 y el módulo de transmisión por el SIM900.

4.3.6 Implementación

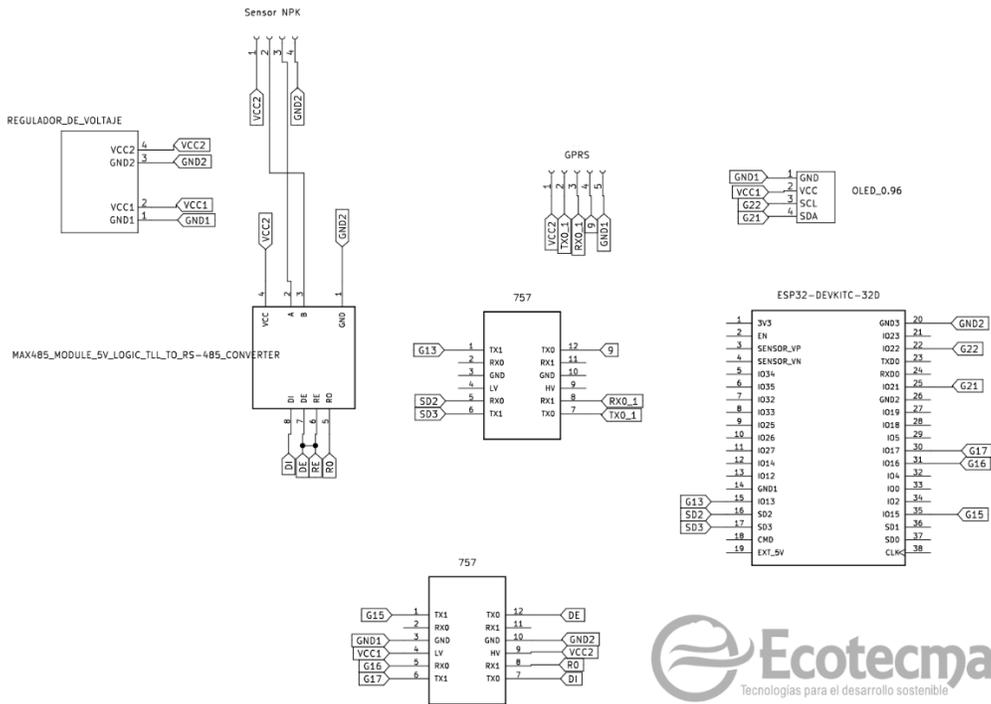


Figura 32: Esquemático del circuito. Fuente: Autor

De acuerdo a las características operativas de cada uno de los dispositivos se realizaron pruebas de transmisión con el fin de corroborar el buen estado de los integrados. A través del uso del ftdi ft232 se realizaron pruebas de transmisión con el convertor lógico, el ESP32 y el SIM900.

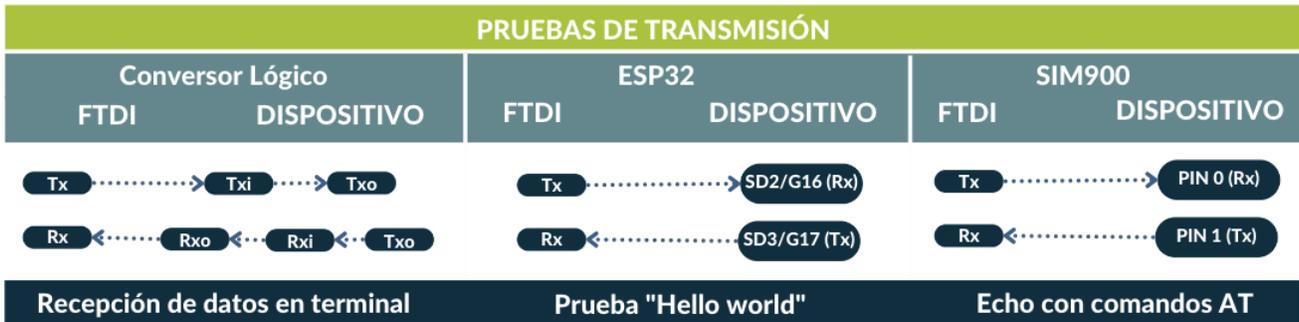


Figura 33: Configuración de pruebas de transmisión de componentes

Posterior a la obtención de los resultados expuesto en la Figura 33 se procedió a realizar el montaje del sistema. Teniendo en cuenta las características operativas del módulo de procesamiento

y el nodo final, con una adaptación de diseño (Puente entre DE/RE), por medio de un convertor lógico se acoplaron las señales lógicas de comunicación ya que eran requeridos diferentes niveles de señal, una señal lógica de 3.3V en el modulo de procesamiento y una señal lógica de 5V en el nodo final. El convertor de 2 canales bidireccional permitió convertir las señales lógicas de 5V a 3.3V y de 3.3 V a 5 V.

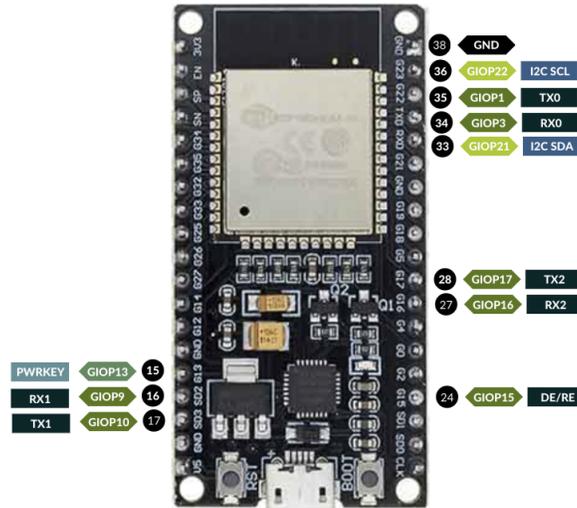


Figura 34: Pinout ESP32. Fuente: Autor

De acuerdo a la prueba de transmisión exitosa en los puertos *UART* del modulo de procesamiento así como se evidencia en la Figura 33 estos pines fueron configurados para el control de la comunicación entre los dispositivos. Es de resaltar, que a partir de la Figura 34 para la comunicación con nodo final se selecciono adicionalmente el *pin G15* para controlar la comunicación de la salida *DE/RE* del *MAX485*. Del mismo modo, en la comunicación entre el modulo de procesamiento y envio de datos se selecciono *PWRKEY* para el control del estado de encendido del *SIM900*. Adicionalmente como método de corroboración y prueba se utilizo una pantalla *OLED SSD1306* de 0,96 pulgadas. El modelo utilizado cuenta con cuatro pines y se comunica mediante el protocolo de comunicación *I2C*. Los pines seleccionados fueron los pines *GPIO 22* y *GPIO 21*.

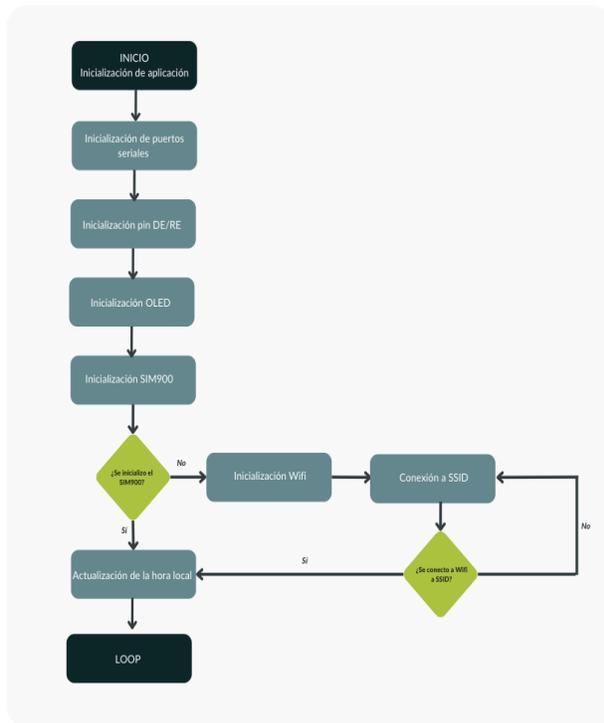
La selección consignada en la Figura 34 se describe a continuación:

- **Serial 0:** Puerto de debug (115200 baudios)
- **Serial 1:** Puerto de comunicación del ESP32 con el SIM900 (19200 baudios)
- **Serial 2:** Puerto de comunicación del ESP32 con el sensor RD S7
- **Pin G15:** Pin de salida usado para controlar la comunicación RS485 del sensor RD S7 en conjunto con su puerto serial asociado.
- **Pines G21 y G22:** Pines de comunicación I2C usados para la configuración e inicialización de la pantalla OLED.
- **Pines G13:** Pin de salida configurado para el control del encendido y apagado del SIM900.

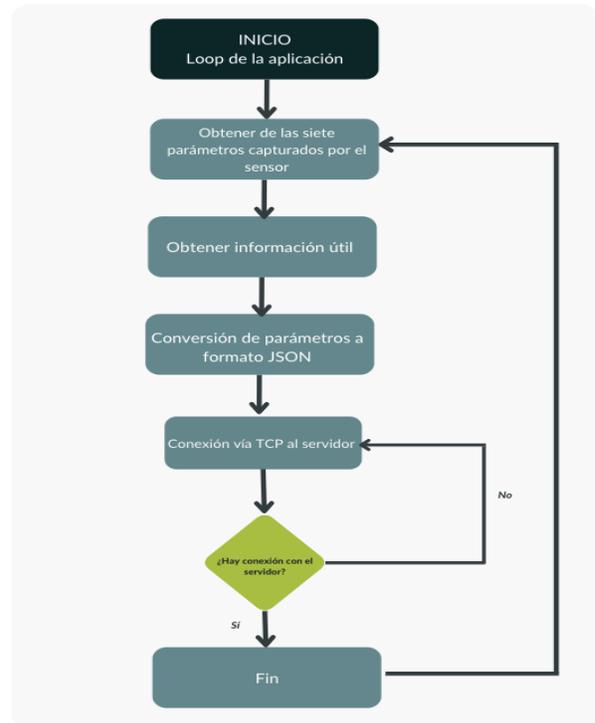
En lo que respecta al desarrollo del código fuente empleado para la interconexión del nodo final con el módulo de procesamiento y envío de datos se desarrollo una aplicación descrita a partir del diagrama de flujo mostrado a continuación:



(a) General



(b) Inicialización



(c) Loop

Figura 35: Diagrama de flujo de aplicación. Fuente: Autor

El funcionamiento de la aplicación parte de entender el funcionamiento del sensor. Para la interconexión del nodo final y poder recuperar los valores de los parámetros de suelo a través del comando *Modbus* se requiere enviar un comando conocido como trama de consulta. Los datos retornados se encuentran en código hexadecimal el cual puede ser parseado a partir del marco de consulta proporcionado en el codesheet.

Dentro de la lógica de desarrollo se realizó la inicialización de los puertos de comunicación del modulo de procesamiento y la configuración del *PWRKEY* para encender el SIM900 y verificar la comunicación por medio del envío del primer comando *AT*. Adicionalmente, de acuerdo a la respuesta *OK* por parte del modulo de envío de datos, se realiza la verificación de la conexión de la sim, la señal, el registro de la *APN* y la configuración de la *IP* del dispositivo.

Teniendo en cuenta la selección del terreno descrito en el *Prototipo N* y por el plan vertical adquirido por la empresa con el proveedor de servicios de telecomunicaciones se realizó la configuración de la sim y conexión del APN de Movistar con la información mostrada en la Figura 36

Nombre	Movistar Internet
APN	internet.movistar.com.co
Proxy	
Puerto	9001
Usuario	movistar
Contraseña	movistar
Servidor	192.240.222.7
Autenticación	PAP
Tipo de APN	Default

Figura 36: Información para configuración APN movistar

Dado el caso que dicha configuración no se pueda establecer por criterio de diseño se prosigue a la inicialización de Wi-Fi el cual hará un loop hasta conseguir conectarse con el *SSID* Y *PWD* reportados en el firmware.

Por consideraciones provistas por la empresa de asociación paramétrica a variables temporales, dependiendo del tipo de conexión el dispositivo descargara la fecha y hora en el ESP32 (Se actualizara con el RTC). Del mismo modo, dependiendo de la tecnología de conexión con el servidor vía TCP se ejecutara un loop hasta que la conexión socket se realice por medio de librerías de client para Wi-Fi y ESP32, o utilizando comandos AT al servidor.

La obtención de los siete parámetros de medida capturados por el nodo final son enviados a través de RS485 por medio de una trama de 19 bytes donde 5 son de verificación y los restantes corresponden a las medidas. Así como se explico anteriormente el marco de consulta y la trama recibida presentan la siguiente estructura presentada a continuación en la Figura 37

Address Code	Function Code	Register Start Address		Register Length		Low Check bit	High Check bit
0X01	0X03	0X00	0X00	0X00	0X07	0X04	0X08

(a) Trama de consulta

Address Code	Function Code	Number of valid bytes	INFORMACIÓN ÚTIL							Low Check bit	High Check bit
			Humedad	Temperatura	Conductividad EC	Nitrógeno	Fósforo	Potasio	Salinidad		
0X01	0X03	0X10	0X03 0XA8	0X01 0X11	0X05 0XB3	0X00 0X69	0X00 0X8F	0X01 0X63	0X03 0X22	0X02	0XD9

(b) Trama de respuesta

Figura 37: Trama de consulta y respuesta

La obtención de la información útil parte del envío de la trama de consulta que cuenta con la dirección, el tipo de lógica, el número de bytes que se va a enviar de la trama y al final como verificación, se encuentra el protocolo Modbus CRC16 que es un cálculo que se realiza para verificar que la trama de datos sea correcta y a su vez, balancear la señal.

Cuando la trama de 19 bytes es recibida, por medio de las instrucciones de cálculo del fabricante se pudieron obtener las variables. La siguiente ecuación permite obtener los parámetros de medida a partir de la operación matemática entre los números hexadecimales relacionados y consignados en la Figura 37b. En lo que respecta a la dinámica de transmisión y recepción previamente descrita, en la Figura 38 se evidencia la respuesta a la solicitud, el parseo y construcción del documento. Teniendo en cuenta el diseño de envío este proceso estará ligado a un ciclo de obtención de datos.

```
FE 01 03 0E 02 D8 00 C9 09 DA 00 B5 00 F8 02 66 05 6B CB
Moisture: 728 (x10 %)
Temperature: 201 (x10 C)
EC: 2522 us/cm
Nitrogen_Val: 181 mg/kg
Phosphorous_Val: 248 mg/kg
Potassium_Val: 614 mg/kg
Salinity_Val: 1387 mg/kg
Epoch Time: 1655259722
Envío de datos:
{"EpochTime":1655259722,"UUID":"123456789ABCDEF","Moisture":728,"Temperature":201,"EC":2522,"Nitrogen":181,"Phosphorous":248,"Potassium":614,"Salinity":1387}Da
tos enviados
```

Figura 38: Trama de recepción y transmisión de datos

$$\text{Medida} = (\text{VariableMSB}) * 256 + (\text{VariableLSB}) \quad (1)$$

En síntesis, en la configuración del loop general de la aplicación se realiza en el envío de la trama de consulta, la captura de la trama de respuesta, la obtención de la carga útil, la conversión

de los datos a formato *JSON* y la conexión con el servidor de la empresa Ecotecma para su respectivo envío.

Esta carga útil en formato *JSON* será guardada en la base de datos de la empresa para su posterior consulta y aprovechamiento. Es de resaltar que de acuerdo a los recursos provistos por la empresa y sus prácticas de desarrollo, se siguieron lineamientos específicos respecto a los límites asociados a las credenciales en el servidor y base de datos dadas. Este proceso de consulta va acorde al diagrama mostrado en la Figura 39

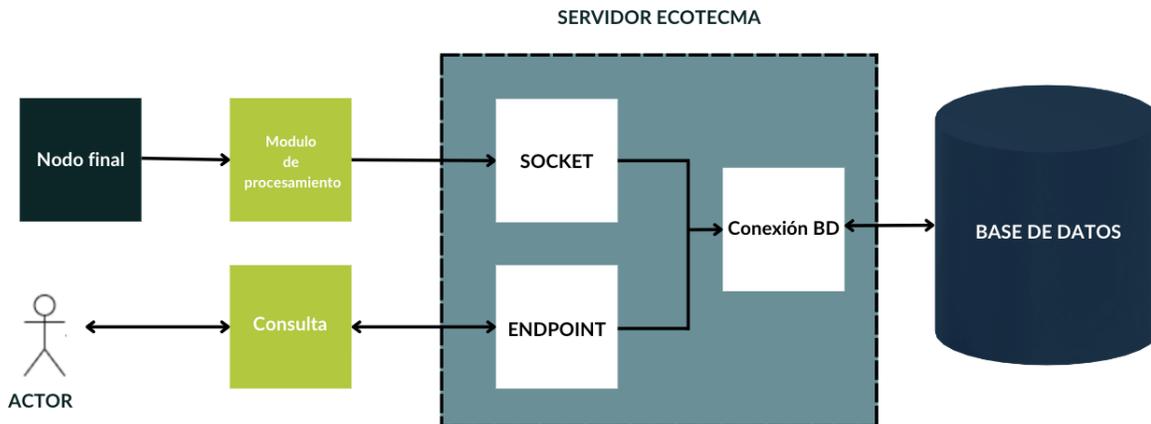


Figura 39: Diagrama de consulta en BD. Fuente: Autor

Se optó por una base de datos no relacional debido a la gran flexibilidad que permite su estructura en dado caso que se deban añadir o descartar parámetros en el futuro. Además, las bases de datos no relacionales se han convertido en un estándar de la industria para manejo de grandes volúmenes de datos, lo cuál es el caso de uso presente. Se plantea el uso de un servidor centralizado debido a la facilidad de gestión de los servicios, así como ágil implementación y despliegue.

El servidor se compone de dos servicios principales:

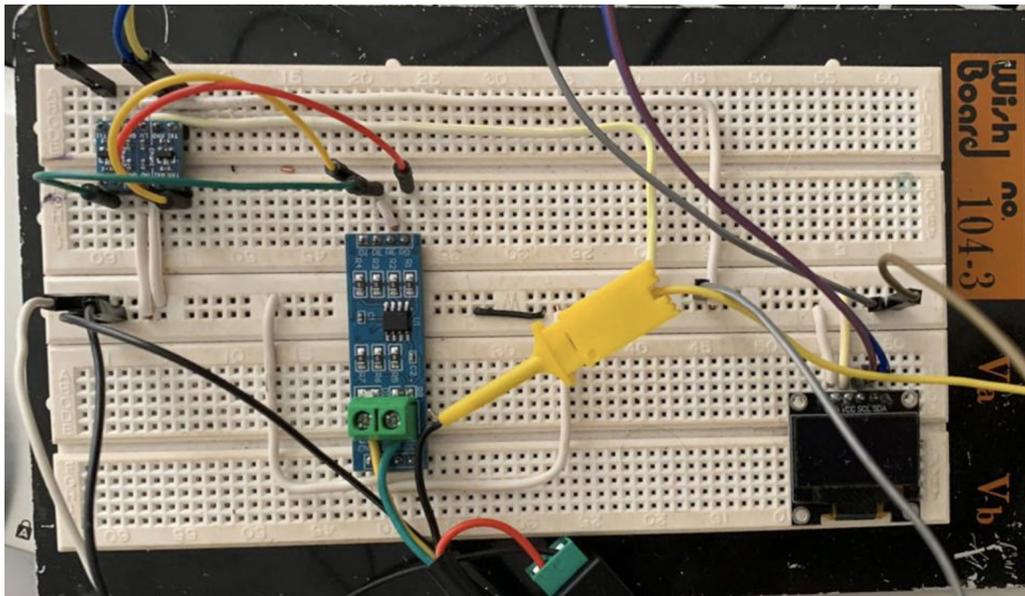
- **Servicio 1:** Endpoint del servidor por medio del cual se pueden consultar todos los documentos guardados anteriormente en la base de datos. Este endpoint se construyó sobre el protocolo *http*, por lo que recibe una única petición de tipo *GET* para retornar los documentos. Se hace necesario este servicio ya que se deben poder consultar los registros anteriores de una manera sencilla y estandarizada para su posible integración con otras aplicaciones y aprovechamiento de los datos.
- **Servicio 2:** Socket usado para que el microcontrolador envíe los datos obtenidos para su posterior tratamiento y registro en la base de datos. Se exploraron alternativas como la conexión directa entre el microcontrolador y la base de datos, pero se llegó a la conclusión de que complicaría la arquitectura del sistema, así como la alta complejidad para establecer la conexión y hacer el envío de datos de una manera fiable.

El servidor cuenta con otro servicio como lo es la conexión a la base de datos, pero este servicio solo está disponible para el servidor, los usuarios lo usarían de manera indirecta para el guardado o consulta de datos.

En lo que respecta al desarrollo del código fuente se usaron los módulos *pymongo* (3.12 - Versión usada en las bases de datos de la empresa), *http*, *socketserver*, *socket*, *urllib*, *re* y *threading*. Se establece una conexión a la base de datos por medio de *MONGO_URI* con las credenciales proporcionadas por la empresa para efectuar los servicios 1 y 2, los cuales en síntesis define el Endpoint simple que recibe una petición GET por el puerto 3005 y retorna todos los documentos guardados en la base de datos y el Socket que recibe los datos del microcontrolador, procesa los datos y envía los datos a ser guardados en un nuevo documento en la base de datos. Es de resaltar que se usa el módulo de *threading* para establecer los dos servicios en el mismo proceso sin interferir entre ellos.

4.3.7 Resultados

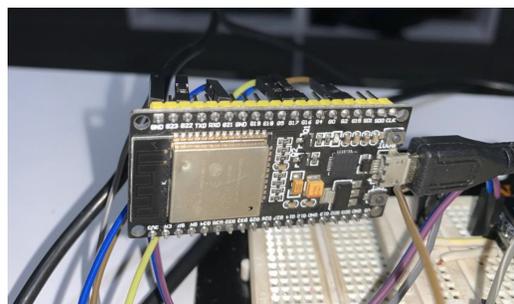
Como se presenta a continuación en la Figura 40 se evidencia del montaje de pruebas de los módulos anteriormente descritos:



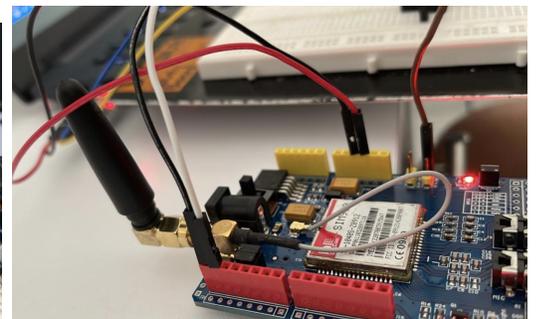
(a) Montaje circuital de pruebas - Nodo final



(b) modulo de sensado



(c) Modulo de procesamiento

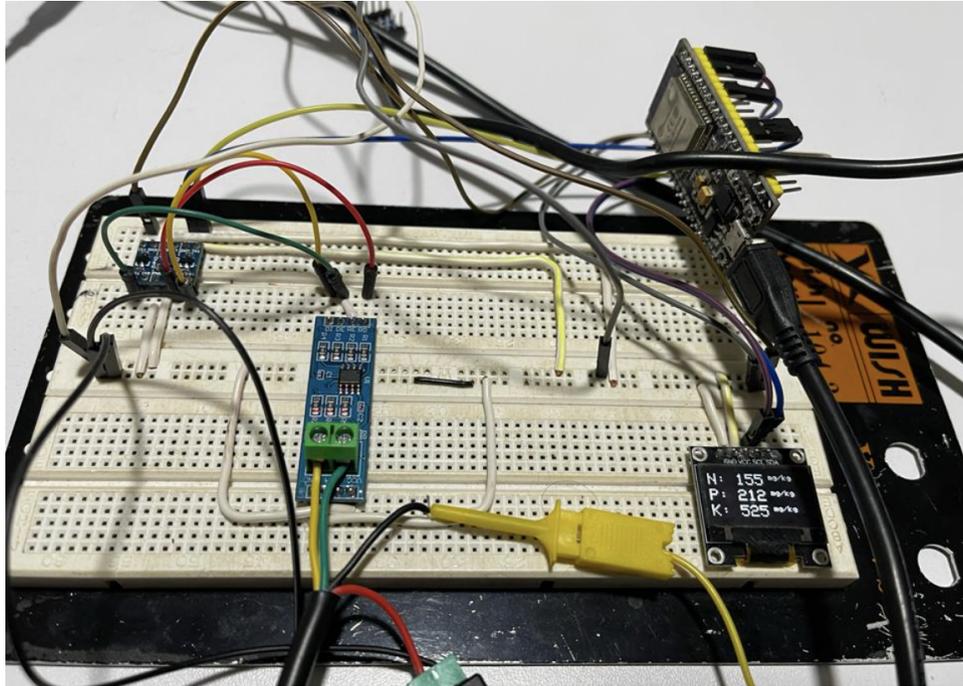


(d) Modulo de transmisión

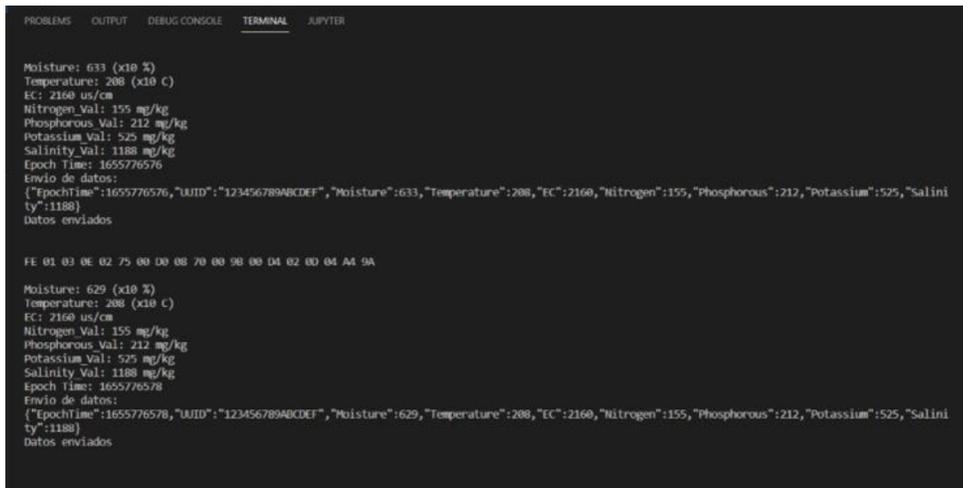
Figura 40: Montaje circuital de pruebas

Abordando la necesidad de la empresa relacionada a la monitorización de los requerimientos

nutricionales del suelo en los cultivos de café, como se muestra en la Figura 41 se llevo un control de los valores de los parámetros de Nitrógeno, Fósforo y Potasio, por medio del uso de un OLED que permite visualizar su comportamiento directamente en el montaje.



(a) Prueba de visualización en OLED



(b) Prueba de visualización en terminal

Figura 41: Pruebas de captura y visualización de datos.

Ligado a la verificación de transmisión y almacenamiento de los datos las pruebas iniciales permitieron confirmar la viabilidad del prototipo. Con fines prácticos, así como se muestra en la Figura 42 el desarrollo fue diseñado en una PCB la cuál se dejó a cargo de una empresa

Cabe resaltar que esta API no está diseñada en el momento para el usuario final (caficultores caucanos); sino que fue montada con respecto a las necesidades de almacenamiento de datos del servidor de Ecotecma.

Capítulo 5. Interfaz de programación para el consumo de los datos

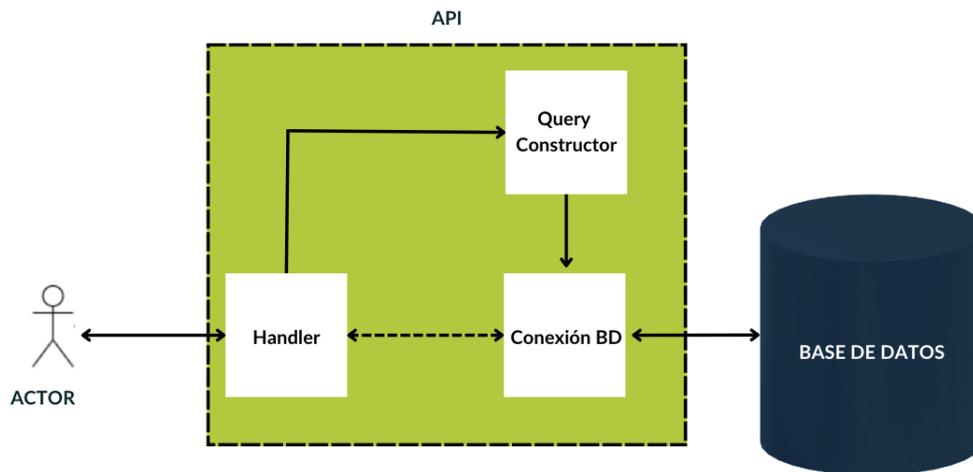


Figura 44: Diagrama API. Fuente: Autor

La arquitectura del sistema se tiene tal que un usuario pueda consumir los datos de la base de datos de la forma más conveniente posible, es por ello que se emplea una API con protocolo http para hacer el consumo de los datos de la base de datos.

Se optó por usar la librería flask de Python ya que permite la creación de endpoints de manera sencilla, ágil y escalable. Debido a los requerimientos de la API, se diseña una arquitectura interna tal como se ve en la Figura 44, con una comunicación virtual entre el handler de las peticiones y la conexión a la base de datos usando un middleware creado para satisfacer las necesidades específicas del proyecto. El patrón de diseño flask_restful es una extensión de flask que permite crear una API confiable que no depende de consultas previas.

```
from flask import Flask
from flask_restful import Resource, Api, reqparse
from pymongo import MongoClient
import urllib
import re

MONGO_USER = urllib.parse.quote_plus('USERNAME')
```

```

MONGO_PASS = urllib.parse.quote_plus('PASSWORD')
client = MongoClient('mongodb://' + MONGO_USER + ':' + MONGO_PASS + '@93
    .188.xxx.xxx:27017/?authSource=sensoresLora')
db = client.sensoresLora
myCollection = db.testSensors

```

Source Code 1: Módulos

Para la construcción de este solución se establece una conexión a la base de datos por medio de MONGO_URI con las credenciales proporcionadas por la empresa. A su vez se monta el servidor web por medio de flask y se importan las utilidades necesarias para la construcción del servidor mediante flask_restful. Es importante resaltar que el esquema de conexión URI estándar tiene la forma:

```

mongodb://[username:password@]host1[:port1][,...hostN[:portN]]/[
    defaultauthdb][?options]

```

El handler es el encargado de recibir las peticiones hechas a la API y procesarlas para dar respuesta al usuario. En el caso específico del proyecto sólo acepta peticiones tipo GET y los parámetros de consulta para realizar el filtrado de la información devuelta al usuario. Se crea un objeto de depuración a partir de la utilidad *reqparse* el cuál realiza una búsqueda de los parámetros aceptado en la API por valor (exacto o rango) o condición (cantidad, orden a partir de un parámetro específico y/o paginación). La interfaz de análisis de solicitudes de Flask-RESTful, *reqparse*, se basa en la interfaz *argparse* la cuál esta diseñada para proporcionar un acceso simple y uniforme a cualquier variable del objeto flask.request en Flask. Por defecto, los argumentos no son necesarios aunque por consideraciones de diseño se definió por defecto para la visualización de la consulta los primeros diez 10 variables y un orden descendente relacionado a partir del Epochtime.

```

class ApiHandler(Resource):
    def get(self):
        parser = reqparse.RequestParser()
        #[exact value]
        parser.add_argument('Moisture', type=int, location = 'args')
        parser.add_argument('Temperature', type=int, location = 'args')
        parser.add_argument('Salinity', type=int, location = 'args')
        parser.add_argument('Potassium', type=int, location = 'args')
        parser.add_argument('Nitrogen', type=int, location = 'args')
        parser.add_argument('Phosphorous', type=int, location = 'args')
        parser.add_argument('EC', type=int, location = 'args')
        parser.add_argument('EpochTime', type=int, location = 'args')

        [Ranges_values]
        parser.add_argument('MoistureMin', type=int, location = 'args')
        parser.add_argument('TemperatureMin', type=int, location = 'args')
        parser.add_argument('SalinityMin', type=int, location = 'args')
        parser.add_argument('PotassiumMin', type=int, location = 'args')
        parser.add_argument('NitrogenMin', type=int, location = 'args')
        parser.add_argument('PhosphorousMin', type=int, location = 'args')
        parser.add_argument('ECMin', type=int, location = 'args')
        parser.add_argument('EpochTimeMin', type=int, location = 'args')

```

```

parser.add_argument('MoistureMax', type=int, location = 'args')
parser.add_argument('TemperatureMax', type=int, location = 'args')
parser.add_argument('SalinityMax', type=int, location = 'args')
parser.add_argument('PotassiumMax', type=int, location = 'args')
parser.add_argument('NitrogenMax', type=int, location = 'args')
parser.add_argument('PhosphorousMax', type=int, location = 'args')
parser.add_argument('ECMax', type=int, location = 'args')
parser.add_argument('EpochTimeMax', type=int, location = 'args')

parser.add_argument('limit', type=int, location = 'args')
parser.add_argument('page', type=int, location = 'args')
parser.add_argument('sort', type=str, location = 'args')
parser.add_argument('order', type=int, location = 'args')

args = parser.parse_args()
filterForQuery = optionsDictConstructor(args)
limitQuery = args['limit'] if args['limit'] != None else 10
pageQuery = args['page'] - 1 if args['page'] != None and args['page
'] > 1 else 0
sortQuery = args['sort'] if args['sort'] != None else 'EpochTime'
orderQuery = args['order'] if args['order'] != None else -1

documents = myCollection.find(filterForQuery, {"_id":0}) \
                                .limit(limitQuery) \
                                .skip(pageQuery*limitQuery) \
                                .sort([(sortQuery,orderQuery)])

```

Source Code 2: API-Handler

El método `parse_args()` permite inspeccionar la línea de comandos y convertir cada argumento al tipo apropiado para luego invocar la acción apropiada. En la mayoría de los casos, esto significa que se construirá un objeto simple a partir de los atributos. Por otra parte el Query Constructor es creado para crear el objeto de filtrado de búsqueda en la base de datos de acuerdo a los parámetros indicados en la petición por el usuario. La creación de un puntero como representación de lo que tenemos en la base de datos permite que se optimicen recursos de ancho de banda y de base de datos.

MongoDB necesita un objeto de filtrado muy específico que con el fin de darle todas las capacidades a la consulta realizada define un proceso de guardado del diccionario de argumentos capturados con el fin de a partir de un patrón de búsqueda filtrar la información de la base de datos

```

def rangeQuery(min=None, max=None):
    basisDict = {}
    if min != None:
        basisDict['gte'] = min if max != None : basisDict['lte']
    ] = max
    return basisDict

def optionsDictConstructor(parameters):
    optionsDict = {}
    finalQueryDict = {}

```

```

for key in parameters:
    if key == 'limit' or key == 'page' or key == 'sort' or key == '
order':
        continue
    minMatch = re.search('Min',key)maxMatch = re.search('Max'
,key)
    if (key == 'Moisture' or \
key == 'Temperature' or \
key == 'Salinity' or \
key == 'Potassium' or \
key == 'Nitrogen' or \
key == 'Phosphorous' or \
key == 'EC' or \
key == 'EpochTime') and \
parameters[key] != None:
        if key in optionsDict:
            optionsDict[key]['value'] = parameters[key]
        else:
            optionsDict[key] = {'value': parameters[key]}
    elif minMatch and parameters[key] != None:
        currentKey = re.split('Min', key)[0]
        if currentKey in optionsDict:
            optionsDict[currentKey]['min'] = parameters[key]
        else:
            optionsDict[currentKey] = {'min': parameters[key]}
    elif maxMatch and parameters[key] != None:
        currentKey = re.split('Max', key)[0]
        if currentKey in optionsDict:
            optionsDict[currentKey]['max'] = parameters[key]
        else:
            optionsDict[currentKey] = {'max': parameters[key]}

for key in optionsDict:
    if 'value' in optionsDict[key]:
        finalQueryDict[key] = optionsDict[key]['value']
    else:
        hasMin = optionsDict[key]['min'] if 'min' in optionsDict[key]
else None
        hasMax = optionsDict[key]['max'] if 'max' in optionsDict[key]
else None
        finalQueryDict[key] = rangeQuery(hasMin, hasMax)

return finalQueryDict

```

Source Code 3: Query Constructor

La conexión con la base de datos es el objeto encargado de pedir los datos solicitados de acuerdo al objeto de filtrado. Las peticiones hechas a la API deben tener como url base la IP publica del servidor, en el puerto 4000 y apuntar al endpoint /getdata (93.188.167.110:4000/getdata) asi como se muestra en las Figuras 45 y 46. Si no se entrega ningún tipo de query params, la API retorna por defecto los primeros 10 registros existentes en la base de datos. En términos de diseño, si la búsqueda realizada es definida por rango, no es necesario definir ambos límites, ya que el otro extremo sera estimado como el valor máximo o el valor mínimo según corresponda. La consulta podrá ser solicitada por rangos y medidas exactas, las cuales se ordenan por defecto

según el EpochTime y de forma ascendente. La estructura de la consulta estará definida así:

```
[IP][:port]/[getdata]?[query_param]=[value]...&[query_param]=[value]]
```

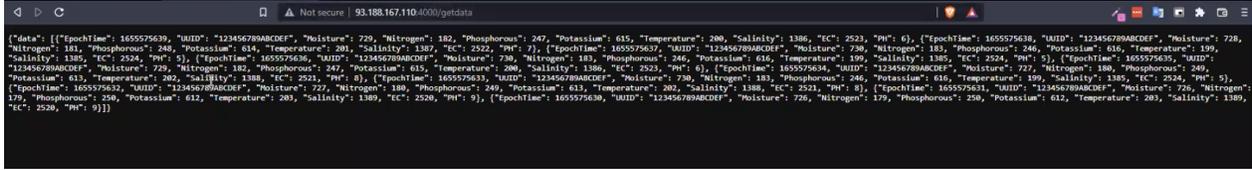


Figura 45: Dirección de consumo de datos

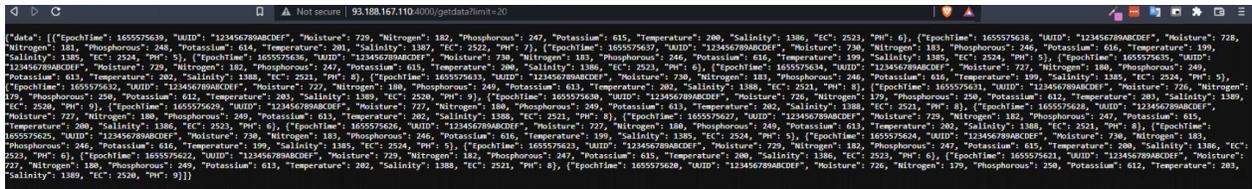


Figura 46: Ejemplo de consulta

Capítulo 6. Conclusiones y trabajos futuros

6.1 Conclusiones

Del presente trabajo de grado se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- *Sustentados en la mapeo y revisión sistemática de la literatura el emplear herramientas como se presenta en este proyecto dentro del paradigma de la agricultura de precisión mejora la productividad y sostenibilidad de las practicas agrícolas ya que permite reducir la huella ambiental de los cultivos, reducir gastos por la disminución de la necesidad de insumos, y aumento de la calidad del fruto. Este tipo de sistemas permite realizar un control efectivo de los cultivos ya que reduce el tiempo de obtención de datos de control de parámetros en comparación a los métodos tradicionales de uso de reactivos químicos y medición in-situ.*
- *Se desarrolló un sistema de monitorización de parámetros de suelo que integra un sensor comercial de nitrógeno, fósforo, potasio, humedad, temperatura, conductividad eléctrica y salinidad para un pequeño sistema productivo de café basados en el modelo de soluciones IoT propuesto por Gartner.*
- *Se logró determinar un conjunto de sensores comerciales para la monitorización de parámetros de suelo en un sistema productivo de café. La revisión comercial acoge las características operativas de los dispositivos y un rango comparativo de capacidad de sensado de múltiples parámetros de suelo relacionados a las condiciones físicas y químicas del suelo. En lo que respecta a la selección de los dispositivos de la capa IoT Endpoints se destaca el sensor RD-S7-S por su interoperabilidad ya que puede ser utilizado con cualquier microcontrolador por medio de un modulo Modbus como RS485/MAX485.*
- *El sistema actúa como una herramienta de apoyo preliminar de monitorización de datos en tiempo real para servicios como asistencia técnica virtual, generación de alertas tempranas y análisis predictivos relacionados con la gestión nutricional del cultivo, considerando, que los servicios mencionados requieren de una alta disponibilidad de datos del sistema productivo a escala local, que permitan la generación de información específica de manejo.*
- *Se estableció la arquitectura IoT de monitorización de parámetros de suelo en un sistema productivo de café del departamento del Cauca que sirve y se puede incorporar a los servicios ofrecidos por la empresa Ecotecma.*

- *Se comprueba la viabilidad de la funcionalidad del diseño del prototipo final. Se comprueba la interoperatividad entre los dispositivos y comunicación con el servidor de la empresa. El diseño de los prototipos denominados como inicial, I y II permiten que el desarrollo del sistema de monitorización sea trazable y justifique las modificaciones en cuanto a la arquitectura del sistema acogida a los requerimientos de la empresa en el desarrollo del proyecto.*
- *Se creó una Interfaz de Programación de Aplicaciones para el consumo de los datos obtenidos a partir del sistema de monitorización establecido.*

6.2 Trabajos futuros

Con el objetivo de escalar y mejorar el sistema de monitorización y el aporte en el desarrollo de sistemas que requieran una gran cantidad de datos se proponen los posibles trabajos a futuro para continuar en la misma línea de desarrollo:

- Se sugiere realizar una validación de los datos obtenidos por el sistema a partir de pruebas químicas in-situ que corroboren la fiabilidad de los datos obtenidos por los sensores.
- Se sugiere complementar el funcionamiento de la arquitectura de referencia aumentando los nodos en la capa *IoT Endpoints*, con el fin de generar un mayor volumen de datos y con ello dar pie al desarrollo de sistemas predictivos que permitan elaborar planes de nutrición, definiciones enmiendas relacionadas a las necesidades específicas de los cafetales.
- Se sugiere expandir la arquitectura con la incorporación de múltiples dispositivos que refuercen las capas. Definir una estructura tal que se diferencie y separen el módulo de sensado del módulo de transmisión.
- Se sugiere abordar los flancos de seguridad y mejora de visualización del diseño del producto. La API pública para el consumo de los datos en la base de datos puede ser accedida a partir de la dirección de visualización de datos. Posterior a la captura de grandes volúmenes de datos evaluar el escalamiento horizontal ofrecido por el tipo de base de datos de MongoDB.

Referencias

- [1] R. A. Mejía, “Incidencia de la baja productividad cafetera en las familias en el Área rural del corregimiento de atagracia del municipio de pereira.” [Online]. Available on: "core.ac.uk/download/pdf/84108687.pdf", 2016.
- [2] C. A. N. G. V. B. M. I. L. M. N. R. Dra Jessica Eise, Andrés Forero-Serna, “Desarraigo-la tierra.” [Online]. Available on: "<https://videopress.com/v/658S15of>", 2019.
- [3] L. A. Ferguson, “The impact of coffee production on the economy of colombia.” [Online]. Available on: "scholarcommons.sc.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1151context=senior_theses", 2017.
- [4] OECD-FAO, “Ocde-fao perspectivas agrícolas 2014 | oecd read edition.” [Online]. Available on: "http://www.keepeek.com/Digital-Asset-Management/oecd/agriculture-and-food/ocde-fao-perspectivas-agricolas-2014_agr_outlook-2014-es#page8", 2014.
- [5] M. P. d. F. Ing. Miguel Barquero Miranda, “La roya del cafe.” [Online]. Available on: "http://www.icafe.cr/wp-content/uploads/roya_cafe/recomendaciones_tecnicas/publicaciones/guias_revistas/Brochure%20de%201a%20Roya%20del%20Cafe.pdf", 2013.
- [6] M. Z. Ginya Truitt Nakata, “La próxima despensa global: cómo américa latina puede alimentar al mundo: un llamado a la acción para afrontar desafíos y generar soluciones.” [Online]. Available on: "<https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/La-pr%C3%B3xima-despensa-global-C%C3%B3mo-Am%C3%A9rica-Latina-puede-alimentar-al-mundo-Un-llamado-a-la-acci%C3%B3n-para-afrontar-desaf%C3%ADos-y-generar-soluciones.pdf>", 2014.
- [7] Food and Agriculture Organization of the United Nations, *The state of food and agriculture 2016 (Chinese)*. Rome, Italy: Food & Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Mar. 2017.
- [8] L. Horváth, “Determination of the nitrogen compound balance between the atmosphere and a norway spruce forest ecosystem,” *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, vol. 70, pp. 143–146, 01 2004.
- [9] R. B. Thompson, N. Tremblay, M. Fink, M. Gallardo, and F. M. Padilla, *Tools and Strategies for Sustainable Nitrogen Fertilisation of Vegetable Crops*, pp. 11–63. Cham: Springer International Publishing, 2017.
- [10] M. Paul, S. Vishwakarma, and A. Verma, “Analysis of soil behaviour and prediction of crop yield using data mining approach,” pp. 766–771, 12 2015.
- [11] A. T. M. S. Ahamed, N. T. Mahmood, N. Hossain, M. T. Kabir, K. Das, F. Rahman, and R. M. Rahman, “Applying data mining techniques to predict annual yield of major crops and recommend planting different crops in different districts in bangladesh,” in *2015 IEEE/ACIS 16th International Conference on Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking and Parallel/Distributed Computing (SNPD)*, pp. 1–6, 2015.

- [12] A. Manjula and G. Narsimha, "Xcypf: A flexible and extensible framework for agricultural crop yield prediction," *2015 IEEE 9th International Conference on Intelligent Systems and Control (ISCO)*, pp. 1–5, 2015.
- [13] O. Delgadillo-Vargas, R. Garcia-Ruiz, and J. Forero-Álvarez, "Fertilising techniques and nutrient balances in the agriculture industrialization transition: The case of sugarcane in the cauca river valley (colombia), 1943–2010," *Agriculture, Ecosystems Environment*, vol. 218, pp. 150–162, 2016.
- [14] F. M. Padilla, M. Gallardo, M. T. Peña-Fleitas, R. De Souza, and R. B. Thompson, "Proximal optical sensors for nitrogen management of vegetable crops: A review," *Sensors*, vol. 18, no. 7, 2018.
- [15] "Una guía paso a paso para apoyar a los productores de café en la adaptación al cambio climático. la adaptación al cambio climático en la producción de café." [Online]. Available on: "toolbox.coffeeandclimate.org/wp-content/uploads/cc-step-by-step-guide-for-climate-change-adaptation-in-coffee-production_SPANISH.pdf"., 2016.
- [16] "Fertilización: Una práctica que determina la producción de los cafetales. avance tecnico 391 cenicafé." [Online]. Available on: "www.cenicafe.org/es/publications/avt0391.pdf", Jan, 2010.
- [17] H. S. R. M. M. Y. M. Fox, Claire Furguele Joanna, "Climate change and coffee communities in latin america." [Online]. Available on: "https://dukespace.lib.duke.edu/dspace/bitstream/handle/10161/9688/CCC_Masters_Project.pdf?sequence=1", 2017.
- [18] D. U. Manuel Betancur, David Ospina, "Cambios en las prácticas del caficultor tradicional," *Universidad Pontificia Bolivariana - Medellín, Antioquia*, pp. 13–16, 2017.
- [19] e. a. de Clercq, Matthieu, "“agriculture 4.0: the future of farming technology .” world government summit." [Online]. Available on: "www.mmc.com/content/dam/mmc-web/insights/publications/2018/november/agriculture-4-0/Oliver-Wyman-Agriculture-4.0.pdf", Feb. 2018.
- [20] L. M. R.K. Pachauri, Margaret Zeigler, "Cambio climático 2014: Informe de síntesis. contribución de los grupos de trabajo i, ii y iii al quinto informe de evaluación del grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático," 2014.
- [21] C. A. N. G. V. B. M. I. L. M. N. R. Dra Jessica Eise, Andrés Forero-Serna, "El cambio climático amenaza el futuro del café colombiano." [Online]. Available on: "<https://www.elespectador.com/colombia/mas-regiones/el-cambio-climatico-amenaza-el-futuro-del-cafe-colombiano-article/>", 2020.
- [22] B. Kitchenham and S. Charters, "Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering," 2007.

- [23] Gartner, "Sistema para la medición de gases de efecto invernadero mediante los principios del internet de las cosas, alineado al cumplimiento de los compromisos de colombia ante las naciones unidas," 2020.
- [24] K. Petersen, R. Feldt, S. Mujtaba, and M. Mattsson, "Systematic mapping studies in software engineering," *Proceedings of the 12th International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering*, vol. 17, 06 2008.
- [25] ITU-T, "Y.2238 : Overview of smart farming based on networks." [Online]. Available on: "<https://www.itu.int/rec/T-REC-Y.2238-201506-I/en>", 2015.
- [26] B. Mazon-Olivo and A. Pan, "Internet of things: State-of-the-art, computing paradigms and reference architectures," *IEEE Latin America Transactions*, vol. 20, pp. 49–63, 12 2021.
- [27] S. C. Kerns and J.-L. Lee, "Automated aeroponics system using IoT for smart farming," *European Scientific Journal*, Nov. 2017.
- [28] M. Rizzi, P. Ferrari, A. Flammini, and E. Sisinni, "Evaluation of the iot lorawan solution for distributed measurement applications," *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 66, no. 12, pp. 3340–3349, 2017.
- [29] H. van Es, "A new definition of soil," *CSA News*, vol. 62, p. 20, 10 2017.
- [30] S. Ahmed, S. Brinkley, E. Smith, A. Sela, M. Theisen, C. Thibodeau, T. Warne, E. Anderson, N. V. Dusen, P. Giuliano, K. E. Ionescu, and S. B. Cash, "Climate change and coffee quality: Systematic review on the effects of environmental and management variation on secondary metabolites and sensory attributes of coffea arabica and coffea canephora," *Frontiers in Plant Science*, vol. 12, Oct. 2021.
- [31] S. Krishnan, "Sustainable coffee production," *Oxford Research Encyclopedia*, pp. 1–34, 06 2017.
- [32] D. Gosai, C. Raval, R. Nayak, H. Jayswal, and A. Patel, "Crop recommendation system using machine learning," *International Journal of Scientific Research in Computer Science, Engineering and Information Technology*, pp. 558–569, June 2021.
- [33] L. Raghavendra and M. Venkatesha, "Water and soil quality of coffee plantations in the western ghats region, chikkamagaluru district, karnataka, india," *Current World Environment*, vol. 15, pp. 502–514, 12 2020.
- [34] J. S. L. H. W. Y. T. R. L. Q, "“open source hardware to monitor environmental parameters in precision agriculture.” biosystems engineering, academic press," 2017.
- [35] e. a. Kim, Hak-Jin, "“soil macronutrient sensing for precision agriculture.” journal of environmental monitoring, the royal society of chemistry." [Online]. Available on: "pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2009/em/b906634a", 13 Aug. 2009.
- [36] T. Georgieva, N. Paskova, B. Gaazi, G. Todorov, and P. Daskalov, "Design of wireless sensor network for monitoring of soil quality parameters," *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, vol. 10, pp. 431–437, 2016. 5th International Conference .Agriculture for Life, Life for Agriculture".

- [37] A. Srivastava, D. K. Das, and R. Kumar, "Monitoring of soil parameters and controlling of soil moisture through iot based smart agriculture," in *2020 IEEE Students Conference on Engineering Systems (SCES)*, pp. 1–6, 2020.
- [38] M. Altieri, F. Funes-Monzote, and P. Petersen, "Agroecologically efficient agricultural systems for smallholder farmers: Contributions to food sovereignty," *Agronomy for Sustainable Development*, vol. 32, 01 2011.
- [39] N. R. Rodríguez, E. V. Bedoya, L. F. R. Betancur, and S. M. M. Girón, "Characterization and typification of coffee production systems (coffea arabica l.), andes municipality," *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, vol. 70, pp. 8327–8339, Sept. 2017.
- [40] A. Solis Pino and J. Hurtado, "Reutilización de software en la robótica industrial: Un mapeo sistemático," *Revista iberoamericana de automática e informática industrial (RIAI)*, vol. 17, pp. 354–367, 09 2020.
- [41] F. Agüera, F. Carvajal, and M. Pérez, "Measuring sunflower nitrogen status from an unmanned aerial vehicle-based system and an on the ground device," *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. XXXVIII-1/C22, pp. 33–37, 09 2012.
- [42] U. Lussem, J. Hollberg, J. Menne, J. Schellberg, and G. Bareth, "Using calibrated rgb imagery from low-cost uavs for grassland monitoring: Case study at the rengen grassland experiment (rge), germany," *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. XLII-2/W6, pp. 229–233, 08 2017.
- [43] V. Lukas, J. Novak, L. Neudert, I. Svobodova, F. Rodriguez-Moreno, M. Edrees, and J. Kren, "The combination of uav survey and landsat imagery for monitoring of crop vigor in precision agriculture," *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. XLI-B8, pp. 953–957, 06 2016.
- [44] R. Thompson, M. Gallardo, and W. Voogt, "Optimizing nitrogen and water inputs for greenhouse vegetable production," *Acta Horticulturae*, vol. 1107, pp. 15–30, 12 2015.
- [45] J. Kim, J. Lea-Cox, M. Chappell, and M. Van Iersel, "Wireless sensors networks for optimization of irrigation, production, and profit in ornamental production," *Acta horticulturae*, vol. 1037, pp. 643–649, 05 2014.
- [46] E. Lichtenberg, J. Majsztrik, and M. Saavoss, "Profitability of sensor-based irrigation in greenhouse and nursery crops," *HortTechnology*, vol. 23, pp. 770–774, 12 2013.
- [47] F. A. Burbano Molano, "Redes de sensores inalámbricos aplicadas a optimización en agricultura de precisión para cultivos de café en colombia." [Online]. Available on: "<https://www.docplayer.es/12721892-Agricultura-de-precision-para-cultivos-de-cafe-en-colombia.html>"., 2013.
- [48] W. R. Martínez, Y. Díaz-Gutiérrez, R. Ferro-Escobar, and L. Pallares, "Application of the internet of things through a network of wireless sensors in a coffee crop for monitoring and control its environmental variables," *TecnoLógicas*, vol. 22, pp. 155–170, Sept. 2019.

- [49] M. R. M. Kassim, I. Mat, and A. N. Harun, "Wireless sensor network in precision agriculture application," in *2014 International Conference on Computer, Information and Telecommunication Systems (CITS)*, IEEE, July 2014.
- [50] A. Cama-Pinto, F. Gil-Montoya, J. Gómez-López, A. García-Cruz, and F. Manzano-Agugliaro, "Wireless surveillance sytem for greenhouse crops," *DYNA*, vol. 81, p. 164, Apr. 2014.
- [51] A. Barroso García, "Control y monitorizaciÓn de un invernadero a travÉS de una aplicaciÓn móvil. universidad politÉcnica de madrid escuela tÉcnica superior de ingeniería y diseÑo industrial." [Online]. Available on: "oa.upm.es/36945/1/tesis_master_andres_barroso_garcia.pdf", 2015.
- [52] M. Mamani, M. Villalobos, and R. Herrera, "Sistema web de bajo costo para monitorear y controlar un invernadero agrícola," *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, vol. 25, pp. 599–618, Dec. 2017.
- [53] J. Granda-Cantuna, C. Molina-Colcha, S.-E. Hidalgo-Lupera, and C.-D. Valarezo-Varela, "Design and implementation of a wireless sensor network for precision agriculture operating in API mode," in *2018 International Conference on eDemocracy } eGovernment (ICEDEG)*, IEEE, Apr. 2018.
- [54] U. A. (v1.6), "Ubidots api." [Online]. Available on: "<https://ubidots.com/docs/sw/>", 2018.
- [55] P. Patil, V. H., S. Patil, and U. Kulkarni, "Wireless sensor network for precision agriculture," in *2011 International Conference on Computational Intelligence and Communication Networks*, IEEE, Oct. 2011.
- [56] F. nacional de cafeteros, "Herramientas para enfrentar la variabilidad climática y el cambio climático." [Online]. Available on: "<https://federaciondecafeteros.org/wp/blog/herramientas-para-enfrentar-la-variabilidad-climatica-y-el-cambio-climatico/>", 2021.
- [57] M. P. Baena Jaramillo, "Los cafeteros del cauca se adaptan al cambio climático." [Online]. Available on: "<https://www.elespectador.com/noticias/medio-ambiente/los-cafeteros-del-cauca-se-adaptan-al-cambio-climatico/>", 2015.
- [58] J. C. LONDOÑO DEANTONIO, "Análisis de estrategias y medidas de adaptación a la variabilidad climática en cultivos de café en colombia." [Online]. Available on: "<https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/13571/79878362.pdf?sequence=1&isAllowed=y>", 2017.
- [59] Mendeley, "Welcome to mendeley." [Online]. Available on: "<https://www.mendeley.com/search/>", 2022.
- [60] J. Rutayisire, S. Markon, and N. Raymond, "IoT based coffee quality monitoring and processing system in rwanda," in *2017 International Conference on Applied System Innovation (ICASI)*, IEEE, May 2017.

- [61] A. Garcia-Cedeno, J. C. Guillermo, B. Barzallo, C. Punin, A. Soto, D. Rivas, R. Clotet, and M. Huerta, "PLATANO: Intelligent technological support platform for azuay province farmers in ecuador," in 2019 IEEE International Conference on Engineering Veracruz (ICEV), *IEEE*, Oct. 2019.
- [62] R. Niranjana, R. S. Krishnan, K. L. Narayanan, X. A. Presskila, E. G. Julie, and S. Sundararajan, "Intelligent itinerant robot [IIR] for agricultural farm monitoring using IoT," in 2022 Second International Conference on Artificial Intelligence and Smart Energy (ICAIS), *IEEE*, Feb. 2022.
- [63] J. P. Rodríguez, A. I. Montoya-Munoz, C. Rodriguez-Pabon, J. Hoyos, and J. C. Corrales, "IoT-agro: A smart farming system to colombian coffee farms," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 190, p. 106442, Nov. 2021.
- [64] A. Sanyal, P. Chowdhury, and C. Ganguly, "IoT- based wireless real-time temperature and humidity surveillance system for hill stations," in 2021 4th International Conference on Recent Trends in Computer Science and Technology (ICRTCST), *IEEE*, Feb. 2022.
- [65] D. Sarpal, R. Sinha, M. Jha, and P. TN, "AgriWealth: IoT based farming system," *Microprocessors and Microsystems*, vol. 89, p. 104447, Mar. 2022.
- [66] Y. Li and Y. Zheng, "Regional agricultural industry economic development based on embedded system and internet of things," *Microprocessors and Microsystems*, vol. 82, p. 103852, Apr. 2021.
- [67] D. Nesarajan, L. Kunalan, M. Logeswaran, S. Kasthuriarachchi, and D. Lungalage, "Coconut disease prediction system using image processing and deep learning techniques," in 2020 IEEE 4th International Conference on Image Processing, Applications and Systems (IPAS), *IEEE*, Dec. 2020.
- [68] A. Rejeb, A. Abdollahi, K. Rejeb, and H. Treiblmaier, "Drones in agriculture: A review and bibliometric analysis," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 198, p. 107017, July 2022.
- [69] J. Joshi, S. Polepally, P. Kumar, R. Samineni, S. R. Rahul, K. Sumedh, D. G. K. Tej, and V. Rajapriya, "Machine learning based cloud integrated farming," in Proceedings of the 2017 International Conference on Machine Learning and Soft Computing, *ACM*, Jan. 2017.
- [70] W. R. Martinez, R. F. Escobar, and J. Moncada, "Application of a supervised learning model to analyze the behavior of environmental variables in a coffee crop," *Ingeniería*, vol. 25, pp. 410–424, Oct. 2020.
- [71] R. J. Silva, P. N. Leite, and A. M. Pinto, "Multi-agent optimization for offshore wind farm inspection using an improved population-based metaheuristic," in 2020 IEEE International Conference on Autonomous Robot Systems and Competitions (ICARSC), *IEEE*, Apr. 2020.

- [72] E. Nigussie, T. Olwal, G. Musumba, T. Tegegne, A. Lemma, and F. Mekuria, "IoT-based irrigation management for smallholder farmers in rural sub-saharan africa," *Procedia Computer Science*, vol. 177, pp. 86–93, 2020.
- [73] G. Arley Orozco, Óscar Llano Ramírez, "Sistemas de información enfocados en tecnologías de agricultura de precisión y aplicables a la caña de azúcar, una revisión," *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 2016.
- [74] B. B. Sinha and R. Dhanalakshmi, "Recent advancements and challenges of internet of things in smart agriculture: A survey," *Future Generation Computer Systems*, vol. 126, pp. 169–184, Jan. 2022.
- [75] S. D. Alwis, Z. Hou, Y. Zhang, M. H. Na, B. Ofoghi, and A. Sajjanhar, "A survey on smart farming data, applications and techniques," *Computers in Industry*, vol. 138, p. 103624, June 2022.
- [76] T. A. Shaikh, T. Rasool, and F. R. Lone, "Towards leveraging the role of machine learning and artificial intelligence in precision agriculture and smart farming," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 198, p. 107119, July 2022.
- [77] J. D. Enamorado, J. L. O. Avila, M. G. O. Avila, and O. A. Guevara, "Iot-SPA billing system to improve the coffee recollection in beneficio rio frio, honduras, santa bárbara," in 2020 The 4th International Conference on E-Business and Internet, *ACM*, Oct. 2020.
- [78] M. Tao, K. Ota, and M. Dong, "Ontology-based data semantic management and application in IoT- and cloud-enabled smart homes," *Future Generation Computer Systems*, vol. 76, pp. 528–539, Nov. 2017.
- [79] R. Liang, L. Zhao, and P. Wang, "Performance evaluations of lora wireless communication in building environments," *Sensors*, vol. 20, p. 3828, 07 2020.

SISTEMA DE MONITORIZACIÓN DE PARÁMETROS DE SUELO PARA UN SISTEMA PRODUCTIVO DE CAFÉ EN EL DEPARTAMENTO DEL CAUCA



ANEXOS

Monografía de trabajo de grado para optar por el título de
Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones

Juan Camilo Campo Ordoñez
cod. 100614021700

Universidad del Cauca
Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones
Departamento de Telemática
Línea de Investigación en Interacción e-ambiente
Popayán, 2022

ANEXO A - Mapeo sistemático de la literatura: Se anexan los documentos productos del mapeo sistemático de la literatura en el siguiente enlace:

ANEXO A

ANEXO B - Revisión sistemática de la literatura: Se indexan los documentos productos de la revisión sistemática de la literatura en el siguiente enlace:

ANEXO B

ANEXO C - Revisión comercial de sensores: Se realiza una caracterización de sensores comerciales. Se puede encontrar en el siguiente enlace:

ANEXO C

ANEXO D - Características operativas de los dispositivos empleados: Encontramos todos los datasheets de los dispositivos empleados en el montaje a la que se puede acceder mediante el siguiente enlace:

ANEXO D