



Diseño e implementación de un sistema para el monitoreo de macronutrientes NPK de un cultivo de piña en Santander de Quilichao

Juan David Ordoñez Zambrano
Rusbelt Palomino Mina

Director: Dr. Juan Manuel Nogales Viedman

Pontificia Universidad Javeriana Cali
Facultad de Ingeniería y Ciencias
Ingeniería Electrónica
Anteproyecto de Grado

Noviembre 25 de 2021

Santiago de Cali, Noviembre 25 de 2021

Señores

Pontificia Universidad Javeriana – Cali

Dr. Luis Eduardo Tobón Llano

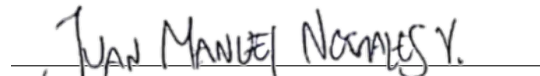
Director Carrera de Ingeniería Electrónica

Cali.

Cordial Saludo.

Por medio de la presente me permito informarle que los estudiantes de Ingeniería Electrónica, Juan David Ordoñez Zambrano (cod: 8943577) y Rusbelt Palomino Mina (cod: 8943678) trabajan bajo mi dirección en el proyecto de grado titulado “ Diseño e implementación de un sistema para el monitoreo de macronutrientes NPK de un cultivo de piña en Santander de Quilichao ”.

Atentamente,


Dr. Juan Manuel Nogales Viedman

Santiago de Cali, Noviembre 25 de 2021

Señores

Pontificia Universidad Javeriana Cali

Dr. Luis Eduardo Tobón Llano

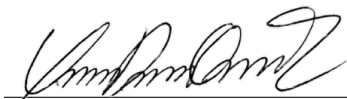
Director Carrera de Ingeniería Electrónica
Cali.

Cordial Saludo.

Nos permitimos presentar a su consideración el anteproyecto de grado titulado “ Diseño e implementación de un sistema para el monitoreo de macronutrientes NPK de un cultivo de piña en Santander de Quilichao ” con el fin de cumplir con los requisitos exigidos por la Universidad para llevar a cabo el proyecto de grado y posteriormente optar al título de Ingeniero Electrónico.

Al firmar aquí, damos fe que entendemos y conocemos las directrices para la presentación de trabajos de grado de la Facultad de Ingeniería y Ciencias aprobadas el 26 de Noviembre de 2009, donde se establecen los plazos y normas para el desarrollo del anteproyecto y del trabajo de grado.

Atentamente,



Juan David Ordoñez Zambrano
Código: 8943577



Rusbelt Palomino Mina
Código: 8943678

Índice general

1. Descripción del problema	2
1.1. Definición del problema de investigación	2
1.2. Objetivos	4
1.2.1. Objetivo General	4
1.2.2. Objetivos Específicos	4
1.3. Justificación del problema	5
1.4. Alcances y Limitaciones	6
1.4.1. Alcances	6
1.4.2. Limitaciones	7
2. Desarrollo del proyecto	8
2.1. Marco Teórico	8
2.1.1. Glosario	8
2.1.2. Fertilización	9
2.1.3. Antecedentes	10
2.1.4. Sensores comerciales	13
2.2. Metodología	15
2.2.1. Concebir	15
2.2.2. Diseñar	15
2.2.3. Implementar	16
2.2.4. Operar	17
2.3. Resultados Esperados	17
2.4. Cronograma de actividades	18
2.5. Recursos	19
2.5.1. Técnicos	19
2.5.2. Humanos	20
2.5.3. Presupuesto	21
Bibliografía	22
3. Anexos	26
3.1. Curriculum Vitae Juan Manuel Nogales Viedman	26

Introducción

El proceso de fertilización de los cultivos siempre ha sido una de las prácticas primordiales y que requiere mayor trabajo en una plantación. De este proceso depende que el cultivo tenga un buen desempeño y que por ende la productividad mejore [1]. Cada vez se necesitan nuevas tecnologías que permitan optimizar los procesos para el desarrollo de un cultivo. La implementación de sistemas que hacen uso de sensores, redes inalámbricas, almacenamiento en la nube, inteligencia artificial y otras herramientas en los diferentes cultivos mejoran la eficiencia en el uso de los recursos destinados a la agricultura, pues logran mayor precisión desde la siembra hasta la cosecha.

La implementación de estas nuevas tecnologías en la agricultura se le conoce como agricultura de precisión. En la fertilización de un cultivo, la agricultura de precisión permite administrar los nutrientes del suelo [2]. Sin embargo, es necesario el uso de sensores que puedan dar información sobre el estado de los macronutrientes nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) en tiempo real; además de sistemas que permitan recopilar y analizar la información de modo que esta pueda ser usada por los agricultores para mejorar sus métodos de fertilización. Tales sistemas de recomendación ayudan a identificar las cantidades necesarias de fertilizantes para que el cultivo tenga la mayor rentabilidad.

En este trabajo se propone un sistema de monitoreo de nutrientes para un cultivo de piña ubicado en la vereda Quinamayó del municipio de Santander de Quilichao. Esto debido a que actualmente se utilizan técnicas tradicionales y poco eficientes para llevar a cabo la planificación y realización del proceso de fertilización del cultivo. Por otro lado, se logró identificar que los sensores actuales más completos para la medición de los macronutrientes del suelo tienen costos elevados, lo que los hace poco asequible para pequeños y medianos agricultores.

La división de este documento se da de la siguiente manera: en el primer capítulo se expone la definición del problema de investigación, los objetivos, justificación, alcances y limitaciones del proyecto. En el segundo capítulo se encuentra el marco teórico abordado en el anteproyecto, la metodología que se piensa implementar en el proyecto, los resultados que se esperan obtener, el cronograma y la descripción de recursos necesarios para el proyecto. Por último, en el capítulo tres encontrarán los anexos que contiene el currículum vitae del director del proyecto de grado.

Descripción del problema

1.1. Definición del problema de investigación

La piña es una fruta tropical que resulta atractiva comercialmente, tanto a nivel nacional, así como internacional. Su mayor beneficio reside en los nutrientes que esta aporta a la dieta humana y a su fácil producción, pues es un fruto capaz de “adaptarse a condiciones ásperas de clima y suelo e inclusive a largos tiempos de sequía” [3]. Además, según la FAO para el año 2017 “la piña representaba una producción anual de más de 26,4 millones de toneladas anuales, y un mercado creciente que moviliza más de 14.900 millones de dólares en todo el mundo” [4], de los cuales para el año en mención Colombia contribuyó con cerca de 11 millones de dólares en exportaciones de piña [5]. En Colombia, uno de los principales departamentos productores de piña es el departamento del Cauca, el cual en 2018 contribuyó con el 7 % de la producción nacional, ocupando el cuarto lugar entre los productores de piña [6]. En el departamento del Cauca, la mayor producción se encuentra en la zona norte de este, en el municipio de Santander de Quilichao y sus alrededores, gracias a sus condiciones climáticas. Según datos de la administración del municipio, el cultivo de piña ocupa el tercer lugar de los cultivos más importantes que aportan a la economía, ocupando el 9.73 % del área sembrada transitoria y permanente del municipio.

Luego de que los agricultores de la zona manifestaran que el método de fertilización que están utilizando actualmente no resulta efectivo. Principalmente, por que no es posible calcular de manera exacta la cantidad de nutrientes que se le está aplicando a cada planta. El método utilizado por ellos es dispensar abonos foliares por medio de una bomba manual, es decir, una persona se encarga de realizar el trabajo y procura aplicar los fertilizantes a cada planta por igual. Sin embargo, con este método no hay forma de saber si a cada planta se le aplicó la cantidad de nutrientes que necesita o por lo menos que cada planta obtenga la misma cantidad de abono. Es por esto que esta investigación sobre el proceso de fertilización en cultivos de piña, en especial, de técnicas que permitan monitorear los macronutrientes del suelo va a permitir brindar una alternativa a los agricultores, con la que puedan obtener sus cultivos de forma más eficiente.

También, en las conversaciones con los agricultores, se destaca que tienen planes de fertili-

zación programados periódicamente, pero afirman que en ocasiones se le están entregando nutrientes a las plantas sin saber si en verdad los necesitan para el momento programado para el abono. En otras palabras, están abonando todas las plantas del cultivo sin tener en cuenta si son todas las que necesitan los nutrientes o en su defecto son solo algunos sectores. Como consecuencia, los planes inadecuados de fertilización afectan directamente el rendimiento del cultivo y por ende la productividad y economía del agricultor [1].

En particular, el método por dispensador de abono foliar y los malos planes de fertilización implican dos graves consecuencias para los agricultores: la primera radica en que al sobreabonar todo el cultivo resulta perjudicial para el desarrollo de las plantas. Pues según [1], “la determinación del uso eficiente de nutrientes para cada cultivo es útil para obtener rendimientos máximos de los cultivos y evitar la pérdida de fertilizantes”. Al mismo tiempo, se afecta directamente el suelo generando contaminación ambiental, ya que el exceso de nutrientes cambia significativamente las propiedades del suelo. Consecuentemente, esta sobrecarga de nutrientes puede generar en un futuro que este suelo no sea óptimo para seguir cultivando piña. Por otra parte, la segunda consecuencia se presenta en los costos que implican sobreabonar las plantas cuando estas no necesitan los nutrientes, pues al realizar esto se generan pérdidas. Por estos dos motivos, se requiere de monitorear el suelo para que la aplicación de fertilizantes no sea perjudicial para el ambiente y la economía de los agricultores.

Por lo anterior, resulta conveniente aportar desde la ingeniería electrónica para mejorar el proceso de cultivo de piña en Santander de Quilichao. Se ha realizado una consulta de las posibles problemáticas entre algunos agricultores de piña de la zona permitiendo identificar un problema común del cual surge la siguiente pregunta: ¿Cómo monitorear los macronutrientes de los cultivos de piña en el municipio de Santander de Quilichao permite que los agricultores optimicen sus recursos en el proceso de fertilización?

En otras palabras, la problemática identificada se ubica dentro del marco de la agricultura de precisión, ya que sugiere mejorar la eficiencia en el uso de recursos destinados al proceso de fertilización del cultivo de piña y, además, garantizar la sostenibilidad de la producción del cultivo.

Teniendo en cuenta que el proceso de fertilización es una de las prácticas más importantes del cultivo dado que de este depende el aumento de la productividad [3], en esta propuesta se pretende diseñar un sistema de monitoreo de los macronutrientes al cual se le pueda adaptar cualquier sensor de NPK y que sea capaz de identificar como y cuando debe realizarse el proceso de fertilización. De esta forma ayudar a los agricultores a tener un mejor plan de fertilización y a su vez a disminuir los costos del proceso. Abordando el problema desde la agricultura de precisión podrían utilizarse técnicas que permitan hacer una división del terreno cultivado en sectores y, de esta forma, con ayuda de varios sensores NPK se pueda

conocer el estado de los nutrientes que se encuentran en cada uno de estos sectores. De esta manera se podría saber cómo se encuentran las plantas de cada zona y esto ayudaría a identificar en cuales sectores es necesario fertilizar el cultivo. Además, haciendo uso de IoT se diseñará una interfaz que le permita a los usuarios visualizar esta información brindada por el sistema de forma fácil, intuitiva y en tiempo real. Dicha interfaz requiere que los datos tomados por los sensores sean almacenados en la nube.

1.2. Objetivos

Con el fin de atender la problemática identificada y para llevar a cabo el proyecto de grado se establecen los siguientes objetivos:

1.2.1. Objetivo General

El objetivo principal de este proyecto consiste en *diseñar e implementar un sistema que permita monitorear sectores que requieren fertilización de macronutrientes (NPK) presentes en los suelos de los cultivos de piña, mediante el uso de técnicas de bajo costo para medir nutrientes en suelo para agricultores pequeños y medianos.*

1.2.2. Objetivos Específicos

Con el fin de cumplir con el objetivo general propuesto, resulta necesario alcanzar los siguientes objetivos específicos:

- Identificar a través de la revisión del estado del arte las técnicas que nos permitan diseñar un sistema de bajo costo para monitorear los macronutrientes NPK en el suelo del cultivo de piña.
- Diseñar los diferentes módulos que permitan cumplir con los requerimientos de los agricultores acerca del funcionamiento del sistema de medición y monitoreo empleando tecnologías de bajo costo.
- Implementar prototipos del diseño en campo con el fin de recoger información acerca de la facilidad de uso y el funcionamiento del diseño mediante encuestas a los usuarios y comparación con el método utilizado por los agricultores actualmente. En este objetivo se va a brindar acompañamiento en el uso de los prototipos a los agricultores.
- Adaptar el diseño del sistema de monitoreo para su implementación final en el cultivo de piña, teniendo en cuenta los resultados de las encuestas y pruebas del prototipo.

- Evaluar a través de una encuesta el funcionamiento del sistema final durante un periodo de prueba a cargo de los agricultores. En este objetivo no hay acompañamiento a los agricultores.

1.3. Justificación del problema

En los últimos años se presenta la necesidad de implementar técnicas que ayuden a optimizar el uso de los recursos tanto naturales como químicos que se requieren en la agricultura. Esto con el fin de reducir el posible impacto ambiental que genera la agricultura y aumentar la capacidad de suplir las necesidades alimentarias de la población en los próximos años. En especial, se estima un aumento del 60 % de la demanda mundial de alimentos para el 2030 [7]. La producción y el consumo de piña en el país ha ido incrementando en los últimos años y se espera que lo siga haciendo debido a la implementación de nuevas tecnologías que afectan positivamente la producción y el rendimiento de los cultivos [8].

Uno de los aspectos que se han visto descuidados, es la sostenibilidad del terreno del cultivo, en especial, por las técnicas transmitidas a través de generaciones familiares. Algunos agricultores aún suelen creer que al aplicar fertilizantes en exceso van a mejorar el rendimiento del cultivo, desconociendo que la fertilización excesiva causa un grave impacto ambiental y a largo plazo daña el terreno [9]. También, los fertilizantes utilizados en el cultivo, los cuales son de origen industrial, perjudican la sostenibilidad del terreno de cultivo, debido a que varios de estos son una fuente importante de emisiones de gases de efecto invernadero [9], como lo son los fertilizantes nitrogenados.

Por tal motivo, la implementación de sistemas que permitan tener un monitoreo de los nutrientes aplicados a los cultivos resulta importante. En particular, en este trabajo se estudia el caso del cultivo de piña en la vereda Quinamayó de Santander de Quilichao, donde no se usan técnicas que permitan saber el estado nutricional del suelo a lo largo del crecimiento de las plantas. Pues el proceso de fertilización actual de estos cultivos se lleva a cabo siguiendo los métodos tradicionales. En esta región, los agricultores de piña parten de un único análisis de suelo previo a la siembra con el cual estiman cuáles serán los valores nutricionales del cultivo hasta el momento de la cosecha.

También, en algunos campos más sofisticados, se encontró que cuentan con estudios de laboratorio con muestras de tierra y foliares tomados del cultivo, pero no se realizan con frecuencia y, por tanto, no arrojan resultados en tiempo real. A partir de estos pocos análisis, los agricultores programan sus abonos periódicamente, sin embargo, estos métodos no resultan eficientes dado a que no se tienen en cuenta las posibles pérdidas o ganancias de nutrientes que puede tener el cultivo debido diferentes fenómenos de la naturaleza durante

el crecimiento de las plantas [10]. Como consecuencia, los agricultores en ocasiones aplican fertilizante sin tener información de lo que el cultivo necesita realmente. Un sistema capaz de dar información en tiempo real de los nutrientes presentes en el cultivo permitiría tener un mejor control de los fertilizantes aplicados al cultivo.

Actualmente, el mercado ofrece herramientas y sensores para la implementación de sistemas de monitoreo sofisticados. Sin embargo, se identificó que los sensores más completos para la implementación de estos sistemas tienen precios elevados que superan los COP\$ 300.000 llegando a COP\$ 8500.000. Precios obtenidos en tiendas virtuales como Amazon [11], Alibaba [12], Aliexpress [13] y ebay [14], por lo que implementar sistemas de monitoreo con este tipo de sensores se hace poco asequible para agricultores pequeños y medianos ya que se requiere de al menos 3 sensores de estos para implementar el monitoreo en un cultivo pequeño.

Principalmente, se espera que con el sistema de monitoreo se pueda establecer cuáles son los umbrales de los valores nutricionales cuando el cultivo requiere aumentar la fertilización. En palabras de los agricultores, este sistema de permitiría generar planes de fertilización más eficientes que ayuden a optimizar el uso de los fertilizantes. La optimización de la gestión de la fertilización tiene el potencial de mejorar el rendimiento de los cultivos, reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y mejorar la eficiencia de la agronomía de nitrógeno [15]. Además, dicho sistema mejoraría el proceso actual de medición sobre el estado nutricional del cultivo, de esta manera, los agricultores podrían mejorar la productividad [16] y desempeño de sus cultivos y a la vez contribuir al cuidado del medio ambiente, aspecto que resulta de suma importancia para la sostenibilidad de los cultivos [9].

1.4. Alcances y Limitaciones

Este proyecto está enfocado en el diseño e implementación de un sistema electrónico que permita monitorear los nutrientes de un cultivo de piña en el municipio de Santander de Quilichao. Dicho sistema debe cumplir con los requerimientos de ser de bajo costo y de fácil operación, además debe ayudar a mitigar los problemas de fertilización (exceso o falta) por sectores del cultivo. Con base en lo anterior se plantean los siguientes alcances y limitaciones:

1.4.1. Alcances

- Se realizará un documento de revisión bibliográfica que se extiende a las diferentes técnicas y conocimientos para realizar monitoreo de macronutrientes en suelos de cultivos.
- Se pretende diseñar un sistema de monitoreo basado en el uso de componentes de bajo costo que sea asequible a pequeños y medianos agricultores.

- La implementación del sistema de monitoreo se llevará a cabo en un cultivo de piña de la vereda Quinamayó del municipio de Santander de Quilichao.
- Se generará una guía o manual de construcción, funcionamiento y mantenimiento del sistema de monitoreo diseñado.
- Se validará la facilidad de uso del sistema de monitoreo mediante una encuesta a los agricultores con dos sesiones focus group. En la primera para escoger el prototipo que mejor usabilidad presenta y, en la segunda, se realizan los ajustes finales para crear el manual de usuario final.

1.4.2. Limitaciones

- El sistema diseñado se enfocará únicamente en dar recomendaciones sobre las cantidades de fertilizante de un cultivo de piña. No se sabe sobre el funcionamiento en otros cultivos diferentes a la piña.
- No se pretende que el sistema diseñado sea adaptable a condiciones climáticas extremas ni catástrofes naturales.
- El desarrollo de este proyecto considera que las condiciones de salud y sociales permanecerán constantes.

Desarrollo del proyecto

2.1. Marco Teórico

2.1.1. Glosario

- Agricultura: se define como el conjunto de prácticas realizadas por el ser humano para la producción y obtención de alimentos de origen vegetal mediante el cultivo de la tierra. [16]
- Agricultura de precisión: se entiende como agricultura de precisión las prácticas y tecnologías aplicadas a los diferentes procesos de la agricultura donde se destaca el uso de sensores, aplicaciones de IoT e inteligencia artificial con el fin de optimizar el uso de los recursos tanto naturales como químicos que se aplican a los cultivos. [17]
- Colorimetría: la colorimetría es la ciencia que estudia la medida y cuantificación de los colores. [16]
- Espectroscopia: se entiende como espectroscopia al estudio en la detección de la absorción o emisión de radiación electromagnética de un material. [18]
- Nutrientes: aquellos elementos presentes en el suelo que aportan propiedades a las plantas se conocen como nutrientes. Estos pueden ser considerados como macro y micronutrientes dependiendo de la importancia que tengan para el cultivo. [19]
- Fertilidad del suelo: la fertilidad del suelo se define como la capacidad que tiene el suelo para mantener el crecimiento de plantas en óptimo desarrollo. La fertilidad de un terreno está asociada a la adecuada presencia de nutrientes. [18]
- Red de sensores inalámbricos: se define una red de sensores inalámbricos como una red de dispositivos autónomos conectados con nodos entre sí que permiten el monitoreo y análisis de alguna variable física de interés. [20]
- Sostenibilidad del suelo: se entiende sostenibilidad del suelo como la capacidad que tiene el suelo para seguirlo trabajando a largo plazo, manteniendo la productividad de los cultivos y sin que exista degradación de este. [9]

2.1.2. Fertilización

El proceso de fertilización es quizás el más importante en la agricultura actual, pues en gran parte la productividad del cultivo y calidad de los frutos depende de este [1]. Este proceso se debe realizar con cuidados, pues una mala gestión de los fertilizantes podría afectar tanto el desarrollo del cultivo como la economía del agricultor. El proceso consiste en aplicar la cantidad necesaria de nutrientes al cultivo para ayudarlo a tener un mejor desempeño. Para lograrlo es necesario el conocimiento previo del estado nutricional del cultivo, pues los abonos y planes de fertilización dependen del estado de los nutrientes presentes en el cultivo.

Importancia de la fertilización

El constante incremento de la población mundial en los últimos años se ha convertido en un constante reto para la agricultura, puesto que ahora es necesario proporcionar una cantidad mayor de alimentos conservando la calidad. Para cumplir con el reto de incrementar la producción agrícola y poder abastecer la población en crecimiento, existen dos factores posibles: aumentar las superficies de cultivo o proporcionar a los suelos fuentes de nutrientes adicionales. Esta última opción se puede llevar a cabo mediante el uso de fertilizantes minerales, con cuya aplicación racional se ha demostrado en los ensayos de larga duración que su uso contribuye en el incremento de las producciones agrícolas y por consecuente en la producción de alimentos y fibras, ya que los fertilizantes proveen nutrientes que los cultivos necesitan. En definitiva, la importancia de la fertilización en los cultivos se basa en que esta asegura la calidad y productividad de los cultivos, evita tener que incrementar las superficies cultivadas para suplir las necesidades alimenticias y por último su aplicación controlada aporta a la sostenibilidad del suelo. [21]

Macronutrientes

Los tres principales macronutrientes que requieren la gran mayoría de cultivos para su óptimo desarrollo son el nitrógeno (N), fosforo (P) y potasio (K). Cada uno de estos aporta al desempeño de diferentes propiedades de los cultivos como por ejemplo la coloración, el tamaño y sabor de los frutos, el desarrollo de raíces y tallos fuertes, entre otros. A continuación, se explica cómo afectan estos macronutrientes a los cultivos:

- **Nitrógeno:** el nitrógeno juega un papel clave para el desarrollo de las plantas. El nitrógeno aporta al crecimiento de tallos y brotes y además incrementa la producción de frutos y follajes, debido a que este influye en la formación de aminoácidos, purina o pirimidina, y se utiliza para las funciones de regulación [22]. Sin embargo, cuando hay exceso de este nutriente, se crea una relación desequilibrada entre hojas y tallos que debilita a la planta, la hace vulnerable a enfermedades y modifica el sabor de los

frutos [19].

- **Fósforo:** el fósforo resulta importante en la composición de ADN y ARN de las plantas. Este forma parte de los ácidos nucleicos y de los lípidos de las membranas [22]. Por lo tanto, este nutriente aporta en la producción de brotes, raíces, floración y la lignificación. La ausencia de P en el suelo genera demoras en el crecimiento y la expansión de las raíces, ocasionando un subdesarrollo de las plantas y frutos pequeños. El exceso de este nutriente puede generar el bloque de otros micronutrientes como el calcio, hierro, magnesio, cobre y zinc [19].
- **Potasio:** este mineral cumple un papel importante en las actividades fisiológicas de las plantas. Participa en el mantenimiento de la homeostasis de las plantas, el transporte, la señalización y los procesos metabólicos [22]. El K contribuye en el aumento del tamaño de los frutos y mejora el sabor. También influye en el color y fragancia de las flores. Otro aporte importante del K es la resistencia a plagas y enfermedades que le brinda a la planta. El exceso puede causar deficiencias en la absorción de micronutrientes como el calcio o el magnesio [19].

2.1.3. Antecedentes

Los procesos actuales con los cuales se realizan mediciones de los macronutrientes presentes en los cultivos se basan en gran mayoría en el análisis químico a través de muestras tomadas de diferentes zonas del cultivo y enviadas a un laboratorio. La medición de nutrientes in situ y en tiempo real se hace cada vez más determinante para reducir costos y mejorar la precisión de los análisis nutricionales realizados al cultivo. Algunas investigaciones se han dado la tarea generar prácticas que permitan la medición de N, P, K y otras propiedades importantes de formas diferentes a las convencionales que faciliten una medición in situ en diferentes cultivos. A continuación, se muestran algunas de estas investigaciones que cumplen objetivos similares con los propuestos en este trabajo:

- En 2017, Masrie y otros [23] proponen el desarrollo de un transductor óptico para medir y detectar la presencia de nutrientes NPK en el suelo. Para determinar los valores de NPK lo hacen mediante la absorción de luz de cada nutriente, en donde el transductor óptico se implementa como un sensor de detección que consta de tres LED como fuente de luz y un fotodiodo como detector de luz. Este sistema utiliza un microcontrolador Arduino para el control de la fuente de luz y la pantalla LCD. Además, permite la recolección y análisis de los datos para saber la cantidad de nutrientes que se agregará al suelo para aumentar su fertilidad.
- En 2017, Shylaja y Veena [20] implementaron un sistema para agricultura de precisión

que permitía monitorear los valores de los nutrientes N, P y K a través de una aplicación móvil que mostraba los valores de NPK y daba recomendaciones de fertilización al agricultor. El sistema consiste en el uso de un probador de fertilidad del suelo con el cual calculaban los valores de NPK en función de la salida del probador. Los autores transmitieron los datos del voltaje de deflexión analógico, después de ser digitalizado en un microcontrolador, a una base de datos en la nube. El sistema fue capaz de presentar el estado de NPK al agricultor y al mismo tiempo dar sugerencias por medio de la aplicación.

- En 2018, Sánchez [10] desarrolló un método indirecto para estimar nivel de nitrógeno presente en el suelo basado en algoritmos de aprendizaje de máquina entrenado a partir de observaciones de los parámetros presentes en el suelo de conductividad eléctrica, humedad y temperatura, para así poder correlacionar estos parámetros a diferentes niveles de NPK. Estos parámetros fueron medidos con sensores comerciales.
- En 2018, Masrie y otros [17] diseñaron un sensor óptico integrado que detectaba los principales nutrientes del suelo nitrógeno, fósforo y potasio cuyo principio de funcionamiento se basaba en la ley de Beer-Lambert. El diseño se basó en el uso de diodos LED que emitían luz hacia una muestra de tierra contenida en un recipiente transparente que se encontraba sobre un fotodiodo. Este elemento se encargaba de percibir la luz emitida por los LED que atravesaba la muestra de tierra. Los resultados obtenidos muestran que el sensor óptico fue capaz de detectar los macronutrientes y además se obtuvo una relación significativa entre la luz emitida y las muestras de NPK tomadas de diferentes terrenos.
- En 2018, Ghanshala y otros [24] proponen un sistema de riego automático enlazado a un sistema de monitoreo de nutrientes del suelo, la humedad del suelo, la temperatura y la humedad del aire. EL sistema consta de paneles solares, nodo sensores (cada nodo de sensor es una colección de sensor de temperatura, sensor de humedad, sensor de humedad del aire, sensor de pH del suelo y un sensor NPK metos con Arduino como unidad de procesamiento), un módulo inalámbrico Zigbee, un motor y rociadores de agua. Todo el sistema está conectado de forma inalámbrica por medio del módulo ESP8266Wi-Fi, los datos son enviados a un nodo de sincronización o la puerta de enlace, después los datos recopilados del nodo de sincronización se envían a la nube a través de Internet. Una vez en la nube, los datos son analizados y pueden ser accedidos por el agricultor a través de una aplicación Android. Dependiendo de la información arrojada por el informe, el agricultor puede monitorear el crecimiento de su cultivo y el nivel de nutrientes del suelo.
- En 2020, Rani y Ganeshkumar [16] proponen un sistema IOT que permite medir los

nutrientes presentes en el suelo y basado en esto enviar una alerta vía SMS al agricultor sobre la cantidad de fertilizante que se utilizará durante el cultivo. El sistema cuenta con el diseño de un sensor NPK que hace la detección de nutrientes basado en el principio colorimétrico y en la ley de Lambert utilizando 4 diodos de luz (LED) de diferentes colores, una resistencia dependiente de la luz (LDR) y cuatro resistencias más. El dispositivo, también incluye una unidad de microcontrolador, un sistema de análisis basado en reglas difusas para decidir las proporciones de NPK en el suelo y un sistema de información automatizado por medio de SMS. El análisis de datos del sensor NPK se realiza por medio del método de computación de borde que permite que el análisis de datos se haga a través de internet en un servidor para permitir tener un dispositivo de menor tamaño en campo.

- En 2020, Madhumathi [2] y otros desarrollaron un sistema de agricultura de precisión el cual tomaba mediciones de los nutrientes NPK y otros aspectos importantes de los cultivos como el pH, la temperatura y la humedad, luego los almacenaba en la nube. Posteriormente mostraba al agricultor a través de una aplicación móvil el estado de las variables medidas y recomendaciones para la irrigación y fertilización del cultivo. Para realizar las mediciones hicieron uso de sensores y probadores comerciales. En el caso de la medición de NPK utilizaron un probador de fertilidad de suelo analógico y un conversor analógico digital, los valores de NPK se obtenían a partir de la medición del probador, para cada nutriente se aplicaba una formula en función de la medición del probador. En conclusión, el sistema diseñado cumplió con la finalidad de medir las variables de humedad, temperatura, pH, N, P y K in situ y en tiempo real. Con esta información, se pudieron dar recomendaciones a los agricultores para optimizar la producción de sus cultivos.
- En 2021, M. Khaydukova y otros [22] propusieron un sistema multisensorial potenciométrico para la cuantificación simultanea de los tres macronutrientes N, P y K. El sistema conformado por 26 sensores potenciométricos fue capaz de estimar cuantitativamente tanto el NPK como el pH y la conductancia eléctrica de las muestras de suelo. Se construyó un modelo para cada parámetro. Los valores de los parámetros fueron estimados mediante los métodos tradicionales de análisis de suelos. Enfatizaron que la principal ventaja del sistema propuesto fue la sencillez y rapidez del procedimiento de medición, pues el análisis puede realizarse en el campo y no requiere de reacciones químicas.

- En 2021, Archana y otros [18] proponen el diseño de un interferómetro de Michelson en un solo chip, el cual tiene una estructura opto-electromecánica monolítica en donde todos los componentes se disponen de forma intrínseca con la ayuda de la litografía. Este proceso permite evitar la desalineación entre los componentes del interferómetro que pueden deteriorar el rendimiento. Resaltan que el uso de la espectroscopia para el análisis del suelo es un método analítico económico, rápido, ecológico, no destructivo y reproducible. Además, mencionan que el uso de la espectroscopia permite un proceso más rápido, rentable y no destructivo a diferencia de los métodos convencionales.

2.1.4. Sensores comerciales

- **Probador de NPK digital:** consiste en un kit de tres sondas, una para cada macronutriente, para realizar mediciones instantáneas de NPK. Cada sonda cuenta con una pantalla LCD iluminada donde se visualiza el valor de la medición. Estos instrumentos están diseñados para pruebas rápidas ya que está programado para apagarse automáticamente pasados 5 minutos después de apretar cualquier botón. El rango de medición es de 0 a 1999 mg/Kg con una resolución de 1 mg/Kg y una precisión de $\pm 2\%$ F.s, además no necesita calibración dado que ya viene calibrado de fábrica [25]. El precio de estos probadores está entre COP\$ 1'800.000 a COP\$ 2'500.000. Este rango se obtuvo de tiendas como Amazon [26], Alibaba [27] y Aliexpress [28].
- **Sensor de NPK de suelo:** es un sensor de suelo portable diseñado para medir simultáneamente los parámetros NPK. Este es quizá el sensor más completo para aplicaciones de agricultura de precisión pues su diseño facilita la conexión con sistemas de IoT, sistemas LoRa y entre otros debido a su señal de salida en estándar RS485. Tiene un rango de medición de 0 a 1999 mg/Kg con una precisión de $\pm 2\%$ F.s. Además, cuenta con el protocolo de protección IP68 por lo cual está diseñado para ser usado por largo periodos en el campo bajo tierra [29]. Los precios de este sensor varían entre los COP\$ 300.00 a COP\$ 850.000. Este rango se obtuvo de páginas como Amazon [11], Alibaba [12], Aliexpress [13], ebay [14] y del fabricante Weihai Jingxun Changtong Electronic Technology Co [29].

- **Kit de prueba de suelo:** consiste en un kit que permite hacer mediciones rápidas de NPK de muestras de suelo, hay de tipo analógico y digital. El principio de funcionamiento se basa en una reacción química pues el kit viene con 10 cápsulas que deben aplicarse a cada muestra de tierra para realizar las mediciones. Luego de aplicada la cápsula a la muestra de tierra la solución formada tomara un color y dependiendo del color se establecen los rangos en que se encuentran los nutrientes los cuales van desde exceso hasta empobrecido[30]. Este tipo de kit requiere de al menos 3 pruebas para un solo cultivo. El precio de este kit está entre COP\$ 90.000 a COP\$ 160.000. Este rango se obtuvo de tiendas como Amazon [31], ebay [32] y mercado libre [33].

2.2. Metodología

Para llevar a cabo este trabajo de grado se ha decidido adaptar el modelo CDIO el cual es una metodología usada en ingeniería que brinda las herramientas necesarias para enfrentar de manera innovadora y flexible problemas complejos de la sociedad [34]. Siendo así el desarrollo de este trabajo se dividirá en cuatro etapas las cuales son: Concebir, Diseñar, Implementar y Operar. A continuación, se especifica las tareas necesarias que se realizarán en cada una de las etapas, que nos permitirán cumplir con nuestros objetivos específicos.

2.2.1. Concebir

En esta primera etapa es donde se concibe la idea del problema a resolver, en esta se realiza un estudio bibliográfico sobre fertilización de cultivos de piña tanto en Colombia como a nivel mundial, identificando sensores para la medición de nutrientes en suelo y sistemas de monitoreo de nutrientes. Con base en esto se proponen las siguientes tareas para cumplir con la etapa de concepción:

- **Tarea 1:** realizar un levantamiento bibliográfico sobre los temas de interés (fertilización, medición y monitoreo de nutrientes) y sintetizarlo en un mapa mental.
- **Tarea 2:** realizar un análisis comparativo de los sensores comerciales y de los sensores identificados en la tarea 1.
- **Tarea 3:** investigar sobre técnicas y aplicaciones actuales de IoT que permitan establecer una base de datos en la nube para el almacenamiento de la información del sistema de monitoreo.
- **Tarea 4:** investigar sobre metodologías y tecnologías para representar información al agricultor de manera intuitiva y de fácil uso.

Finalizando esta etapa se espera haber identificado las técnicas y conocimientos que permitan diseñar el sistema de monitoreo.

2.2.2. Diseñar

En la segunda etapa se pretende diseñar cada uno de los módulos del sistema de monitoreo de nutrientes. En este se definen los criterios de diseño y se incluyen conceptos con los cuales se pretenden describir el sistema diseñado, entre estos conceptos encontramos maniobrabilidad, operatividad, conectividad, durabilidad entre otros. En esta etapa se discuten y establecen las técnicas empleadas en el sistema de monitoreo deseado.

- **Tarea 1:** realizar el levantamiento de requerimientos en base a las necesidades de los agricultores.
- **Tarea 2:** generar un diagrama de casos de uso incluyendo los criterios y requerimientos identificados en las tareas anteriores para la interfase con el agricultor.
- **Tarea 3:** diseñar el sistema de adquisición y análisis de datos usando una placa o tarjeta de desarrollo. Realizar una matriz de selección para escoger la mejor opción.
- **Tarea 4:** escoger la plataforma de IoT que mejor prestaciones tenga para la aplicación a desarrollar. Escoger la mejor opción mediante una matriz de selección.
- **Tarea 5:** generar varios estilos de visualización de información. Revisar las opciones disponibles y escoger la mejor opción mediante una matriz de selección.
- **Tarea 6:** diseñar el sistema de alimentación portable para superar los problemas de accesibilidad a energía eléctrica en el campo.
- **Tarea 7:** diseñar una encuesta para apoyar la creación del informe acerca de las características y especificaciones del sistema diseñado.

Al terminar esta etapa se espera tener el diseño completo de cada uno de los módulos que componen el sistema.

2.2.3. Implementar

La tercera etapa pretende poner en práctica el diseño realizado. En esta se realiza el o los prototipos funcionales del diseño del sistema de monitoreo y se pone a prueba en el cultivo que se pretende monitorear los nutrientes. En la etapa de implementación se realiza la fabricación, pruebas y validación del sistema diseñado.

- **Tarea 1:** fabricar al menos dos prototipos funcionales del sistema diseñado.
- **Tarea 2:** realizar pruebas en campo del prototipo en el cultivo de piña.
- **Tarea 3:** realizar las encuestas a los agricultores para obtener su opinión acerca del prototipo. Es posible que sean necesario realizar entrevistas por que algunos agricultores no saben leer o desconocen los conceptos empleados.
- **Tarea 4:** adaptar los cambios necesarios basados en los resultados obtenidos en las pruebas y encuestas.

Finalizada esta etapa se espera tener el sistema de monitoreo evaluado y preferido por los agricultores para su perfeccionamiento y enlace a IoT.

2.2.4. Operar

En la última etapa se busca realizar la implementación del sistema de monitoreo final en el cultivo deseado. En esta etapa se realiza la puesta en marcha del sistema de monitoreo de nutrientes en el cultivo de piña, además se realiza una guía que permita a los futuros usuarios conocer todo acerca del sistema diseñado.

- **Tarea 1:** realizar la evaluación de usabilidad del prototipo escogido por los agricultores en la etapa de implementación final en el cultivo de piña.
- **Tarea 2:** realizar una segunda valoración del funcionamiento y usabilidad del prototipo, después de unos meses de prueba sin apoyo de los desarrolladores. Se debe verificar los datos recolectados en la nube.
- **Tarea 3:** elaborar una guía o manual de usuario donde se especifique todos los aspectos de construcción, funcionamiento y mantenimiento del sistema final.

Al culminar esta etapa se espera dar por terminado el proyecto al tener el sistema de monitoreo instalado y evaluado en el cultivo, con el cual los agricultores puedan mejorar el proceso de fertilización de los sectores de forma eficiente.

2.3. Resultados Esperados

Con base en los objetivos específicos definidos y la metodología que se piensa implementar se definen a continuación los siguientes resultados esperados:

- Obtener un reporte sobre la vigilancia tecnológica del monitoreo de macronutrientes en cultivos, identificando técnicas, tecnologías y aplicaciones para dicha función. Este estudio será útil para futuras investigaciones que pretendan realizar control y/o monitoreo de nutrientes de algún otro cultivo, lo cual aporta a la generación de literatura en soluciones de agricultura de precisión.
- Implementar un sistema electrónico para ayudar a mejorar un proceso de la producción de piña en el municipio de Santander de Quilichao. En particular, la propuesta de monitoreo ayudará a mejorar el proceso actual de fertilización del cultivo de piña. Con esto se busca motivar a la creación de soluciones electrónicas que aporten al mejoramiento de los procesos actuales del campo colombiano y estimular la inclusión de agricultores pequeños y medianos de piña en la agricultura de precisión en víspera de la transición a la industria 4.0.

2.4. Cronograma de actividades

A continuación, se presenta el cronograma basado en las tareas definidas en la metodología del proyecto.

Etapas	Tarea	Mes								Resultados
		1	2	3	4	5	6	7	8	
Concebir	TC.1									Identificación de posibles técnicas para el desarrollo del sistema.
	TC.2									
	TC.3									
	TC.4									
Diseñar	TD.1									Diagrama de casos de uso, diseño de prototipos y encuesta.
	TD.2									
	TD.3									
	TD.4									
	TD.5									
	TD.6									
	TD.7									
Implementar	TI.1									Prototipo escogido por los agricultores considerando usabilidad y funcionamiento.
	TI.2									
	TI.3									
	TI.4									
Operar	TO.1									Producto final implementado en el cultivo de piña y manual de usuario.
	TO.2									
	TO.3									

Figura 2.1: Cronograma de actividades

2.5. Recursos

Se presenta a continuación la declaración de los posibles costos de los recursos técnicos y humanos que se necesitan en el proyecto y con base en estos se formula el presupuesto.

2.5.1. Técnicos

Para cumplir con las etapas de concebir, diseño, implementación y operación es necesario adquirir y usar algunos elementos tales como bases de datos, componentes electrónicos, herramientas de laboratorio, software de simulación y entre otros.

La descripción de estos recursos técnicos se presenta a continuación, sin embargo, cabe aclarar que estos son componentes y servicios que son potenciales, para saber con exactitud los costos y cantidades es necesario poner en marcha las etapas de diseño, implementación y operación.

■ **Componentes electrónicos:**

Componente	Descripción	Precio
Probador de fertilidad	Medidor de fertilidad, humedad y ph en el suelo. (5 unidades)	COP 497.500
Conversor analogo a digital	Ads 115 conversor Adc 16 bits 4 canales	COP 32.000
Microcontrolador	Arduino nano V3.0 FT232	COP 28.369
Modulo Wifi	Wifi module ESP8266	COP 21.000
Panel solar	Panel Solar 5V - 100mA	COP 39.000
Bateria	Batería 18650 Recargable Litio Ion Pila (3 unidades)	COP 31.470
Elevador de voltaje	Módulo Xl6009 Convertidor Dc-dc Step Up Elevador De Arduino	COP 6.000
Controlador de carga	Tp4056 Modulo Usb Cargador Batería Litio 18650 con Protección	COP 6.000
Otros	Soldadura, cables, conectores, etc	COP 60.000
	TOTAL	COP 721.339

Figura 2.2: Precio estimado de los posibles componentes electrónicos

■ Instalaciones y herramientas:

Recurso o servicio	Descripción	Precio
Laboratorio de electrónica	Uso de herramientas tales como fuentes, generadores de señal, osciloscopio, entre otros. (2 meses)	COP 400.000
Impresora 3D	15 horas de impresión.	COP 150.000
Sala de simulación	Uso de computadoras de alto rendimiento y software de simulación de circuitos. (1 mes)	COP 250.000
	TOTAL	COP 800.000

Figura 2.3: Precio estimado de las posibles instalaciones y herramientas

■ Licencias de programas:

Programa	Precio
Altium designer	COP 50.000
Solidworks student	COP 250.000
Office	COP 200.000
Blynk	COP 0
Kaa IoT	COP 0
TOTAL	COP 500.000

Figura 2.4: Precio estimado de las posibles licencias

2.5.2. Humanos

Los recursos humanos del proyecto están conformados por Juan David Ordoñez Zambrano y Rusbelt Palomino Mina quienes realizarán las labores de investigación, diseño e implementación. Además, también se cuenta con la orientación del profesor Juan Manuel Nogales. A continuación, se muestra la descripción de costos de los implicados.

Persona	Cargo	Precio por hora	Horas de trabajo	Precio total
Juan Manuel Nogales Viedman	Director del trabajo	COP 46.000,00	56	COP 2.576.000,0
Juan David Ordoñez Zambrano	Estudiante	COP 10.000,00	320	COP 3.200.000,0
Rusbelt Palomino Mina	Estudiante	COP 10.000,00	320	COP 3.200.000,0
			TOTAL	COP 8.976.000,0

Figura 2.5: Precio estimado de los recursos humanos del proyecto

En anexos, se encuentra a detalle la trayectoria académica y laboral del director del proyecto.

2.5.3. Presupuesto

De acuerdo a las tablas de recursos técnicos y humanos, se muestra a continuación los montos finales de cada categoría y el origen de los recursos.

Concepto	Precio	Origen
Componentes electronicos	COP 721.339	Recursos propios
Instalaciones y herramientas	COP 800.000	Suministrado por la universidad
Licencias de programas	COP 500.000	Suministrado por la universidad
Recursos humanos	COP 2.576.000,0	Suministrado por la universidad
	COP 6.400.000,0	No aplica
TOTAL	COP 3.876.000,0	Suministrado por la universidad
	COP 721.339	Recursos propios

Figura 2.6: Presupuesto proyecto de grado

Bibliografía

- [1] J. Lopez, "Determinación de los requerimientos nutricionales de la piña variedad md2 en suelos ácidos del municipio de santander de quilichao," Trabajo de grado, Universidad Nacional de Colombia, Palmira, 2017. [Online]. Available: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/58735>
- [2] T. y. S. R. Madhumathi, R. y Arumuganathan, "Análisis de npk y humedad del suelo mediante redes de sensores inalámbricos," in *2020 11th International Conference on Computing, Communication and Networking Technologies (ICCCNT)*.
- [3] A. B. V. Cristancho and L. Corredor. (1991) Cultivo de piña. [Online]. Available: "https://repositorio.sena.edu.co/bitstream/handle/11404/5505/cultivo_de_pi%F1a.PD?sequence=1"
- [4] FAO, "Major tropical fruits - statistical compendium 2017," Rome, 2019.
- [5] MinAgricultura. (2018) Producción de piña llegaría a más 950 mil toneladas en 2018, calcula minagricultura. [Online]. Available: <https://www.minagricultura.gov.co/noticias/Paginas/Producci%C3%B3n-de-pi%C3%B1a-llegar%C3%ADa-a-m%C3%A1s-950-mil-toneladas-en-2018,-calcula-MinAgricultura-.aspx>
- [6] X. Gonzalez. (2019) La producción de piña en colombia llegaría a 1,18 millones de toneladas al finalizar el año. [Online]. Available: <https://www.agronegocios.co/agricultura/la-produccion-de-pina-en-colombia-llegaria-a-118-millones-de-toneladas-al-finalizar-el-ano-2895397>
- [7] FAO, "Food outlook: Biannual report on global food markets," Rome, 2021.
- [8] MinAgricultura. (2019, Junio) Cadena de la piña. [Online]. Available: <https://sioc.minagricultura.gov.co/Pasifloras/Documentos/2019-06-30%20Cifras%20Sectoriales%20PI%C3%91A.pdf>
- [9] G. Lemaire, L. Tang, G. Bélanger, Y. Zhu, and M.-H. Jeuffroy, "Forward new paradigms for crop mineral nutrition and fertilization towards sustainable agriculture," *European Journal of Agronomy*, vol. 125, p. 126248, 2021. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1161030121000204>
- [10] K. Sanchez, "Diseño de un estimador no lineal para predecir el nivel de nitrógeno en suelo agrícola," Trabajo de grado - Pregrado, Universidad Catolica de San Pablo, Arequipa, Peru, 2018. [Online]. Available: https://repositorio.ucsp.edu.pe/bitstream/UCSP/15668/1/SANCHEZ_MORA_KAT_EST.pdf

- [11] Taidacent suelo npk sensor. [Online]. Available: https://www.amazon.com/-/es/Taidacent-Sensores-Detector-Nitr%C3%B3geno-nitr%C3%B3geno/dp/B08MXXSP59/ref=sr_1_3?adgrpid=97158540610&gclid=CjwKCAiA4veMBhAMEiwAU4XRr-4fIRfh7YhXSOsEn7N79tL8TIwaBhP4Pwqu-lcM4hPt39yOSIJwmRoC12cQAvD_BwE&hvadid=523259518268&hvdev=c&hvlcphy=1003668&hvnetw=g&hvqmt=b&hvrnd=17629681884738473077&hvtargid=kwd-1458210106948&hydadcr=12309_13240617&keywords=soil+npk+sensor&qid=1637774488&qsid=146-8591556-7095837&sr=8-3&sres=B08MXXSP59%2CB097NDY9Y3%2CB0821HXSPF%2CB0836WYNJ1%2CB099Q22TBJ%2CB08QS2Y1GZ%2CB07H869T9M%2CB0000DI845%2CB00E1N3R3O%2CB0080GQY56%2CB000HHLJQA%2CB07QXZC8TQ%2CB076DDWDJK%2CB098S1BH4V%2CB00CJIDFAS%2CB07BR52P26%2CB014MJ8J2U%2CB07JM621R3%2CB08PG3QB7D%2CB000LLOUKY
- [12] Waterproof agricultural soil npk sensor. [Online]. Available: https://www.alibaba.com/pla/Waterproof-4-20ma-RS485-agricultural-soil-npk_62538782600.html?mark=google_shopping&biz=pla&pcy=US&searchText=Soil+Npk+Ph+Sensor&src=sem_ggl&from=sem_ggl&cmpgn=14481873034&adgrp=126684537997&fditm=&tgt=pla-293946777986&locintrst=&locphyscl=1003668&mtchtyp=&ntwrk=u&device=c&dvcmdl=&creative=542728307213&plcmnt=&plcmntcat=&p1=&p2=&acid=&position=&localKeyword=&pla_prdid=62538782600&pla_country=CO&pla_lang=en&gclid=CjwKCAiA4veMBhAMEiwAU4XRr40TNG1_Cy15y5RrjjyaOnM_5Ka7cfDizdpSDspbQaSTsjvFnAdfJhoCwCwQAvD_BwE
- [13] Detector de fertilizante para agricultura de suelo 3 en 1. [Online]. Available: https://es.aliexpress.com/item/4001229897593.html?spm=a2g0o.search0304.0.0.19302d027yO4Qx&algo_pvid=29fe400c-12eb-4a66-998c-48c61a95858b&algo_exp_id=29fe400c-12eb-4a66-998c-48c61a95858b-1
- [14] Detector de smart nutrients. [Online]. Available: https://www.ebay.com/itm/High-Precision-Smart-Nutrients-Fertilizer-Detector-IP68-Soil-NPK-Sensor-Arduino-/254293224212?norover=1&mkevt=1&mkrid=21553-225709-2056-0&mkcid=2&keyword=&crlp=436738225643_&MT_ID=&geo_id=&rlsataarget=dsa-19959388920&adpos=&device=c&loc=1003668&poi=&abcId=&cmpgn=644328398&sitelnk=&adgroupid=29412698887&network=g&matchtype=b&gclid=CjwKCAiA4veMBhAMEiwAU4XRrw3bpf4ovLRWgmyid6IPYYRp0eBhnZ_NiqU2fkA3mALsngxslPI55hoCLCgQAvD_BwE
- [15] A. Guerrero and A. M. Mouazen, “Evaluation of variable rate nitrogen fertilization scenarios in cereal crops from economic, environmental and technical perspective,” *Soil and Tillage Research*, vol. 213, p. 105110, 2021. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198721001835>

- [16] G. Lavanya, C. Rani, and P. Ganeshkumar, "An automated low cost iot based fertilizer intimation system for smart agriculture," *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, vol. 28, p. 100300, 2020. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2210537918302567>
- [17] M. Masrie, A. Z. M. Rosli, S. Rosidah, J. Zuriati, and N. M. Khairi, "Sensor óptico integrado para la detección de nutrientes del suelo npk," in *2018 IEEE 5th International Conference on Smart Instrumentation, Measurement and Application (ICSIMA)*.
- [18] A. Archana, V. S. Sankari, and S. S. Nair, "An economically mobile device for the on-site testing of soil nutrients by studying the spectrum," *Materials Today: Proceedings*, 2021. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785321042474>
- [19] H. INSTRUMENTS, "Instrumentación en agricultura. agua de riego, hidroponía y suelo." [Online]. Available: <https://www.drogallega.es/u/ficheros/representaciones/0x97FB417C167411E1B11983F6C49D8B77.10.pdf>
- [20] M. Shylaja, SN y Veena, "Monitoreo en tiempo real del análisis de nutrientes del suelo usando wsn," in *2017 International Conference on Energy, Communication, Data Analytics and Soft Computing (ICECDS)*.
- [21] ANFFE, "Importancia de los fertilizantes en la agricultura actual productiva y sostenible," 2008. [Online]. Available: <http://www.anffe.com/noticias/2008/2008-06-02%20La%20importancia%20de%20los%20fertilizantes%20en%20una%20agricultura%20actual%20productiva%20y%20sostenible/LA%20IMPORTANCIA%20DE%20LOS%20FERTILIZANTES.pdf>
- [22] M. Khaydukova, D. Kirsanov, S. Sarkar, S. Mukherjee, J. Ashina, N. Bhattacharyya, S. Chanda, R. Bandyopadhyay, and A. Legin, "One shot evaluation of npk in soils by "electronic tongue"," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 186, p. 106208, 2021. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169921002258>
- [23] M. M. y R. Mohamad Syamim Aizuddin y S. Rosidah y J Zuriati, "Detección de nutrientes de nitrógeno, fósforo y potasio (npk) del suelo mediante un transductor óptico," in *2017 IEEE 4th International Conference on Smart Instrumentation, Measurement and Application (ICSIMA)*.
- [24] G. K. Kumar, C. Rahul, and J. R. C, "Un marco novedoso para el monitoreo inteligente de cultivos usando internet de las cosas (iot)," in *2018 Primera Conferencia Internacional sobre Computación y Comunicación Cibernéticas Seguras (ICSCCC)*.

- [25] Npk tester medidor de nutrientes. [Online]. Available: <https://tpmequipos.com/npk-tester-medidor-de-nutrientes-probador-suelo-tierra.html>
- [26] Detector de suelo (sensor de medidor npk). [Online]. Available: https://www.amazon.com/-/es/inteligente-fertilizantes-nutrientes-herramienta-jardiner%C3%ADa/dp/B097NDY9Y3/ref=sr_1_12?__mk_es_US=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&crid=2NCC5TF6RJFMP&keywords=npk+test+kit&qid=1637829350&qsid=146-8591556-7095837&srefix=npk+test%C2%20Caps%C2%2057&sr=8-12&sres=B0000DI845%2CB00FGPLZZS%2CB004W6JC2U%2CB0080GQY56%2CB072LP4DGL%2CB0189GFI94%2CB0019AI7PU%2CB097NDY9Y3%2CB00DBSY6B2%2CB079GMTHFD%2CB00BMAXMRA%2CB013P2UNF6%2CB000HHLJQA%2CB0091GUNYM%2CB0109TZTDE%2CB07XRF8BJV%2CB00WIRPQLQ%2CB09JG49G8Y%2CB07Q2DW8FK%2CB094VSSZ7B
- [27] Agricultura npk sensor. [Online]. Available: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/agriculture-npk-sensor-n-p-k-meter-soil-nutrient-tester-testing-kit-soil-analyzer-for-npk-1600062014157.html>
- [28] Equipo de prueba de suelo. [Online]. Available: <https://es.aliexpress.com/i/1005001620243485.html>
- [29] Soil npk sensor. [Online]. Available: https://www.jxctiot.com/product1/product195.html?gclid=CjwKCAiA4veMBhAMEiwAU4XRr-6T4V-tRO6UDrNkzGgibpbYdCGJfab4wSrnvBpKiKJwLG2JMAKJphoCWgkQAvD_BwE
- [30] Luster leaf gardening products - soil test kits. [Online]. Available: http://www.lusterleaf.com/nav/soil_test.html
- [31] Luster leaf 1601 rapitest kit. [Online]. Available: <https://www.amazon.com/-/es/1601-Rapitest-nitr%C3%B3geno-f%C3%B3sforo-paquete/dp/B0000DI845>
- [32] Kit de prueba rapitest 1601. [Online]. Available: <https://www.ebay.com/itm/363529866018?epid=1431690411&hash=item54a4118b22:g:ObUAAOSwy11fkunv>
- [33] Kit de prueba de suelo rapitest. [Online]. Available: https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-607163101-kit-de-prueba-de-suelo-rapitest-npk-ph-medidor-soil-_JM
- [34] Metodologías de trabajo. ISF Colombia - Uniandes. [Online]. Available: <https://isfcolombia.uniandes.edu.co/index.php/eventos/metodologias-de-trabajo>

3.1. Curriculum Vitae Juan Manuel Nogales Viedman

ACADEMIC INFORMATION

- Mechatronic Engineer-2008, Universidad Autonoma de Occidente.
- Master in Engineer-2012, Pontificia Universidad Javeriana Cali.
- PhD in Computer Science-2018, Universidade Fed. Uberlandia Brazil.

WORK EXPERIENCE

UNIVERSIDAD SANTIAGO DE CALI

Teacher Programming and Electronics (Feb 2019-Present)

- Machine learning and programming courses
- Classes of basic concepts of circuits and electronic laws
- Multisim simulations and virtual lab practices

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA

Teacher in Feedback systems and Introduction to Electronics (Ago 2020 - Present)

- Classes of system analysis using Laplace, Nyquist, Lyapunov, and Routh-Hurwitz
- Classes of basic concepts of electronics laws

Researcher (Feb. 2009 - June 2010)

- Development of mathematical frameworks for optimal allocation of heterogeneous agents using stability theory for nonlinear systems
- Statistical analysis by employing Monte Carlo simulations to evaluate different methods and applications of control to allocate agents on networks in a distributed fashion
SENA – TECNOACADEMIA Facilitator and researcher in Design and 3D prototyping

(Feb 2019-Dec 2020) - Practical classes of design and prototyping using 3D printers, CNC, and Laser cutter machines - Research student proposals to provide prototypes (exoskeletons, IoT smart sewers, bridges)

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE OCCIDENTE

Teacher in Signals and Systems (Aug. 2012 – Dec. 2012) Teacher in Signals and Systems and Sound processing (July 2018 – July 2020)

- Classes of signal processing with Fourier, Laplace and Z transforms.
- Matlab and Python implementations for validating theoretical concepts

DOMA

Project advisor (Dec. 2017 – Jan. 2019)

- Visit customer installations to plan, design, and project solutions for security systems.
- Install and provide maintenance to the installed products.