

**Sistema de monitoreo de variables medio ambientales para el registro de parámetros que influyen en la plaga PC (Pudrición de cogollo) con mejoras en los procesos de siembra y cosecha de los cultivos de palma de aceite**

**Brayans Leonardo Badillo González, Julio César Romero Jaimes**

**Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero de Telecomunicaciones**

**Director**

**Ricardo Andrés Medina Puentes**

**Magíster en Redes y Sistemas de Comunicaciones**

**Universidad Santo Tomás, Bucaramanga**

**División de Ingenierías y Arquitectura**

**Ingeniería de Telecomunicaciones**

**2022**

### **Dedicatoria**

El presente trabajo está dedicado primeramente a Dios por darnos el entendimiento, la fortaleza, el discernimiento y la sabiduría durante todo el desarrollo de este.

También agradecer a cada una de nuestras familias, que desde el minuto cero creyeron en todo este trabajo y que no pararon de animarnos cuando el camino se hacía difícil y denso, de forma también muy especial agradecemos a nuestro director el ingeniero Ricardo Andrés Medina Puentes, por el tiempo dedicado a cada una de las fases de desarrollo de este trabajo, agradecemos a la academia de robótica Spiderbots y al coordinador Anthony Steven Buenahora Hernández por prestarnos sus instalaciones para el desarrollo de este proyecto y por su tiempo brindado en cada una de las dudas que a lo largo del camino se iban presentando y como agradecimiento final y muy importante a la granja Campo Alegre por permitirnos hacer uso de sus cultivos para llevar acabo las pruebas y calibraciones para el correcto funcionamiento de este proyecto.

## Contenido

Introducción .....	9
1. Formulación del problema .....	13
2. Justificación.....	14
3. Objetivos .....	15
3.1 Objetivo general .....	15
3.2 Objetivos específicos.....	15
4. Marco de Referencia .....	16
4.1 Marco de antecedentes .....	16
4.2 Marco Conceptual .....	20
5. Metodología .....	24
6. Conclusiones .....	44
7. Trabajo futuro.....	44
8. Anexos.....	45
9. Presupuesto .....	46
10. Cronograma.....	47
Referencias.....	48
Apéndices.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>

### Lista de figuras

<b>Figura 1.</b> <i>“Oz Weeding robot” diseñado por Naio Technologies</i> .....	18
<b>Figura 2.</b> Robot <i>“TED” diseñado por Naio Technologies</i> .....	19
<b>Figura 3.</b> Robot <i>“DINO” diseñado por Naio Technologies</i> .....	20
<b>Figura 4.</b> <i>Enfermedad PC en la palma de aceite.</i> .....	21
<b>Figura 5.</b> <i>Ciclo de control en el agro</i> .....	22
<b>Figura 6.</b> <i>Distribución de la red de sensores (prototipo)</i> .....	25
<b>Figura 7.</b> <i>Modelo de interconexión entre estaciones.</i> .....	30
<b>Figura 8.</b> <i>Diseño de las estaciones de medición.</i> .....	32
<b>Figura 9.</b> <i>Modelo de la estación de medición terminada</i> .....	33
<b>Figura 10.</b> <i>Distribución de los sensores en el interior</i> .....	33
<b>Figura 11.</b> <i>Dispositivo de medición ubicado en la altura adecuada para su funcionamiento.</i> ....	34
<b>Figura 12.</b> <i>Estación de medición en fase de prueba.</i> .....	34
<b>Figura 13.</b> <i>Dashboard de ubidots.</i> .....	35
<b>Figura 14.</b> <i>Dashboard variables captadas</i> .....	36
<b>Figura 15.</b> <i>Prototipo de medición de variables ambientales.</i> .....	36
<b>Figura 16.</b> <i>Ubicación principal con línea de vista</i> .....	37
<b>Figura 17.</b> <i>Comunicación con el maestro.</i> .....	37
<b>Figura 18.</b> <i>Estación secundaria de monitoreo.</i> .....	38

<b>Figura 19.</b> <i>Visualización web.</i> .....	39
<b>Figura 20.</b> <i>Captura y visualización de datos.</i> .....	39
<b>Figura 21.</b> <i>Historial de datos registrados.</i> .....	40
<b>Figura 22.</b> <i>Poda en el cultivo de palma.</i> .....	41
<b>Figura 23.</b> <i>Registro de variables antes y después de la poda y fumigación.</i> .....	41
<b>Figura 24.</b> <i>Comportamiento del pH a los fertilizantes.</i> .....	42
<b>Figura 25.</b> <i>Temperatura después de la poda.</i> .....	43
<b>Figura 26.</b> <i>Datos captados de humedad.</i> .....	43

**Lista de tablas**

<b>Tabla 1.</b> <i>Comparativo de implementación de tecnologías en plantaciones de palma de aceite...</i>	17
<b>Tabla 2.</b> <i>Soluciones móviles agrícolas existentes para la gestión de información en campo en el ámbito mundial. ....</i>	23
<b>Tabla 3.</b> <i>Parámetros ideales para un cultivo de palma efectivo.....</i>	27
<b>Tabla 4.</b> <i>Parámetros captados en salida de campo. ....</i>	28
<b>Tabla 5.</b> <i>Porcentajes de error de cada sensor. ....</i>	29
<b>Tabla 6.</b> <i>Parámetros ideales del cultivo de palma en la granja Campo Alegre. ....</i>	31
<b>Tabla 7.</b> <i>Presupuesto de los elementos utilizados.....</i>	46
<b>Tabla 8.</b> <i>Cronograma del tiempo de desarrollo.....</i>	47

### **Resumen**

Este trabajo se realizó mediante una solución tecnológica con el monitoreo de variables medio ambientales para el seguimiento de la problemática pudrición del cogollo en los cultivos de palma. Este también se desarrolló con el objetivo de dar ayuda a los palmicultores en el control y manejo de las métricas que se deben tener contempladas para que la enfermedad PC (pudrición de cogollo) no se presente en el cultivo a lo largo de su proceso de producción, pues dicha enfermedad es la principal causa de pérdidas tanto monetarias como de cultivo. Este contó con un desarrollo hardware para la creación de estaciones de medición de variables medio ambientales, las cuales, a través de la adaptación de tecnologías Zigbee, se logró una comunicación entre dichas estaciones, para su posterior visualización de datos por medio de la plataforma educativa Ubidots, la visualización en tiempo real de los parámetros ambientales captados permitieron al agrónomo tener un panorama actual del comportamiento del cultivo vía remota y con base a las mediciones de los parámetros, tomar decisiones que no permitieron alteraciones invasivas en los cultivos.

*Palabras claves:* pudrición de cogollo, estaciones de medición de variables medio ambientales, redes de sensores, visualización de datos

### **Abstract**

This work was carried out through a technological solution with the monitoring of environmental variables for the follow-up of the problematic bud rot in palm crops. This was also developed with the aim of helping palm growers in the control and management of the metrics that must be considered so that the PC disease (bud rot) does not occur in the crop throughout its production process, since this disease is the main cause of both monetary and crop losses. This had a hardware development for the creation of the measurement stations of environmental variables, which, through the adaptation of Zigbee technologies, communication between these solutions was achieved for subsequent data visualization through educational platform Ubidots, the real-time visualization of the environmental of the parameters, allowed the agronomist to have a current panorama of the behavior of the crop remotely and, based on the measurement of the parameters, make decisions that did not allow invasive alterations in the crops.

*Keywords:* bud rot, environmental variables measurement stations, sensor networks, data visualization

## Glosario

*Automatización:* metodología que involucro procesos automáticas con intervención de herramientas tecnológicas y que permite un mejor desempeño en determinado entorno productivo.

*Dashboard:* interfaz digital de visualización de información de manera gráfica que permite organizar la información a partir de determinados parámetros de configuración a través de herramientas de software o desarrollo web (ver ejemplo en la fase 3, actividad 3).

*Ubidots:* herramienta de software en la web que permite administrar datos captados desde entornos locales o en línea y ser visualizada de manera remota a través de conexión a internet.

*Zigbee:* tecnología utilizada ampliamente en el campo del internet de las cosas y que funciona a través de las redes de sensores, estableciendo comunicación entre diferentes nodos con el fin de captar datos de variables para centralizarlos y administrarlos.

*IoT:* acrónimo de internet de las cosas (Internet of Things) y que hace alusión al establecimiento de tecnologías emergentes que permiten interconectividad e interoperabilidad entre dispositivos a través de las redes de internet.

*Plagas:* término utilizado para hacer referencia a los fenómenos biológicos que afectan negativamente a las plantaciones en relación a los procesos productivos y que se producen en diferentes entornos ambientales (ejemplo: pudrición de cogollo).

*Software:* conjunto de elementos lógicos desarrollados con la finalidad de dar respuesta a determinados procesos informáticas.

*Hardware:* elementos de carácter físico que permiten interconectar componentes informáticos o sistemas de datos relacionados con la generación, transmisión, visualización e interconexión de información.

*Pluviometría:* estudio de los datos relacionados con las precipitaciones con base en parámetros relacionados con frecuencia, altitud, densidad atmosférica, entre otros.

*JavaScript:* lenguaje de programación clasificado como lenguaje interpretado, de script y orientado a objetos.

*Node-JS:* entorno en tiempo de ejecución multiplataforma orientado al servidor, basado en JavaScript y de código abierto.

## Introducción

La automatización y los sistemas IoT que giran en torno al agro, tienden a ser de gran ayuda en la industrialización del agro en Colombia ha generado una necesidad de soluciones tecnológicas que influyen directamente en el desarrollo y producción de esta industria a lo largo de su proceso, dando a entender que a medida que avancen los años todos los campos de producción en el agro deben ir de la mano con la implementación de nuevas tecnologías, para la masificación de su producción y calidad, es por esto que uno de los sectores del agro que más tiene beneficios de producción he inversión económica al PIB del país [1].

Esta área del agro se encuentra en investigación y desarrollo de estrategias de la mano de nuevas tecnologías para dar solución a muchas de sus problemáticas, como la aparición de plagas (Pudrición de cogollo), es por esto por lo que la finalidad de este proyecto es darle un enfoque a esa área de producción, la cual en Colombia se encuentra distribuida en 500.000 hectáreas aproximadamente sembradas por todo el territorio nacional [2].

La monitorización de los parámetros medio ambientales en los distintos cultivos de palma de aceite se hace una de las tareas más difíciles de realizar debido a que sus extensiones de terreno. Es por esto por lo que el control de sanidad y la posible aparición de plagas por cambios medió ambientales se hace difícil de detectar en un tiempo oportuno para su rápida reacción.

En este proyecto se midieron 5 parámetros que influyen directamente en el desarrollo de cultivo de palma de aceite (humedad, temperatura, Ph, pluviometría y luminosidad) con el propósito de monitorear y generar alertas a los agrónomos sobre el estado real de los parámetros de su cultivo y de esta manera detectar cuando los cultivos se encuentran más propensos a sufrir la infección de la plaga PC. La topografía de estos terrenos hace necesario el uso de tecnologías

como Zigbee para lograr la transmisión de datos con topología punto a punto, para una posterior visualización online de dichos parámetros.

## 1. Formulación del problema

Colombia es el cuarto productor de aceite de palma en el mundo y el primero en América latina [3]. El manejo de los datos que se recolectan a diario en los cultivos de palma de aceite se convierte en tareas de alta demanda de espacio y tiempo, haciendo necesario de múltiples trabajadores para una labor específica, donde se pueden obtener hasta 5000 datos diarios y donde se puede llegar a realizar hasta 50 labores diferentes diarias. Uno de los eventos que más daño ha generado en los palmicultores, es la aparición de distintas plagas en los cultivos de palma, donde estos han causado pérdidas estimadas en más de 140 mil millones de pesos en Colombia [4].

La automatización y los sistemas IoT que giran en torno al agro, tienden a ser de gran ayuda en cuanto a la monitorización de los cultivos que permiten medir y evaluar la evolución de las plantaciones en tiempo real, así como la aplicación de estas tecnologías en la gestión y control inteligente de plagas evitando afectaciones en la producción enero [5].

El desarrollo de estas tecnologías ha sido implementado en zonas agroindustriales, como por ejemplo la empresa española Plant Rape [6], la cual desarrolló una plataforma robótica para el trasplante de hortalizas, cuya novedad es que por medio de una banda transportadora contiene las distintas hortalizas, que con el movimiento de la plataforma por el cultivo estas se desplazan hasta el lugar de su plantación. La empresa francesa Naio Technologies [7], haciendo uso de herramientas como rayos láser y cámaras para la detección de malezas en los distintos cultivos, generando a sus clientes mayor rentabilidad, mejores condiciones de trabajo, potenciando el ser amigable con el medio ambiente.

## 2. Justificación

En la actualidad el agro es un sector económico que se ha posicionado en los primeros lugares en las economías más fuertes de Colombia que para el primer trimestre del año 2020 creció un 6.8% [8], es por esto por lo que la tecnología y la automatización se han convertido en el aliado número uno en el desarrollo de la agroindustria, de manera que se busca mejorar la eficacia y efectividad en los procesos de producción ayudando a obtener mejores resultados de este.

La industria de palma de aceite representa un indicador positivo económicamente para Colombia, aportando 8 billones de pesos anuales a la economía colombiana [9].

Actualmente, este sector demanda la constante implementación de actualización tecnológica e industrialización de sus procesos, buscando minimizar al máximo sus pérdidas por afectaciones de plagas y por la falta de recursos tecnológicos que ayuden a la gestión y control total del cultivo, desde su etapa de siembra hasta su comercialización [10].

La automatización en los cultivos de palma de aceite tiene como objetivo disminuir la complejidad en las labores del control de plagas y en los trabajos que se llevan a cabo a lo largo de su etapa de producción. El control de estos cultivos proporciona la información a los palmicultores de las condiciones en tiempo real de un determinado lote de palma, permitiendo así, poder tener un mejor manejo y gestión de estos cultivos por medio de la visualización de datos de manera remota a través de plataforma web, es por esto por lo que las herramientas tecnológicas a nuestro alcance cobran un valor relevante, como lo son los desarrollos de software y hardware.

Este proyecto enriquece la integración de la tecnología con el agro, generando procesos de calidad. (Ver Anexos 1. crecimiento económico de la palma de aceite y la influencia de plagas en los cultivos.)

Pregunta problema: ¿Cuál es el impacto climático con base en la implementación de recursos tecnológicos en los cultivos de palma de aceite mediante monitoreo de plagas a partir de la identificación de PC (Pudrición de cogollo)?

### **3. Objetivos**

#### **3.1 Objetivo general**

Desarrollar un sistema de monitoreo de la plaga PC (Pudrición de Cogollo) mediante la toma de variables medio ambientales en los cultivos de palma de aceite, que permita tomar una rápida acción sobre el manejo de la plaga en los cultivos de palma de aceite.

#### **3.2 Objetivos específicos**

1. Generar una interfaz gráfica en línea mediante la herramienta Ubidots que permita la visualización en tiempo real de los datos recolectados por los sensores que se encuentran distribuidos en el lote de palma.
2. Caracterizar las variables medio ambientales (Temperatura, Humedad, PH, Radiación, pluviometría) mediante el análisis de las condiciones del entorno del cultivo y que puedan tener alguna afectación, y que permitan un monitoreo real del cultivo.

3. Adaptar el prototipo de una red de sensores encargado de medir las variables medio ambientales en tiempo real de una hectárea en un cultivo de palma mediante la tecnología Zigbee.
4. Realizar pruebas in situ para la calibración de los elementos de hardware mediante análisis de resultados obtenidos a partir de la red de sensores.

#### **4. Marco de Referencia**

##### *a. Marco de antecedentes*

Durante el desarrollo de la presente propuesta, se realizaron distintas consultas previas e investigaciones en donde se encontró información referente a proyectos y problemáticas que se han solucionado utilizando las distintas tecnologías que ayudan en gran parte al desarrollo de las etapas de un cultivo en específico, dándoles grandes beneficios y rentabilidades en cuanto a su producción y desarrollo. Ahora bien, algunos de estos proyectos investigados se lograron localizar distintos documentos que contenían información de alta importancia sobre los cultivos de palma de aceite, en donde se utiliza la tecnología para aumento de su productividad, uno de ellos es titulado “*Tecnología móvil y software para visualizar las labores en campo y la fuerza laboral en plantaciones de palma de aceite*” en el cual nos habla sobre como la tecnología impacta de forma positiva la producción del cultivo haciéndolo mucho más rentable de lo que normalmente es. Dicha rentabilidad es vista desde una tabla la cual compara la forma en que aumenta la productividad [11].

Este sistema de tecnología se basa en la “*captura de información permite obtener de manera inmediata y en línea la gestión de cada planta, monitorizar su comportamiento en todos*

los aspectos clave, como lo son siembra, cosecha, tiempos de recolección, fertilización y polinización, manejo fitosanitario, plateo, entre otros procesos, y que se integra de manera directa con cualquier sistema erp” [11].

De igual manera se logró encontrar una empresa francesa denominada “Naio technologies” la cual se encarga de “desarrollar y comercializa robots y herramientas eléctricas para uso en la agricultura y la viticultura, lo que permite a los productores desyerbar, azada y cosecha de los frutos de sus cultivos de la forma más eficiente posible. Nuestros robots están diseñados para ayudar a los productores en sus tareas diarias con el fin de aliviar su carga de trabajo y optimizar la rentabilidad, al tiempo que limitan el impacto en el medio ambiente” [7].

**Tabla 1.** Comparativo de implementación de tecnologías en plantaciones de palma de aceite

2014				
Detalle	Manual/Poca Tecnología	Tecnología Movil / TAGS / Sincrinización cada 2 horas	Diferencia	Incremento (%)
Lotes de híbrido de 5 años por Sagalossa	RP36	RP24		
Hectareas promedio por trabajador. Trabajadores Campo (Sanidad vegetal, cortadpres, recolecores, Polinizadores, Plateadores).	6	8	2	33
Jornada real promedio diario por trabajador horas	3,50	5,50	2	57

*Nota:* tabla comparativa de entre cultivos que usan y los que no, las nuevas tecnologías. Adaptado de informe Tecnología móvil y software para visualizar las labores en campo y la fuerza laboral en plantaciones de palma de aceite [14].

Esta empresa francesa se encargó del desarrollo de 3 tipos de plataformas robóticas (autónomas o radios controladas) las cuales proporcionan muchas mejoras argumentadas por ellos como una rentabilidad altísima en cuanto al trabajo vs esfuerzo de la mano de obra en un cultivo de estos. Es de suma importancia resaltar que su valor agregado en esta industria es el impacto ambiental que muchas veces se genera en el proceso de diferentes cultivos.

Las plataformas robóticas desarrolladas por esta empresa cuentan con tareas específicas en cada uno de sus trabajos realizados, como los son su robot “*Oz Weeding robot*” el cual se diseñó con el fin de cumplir tareas como lo es la “*ayuda durante las tareas de desyerbar y azada con el fin de aumentar su rentabilidad respetando el medio ambiente. Está diseñado para mejorar las condiciones de trabajo y reducir su carga de trabajo diaria. Oz es totalmente autónomo, pero también puedes guiarlo para ir donde quieras*” [13].

**Figura 1.** “*Oz Weeding robot*” diseñado por Nao Technologies



*Nota:* diseño implementado por Nao Technologies para la industria del agro.

Otro de los tipos de plataformas robóticas diseñadas es la “*Mutifunctional vineyard Weeding robot- TED*” la cual está diseñada “*para el deshierbe muy precisa para viñedos. Su principal activo es que libera las manos y las mentes de los viticultores para que puedan dedicar*

*más tiempo a las tareas con un mayor valor añadido”. Además de este trabajo “también se utiliza de forma muy eficaz en la aplicación de los productos químicos, que generalmente forman parte de las prácticas tradicionales de cultivo de vino”. Añadido a esto la empresa francesa nos dice que el robot “TED es el primer robot eléctrico totalmente autónomo en el mercado en mantener y desyerbar eficientemente los viñedos, con un alto nivel de precisión” [14].*

**Figura 2.** Robot “TED” diseñado por Naio Technologies



*Nota:* diseño implementado por Naio Technologies para la industria del agro.

Por último, esta compañía diseñó la plataforma robótica denominada “*Autonomous Vegetable Weeding robot – DINO*” el cual es el encargado de “*facilita el deshierbe de vegetales en granjas de gran escala. Su principal activo es que funciona de forma autónoma, por lo que tiene más tiempo para tareas con mayor valor añadido*” [15].

**Figura 3.** Robot “DINO” diseñado por Naio Technologies



*Nota:* diseño implementado por *Naio Technologies* para la industria del agro.

*b. Marco Conceptual*

La ejecución del proyecto requiere de la comprensión previa de algunos conceptos que se deben de tener en cuenta a la hora del desarrolló de esté y así mismo a la hora de comprender como los cultivos de palma de aceite se ven afectados por las distintas enfermedades fitosanitarias, que con el paso de su proceso de desarrollo se van presentando, por tal motivo es importante analizar hasta el mínimo detalle de estas para comprender de forma más precisa como tratarlas y así dar una respuesta inmediata para no generar perdidas en el cultivo.

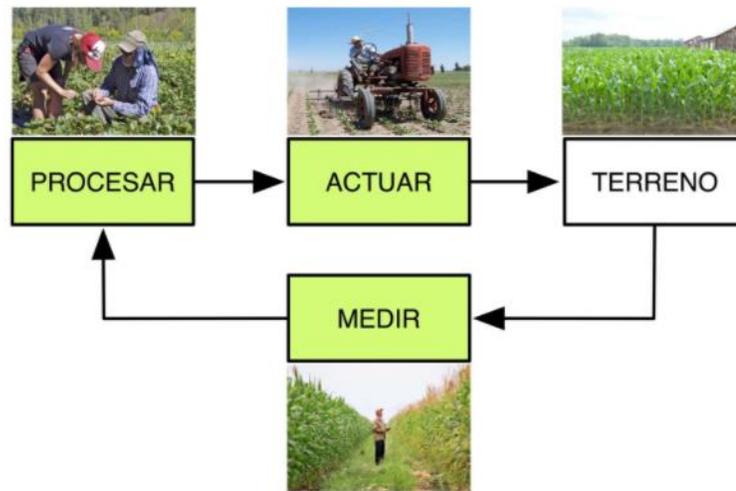
Es por esto que en el proceso investigativo se logró identificar que la enfermedad PC (pudrición de cogollo) es una de las de mayor afectación en los cultivos de palma de aceite en Colombia dando estimaciones de “141 mil millones de pesos las pérdidas acumuladas por la pudrición de cogollo (PC) que ya está presente en unas dos mil hectáreas sembradas en el norte del país”. Logrando así identificar que “Solo en el Magdalena se estiman afectaciones de 50 mil millones de pesos, luego de que 700 hectáreas fueran atacadas por la enfermedad” [16].

**Figura 4.** *Enfermedad PC en la palma de aceite.*



*Nota:* representación gráfica de la enfermedad PC (Pudrición de cogollo).

Una plataforma robótica usualmente es desarrollada para múltiples tareas, donde se busca que el índice de eficacia sea muy alto, o bien donde el esfuerzo sea tanto que la mano del hombre no es lo suficientemente fuerte para soportarlo, generando así ampliación en el recurso humano para una sola tarea en específica. Es por tal motivo que en el campo del agro en la actualidad se busca que todos los procesos sean realizados por las maquinas, para así generar mucha más rentabilidad de la que usualmente se genera con la mano de obra del humano, dando así un factor importante a relacionar a la hora de la revolución tecnológica en la vida del agro, pero no solo la tecnología en el agro busca reemplazar la mano de obra del hombre, si no *“que busca poder hacer uso de los recursos naturales disponibles (suelo cultivable, agua, energía) de forma correcta sin derroche, ya que estos se encuentran muy cerca de su límite. Por ello, se hace imprescindible, que a la vez que se aprovecha de la mejor manera posible lo producido, evitando su desperdicio, se mejore el rendimiento de los recursos, considerando éstos de manera integral”* [17].

**Figura 5.** *Ciclo de control en el agro*

*Nota:* en el actuar del agro siempre es importante poseer un ciclo de cómo actuar en caso de que existan problemas, o bien hacer de forma organizada un proceso para el avance y creación de este.

Ahora bien, el uso de las nuevas tecnologías para la producción en el agro se ha convertido en el punto de inflexión para una sociedad que se encuentra en un constante cambio. *“Colombia como un país primordialmente agrícola, se enfrenta a los retos de la globalización, en especial al firmar acuerdos comerciales internacionales que exigen un alto nivel de competitividad externa en los sectores tradicionalmente importantes comercialmente como es el caso del sector agrícola”*. Es por este motivo el sector del agro busca crecer exponencialmente con el uso de las nuevas tecnologías, optimizando procesos que para la mano de obra humana muchas veces es demasiado desgastante y poco productiva [14].

**Tabla 2.** Soluciones móviles agrícolas existentes para la gestión de información en campo en el ámbito mundial.

Nombre del producto	Empresa	País	Página web	Móviles soportados	Características
<b>SIAP</b>	BIOSALC	Brasil	www.biosalc.com.br	Palm OS	Comunicación con SIAGRI. Lectura usando código de barras e infrarrojo. Arquitectura móvil desconectada. Seguridad y privilegios.
<b>FarmKeeper Mobile</b>	FarmKeeper	Australia	www.farmkeeper.com	Palm OS	Comunicación con FarmKeeper de escritorio. Especializado en granjas ganaderas. Apoyo con mapas
<b>Agri-Pocket</b>	ISAGRI	Francia	www.isagri.com	Windows CE Palm OS	Comunicación con aplicaciones de ISAGRI. Lectura usando código de barras. Localización con GPS. Utiliza pantallas TFT para adaptarse a la luz ambiente. Soporte e instalaciones en toda Europa
<b>Trac Mate SiteMate StockMate Guide Mate</b>	Farm Works Software	Estado Unidos	www.123farmworks.com	Windows CE	Comunicación con aplicaciones de Farm Works. Opcionalmente Localización con GPS.
<b>LandMark PDA</b>	iAgri	Estado Unidos	www.iagri.com	Palm Os	Aplicación para gestión financiera y actividades en granjas. Comunicación con LandMark del escritorio
<b>Pocket Crops</b>	MapShots	Estado Unidos	www.mapshots.com	Windows CE	Comunicación con EASi Suite. Manejo de las operaciones, detalle de las operaciones e insumos. Soporta estándares Web como XML y COM
<b>PocketPAM</b>	FairPort Farm Software	Australia	www.fairport.com.au	Palm Os Windows CE	Desarrollado por módulos como Cosecha_Diaria, Soporte_GPS, Stock_Campo entre otros

*Nota:* tabla con cada una de las implementaciones que se han realizado en el ámbito del agro con las nuevas tecnologías.

Esta información es tomada ya adaptada del informe del proyecto Desarrollo de un software Web y Móvil para la gestión de información de campo de cultivos agrícolas (AgrocomM) [21].

## 5. Metodología

Fase 1: *Investigación y adquisición de conocimiento previos.*

- Actividad 1: *Recopilación de información y conceptos básicos.*

Se realizó una investigación acerca de las herramientas básicas y parámetros que se deben tener en cuenta en los cultivos de palma de aceite, plan ambiental de plagas, además de la caracterización del proceso de producción de la palma de aceite, se incorpora conceptos como red de sensores, automatización de procesos, sistemas de transmisión, software, hardware, análisis de datos.

- Actividad 2: *Búsqueda de antecedentes*

Durante el desarrollo de este proyecto fue necesario hacer continuamente consultas en diversos medios, sobre información al respecto de nuevos conceptos, métodos y componentes relacionados con el desarrollo del proyecto para así poder estar a la vanguardia de nuevas actualizaciones pertinentes para un desarrollo óptimo de este.

- Actividad 3: *Revisión de literatura y recursos Web*

Se realizaron búsquedas en base de datos del DANE sobre las plagas que más han afectado a los palmicultores en estos cultivos. También se recolectó información de bases de datos de la universidad que sirvieron como referencia para el desarrollo del proyecto, dando como punto de partida la búsqueda de proyectos que trabajaron problemáticas similares, con el fin de tener una mejor estructura de guía en el desarrollo del proyecto.

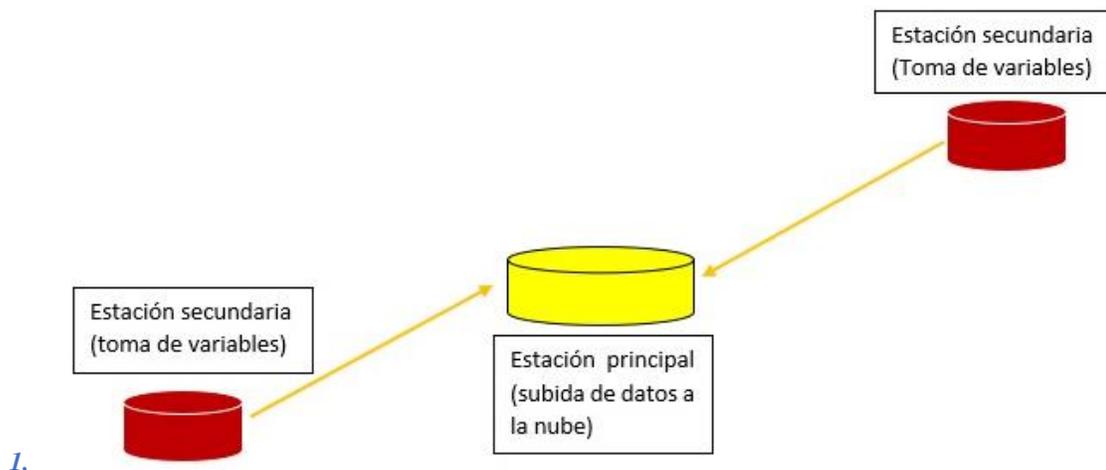
En la búsqueda de las afectaciones de la plaga PC en los cultivos de palma se logró recolectar información y se realizó un análisis desde el punto de vista tecnológico de los planes

de manejo fitosanitarios sugeridos por Fedepalma, (Ver Anexos 2. Manejo y control de la plaga PC).

Fase 2: *Desarrollo*

- Actividad 1: *Desarrollo e implementación contemplada para los cultivos de palmas (Prototipo).*

**Figura 6.** *Distribución de la red de sensores (prototipo)*



*Nota:* ejemplo de cómo se realizó la topología de red usada para intercomunicar las estaciones secundarias con la estación principal.

Con base en un análisis exhaustivo acerca de los cultivos de palma y sus afectaciones se logró observar y analizar distintos puntos de vista que a medida que pasaba el proceso de investigación serian puntos de inflexión en cuanto a los tipos de medición y toma de variables para la obtención de un cultivo y fruto óptimo, teniendo en cuenta esta investigación y el análisis de la información recolectada en documentos y en la exploración en el trabajo de campo realizado, se identificó el diseño del prototipo ideal de medición en el cultivo, para que así se obtenga el funcionamiento ideal para este. El prototipo de medición se dividió en la siguiente manera:

*Estación principal (estación principal de envío de datos):*

- Estación principal para la subida de datos a la nube.

*Estaciones secundarias (estaciones distribuidas uniformemente por el terreno para una óptima medición de parámetros):*

- Sensores de humedad relativa
- Sensores de Temperatura media
- Sensores de Uv
- Sensor de Ph del suelo
- Sensor de lluvia

Con base en el planteamiento de este prototipo se evidencio que cada uno de los puntos medición exactos para el proceso de toma de muestras tuvo un rendimiento óptimo a la hora de medir variables, dicho proceso de distribución y medición se dividió en dos estaciones de la siguiente forma:

Se buscó dividir por zonas el terreno (una hectárea como referencia) seleccionado, ya que cada punto de medición fue ubicado de acuerdo con los valores ideales para su medición. Basándonos en la investigación realizada por Fedepalma “Criterios agroecológicos útiles en la selección de tierras para nuevas siembras de palma de aceite en Colombia” en cual nos expone factores importantes a la hora de su proceso de siembra, desarrollo y producción; dándonos parámetros “ideales” para que el cultivo obtenga la mayor sostenibilidad y competitividad del cultivo.

En esta investigación se optó por tener un enfoque orientado a factores de clima y tierra, para que así se pudiera obtener un margen de lo que es posible modificar y lo que no, ya que sin esto se hacía demasiado complejo cumplir con los requisitos económicos y sociales adaptables a

la sociedad colombiana, pues estos factores tienden a tener un impacto tan grande que generan limitantes por causa del impacto medioambiental que tienen estos cultivos [2].

Es por esto por lo que los valores ideales que presentó esta investigación se pueden representar de la siguiente forma:

**Tabla 3.** *Parámetros ideales para un cultivo de palma efectivo.*

<b>Parámetro</b>	<b>Valor o rango ideal</b>
<b>Precipitación anual</b>	2.000 a 2.500 mm
<b>Precipitación Mensual</b>	Mínimo 100 mm
<b>Déficit de agua anual</b>	Menos de 200 mm
<b>Brillo Solar</b>	Más de 2.000 horas /año (Más de 5,5 horas/día)
<b>Radiación solar</b>	Más de 16 MJ/ $m^2$ /día
<b>Temperatura media</b>	22 – 31 °C
<b>Humedad Relativa</b>	75 a 85 %

*Nota:* valores considerados en las investigaciones realizadas como ideales para que el cultivo de palma de aceite se desarrolle de forma óptima. tomada y adaptada para el desarrollo de este proyecto [12].

Con base en el trabajo de campo realizado en la granja agropecuaria Campo Alegre ubicada en San Alberto, Cesar, se logró captar la única variable que hoy en día se puede medir en los cultivos de palma, puesto que en el mercado aún no hay un dispositivo completo y específico para medir todos los parámetros que se deben analizar de forma conjunta para este tipo de cultivo. En este caso la variable de temperatura fue la que se logró captar para su posterior análisis y observación del comportamiento en un día normal del cultivo, dicha medición nos arrojó los siguientes valores:

**Tabla 4.** *Parámetros captados en salida de campo.*

<b>Toma de muestras de temperatura</b>	
<b>Hora:</b>	<b>Temperatura en °C</b>
<b>6:00 Am</b>	24°
<b>10:00 Am</b>	32°
<b>12:00 M</b>	36°
<b>2:00 Pm</b>	40°
<b>4:00 Pm</b>	34°
<b>6:00 Pm</b>	21° (llovizna)

*Nota:* información sobre la variable de temperatura captada durante la salida de campo realizada.

Luego de obtener un margen de lo que son los valores ideales para la producción de la palma de aceite fue importante poder analizar las distintas variables que se necesitan, para que cada una de las medidas tomadas sean con poco margen de error, puesto que las estaciones se dividieron en 2 tipos, la principal, que fue la encargada de todo envió de datos para su visualización en la plataforma web, por medio de internet satelital, el cual fue el ideal para este tipo de terrenos ya que en este tipo de lugares es demasiado complejo lograr una conexión a la señal móvil o inclusive el tendido de cable para acceso a internet.

En cuanto a las estaciones “secundarias” fueron las encargadas de las tomas de las variables, las cuales fueron divididas de forma uniforme por el terreno para que pudiéramos obtener el rendimiento óptimo en el sensado de todas variables. Dichas estaciones se configuraron para que se interconectarán a la principal por medio de la tecnología ZigBee, “que a pesar de que esta tecnología está enfocada a las redes de área personal se ha logrado equipar en proyectos para que se pueda comunicar en distancia de hasta 12 km con una línea de vista directa, operando a una potencia de transmisión de 50mW” [14]. En cuanto a los dispositivos que se encargaron de tomar las mediciones, se buscó que fueran sensores de alta fidelidad y precisión en cuanto a la toma de muestras, pues el principal objetivo de este proyecto eran lograr una

versión beta con un porcentaje de error bajo en sus muestras, es por esto que se realizó un cuadro con cada uno de los porcentajes de error que poseían dichos sensores seleccionados.

**Tabla 5.** *Porcentajes de error de cada sensor.*

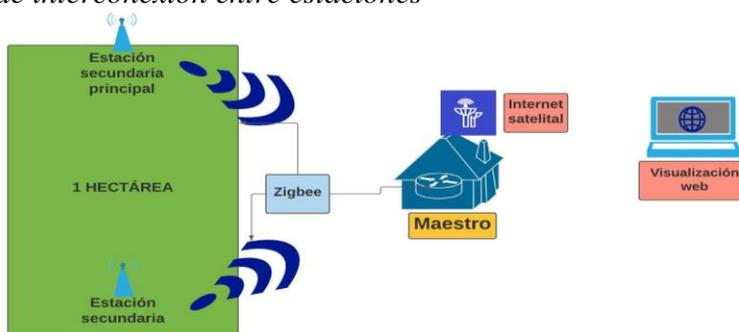
<b>Sensores</b>	<b>% de Error</b>
<b>Sensor de temperatura y humedad I2c Si7021.</b>	Precision Relative Humidity Sensor $\pm 3\%$ RH (max), 0–80% RH High Accuracy Temperature Sensor $\pm 0.4$ $^{\circ}\text{C}$ (max), $-10$ to $85$ $^{\circ}\text{C}$
<b>Sensor de rayos Uv Luz ultravioleta MI8511.</b>	$\pm 280 - 390$ nm
<b>Sensor de lluvia Arduino Y1-83</b>	Minimum wet area $0.05$ $\text{cm}^2$
<b>Sensor de PH suelo agrícola Cultivo análogo 0-5V Arduino</b>	$\pm 2\%$

*Nota:* porcentajes de error presentados por los diversos datasheet de los sensores involucrados en el desarrollo de este proyecto.

Dichos sensores, que se seleccionaron para el desarrollo de este prototipo beta son los que mejor cumplían su tarea específica, y los que se adaptaron de mejor forma a este proyecto.

La idea para este prototipo consistía en que cada una de las estaciones “secundarias” estuvieran equipadas con todos los sensores (en este caso fueron dos estaciones bases por ser fase de desarrollo inicial) mientras la otra estación solo contara con los sensores de humedad y temperatura para promediar dichas mediciones tomadas en el límite inferior y superior del terreno (1 hectárea) para hacer un análisis detallado de los datos captados. Luego de la toma de muestras se utilizó un software de carácter educativo llamado Ubidots, el cual nos permitió presentar, analizar e identificar los datos captados de forma organizada y coherente en base en los parámetros establecidos en las distintas salidas de campo realizadas.

Es por esto por lo que se diseñó un modelo de como sería la interconexión entre las estaciones principales y secundarias, quedando de la siguiente forma:

**Figura 7.** Modelo de interconexión entre estaciones

*Nota:* modelo de interconexión entre las estaciones en el cultivo.

En el desarrollo de esta fase metodológica se realizaron pruebas de campo donde se capturaron variables medio ambientales con sensores análogos y se realizó una inspección del terreno para el diseño del prototipo (Véase el Anexos 3. Visitas de inspección y recolección de datos).

*Fase 3: Montaje final e implementación.*

- *Actividad 1: Pruebas finales y calibración del sistema*

En el montaje in situ se hicieron las respectivas pruebas, las cuales nos permitieron lograr una calibración del sistema óptima, con el fin de poder obtener datos que fidelicen el desarrollo del proyecto. En esta toma de muestras junto con el agrónomo se logró identificar cuáles eran los rangos de mediciones ideales (véase la tabla 6) para esta zona en específico, pues también se pudo identificar en esta realización de pruebas que, de acuerdo con la ubicación geográfica del cultivo de palma, se debe adaptar y calibrar el prototipo desarrollado. Es por esto, que los parámetros ideales para este terreno ubicado en la granja campo alegre son los siguientes:

**Tabla 6.** *Parámetros ideales del cultivo de palma en la granja Campo Alegre.*

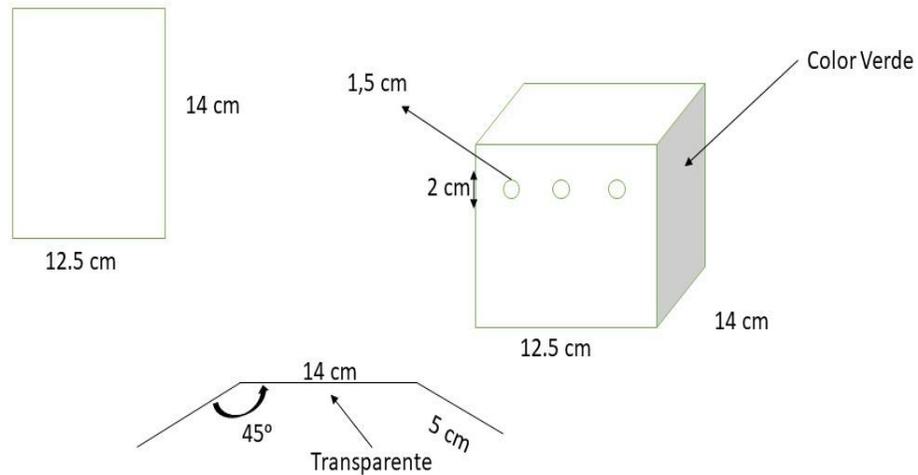
<b>Parámetro</b>	<b>Rango ideal</b>
<b>Humedad</b>	40 – 70 %
<b>Temperatura</b>	30 – 40 °C
<b>PH</b>	0 – 4 PH
<b>Precipitación</b>	0 – 60 %
<b>Radiación solar</b>	0,05 – 4 mW/ cm <sup>2</sup>

*Nota:* parámetros ideales para el cultivo de palma de aceite en la granja Campo Alegre.

- *Actividad 2: Despliegue del proyecto*

Después concluir con las pruebas en campo y lograr hacer la adaptación y calibración del prototipo a las condiciones geográficas y climáticas del terreno establecido, se realizó la debida instalación del prototipo en el punto de su funcionamiento ideal, para lograr su total cobertura de la zona establecida (1 hectárea). Para que luego de su despliegue e instalación se verificara su correcto funcionamiento, logrando adaptarse al terreno empleado para su puesta en marcha.

En cuanto al diseño (Véase Figura 8) de las estaciones secundarias se realizó un estudio a detalle de cómo debía ser su forma y estructura, enfocándonos principal mente en que su diseño no generara alteraciones en ninguna de las mediciones realizadas por los sensores contenidos en este.

**Figura 8.** *Diseño de las estaciones de medición*

*Nota:* diseño planteado y realizado para las estaciones de medición, dicho diseño se debe realizar de forma específica dependiendo las variables ideales presentadas en el terreno del cultivo, ya que si no se realiza de acuerdo con esto las mediciones tienden a poseer demasiado margen de error.

Luego de haber definido un modelo y diseño, se procedió a realizar un análisis de materiales para la construcción del prototipo, puesto que algunos materiales que fueron considerados inicialmente causaron alteraciones en los valores obtenidos en las mediciones por los sensores. Con todo este proceso de pruebas se logró identificar con esto, que el material óptimo para este prototipo fue el acrílico (Véase Figura 9), puesto que no generaba ninguna complicación ni interferencia en los resultados de las tomas de muestras.

**Figura 9.** *Modelo de la estación de medición terminada*



*Nota:* estación de medición terminada, el modelo es basado en los parámetros ideales orientados a la ubicación del cultivo en el cual se le hará el despliegue.

Al igual que al diseño del dispositivo, se debió tener en cuenta la distribución de los sensores al interior del prototipo (véase Figura 10), puesto que cada sensor debía estar posicionado en el lugar donde mejor captara el valor exacto a la hora de medir, también esta ubicación se debió tener presente ya que la estación base no debía estar ubicada en el suelo de forma directa, esta estación debía ser elevada como mínimo a 1 metro del suelo (véase Figura 11), esto a excepción del sensor de pH del suelo, el cual debe estar en contacto con la tierra de forma directa (véase Figura 12).

**Figura 10.** *Distribución de los sensores en el interior*



*Nota:* la distribución de los sensores en el interior se debió realizar de forma estratégica para su captación de variables sea las ideales.

**Figura 11.** *Dispositivo de medición ubicado en la altura adecuada para su funcionamiento.*



*Nota:* en base en la investigación realizada se debió elevar la estación de medición del suelo con el fin de que esta pudiera realizar la medición de forma estratégica del ambiente alrededor del cultivo.

**Figura 12.** *Estación de medición en fase de prueba*

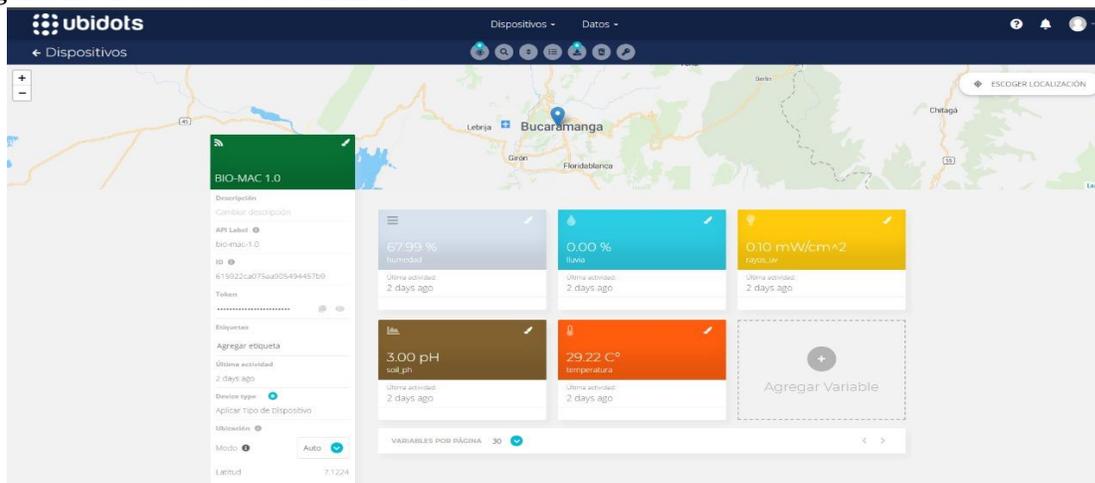


*Nota:* una vez terminada la estructura con su respectiva distribución de sensores al interior se procedió a una fase de pruebas en donde el enfoque de calibración se debió realizar específicamente en el sensor de pH, puesto que su información a detalle se encuentra en idioma mandarín.

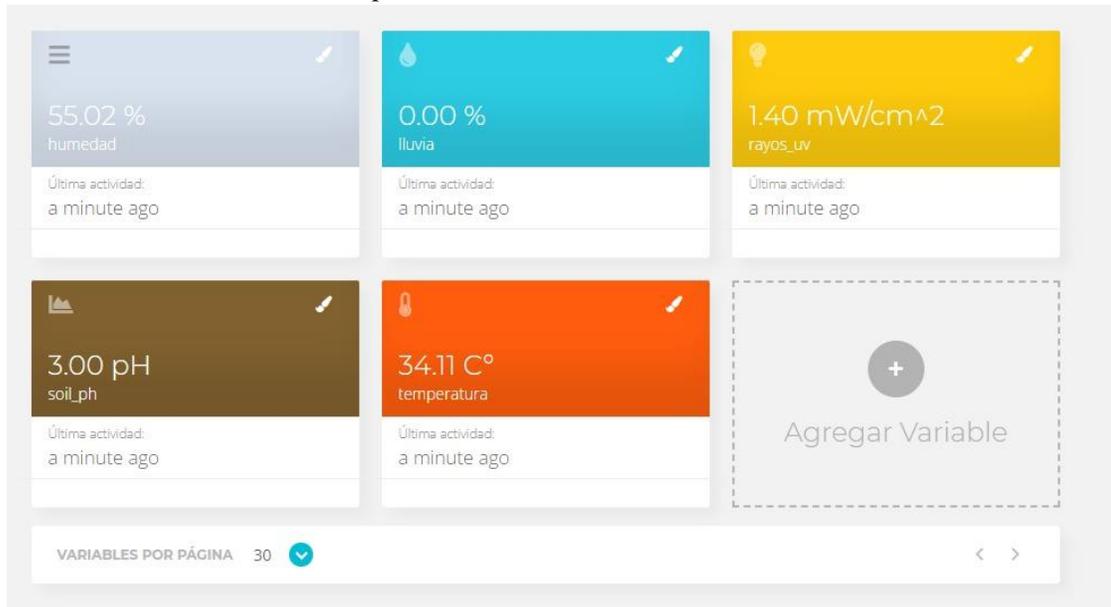
- Actividad 3: *Conexión a la red de internet y visualización de datos.*

Para la conexión a internet del prototipo se ubicó una estación principal dentro del cuarto de control, ubicado en la vivienda de la granja campo alegre, dicha estación poseía una velocidad de entre 3 a 5 Mbps. En esta estación principal se llevó a cabo la recepción de datos captados por las estaciones secundarias ubicadas en el cultivo. En cuanto a la visualización de los datos provenientes de los sensores, se implementó un código JavaScript en donde a partir del puerto serial se enviaban los datos de manera que el código realizado tomaba los datos y al realizar la ejecución de este JavaScript por medio de Node se logró comunicar con la plataforma web en este caso UBIDOTS (Véase Figura 13). En cuanto a la comunicación con la página web, esta presentaba un serial ID para el usuario y para todas las variables que se crearon, tales ID'S de las variables fueron parametrizados en el código realizado. Para que el programa funcionara de forma correcta se debió previamente realizar la instalación de librerías de Node como serialport y UBIDOTS. Una vez ejecutado todo lo anterior se logró la visualización de los datos captados a través del puerto serial y enviados a la página web (Véase Figura 14).

**Figura 13.** *Dashboard de UBIDOTS*



*Nota:* seguido de la captura de datos se debió realizar el Dashboard para la visualización de los datos.

**Figura 14.** *Dashboard variables captadas*

*Nota:* visualización de los datos captados durante el funcionamiento de la estación.

- *Actividad 4: Resultados y aportes realizados*

Durante el desarrollo de este proyecto se obtuvo un prototipo de medición de variables medio ambientales con un diseño portátil y compacto, el cual se diseñó con el fin de lograr una adaptación a diferentes tipos de topologías de terrenos de cultivos de palma de aceite (véase Figura 15).

**Figura 15.** *Prototipo de medición de variables ambientales*

*Nota:* se realiza la ubicación del prototipo en el cultivo de palma de tal manera que no afecte la movilidad en el cultivo.

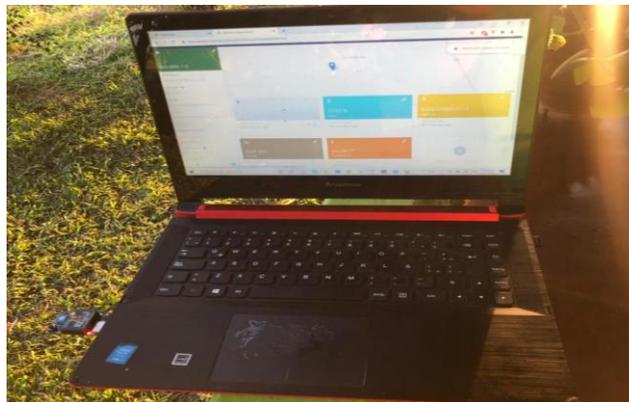
El envío de datos entre las estaciones secundarias y principal (maestro y esclavos) se logró realizar, situando dichas estaciones de tal manera que cumplieran con las distancias y líneas de vista sugeridos para el manejo de la tecnología zigbee en este tipo de desarrollos (Véase Figura 16 y 17). Logrando que este prototipo tuviera un correcto funcionamiento en cuanto a la transmisión de datos entre estaciones.

**Figura 16.** *Ubicación principal con línea de vista*



*Nota:* se realizan las ubicaciones de los esclavos de tal manera que no hubiese obstáculos logrando la comunicación con el maestro que se encuentra a una distancia de 534 metros.

**Figura 17.** *Comunicación con el maestro*



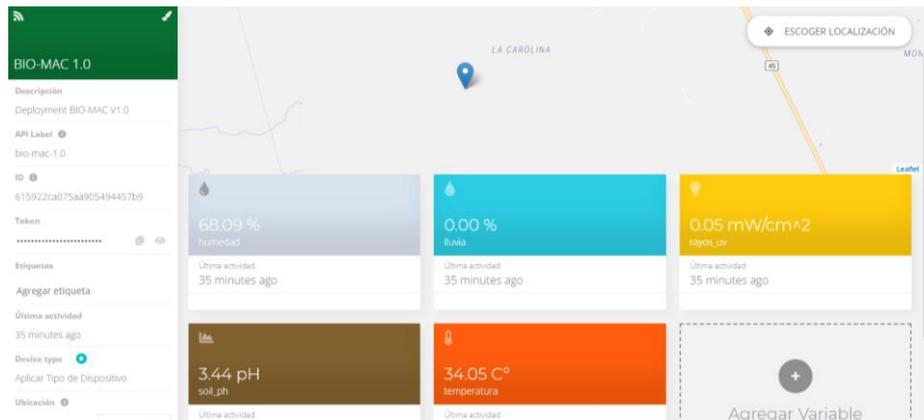
*Nota:* se realizó la comunicación con los esclavos correctamente, subiendo los datos recolectados a la plataforma UBIDOTS.

Los datos sensados por el prototipo de monitoreo (Véase Figura 18) de variables medio ambientales en el cultivo de palma, se lograron visualizar de manera online por medio del uso de la plataforma académica UBIDOTS (Véase Figura 19), permitiendo así tener un acceso remoto al agrónomo para llevar un monitoreo completo del comportamiento climático del cultivo de palma de aceite.

**Figura 18.** *Estación secundaria de monitoreo*



*Nota:* prototipo del sistema de monitoreo de la estación secundaria para el registro de datos sensados.

**Figura 19.** *Visualización web*

*Nota:* se realiza la visualización de las variables medio ambientales captadas por las estaciones esclavas.

El prototipo de medición de variables logró de forma eficiente captar todas las variables ambientales (Véase Figura 20) mencionadas en la etapa de desarrollo, dando así un funcionamiento correcto, logrando la integración de la captura y la visualización de datos que permitió generar un análisis técnico (agrónomo) de la información del cultivo (Véase Figura 21).

**Figura 20.** *Captura y visualización de datos*

*Nota:* se capturaron datos de las estaciones y se realizó la visualización desde la app móvil de la herramienta UBIDOTS.

**Figura 21.** *Historial de datos registrados*

*Nota:* la visualización web y el registro de datos permitieron a los agrónomos analizar las gráficas del comportamiento de cada una de las variables captadas durante el día.

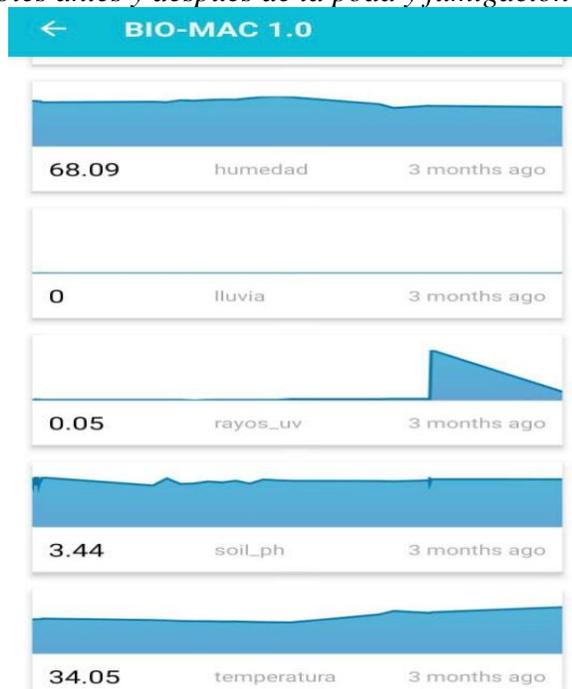
En las pruebas realizadas en campo se hizo instalación del prototipo y se verificó su correcto funcionamiento adaptándose a la topología del terreno para la toma de datos de cultivo (Véase el Anexo 5; Despliegue, pruebas in situ y calibración del sistema de monitoreo de variables medio ambientales).

- *Actividad 5: Análisis de resultados.*

Las mediciones de variables medio ambientales captadas por el sistema de monitoreo fueron de gran importancia para ejecutar labores de campo en busca de la prevención de la presencia de la plaga PC en el cultivo de palma, para esto en el primer registro de datos tomados durante dos semanas se evidencia que en los datos captados por el sensor de rayos uv era nulo esto porque el cultivo se encontraba con mucha vegetación alta y muy tupida lo cual no permitía que los rayos del sol penetraran en el terreno del cultivo, causando que los parámetros de humedad, temperatura y rayos uv no fuesen los ideales. Debido a esto se ejecutan las labores de poda y fumigación lo cual evidencia un cambio en las variables (Véase Figura 22 y 23).

**Figura 22.** Poda en el cultivo de palma

*Nota:* se realizó labor de poda y fumigación para normalizar los parámetros medio ambientales de cultivo.

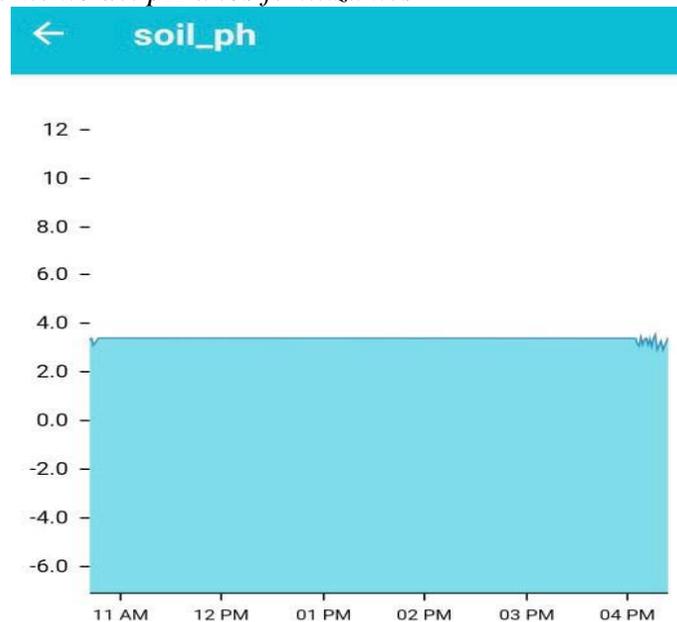
**Figura 23.** Registro de variables antes y después de la poda y fumigación

*Nota:* la poda evidencia que hubo un cambio en los datos sensados, donde la temperatura aumento y se logró nivelar los niveles de humedad relativa.

En las labores de fumigación recomendadas por el agrónomo el día 14 de noviembre se evidencio que los insumos utilizados generaron una perturbación en el pH al momento de ser aplicado teniendo en cuenta la extensión del terreno se evidencia que sobre las 11 de la mañana

se fumigo en una de las estaciones y entre las 3 y 4 de la tarde se repitió la aplicación del producto. El análisis realizado del porque se efectuaron cambios en el pH relativamente leves se debe a la acides de los productos aplicados lo cual después de que penetraron en la tierra se normalizaron las mediciones (Véase Figura 24).

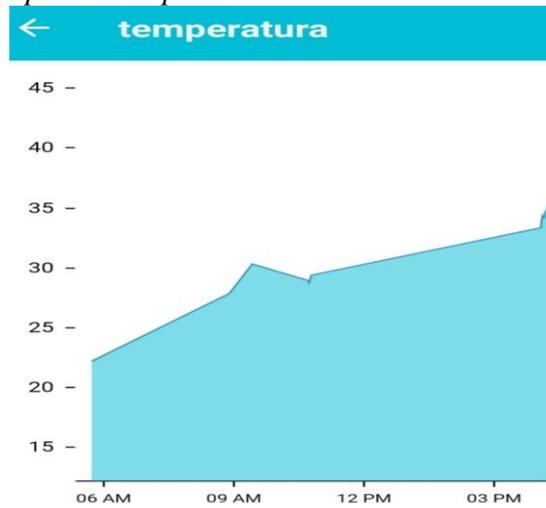
**Figura 24.** Comportamiento del pH a los fertilizantes



*Nota:* las perturbaciones causadas por la aplicación de fertilizantes al cultivo se deben a una reacción de las propiedades los fertilizantes aplicados, que mientras la tierra hace absorción de ellos tienden a ser alcalinos o ácidos por lo cual generan cambios en las variables mientras se realiza su absorción.

La variable de temperatura evidencio cambios en los datos captados por el sistema de monitoreo después de realizarse la labor de poda que hizo que el sol entrara al terreno con menos obstáculos y genero mayores temperaturas de las que se habían capturado en días anteriores (Véase figura 25).

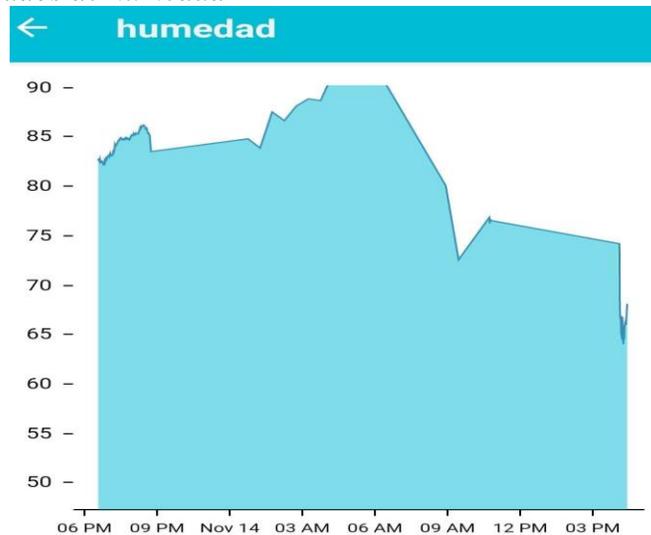
**Figura 25.** *Temperatura después de la poda*



*Nota:* la temperatura en los días anteriores a la poda era máxima de 28 ° C, después de poda se obtuvieron de 36°C.

La humedad venia presentando valores muy altos debido a lo poca presencia de sol lo que hacía que las brisas en el cultivo fuesen muy húmedas y estaban generando inestabilidad en el terreno, a partir de la poda se evidencia una estabilización de la humedad (Véase figura 26).

**Figura 26.** *Datos captados de humedad*



*Nota:* la toma de datos del 14 de noviembre día después de la poda evidencia que cuando hubo presencia de sol en el día se normalizaron los valores ideales de la humedad (Tabla 6).

## 6. Conclusiones

A partir del proyecto realizado, se pudo llevar a cabo el cumplimiento de los objetivos planteados, mediante el desarrollo de un prototipo capaz de monitorear las variables consideradas importantes para este tipo de cultivos, de igual forma se realizó la toma y visualización de las variables de medición; temperatura, humedad, Ph del suelo, Pluviometría, y radiación solar a través de JavaScript, Arduino, XCTU<sup>1</sup> y UBIDOTS.

Así mismo, se llevó a cabo la respectiva caracterización y calibración para cada uno de los sensores mediante las condiciones geográficas y climáticas de la ubicación del cultivo, por medio de las pruebas in situ realizadas en la granja Campo Alegre.

De igual manera el monitoreo de las variables medio ambientales en dicho cultivo cumplió con los requerimientos necesario para generar un análisis de las condiciones climáticas del terreno, lo cual hizo que desde la parte técnica de los cultivos se tomaran las distintas decisiones para prevenir la aparición de la plaga PC, la cual tiende a sobrevivir en condiciones climáticas en donde el sistema de monitoreo genera alertas, permitiendo a los agrónomos tomar decisiones como drenar el cultivo, fertilizar el cultivo y realizar censos fitosanitarios.

## 7. Trabajo futuro

En el desarrollo de este proyecto fue posible interactuar con diferentes campos de acción que involucran al agro, tanto así que se lograron recolectar distintas sugerencias en pro de continuar con el desarrollo de este proyecto como una solución radical e idónea para estas afectaciones que se presentan a diario en gran cantidad de estos cultivos. Es allí donde se

---

<sup>1</sup> Nota. XCTU es una aplicación multiplataforma gratuita diseñada para que los desarrolladores puedan interactuar con los módulos RF de DIGI a través de una interfaz gráfica fácil de usar.

producen mejoras en las fases venideras de este proyecto, pues con este proyecto se busca que a futuro este conlleve desarrollos con mejoras en las áreas de monitoreo, análisis, control y mejora de rentabilidades en los distintos cultivos de palma de aceite.

Es importante resaltar que en esta fase inicial se logró la adquisición de nuevos conocimientos, que permitieron generar una ampliación de lo que puede abarcar este proyecto en un futuro muy próximo, dándonos como punto de partida para una segunda fase las distintas áreas en las que se debe enfocar, por ejemplo, en como los cultivos de distintos tipos, suelen tener relación y por ende alguno de sus manejos en el monitoreo de variables medio ambientales suele ser igual, lo cual nos permitió tener distintos punto de vista para este proyecto, ya que este podría ser ajustado e implementado en cultivos como por ejemplo los cultivos de banano y plátano, que son cultivo que se ven afectados por plagas que se desarrollan en condiciones climáticas muy parecidas a la plaga PC (pudrición de cogollo).

Estos sistemas de monitoreo de variables medio ambientales suelen permitir la adición de distintos sensores haciendo que estos sistemas de monitoreo se vuelvan más robustos, y por ende mucho más exactos en cuanto a la medición de variables presentes en las zonas de medición, es por esto que la fase más inmediata para este prototipo llamado MAC V1.0 es comenzar con la fase de automatización, donde se integraran a los sistemas de monitoreo los actuadores para ejecutar funciones como riegos automáticos y fumigación cuando se detecten parámetros no ajustados a los ideales.

## **8. Anexos**

Durante el periodo de ejecución de este proyecto se fueron desarrollando distintas líneas de código (véase la carpeta anexada “Code Bio-MAC v1.0”) las cuales permitían que los sensores

que se estaban utilizando para el funcionamiento del proyecto se pudieran calibrar de forma rápida y eficiente, en mira de obtener mejoras en la precisión de toma de variables dependiendo de la ubicación geográfica del cultivo de palma de aceite, es por esto por lo que el trabajo en cuanto al desarrollo de estos nos tomó un tiempo bastante amplio de realizar, ya que algunos de ellos no tenían información detallada a cerca de su funcionamiento (Véase el Anexo 4. Despliegue y puesta a punto del sensor de pH del suelo) y otros si contaban con gran cantidad de información sobre este.

## 9. Presupuesto

Se realiza un valor aproximado de los recursos básicos necesarios para el desarrollo del proyecto en sus diferentes fases, es importante resaltar que estos valores y recursos podrían sufrir modificaciones en el transcurso del desarrollo del proyecto.

**Tabla 7.** *Presupuesto de los elementos utilizados*

Rubros	Recursos		Total
	Propios	Otros	
<b>Personal:</b>		X	2300 000.00
Consultas a agrónomos			
Desarrolladores de software			
<b>Equipos de computo</b>	X		2 000 000.00
Uso de <i>software</i>	X		1 00.000
<b>Hardware:</b>	X		2 000 000.00
Sensores			
placas			
<b>Material fungible:</b>		X	5000 00
Laboratorios universidad Santo tomas			
Lotes de cultivo de palma			
		<b>TOTAL</b>	7 100 000.00

10. Cronograma

Tabla 8. Cronograma del tiempo de desarrollo

Actividades	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	
1. Recopilación de información y conceptos básicos.	■	■	■	■	■																		
2. Búsqueda de antecedentes	■	■	■	■	■																		
3. Consultas en libros y sitios web	■	■	■	■	■																		
4. Obtener elementos hardware						■	■																
5. Establecer requerimientos.	■	■	■	■	■																		
6. Análisis de parámetros ambientales				■	■																		
7. Arquitectura física y lógica del sistema			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■											
8. Diseño inicial de la integración del sistema										■	■	■	■	■	■	■							
9. Pruebas de diseño inicial																	■	■	■				
10. Correcciones de diseño inicial																			■	■			
11. Diseño final y pruebas correspondientes																			■	■			
12. Visualización de datos en línea																				■			
13. Implementación																				■	■		
14. Resultados finales																							■
15. Presentación del proyecto																							■

Nota: en la tabla se marca con color azul la semana que se realizó cada actividad.

### Referencias

- [1] El Tiempo. “Colombia, cuarto productor de aceite de palma en el mundo”. *Colombia, cuarto productor de aceite de palma en el mundo*, 18 Septiembre 2018.
- [2] El Tiempo. “Pérdidas por 140 mil millones deja mal de la palma”. *Pérdidas por 140 mil millones deja mal de la palma*, 6 Septiembre 2017.
- [3] Redagricola. “Robótica: El campo autónomo,» *Robótica: El campo autónomo*”. Enero 2019.
- [4] Naio-technologies. “Naio-technologies”. Naio-technologies, 2019. [En línea]. Available: <https://www.naio-technologies.com/en/naio-technologies/>. [Último acceso: 15 enero 2020].
- [5] Min Agricultura. “El sector agropecuario creció 6,8% e impulsó la economía colombiana en el primer trimestre de 2020”. 2020.
- [6] M. C. Rincón. “La industria de la palma de aceite genera más 160.000 empleos según FEDEPALMA”. *Agronegocios*, p. 1, 2019.
- [7] PMG Bussines Improvement. “Nuevas tecnologías en el agro: 11 tendencias mundiales”. PMG Bussines Improvement, 17 marzo 2017. [En línea]. Available: <https://www.pmgchile.com/nuevas-tecnologias-en-el-agro-11-tendencias-mundiales/>. [Último acceso: 20 enero 2020].
- [8] F. R. C. “Tecnología móvil y software para visualizar las labores en campo y la fuerza laboral en plantaciones de palma de aceite”. *Palmas*, vol. 37, nº Especial, pp. 298-304, 2016.
- [9] Naio-Technologies. “naio-technologies”. Naio-Technologies, 2019. [En línea]. Available:

- <https://www.naio-technologies.com/en/oz/>. [Último acceso: 20 enero 2020].
- [10] Naio-Technologies. “Naio-technologies”. Naio-Technologies, 2019. [En línea]. Available: <https://www.naio-technologies.com/en/ted/>. [Último acceso: 20 enero 2020].
- [11] Naio-Technologies. “Naio-technologies”. Naio-Technologies, 2019. [En línea]. Available: <https://www.naio-technologies.com/en/dino/>. [Último acceso: 20 enero 2020].
- [12] Cenipalma. “Suben pérdidas por enfermedad en cultivos de palma de aceite”. *El Colombiano*, 9 septiembre 2017.
- [13] A. B. y. J. d. Cerro. “La tendencia de futuro puede estar orientada a pequeños y versátiles robots”. *El uso de robots en tareas agrícolas*, 24 Febrero 2016.
- [14] C. G. A. F. M. C. Z. J. A. Juan Manuel Delgado. “Desarrollo de un software Web y Móvil para la gestión de información de campo de cultivos agrícolas (AgrocomM)”. Red de revistas científicas, Cali, 2006.
- [15] F. M. M. “Criterios agroecológicos útiles en la selección de tierras para nuevas siembras de palma de aceite en Colombia”. *Palma*, vol. 25, n° Especial, pp. 148-159, 2004.
- [16] FedePalma, Fedepalma, [En línea]. Available: <http://wwweb.fedepalma.org/palma-de-aceite-en-colombia>. [Último acceso: 15 Enero 2021].
- [17] Cámara valencia. “Tecnologías para los negocios”. Cámara Valencia , [En línea]. Available: <https://ticnegocios.camaravalencia.com/servicios/tendencias/caminar-con-exito-hacia-la-industria-4-0-capitulo-11-infraestructuras-i-redes-inalambricas/>. [Último acceso: 15 Enero 2021].