

**Sistema basado en IoT para el monitoreo del microclima asociado al proceso de desarrollo
de cultivos verticales de *Lippia origanoides***

Laura Daniela Araújo Quiroga

Jesús Alberto Caballero Méndez

**Trabajo de grado para optar el título de
Diseñadora industrial – Ingeniero electrónico**

Director

Luis Eduardo Bautista Rojas Fonseca

MSc. Ingeniería de Sistemas

Codirector

María Alejandra Mantilla Villalobos

Doctora en Ingeniería

Universidad Industrial de Santander

Facultad de ingeniería físico mecánicas

Escuela de Diseño Industrial

Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones

Bucaramanga

2017

Agradecimientos

Agradecemos primero a Dios por darnos la oportunidad de finalizar esta etapa de nuestra vida profesional, a nuestros padres por su apoyo, su amor incondicional y por creer siempre en nosotros, a nuestros directores de proyecto, quienes fueron una gran guía y a todos los que hicieron posible la finalización de este proyecto.

Tabla de contenido

Introducción	20
1. Definición del proyecto.....	23
1.1 Título.....	23
1.2 Objetivo general.....	23
1.3 Objetivos específicos	24
1.4 Origen del proyecto.....	25
1.6 Marco teórico	25
1.6.1 Cultivos verticales.....	25
1.6.2 Aceites esenciales.	25
1.6.3 <i>Lippia</i>	26
1.6.4 Tecnologías usadas para el monitoreo de cultivos.....	27
1.6.4.1 Internet de las cosas.	27
1.6.4.2 GSM.....	28
1.6.4.3 Comandos AT.....	28
1.6.4.4 I2C-Bus.	29
1.6.4.5 Interfaz periférica serie (SPI).....	29
2. Metodología del proyecto	29
2.1 Fase 1: Recolección de datos	30
2.2 Fase 2: Definición técnica.....	31

2.3 Fase 3: Diseño externo.....	32
2.4 Fase 4: Implementación del sistema de monitoreo	33
2.5 Fase 5: Verificación	33
3. Fase1: Recolección de datos.....	35
3.2 Búsqueda de información.....	35
3.2.1 Condiciones ambientales apropiadas para <i>Lippia origanoides</i>	35
3.2.2 Antecedentes de la situación de estudio.....	35
3.2.1.1 Factores ambientales.....	36
3.2.1.2 Factor humedad.....	36
3.2.1.3 Factor Luz solar.....	36
3.2.2 Sensores para la caracterización de suelos agrícolas	36
3.2.2.1 Sensor óptico terrestre.....	37
3.2.2.2 Sensores mecánicos	37
3.2.2.3 Sensores electro-químicos.....	37
3.2.2.4 WSN (Wireless Sensor Networks).....	37
3.3 Estado del arte.....	38
3.3.2 Dispositivos usados en cultivos a gran escala.....	38
3.3.3 Dispositivos usados en sectores no industriales.....	40
3.3.4 Análisis de los datos encontrados.....	43
3.4 Identificación de las necesidades del usuario	43
3.4.1 Definición de usuarios	44
3.4.2 Estructura de la entrevista.....	44

3.4.3 Análisis de los datos.....	44
3.4.4 Resultados.....	45
4. Fase 2: Definición técnica.....	47
4.2 Componentes propuestos.....	47
4.3 Selección de componentes.....	49
4.3.1 Arduino nano.	49
4.3.2 Módulo Wi-Fi ESP8266.....	51
4.3.3 Sensor de humedad: higrómetro FC-28.....	52
4.3.4 Sensor MQ-135.....	52
4.3.5 Luxómetro BH1750.....	56
4.3.6 Batería 9V 400mAh.	57
4.3.7 Regulador LD1117 3.3V.....	57
4.4 Configuración técnica.....	58
4.4.1 Configuración técnica del luxómetro.....	58
4.4.1.1 Verificación técnica del luxómetro BH1750.	59
4.4.2 Configuración técnica del sensor de calidad de aire.....	60
4.4.2.1 Verificación técnica del sensor MQ-135.	61
4.4.3 Configuración técnica del higrómetro FC-28.	62
4.4.3.1 Verificación de funcionamiento de higrómetro FC-28.....	63
4.4.3.2 Procedimiento de la prueba.....	65
4.4.4 Configuración técnica módulo Wi-Fi.	66
4.5 Análisis de los componentes escogidos.....	67

4.6 Diseño de circuito	67
4.6.1 Uso de la plataforma ThinkSpeak.....	68
5. Fase 3: Diseño externo.....	71
5.1 Generación de concepto.....	71
5.2 Propuestas formales	73
5.3 Selección de alternativa	75
5.3.1 Prueba de selección.....	78
5.3.2. Evaluación de alternativas	79
5.3.2.1 Selección de la muestra.....	79
5.3.2.2 Diseño de la prueba.....	79
5.3.2.3 Análisis estadísticos de los datos.....	82
5.3.2.4 Resultados.	86
5.4 Diseño de detalle.....	87
5.4.1 Configuración diseño-técnico.....	87
5.5 Selección de materiales.....	89
5.5.1. Análisis de material seleccionado.....	86
5.5.1.1 Prueba de análisis estructural.....	92
5.5.2 Definición de planos.....	95
5.5.3 Color.....	96
5.5.4 Indicadores de uso.....	97
6. Fase 4: Implementación técnica.....	87
6.1 Recolección de datos.....	98

6.2 Análisis y resultados de datos.....	99
7. Fase 5: Verficiación de diseño.....	99
7.1 Selección de la muestra.....	100
7.2 Diseño de la prueba.....	100
7.3 Procedimiento	101
7.4 Análisis de los datos.....	103
7.5 Resultados.....	107
7.6 Modelo final.....	108
8. Conclusiones.....	109
9. Recomendaciones.....	111
10. Referencias.....	113

Lista de Figuras

Figura 1. Tasa de crecimiento relativo (RGR) para <i>Lippia alba</i> y <i>Lippia origanoides</i> , en respuesta a diferente disponibilidad lumínica 33% (LB), 53% (LM), 100% (LA).....	27
Figura 2. Metodología implementada para el desarrollo del proyecto.....	30
Figura 3. Especificaciones del dron.....	39
Figura 4. Especificaciones del dispositivo GreenSeeker.....	39

Figura 5. Especificaciones del dispositivo Fliwer plant&play.....	40
Figura 6. Especificaciones de dispositivo Flower monitor.....	40
Figura 7. Especificaciones del dispositivo Edyn.....	41
Figura 8. Especificaciones del dispositivo Parrot Flower Power.....	41
Figura 9. Especificaciones del Plant Care Engine.....	42
Figura 10. Especificaciones del Plantlink.....	42
Figura 11. Componentes que cumplen con los requerimientos definidos.....	48
Figura 12. Arduino nano con sus respectivos puertos.....	50
Figura 13. Comportamiento de la resistencia presenten en el sensor en función de las concentraciones y la temperatura.....	54
Figura 14. Incremento de la concentración CO_2 en la atmosfera, datos proporcionados por la NOAA en la atmosfera.....	55
Figura 15. Niveles de concentración de CO_2 en la tierra durante los meses de octubre y noviembre del año 2014.....	56
Figura 16. Diagrama de funcionamiento del luxómetro BH1750.....	57
Figura 17. Circuito de funcionamiento adecuado para el regulador LD1117 3.3V.....	58
Figura 18. Código para uso único del sensor luxómetro BH1750 en IDE arduino 1.8.0.....	59
Figura 19. Piranómetro Hukseflux SR11-TR BH1750 44.....	60
Figura 20. Prueba de medición de radiación solar con piranómetro Hukseflux.....	61
Figura 21. Programación para uso único de sensor de aire MQ -135 en IDE arduino 1.8.0.....	62

Figura 22. Sensores MQ expuestos a diferentes concentraciones de sustancias en las instalaciones de CENIVAM para prueba de verificación de funcionamiento.....	63
Figura 23. Programación para uso único higrómetro FC-28 en IDE arduino 1.8.0.....	64
Figura 24. Prueba preliminar de funcionamiento con los dos sensores.....	65
Figura 25. Proceso de secado y peso de cada uno de las muestras en los laboratorios del CENIVAM	65
Figura 26 Gráfica de porcentaje de humedad Vs valores tomados por el higrómetro FC-28.....	66
Figura 27. Programación para uso único módulo WIFI ESP8266-01 en IDE arduino 1.8.0.....	67
Figura 28. Circuito completo implementado con sus conexiones.....	69
Figura 29. Shell de arduino, con los datos entregados por el módulo Wi-Fi.....	70
Figura 30. Clave de escritura y lectura de los datos en ThingSpeak.....	71
Figura 31. Opciones de configuración de cada una de las gráficas de recepción de datos.....	71
Figura 32. Visualización de los datos recibidos por cada sensor.....	72
Figura 33. Recopilación de los lineamientos diseño-técnicos.....	73
Figura 34. Ideas formales para el dispositivo de monitoreo.....	75
Figura 35. Primera alternativa seleccionada para su respectiva evaluación.....	77
Figura 36. Segunda alternativa seleccionada para su respectiva evaluación.....	78
Figura 37. Tercera alternativa seleccionada para su respectiva evaluación.....	78
Figura 38. Tratamientos de la variable independiente “Alternativas”.....	81
Figura 39. Tareas realizadas por el usuario.....	82
Figura 40. Entorno de la prueba con las alturas usadas.....	82

Figura 41. Congreso internacional de investigación, desarrollo e innovación en la Universidad Pontificia Bolivariana.....	88
Figura 42. Vistas del modelo final con sus modificaciones.....	89
Figura 43. Modelado final con sus cortes internos.....	90
Figura 44. Materiales propuestos para el modelo final.....	91
Figura 45. Tapón para dispositivos electrónicos.....	92
Figura 46. Diagrama de cuerpo libre.....	93
Figura 47. Análisis estático.....	94
Figura 48. Análisis estático2.....	94
Figura 49. Tornillo cabeza Phillips avellanado de 3mm.....	95
Figura 50. Modelo con los resultados de la etapa de diseño de detalle.....	96
Figura 51. Propuesta de color para el sistema de monitoreo para cultivos de <i>Lippia origanoides</i> ..	97
Figura 52. Indicadores usados en el modelo funcional final.....	97
Figura 53. Sistema de monitoreo en funcionamiento en las instalaciones del CENIVAM.....	99
Figura 54. Modelo funcional del sistema de monitoreo construido para las pruebas de verificación.....	101
Figura 55. Textura indicador de agarre.....	107
Figura 56. Indicador de Wi-Fi.....	107
Figura 57. Sistema de monitoreo para el cultivo vertical de <i>Lippia origanoides</i>	110

Lista de Tablas

Tabla 1. Análisis y jerarquización de las necesidades encontradas.....	30
Tabla 2. Especificaciones de los requerimientos del dispositivo.....	31
Tabla 3. Características principales del arduino nano.....	35
Tabla 4. Características del módulo Wi-Fi ESP2866.....	36
Tabla 5. Características principales del higrómetro FC-28.....	37
Tabla 6. Características principales del sensor MQ-135.....	38
Tabla 7. Especificaciones técnicas del luxómetro BH1750.....	41
Tabla 8 Rango de operación para cada una de las condiciones en un luxómetro BH1750.....	42
Tabla 9. Matriz para la selección de propuestas.....	55
Tabla 10. Número de sensores en los que se ejerció presión.....	61
Tabla 11. Coeficiente de variación.....	62
Tabla 12. Análisis estadístico Shapiro Wilk.....	62
Tabla 13. Análisis ANOVA.....	62
Tabla 14. Calificación de incomodidad por parte de los usuarios.....	63
Tabla 15. Análisis de los resultados de percepción.....	63
Tabla 16. Resultados del comportamiento del sistema en general.....	73
Tabla 17. Análisis de los valores de humedad que proporciona el sistema.....	76
Tabla 18. Análisis de los valores de cantidad de luz que proporciona el sistema.....	76
Tabla 19. Análisis de los valores de calidad de aire que proporciona el sistema.....	77

Tabla 20. Valor de las fallas cometidas por el usuario.....77

Tabla 21. Puntaje de satisfacción basada en la confusión del usuario.....79

Lista de Apéndices

Apéndice A. Formato de entrevista primera prueba.

Apéndice B. Resultados de las verificaciones de los sensores.

Apéndice C. Generación de conceptos e ideas.

Apéndice D. Procedimiento de la evaluación de selección.

Apéndice E. Planos técnicos del sistema.

Apéndice F. Documentación técnica y de uso del sistema.

NOTA: Los apéndices se encuentran adjuntos en el CD

RESUMEN

TITULO: SISTEMA BASADO EN IOT PARA EL MONITOREO DEL MICROCLIMA ASOCIADO AL PROCESO DE DESARROLLO DE CULTIVOS VERTICALES DE *Lippia origanoides*.*

AUTORES: LAURA DANIELA ARAÚJO QUIROGA**2, JESÚS ALBERTO CABALLERO MENDEZ***

PALABRAS CLAVES: Sistema de monitoreo, sensores, condiciones ambientales, *Lippia origanoides*, cultivo vertical.

DESCRIPCIÓN:

Se identifica que una de las razones que permite un óptimo desarrollo en los cultivos, es el conocimiento de las condiciones que tienen estos durante su crecimiento, debido a que permite tomar decisiones adecuadas, que logran satisfacer sus necesidades y así saber administrar eficientemente los recursos sobre estos. Por consiguiente, es importante que el usuario pueda tener un fácil acceso y manipulación a las herramientas que ofrezcan ventajas, como dispositivos que brinden información de las condiciones del cultivo en tiempo real. Es así como la propuesta de elaborar un sistema para monitorear las condiciones ambientales en cultivos verticales, es planteada para el desarrollo de este trabajo de grado, en donde se diseñó y construyó un modelo funcional electrónico que monitorea los niveles de humedad, cantidad de luz y calidad de aire de un cultivo de *Lippia origanoides*, el cual es de fácil uso para personas que laboran en este tipo de cultivos. De igual forma, este dispositivo se basa en el principio del IoT (*Internet of Things*), debido, a que permite obtener en cualquier momento datos sobre las condiciones del cultivo de una manera sencilla y práctica y así, poder tomar mejores decisiones a la hora de actuar sobre éste. Debido a que el uso de este sistema, fue diseñado para usuarios que laboran en estos cultivos, se ejecutaron respectivas evaluaciones y verificaciones, que permitieron definir a esta propuesta formal como, un diseño de fácil uso y con baja percepción de incomodidad para el usuario.

* Proyecto de grado

**Facultad de ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Diseño Industrial. Director Luis Eduardo Bautista Rojas, Diseñador Industrial.

***Facultad de ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de telecomunicaciones. Directora María Alejandra Mantilla Villalobos, Ingeniera Electrónica

ABSTRACT

TITLE: IOT SYSTEM FOR THE MONITORING OF THE MICROCLIMATE ASSOCIATED WITH THE PROCESS OF DEVELOPMENT OF VERTICAL CROPS OF *Lippia origanoides**.

AUTHOR: LAURA DANIELA ARAÚJO QUIROGA **, JESÚS ALBERTO CABALLERO MÉNDEZ***

KEYWORDS: monitoring system, sensors, environmental conditions, *Lippia origanoides*, vertical crop.

DESCRIPTION:

It is identified that one of the reasons that allows an optimum development in the crops is the knowledge of the conditions that these have during their growth, because it allows them to make adequate decisions, that manage to satisfy their needs and thus to efficiently manage the resources on these. Therefore, it is important that the user can have easy access and manipulation to tools that offer advantages, such as devices that provide information of the conditions of the culture in "real time". Thus, the proposal to develop a system to monitor the environmental conditions in vertical crops is proposed for the development of this degree work, where an electronic functional model was designed and constructed that monitors the levels of humidity, amount of light and air quality of a culture of *Lippia origanoides*, which is easy to use for people working in this type of crops. Similarly, this device is based on the principle of IoT (Internet of Things), because it allows to obtain data at any time on conditions of cultivation in a simple and practical and thus, to make better decisions at the time to act on it. Due to the use of this system, it was designed for users who work in these cultures, they were carried out respective evaluations and verifications, that allowed to define to this formal proposal like, a design of easy use and with low perception of discomfort for the user.

* Graduation project

**Facultad de ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Diseño Industrial. Director Luis Eduardo Bautista Rojas, Diseñador Industrial.

*** Facultad de ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de telecomunicaciones. Directora María Alejandra Mantilla Villalobos, Ingeniera Electrónica

Introducción

El crecimiento de la infraestructura ha llevado a la humanidad a transformar los ecosistemas naturales en obras que han afectado en un alto grado a la biodiversidad, por ende, el hombre ha tenido la necesidad de optar por encontrar alternativas que mitiguen las condiciones adversas provocadas al medio ambiente sin dejar de lado el desarrollo de la infraestructura.

Es así como aparece el concepto de cultivos verticales, una propuesta que ha tenido bastante acogida por las personas interesadas en el medio ambiente, debido a que es una alternativa que promete, además de generar entornos sostenibles para los centros urbanos, proporcionar ventajas como el aprovechamiento de espacio y la fácil manipulación en la cosecha de sus frutos. Aun así, estos cultivos requieren de un ambiente ideal para su óptimo desarrollo ("ACEA", 2010), por esto es conveniente tener un monitoreo sobre sus condiciones ambientales, el cual brinde la información apropiada a la persona a cargo de las plantas para que así pueda tomar las medidas correctivas para el desarrollo apropiado del cultivo.

Recientes avances tecnológicos han demostrado que la combinación de tecnología y naturaleza puede llegar a ayudar a su mantenimiento y cuidado (Nosolosig, 2013). En la actualidad existen tecnologías que permiten el monitoreo de cultivos que brindan la información adecuada sobre sus variables ambientales, las cuales han llegado a ser uno de los factores indispensables para el correcto desarrollo de los cultivos, sin embargo, muchas de estas tecnologías presentan poca

flexibilidad debido a que solo pueden ser usadas en un tipo de cultivo. Para cultivos a gran escala, es frecuente encontrar equipos de monitoreo sobredimensionados o equipos que monitorean solo algunas variables debido a las grandes dimensiones que poseen estos cultivos. Así mismo se ha visto en los últimos años la necesidad de crear un instrumento que pueda además de generar la información suficiente del estado del cultivo, permitir a la persona a cargo, tener un control fácil sobre el instrumento de monitoreo, por tanto se han visto respuestas a estas necesidades como por ejemplo el sensor de mano GreenSeeker, cuya interpretación puede contribuir al diagnóstico básico de las condiciones nutricionales, el estado fisiológico, el índice de estrés y el rendimiento potencial en cultivos como arroz, maíz, trigo y algodón (Gutierrez, Cadet, Rodriguez, & Araya, 2011).

En el caso de las plantas productoras de aceites esenciales, se observa que se desea brindar las condiciones ideales para desarrollar su máximo potencial; por esto, se da origen a este proyecto de investigación que se realiza en conjunto con la Escuela de Diseño Industrial y la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones y en compañía del CENIVAM; el cual está orientado al diseño y desarrollo de un sistema de monitoreo para el cultivo vertical de *Lippia origanoides*.

Hasta el momento no existe evidencia de proyectos relacionados al monitoreo del cultivo de *Lippia origanoides*, sin embargo, se tiene en la literatura un marco de referencia que permite determinar las variables necesarias para su óptimo desarrollo, por tanto, este proyecto debe cumplir con los requerimientos que exigen las características de esta planta, como su altura máxima de crecimiento y sus estados ambientales ideales. Esta solución pretende ayudar a la persona a cargo

del cultivo, para que de manera fácil pueda tener la información necesaria y así poder actuar de forma pertinente sobre las necesidades de su cultivo.

Siendo así, en este documento se muestra el proceso que permitió llegar a la solución propuesta, el cual se basó en la aplicación de una metodología que permitió unir lineamientos tanto de ingeniería electrónica como de diseño industrial, debido a que se trabajó de forma interdisciplinar, por tanto, se estableció dividir esta metodología en 5 fases con el propósito de dar cumplimiento a todos los objetivos específicos planteados. Las fases consistieron primero en recolectar información (fase 1) , la cual permitió plantear los requerimientos necesarios durante todo el proyecto, luego en seleccionar los componentes apropiados para la creación de un sistema de monitoreo basado en el internet de las cosas para el cultivo vertical de *Lippia origanoides* (fase 2), la siguiente fase, basó en el diseño externo del dispositivo, el cual permitiera al sistema técnico funcionar de una manera óptima a la hora de obtener los datos y que además el usuario pudiera manipularlo de forma cómoda (fase 3). En la siguiente fase se hizo la implementación del sistema para definir características como la distancia de Wi-Fi, duración de la batería, vida útil del sistema, temperatura de operación, área de cobertura y tiempo de carga (fase 4); para finalizar, la última fase se basó en evaluar el diseño del modelo funcional en función de su fácil uso y entendimiento a la hora de realizar la actividad de monitorear un cultivo, en donde se resalta que no se evaluó el entendimiento de los datos proporcionados por el sistema a la hora de entregarles información sobre la interpretación de estos, sino que se tuvieron en cuenta para darles, aparte del modelo funcional, un primer modo de funcionamiento que más adelante puede ser modificado para una mayor interacción con los usuarios (fase 5).

Una vez realizado este proceso, se tiene como resultado un modelo funcional basado en el internet de las cosas, el cual monitorea el microclima del cultivo vertical de *Lippia origanoides* diseñado para aquellas personas que laboran en estos cultivos, dándoles como ventaja una fácil manipulación, una baja percepción de incomodidad a la hora de usar este modelo, y la obtención de las condiciones ambientales del cultivo en tiempo real. De igual forma, para finalizar, se realiza el análisis de los resultados durante todo el proceso y las recomendaciones a considerar en el uso de este modelo funcional.

1. Definición del proyecto.

1.1 Título

Sistema basado en IoT para el monitoreo del microclima asociado al proceso de desarrollo de cultivos verticales de *Lippia origanoides*

1.2 Objetivo general

Desarrollar un sistema de monitoreo basado en el principio IoT que proporcione información sobre el microclima del cultivo vertical de *Lippia origanoides*, diseñado para personas que laboran en estos cultivos.

NOTA: El objetivo general y los objetivos específicos son planteados en función del campo disciplinar de diseño industrial e ingeniería electrónica.

1.3 Objetivos específicos

- Identificar con base en la literatura científica y con entrevistas, factores que permitan establecer los requerimientos para el diseño de un dispositivo electrónico que monitoree un cultivo de *Lippia origanoides*.
- Diseñar un dispositivo electrónico que involucre el principio del internet de las cosas, usando tarjetas de desarrollo para el monitoreo del cultivo de *Lippia origanoides*.
- Diseñar un modelo funcional con baja percepción de incomodidad para el usuario, el cual proteja el interior del dispositivo de factores externos como el clima.
- Implementar el sistema de monitoreo en el entorno del cultivo para el seguimiento de las variables humedad, calidad del aire y radiación solar.
- Evaluar el diseño propuesto en términos de fácil uso y entendimiento por parte del usuario durante el desarrollo del cultivo.

1.4 Origen del proyecto

Se ha comprobado en diversos estudios que la adecuada regulación de las condiciones ambientales puede garantizar la sostenibilidad de un cultivo bajo condiciones ambientales no controladas, es así que nace como idea la implementación de un sistema que permita tener información constante sobre las condiciones ambientales de un cultivo implementado en el CENIVAM, el cual pueda, a pesar de los cambios climáticos (no extremos), brindar información sobre el estado del cultivo. La idea en general es desarrollar un dispositivo electrónico, diferente, innovador y práctico que éste al alcance y que pueda ser manipulado por un agricultor.

1.5 Marco teórico

1.5.1 Cultivos verticales. El concepto de cultivo vertical está basado en el aprovechamiento de espacio con la idea de cultivar plantas de todo tipo, como verduras, hortalizas, aromáticas o culinarias a fin de producir más en un espacio reducido. Esta producción es vista sobre todo en ciudades, con el fin de satisfacer las necesidades locales.

1.5.2 Aceites esenciales. El olor característico que emanan algunas plantas es originado a partir de la mezcla de sustancias químicas realizada por las mismas, conocido como biosintetización. Estas sustancias químicas se conocen como aceites esenciales, que son utilizados por las plantas como forma de atraer insectos para facilitar la polinización o para repeler a los insectos dañinos. El ser humano ha buscado la manera de aprovechar las ventajas que estas

esencias poseen, por ende, en la actualidad sus propiedades son utilizadas principalmente en la perfumería, antimicóticos, tratamientos de heridas y quemaduras. Recientemente son utilizadas como conservantes de alimentos especialmente cárnicos y además se han hechos estudios de actividad citotóxica in vitro, con el fin de identificarlos como posibles agentes antitumorales. (Quiminet, 2012)

1.5.3 *Lippia*. Es uno de los géneros de mayor explotación de sus aceites esenciales que incluye alrededor de 200 especies de hierbas, arbustos y árboles pequeños; la mayoría se encuentran distribuidos en Centroamérica y Sudamérica, y en la zona tropical africana (Arango, Hurtado, Pantoja, & Santacruz, 2014). Una de sus especies, es el orégano el cual contiene sustancias con actividad antioxidante, antimicrobiana, anti fúngica, entre otras; por lo que no sólo es benéfico para la salud humana, por ser inhibidor de la mutagenicidad, sino que adicionalmente se ha introducido como un aditivo en la alimentación animal, con el fin de mejorar el rendimiento productivo, la salud y el aprovechamiento de los nutrientes de los alimentos. Estos aceites esenciales de orégano (AEO) presentan múltiples efectos funcionales: antiparasitario, antibacterial, antimicótico, estimulante de enzimas digestivas, atribuyendo esta actividad a los componentes mayoritarios: carvacrol y timol. En este sentido, a nivel mundial es aceptado que el orégano griego tiene las mejores calidades del aceite esencial, por su riqueza en carvacrol.

La *Lippia origanoides* es un arbusto aromático, con olor a orégano en la mayoría de quimiotipos, ocasionalmente cítrico o excepcionalmente inodoro de hasta 3,5 m de alto. Los frutos son pequeñas núculas que contienen las semillas de color café, no mayores de 0,25 mm en Colombia. *Lippia origanoides* es un componente importante de su biodiversidad, se encuentra

ampliamente distribuido y es dominante en suelos con baja disponibilidad de agua como es la microrregión del Alto Patía (Betancour, Ariza, Diaz, & Afanador, 2012). En la figura 1 se muestra el comportamiento de su crecimiento con respecto a la disponibilidad de luz, en comparación con la *Lippia alba*.

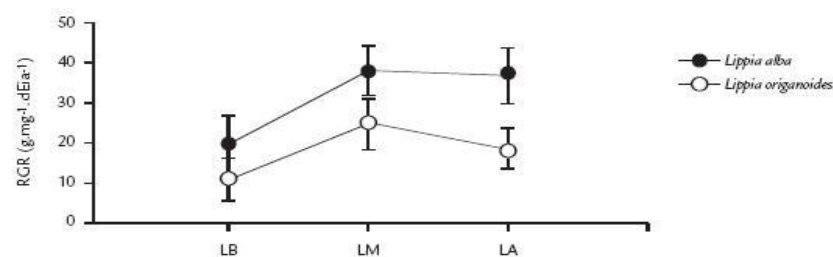


Figura 1. Tasa de crecimiento relativo (RGR) para *Lippia alba* (círculo blanco) y *Lippia origanoides* (círculo negro), en respuesta a diferente disponibilidad lumínica, 33% (LB), 53% (LM), 100% (LA). (Parra & Rodríguez, 2007)

1.5.4 Tecnologías usadas para el monitoreo de cultivos.

1.5.4.1 Internet de las cosas. Se define el IoT (*Internet of Things* / Internet de las cosas) como el conjunto de dispositivos que están conectados a Internet que regularmente envían y reciben información muy variada. Estos dispositivos no son solo los “tradicionales” como webcams o teléfonos móviles, se incluyen dispositivos como los electrodomésticos, automóviles, sensores o balizas de todo tipo (Madrigal, 2016).

Son muchas las aplicaciones móviles y servicios en la nube que permiten la conexión a todos estos dispositivos, que además proporcionan una vía para el tratamiento de una inmensa cantidad

de datos en tiempo real (sistemas ‘Big Data’), facilitando la integración de infinidad de sensores aplicables prácticamente a cualquier tipo de necesidad (Castro, 2013).

1.5.4.2 GSM. La red GSM (*Sistema global de comunicaciones móviles*) es un estándar de comunicaciones para la telefonía móvil, implementado mediante la combinación de satélites y antenas terrestres. A los móviles que usan la tecnología GSM también se les conoce por móviles 2G o de segunda generación. Esta tecnología da un rendimiento máximo de 9,6 kbps, que permite transmisiones de voz y de datos digitales de volumen bajo, por ejemplo, mensajes de texto (SMS, *Servicio de mensajes cortos*) o mensajes multimedia (MMS, *Servicio de mensajes multimedia*) (Kioskea, 2014).

1.5.4.3 Comandos AT. Son instrucciones codificadas que conforman un lenguaje de comunicación entre el usuario y un terminal modem. Además de esta comunicación con los módems, la telefonía móvil GSM también ha adoptado como estándar este lenguaje para poder comunicarse con sus terminales. De esta forma, todos los teléfonos móviles GSM poseen un juego de comandos AT específico que sirve de interfaz para configurar y proporcionar instrucciones a los terminales.

La implementación de los comandos AT depende del dispositivo GSM y no del canal de comunicación a través del cual estos comandos sean enviados, ya sea cable de serie, canal Infrarrojos, Bluetooth. ("Bluehack", s.f)

1.5.4.4. I2C-Bus. El bus I2C, diseñado por Philips a principios de los años 80, permitió desde un comienzo la comunicación fácil entre los componentes que residen en la misma placa de circuito. Philips Semiconductores migró a NXP en 2006, y su nombre I2C se traduce en "Inter IC". I2C no sólo se utiliza en placas individuales, sino también para conectar componentes que están conectados a través de cable. La simplicidad y la flexibilidad son características clave que hacen que este bus sea atractivo para muchas aplicaciones ("I2C Bus", s.f).

1.5.4.5 Interfaz periférica serie (SPI). Es un protocolo de datos en serie síncrono, usado por microcontroladores para comunicarse con uno o más dispositivos periféricos rápidamente en distancias cortas. De igual forma, se puede utilizar para la comunicación entre dos microcontroladores ("Arduino", s.f).

2. Metodología del proyecto

Se construye una metodología orientada a la creación de un modelo funcional de un dispositivo que cumpla con los objetivos específicos ya definidos en un comienzo, la cual se basa en la unión de procesos tanto de diseño como electrónicos que se adapten en conjunto y proporcionen la mejor solución para el desarrollo de este proyecto (ver figura 2).

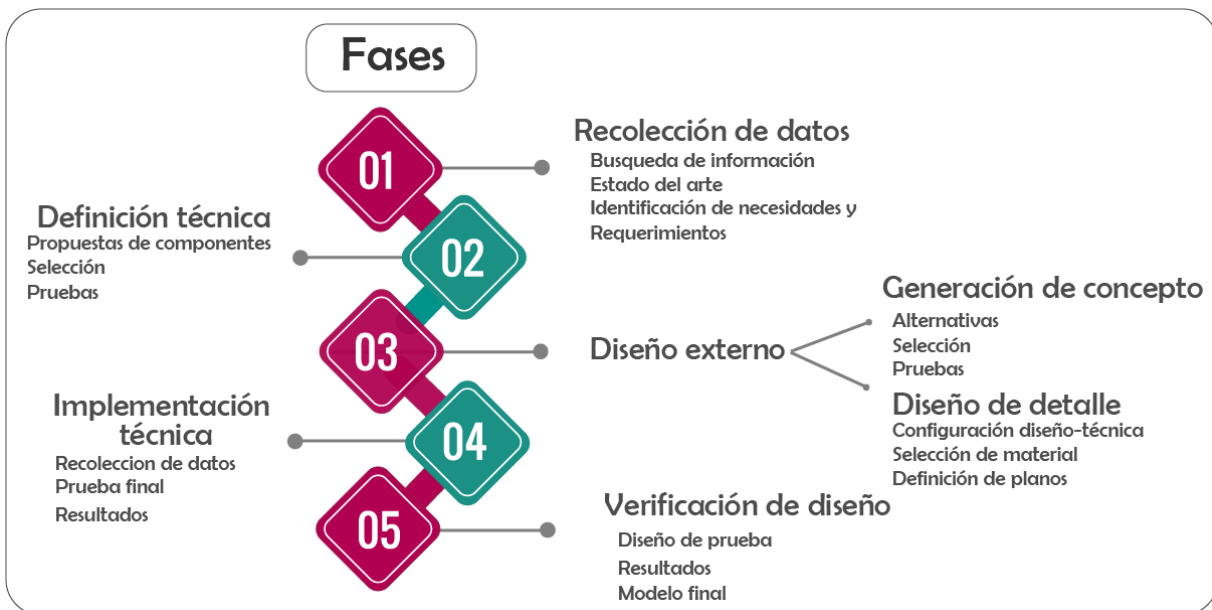


Figura 2. Metodología implementada para el desarrollo del proyecto.

2.1 Fase 1: Recolección de datos

En esta etapa se comenzó por una búsqueda que permitiera conocer el sector en el que se iba a trabajar, por tanto, se indagó sobre los cultivos verticales, las ventajas que ofrecen los aceites esenciales y la importancia que generan hoy en día su producción. De igual forma, se recolecta información sobre el cultivo de *Lippia organoides* (cultivo seleccionado por el CENIVAM) para conocer sus características y necesidades con el fin de seleccionar los requerimientos que permitan dar las soluciones más adecuadas para este cultivo en específico; al mismo tiempo se recoge información sobre tecnologías usadas para actividades similares a las funciones que se pretenden realizar, como algunos tipos de sensores, comandos y componentes electrónicos.

Esta información se obtuvo a través de una revisión bibliográfica encontrada en sitios web, por medio de análisis del estado del arte a nivel mundial y por entrevistas hechas a personas que han trabajado con algún tipo de cultivo, lo cual permitió tener conocimiento de algunos detalles que sólo se tienen a través de la experiencia.

Resultados fase 1: Lista de las especificaciones de los requerimientos que serán una guía durante todo el proceso de desarrollo de este proyecto.

2.2 Fase 2: Definición técnica

En esta etapa se hizo una búsqueda de los componentes electrónicos que más se adaptaran a los requerimientos y necesidades identificadas en la etapa anterior. Una vez seleccionados, se hicieron pruebas en el cultivo vertical de *Lippia origanoides* ubicado en el CENIVAM, con el fin de comprobar su funcionamiento y determinar el margen de error en sus mediciones.

Posterior a esto, se realizó una búsqueda en las hojas de datos sobre las conexiones adecuadas para cada uno de los sensores a usar, por tanto, se tuvieron en cuenta aspectos como el voltaje de operación, tipo de comunicación, temperatura de operación, corriente necesaria, potencia, entre otros, con el fin de evitar daños en los componentes.

Una vez realizado esto, se procedió a realizar la verificación de funcionamiento de cada uno de los componentes a usar, en donde se definieron pruebas para conocer si los datos que proporcionaban eran correctos, para esto, se hizo uso tanto de implementos industriales como el piranómetro; caracterizaciones y procesos industriales como el secado de sustrato, y comparaciones con documentos generados por fabricantes de estos sensores.

Resultado fase 2: Selección de los componentes a usar en el sistema de monitoreo para *Lippia origanoides* y verificación del funcionamiento de cada uno de ellos

2.3 Fase 3: Diseño externo

En esta etapa se analizaron los datos obtenidos en la definición del producto con la intención de dar propuestas que den solución a las necesidades del usuario y cumplir con los requerimientos analizados. Una vez realizadas, se hizo un análisis el cuál permitiera filtrar las ideas que podrían ser definidas para llegar a ser alternativas finales, las cuales una vez seleccionadas tuvieron una evaluación que permitió saber si se cumplía satisfactoriamente con el requerimiento de comodidad planteado inicialmente. Esta evaluación se realizó con la ayuda de personas que tuvieran conocimiento sobre el proceso de cultivo.

Ya finalizado lo anteriormente planteado, se realiza una etapa de diseño de detalle en donde se hicieron modificaciones necesarias en el modelo, tanto para la ubicación y adaptación de cada uno de los componentes dentro de éste, como para su resistencia respecto al material a usar, es por eso que se requirió realizar un análisis estructural con ayuda de una simulación en SolidWorks en el modelo con el material seleccionado en esta misma etapa. De igual manera se propone una forma de acoplamiento entre las partes del modelo para lograr con mayor efectividad el requerimiento de resistencia contra la intemperie.

Resultado fase 3: Selección de la propuesta formal que generara la menor percepción de incomodidad en el usuario al realizar la actividad de enterrar y desenterrar un dispositivo. Además, modificaciones para la adaptación del sistema técnico en el diseño formal.

2.5 Fase 4: Implementación del sistema de monitoreo

Para el cumplimiento de este objetivo, se realizó el seguimiento de las variables cantidad de luz, humedad del suelo y calidad del aire en el cultivo vertical de *Lippia origanoides*. Esta implementación se basó en poner en funcionamiento el sistema de monitoreo ya establecido, con la intención de programar sus respectivos niveles y tener conocimiento de los rangos normales y adecuados en el cultivo, además poder identificar problemas que pudiera tener el sistema durante la medición de estas variables.

Resultados fase 4: Identificación de las características técnicas del sistema de monitoreo, en el cultivo vertical de *Lippia origanoides*

2.6 Verificación

Para conocer que tanto se cumple con el objetivo de fácil uso y entendimiento del dispositivo, se realiza una prueba que permita medir de forma cuantitativa las respuestas de eficacia que el usuario presenta a la hora de usar el modelo funcional propuesto, en donde se define la eficacia como la capacidad de realizar con éxito una tarea según la información que aporta el modelo funcional, de

igual forma se vio la necesidad de realizar esta prueba por segunda vez para permitir medir el entendimiento que éste le aporta al usuario, en donde se compara el número de errores cometidos en las dos pruebas para saber si la información que proporciona el modelo funcional permite al usuario recordar su funcionamiento y disminuir sus errores. Para esto se requirió la ayuda de 8 personas que realizaron la prueba voluntariamente. Siendo así, la finalidad en esta etapa, es también poder realizar los últimos detalles, los cuales permitan al usuario, manipular el dispositivo sin ninguna dificultad.

Resultado fase 5: Identificación de la claridad de funcionamiento del modelo funcional propuesto para su manipulación por parte del usuario.

A continuación se muestra la ejecución de la metodología propuesta anteriormente, la cual está seccionada por 5 fases. En la fase 1, se lleva a cabo el desarrollo del objetivo de establecer los requerimientos para el diseño de este dispositivo, en la fase 2 el desarrollo del objetivo del diseño de un dispositivo electrónico que involucre el principio del internet de las cosas, en la fase 3 el del diseño de un modelo funcional de baja percepción de incomodidad para el usuario, el cual este protegido de factores externos como el clima, en la fase 4 la implementación del sistema de monitoreo en el cultivo de estudio y en la fase 5 la evaluación del diseño propuesto en términos de fácil uso y entendimiento por parte del usuario.

3. Fase 1: Recolección de datos

3.1 Búsqueda de información

3.1.1 Condiciones ambientales apropiadas para *Lippia origanoides*. Los resultados obtenidos en *Lippia origanoides* para el tratamiento de bajo contenido relativo de agua (porcentaje de retención de humedad en el suelo) sugieren mecanismo de tolerancia en condiciones ambientes limitantes, este tipo de ajuste es conocido como síndrome de tolerancia al estrés, característica que permite la tolerancia a hábitats áridos y semiáridos (Antolinez & Nelson, 2008), como el caso de *Lippia origanoides*, es de aclarar que en este trabajo no se cuantificaron mediciones del tipo fisiológico. Aunque esta planta presenta varias características de una planta adaptada a condiciones ambientales limitantes, la información ecofisiológica disponible es limitada para establecer una sólida hipótesis de que esta especie tolera condiciones ambientales estresantes.

Es claro que variaciones ambientales como la disponibilidad de agua en el suelo, nutrientes, luz y temperatura o la interacción entre ellos, podrían influenciar drásticamente la respuesta en la plasticidad fenotípica de estas especies y determinar diferencias relacionadas con su distribución ecológica (Camargo & Rodriguez, 2008).

3.1.2 Antecedentes de la situación de estudio.

3.1.2.1 Factores ambientales. El ambiente para el desarrollo de los cultivos está constituido por todos los factores y elementos climáticos como, la energía lumínica o radiación solar, la temperatura, la humedad relativa al suelo, los vientos, la lluvia y los gases atmosféricos; debido a que estos elementos son interdependientes entre sí, cualquier modificación en uno de ellos, afectará a los demás ("ACEA", 2010).

3.1.2.2 Factor humedad. Cuando una planta crece, utiliza el agua del suelo alrededor de su zona de raíces. A medida que las plantas utilizan el agua, la humedad en el suelo baja hasta un nivel en el cual se requiere aplicar un riego o el cultivo comienza a estresarse por falta de agua. Si no se aplica agua, la planta continuará haciendo uso de la poca humedad que queda hasta que finalmente utilice toda el agua disponible en el suelo y muera de sed. (Martinez, 2010)

3.1.2.3 Factor Luz solar. Es importante medir la intensidad de luz en un invernadero o en el lugar donde se ubique un cultivo, ya que de ésta dependerá un mejor desarrollo del mismo. Aunque no todas las plantas responden igual a la intensidad de luz, las plantas que requieran de bastante luz solar no pueden estar expuestas a una intensidad de luz igual o mayor a 100 000 luxómetros (luz del sol en un día despejado) (Environment, 2017).

3.1.3 Sensores para la caracterización de suelos agrícolas

3.1.3.1 Sensor óptico terrestre. Ambisens es una herramienta creada por Arbotante Patrimonio e Innovación SL para generar mapas sobre el vigor y fuerza de los cultivos empleando Sensores Ópticos Terrestres (SOT), GPS y Sistemas de Información Geográfica (SIG), facilitando la toma de decisiones en la gestión de explotaciones agrícolas, forestales, viñedos, u otro tipo de cultivos.

3.1.3.2 Sensores mecánicos. El procedimiento normalizado para la determinación de la compactación del suelo es la penetración vertical con cono según el procedimiento ASAE (American Society of Agricultural Engineers, actualmente ASABE). Sin embargo, este procedimiento es discreto (puesto que exige la realización del ensayo con el equipo parado) y lento incluso cuando se emplean equipos automatizados dotados de varios conos simultáneamente (Barreiro, s.f).

3.1.3.3 Sensores electro-químicos. Los sensores electro-químicos han sido tradicionalmente empleados en laboratorio para determinar la fertilidad del suelo, debido al uso de electrodos de vidrio para la determinación de pH (Barreiro, s.f).

3.1.3.4 WSN (Wireless Sensor Networks). Se caracteriza por tener aplicaciones donde su funcionalidad no afecta al medio ambiente y tienen como objetivo dotar de objetos con capacidades de adquisición de información (tanto del entorno físico como del estado actual del objeto), procesamiento y comunicación, para que puedan comunicarse entre ellos y permitiendo que los usuarios obtengan variedad de servicios. La WSN consisten en obtener información de un entorno

después procesarla, enviarla a un nodo central de manera inalámbrica y transmitirlo por nodos más lejanos hacia el centro de coordinación.

3.2 Estado del arte

En esta etapa del proyecto es importante la identificación de las características que poseen actualmente productos con funciones relacionadas al monitoreo ya sea de cultivos, jardines, o plantas. Por tanto, se dividió la búsqueda en dos partes, la primera consistió en buscar productos usados en sectores con cultivos a gran escala y la segunda en sectores que usan productos prácticos para el usuario como sensores para jardines y casas, con la intención de analizar sus ventajas y desventajas, y así llegar a plantear la mejor solución para el objetivo planteado en este proyecto. A continuación, se muestran los productos más vistos en el mercado con su respectivo análisis:

3.2.1 Dispositivos usados en cultivos a gran escala. Los dispositivos que a continuación se muestran, son empleados comúnmente en cultivos industriales, como lo son cultivos de arroz, de papa, maíz, cebolla, entre otros; estos dispositivos son usados debido la cantidad de productos cultivados en una misma zona. En la figura 3 y 4 se presentan los sistemas de monitoreo más usados para este fin.



Drones

<https://goo.gl/uM3bGa>

Descripción: Muchas de estas herramientas son usadas para sobrevolar cultivos de manera programadas o por control remoto, en donde se puede tener registro fotográfico o de video del cultivo con diversos tipos de cámara, desde la más básica como GoPro hasta cámaras multiespectrales.

Precio: 6.000 Euros

Materiales: Plástico.

Ventajas: Logra monitorear grandes zonas.

Desventajas: Es de precio muy alto; su tecnología es poco usada en los agricultores; en tiempo con bastante aire no pueden ser usados para evitar accidentes.

Figura 3. Especificaciones del dron



GreenSeeker

<https://goo.gl/aWKdYC>

Descripción: GreenSeeker es un instrumento económico, de fácil uso que puede utilizarse para evaluar la salud de un cultivo. Las lecturas tomadas por el sensor pueden ser utilizadas para tomar decisiones objetivas sobre la cantidad de fertilizante a aplicar en los cultivos.

Precio: \$95.000

Materiales: Plástico.

Ventajas: Es económico, fácil de usar y puede monitorear varias zonas.

Desventajas: El usuario debe realizar esta medición planta por planta; las mediciones dependen de la disponibilidad del usuario.

Figura 4. Especificaciones del dispositivo GreenSeeker

3.2.2 Dispositivos usados en sectores no industriales. Los dispositivos mostrados a continuación, son productos diseñados principalmente para usuarios que quieran monitorear cultivos pequeños como jardines. En las figuras 5 – 10 se presentan los dispositivos encontrados en el mercado

 <p>https://goo.gl/Y0IFmd</p>	<h2 style="margin: 0;">Fliwer</h2>
<p>Descripción: Fliwer monitorea parámetros como: luz, humedad y temperatura. Envía información sobre el estado del jardín por medio de Wi-Fi o 3G, a un celular, a una tablet o a un computador.</p> <p>Marca: Fliwer - Española</p> <p>Precio: \$ 447.000</p> <p>Materiales: Soldado con tecnología de vibración para asegurar su estanqueidad, baterías de litio de alto rendimiento.</p> <p>Ventajas: Puede controlar más de una planta en una misma zona; es resistente a la intemperie.</p> <p>Desventajas: Necesita accesorios externos para su funcionamiento; su precio es muy elevado.</p>	

Figura 5. Especificaciones del dispositivo Fliwer plant&play

 <p>https://goo.gl/EXG4kh</p>	<h2 style="margin: 0;">Flower Monitor</h2>
<p>Descripción: Sensor que proporciona lecturas en tiempo real sobre luz del sol, humedad, temperatura y fertilidad del suelo. Se conecta a través de Bluetooth a una aplicación móvil.</p> <p>Precio: \$49,650</p> <p>Marca: Xioami, China</p> <p>Dimensiones: 12x2.45x1.25 cm</p> <p>Materiales: Plástico</p> <p>Ventajas: Resistente a la intemperie</p> <p>Desventajas: Se necesita estar cerca de la planta para tener información; La conexión es muy débil; No esta traducido ni al español ni al inglés</p>	

Figura 6. Especificaciones de dispositivo Flower monitor



<https://google/eUTgMv>

EDYN

Descripción: Edyn monitorea parámetros como: luz, humedad, temperatura y nutrición del suelo. Envía información sobre el estado del jardín por medio de Wi-Fi, ya sea a un celular, a una tablet o a un computador.

Marca: Edyn - Oakland

Precio: \$299.910

Materiales: Plástico y metal.

Ventajas: Es resistente a la intemperie.

Desventajas: No es extraíble la batería, es de precio muy alto.

Figura 7. Especificaciones del dispositivo Edyn



<https://google/thQz5T>

Parrot Flower Power

Descripción: Parrot Flower es un sensor inalámbrico, que mide luz solar, humedad y fertilizante. El sensor se comunica en forma inalámbrica a través de Bluetooth.

Precio: \$156.800

Marca: Parrot Flower Power, Paris.

Materiales: Plástico poliuretano, compartimento estanco y una goma.

Ventajas: No necesita de accesorios adicionales, resistente a la intemperie.

Desventajas: La distancia de sincronización es de menos de 15 cm; La conexión de bluetooth no es estable; No sincronizar los datos sin conexión.

Figura 8. Especificaciones del dispositivo Parrot Flower Power

 <p>https://goo.gl/Lnnw0U</p>	<h2 style="text-align: center;">Plant Care Engine</h2>
<p>Descripción: Plant Care Engine, Koubachi monitorea las necesidades de las plantas: agua, abono, humedad, intensidad de luz y temperatura. Envía una notificación a un iPhone o por correo electrónico.</p> <p>Marca: Koubachi- Suiza.</p> <p>Precio: \$111.000</p> <p>Materiales: Plástico.</p> <p>Ventajas: Resistente a la intemperie; no necesita de accesorios externos para su funcionamiento.</p> <p>Desventajas: Su precio es elevado para ser escalable.</p>	

Figura 9. Especificaciones del Plant Care Engine

 <p>http://goo.gl/ANPWUG</p>	<h2 style="text-align: center;">PlantLink</h2>
<p>Descripción: Plantlink rastrea la humedad y utiliza esa información para mantener un registro de cuando las plantas necesitan agua.</p> <p>Marca: PlantLink - Estados Unidos.</p> <p>Precio: \$ 299.990</p> <p>Materiales: Plástico.</p> <p>Ventajas: Resistente a la intemperie.</p> <p>Desventajas: Mide solo humedad, necesita de accesorios externos para su conexión.</p>	

Figura 10. Especificaciones del PlantLink

3.2.3 Análisis de los datos encontrados. Para cultivos industriales, se encontraron productos que logran la función de monitoreo en grandes zonas, pero no logran cumplir con algunas necesidades para el agricultor, ya sea por la tecnología usada, en donde se necesita de un experto para realizar esta actividad, por su gran tamaño, o por la dificultad de hacer mediciones debido a las condiciones ambientales que presenta el día; por tanto, se llega a encontrar que estos dispositivos además de no permitir un constante monitoreo, no permiten una fácil manipulación por parte del agricultor.

Por otra parte, se encontró que la mayoría de los dispositivos usados para el monitoreo en jardines, hacen uso del internet debido a que dan como ventaja la rapidez y estabilidad a la hora de obtener la información ambiental de la planta. De igual forma se evidencia que las variables de mediciones más comunes en estos sistemas son la humedad del suelo y luz solar.

Además, se encuentra que el material más usado para estos dispositivos es el plástico, por sus propiedades de resistencia contra la intemperie, uno de ellos es el poliuretano y la goma para asegurar piezas extraíbles.

3.3 Identificación de las necesidades del usuario

Para finalizar la recolección de información, se procedió con una entrevista, la cual se dividió para 3 tipos de usuarios con la intención de identificar las necesidades vistas en diferentes perspectivas. En el apéndice A se muestran las preguntas realizadas en la entrevista a cada tipo de usuario.

3.4.1 Definición de usuarios. Debido a que este cultivo se ha incursionado en la industria de extracción de aceites, se define un usuario comprador, el cual no necesita tener conocimientos sobre las necesidades de este cultivo en específico. De igual forma se define el usuario que manipula el dispositivo, debido a que este tiene experiencia en el sector donde se encuentra la *Lippia origanoides* y sabe que necesidades son importantes a la hora de monitorearla. Por último, se definió un usuario experto en el tema del sistema técnico, el cual tuviera conocimiento en este tipo de dispositivos para su adecuado mantenimiento. Esta entrevista se le realizó a 8 personas que tuvieran las características definidas, sin ninguna restricción de género, edad ni nivel de estudio.

3.4.2 Estructura de entrevista. Las preguntas realizadas fueron abiertas con la intención de conocer diferentes opiniones sobre el tema, también se basaron en las preferencias y características de cada uno de los usuarios. Para ejecutarla no se tuvo control de ningún elemento, debido a que se les realizó en sus puestos de trabajo.

3.4.3 Análisis de los datos. Una vez obtenidas las opiniones de los usuarios se analizaron las respuestas, se agruparon en cinco tipos de necesidades, como funcionales, de uso, ergonómico, técnico/productivo y formal/estético. Además, se jerarquizaron por niveles de 1 a 3 en donde 1 es de mayor prioridad; también se clasificaron en necesidades primarias a las de términos generales y en necesidades secundarias a las más específicas (ver tabla 1).

3.4.4 Resultados

Tabla 1.
Análisis y jerarquización de las necesidades encontradas

Necesidades funcionales		
Necesidades primarias	Nivel	Necesidades secundarias
mide el micro-clima del cultivo de <i>Lippia origanoides</i>	1	Monitoreo de la humedad del suelo, calidad de aire y cantidad de luz.
El tiempo de duración de la batería del dispositivo es óptimo	1	La batería dura lo suficiente hasta cada revisión del cultivo. Es recargable
El área de cobertura del dispositivo es adecuada para su correcto funcionamiento	1	El área de cobertura es suficiente para la correcta transmisión de datos de los sensores seleccionados
Necesidades de uso		
El dispositivo es de fácil lenguaje	1	El dispositivo cuenta con una interfaz de uso sencilla
Necesidades ergonómicas		
El dispositivo es cómodo de usar	1	El dispositivo no sobrepasa un peso de 400 g El dispositivo genera baja percepción de incomodidad al enterrarlo y desenterrarlo
Necesidades técnico/productivo		
El dispositivo funciona tanto en interiores como en exteriores	1	El material del dispositivo es resistente a la intemperie. El dispositivo es hermético
Fácil mantenimiento del dispositivo	2	El dispositivo puede armarse y desarmarse en pocos pasos
El dispositivo indica cuando está encendido	3	El dispositivo cuenta con indicadores visuales que dan a conocer cuando esta encendido
Necesidades formales/estéticas		

Forma depende de la función	1	La forma permite el ingreso de datos de manera adecuada y protege tanto a los sensores que están internos como a los expuestos al ambiente (sensor de aire)
-----------------------------	---	---

Nota: Análisis de las entrevistas realizadas a los 8 usuarios seleccionados.

Identificadas las necesidades de los usuarios, se hizo un análisis sobre éstas para realizar una conversión a requerimientos. Una vez elaborado esto, se les especificó, con la intención de llegar a satisfacer con mayor certeza al usuario (Ver tabla 2).

Tabla 2.
Especificaciones de los requerimientos del dispositivo.

Requerimientos funcionales	
Requerimiento	Especificaciones
Los componentes del dispositivo monitorean las condiciones de humedad del suelo, calidad de aire y cantidad de luz, de la <i>Lippia origanoides</i>	Comunicación I2C
La batería del dispositivo dura lo suficiente hasta cada revisión hecha al cultivo	De 5 a 10 horas
La cobertura de Wi-Fi del dispositivo alcanza su conexión a la unidad central	15 a 20 metros
Requerimientos de uso	
El dispositivo posee funciones de fácil lectura	Funciones conocidas por el usuario
Requerimientos técnicos/productivo	
El dispositivo funciona en interiores como en exteriores	Material hidrofóbico Empaques – caucho

El dispositivo indica cuando esta encendido

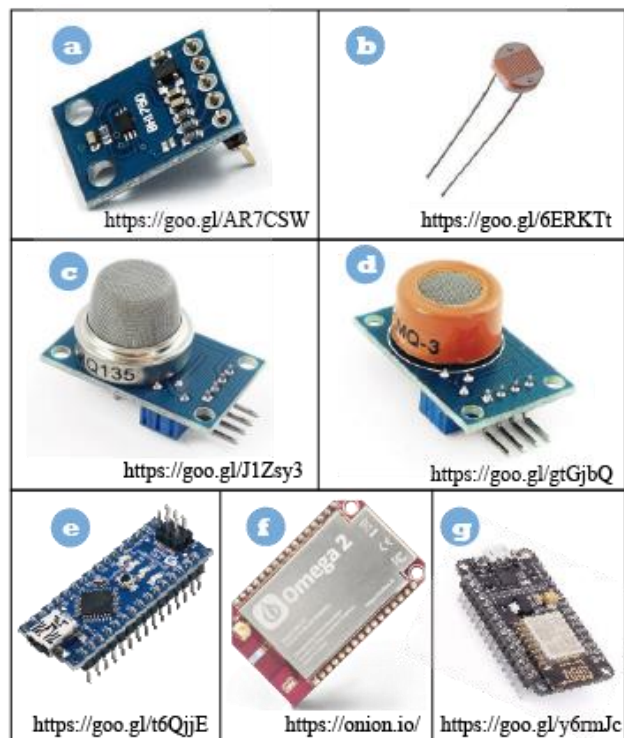
Luces de encendido

Nota: Análisis de las características específicas de las necesidades encontradas en los usuarios

4. Fase 2: Definición técnica

4.2 Componentes propuestos

En esta sección se realizó una búsqueda de los componentes que cumplieran con los requerimientos técnicos planteados anteriormente para su posterior análisis y selección. A continuación, en la figura 11 se muestran las propuestas de estos.



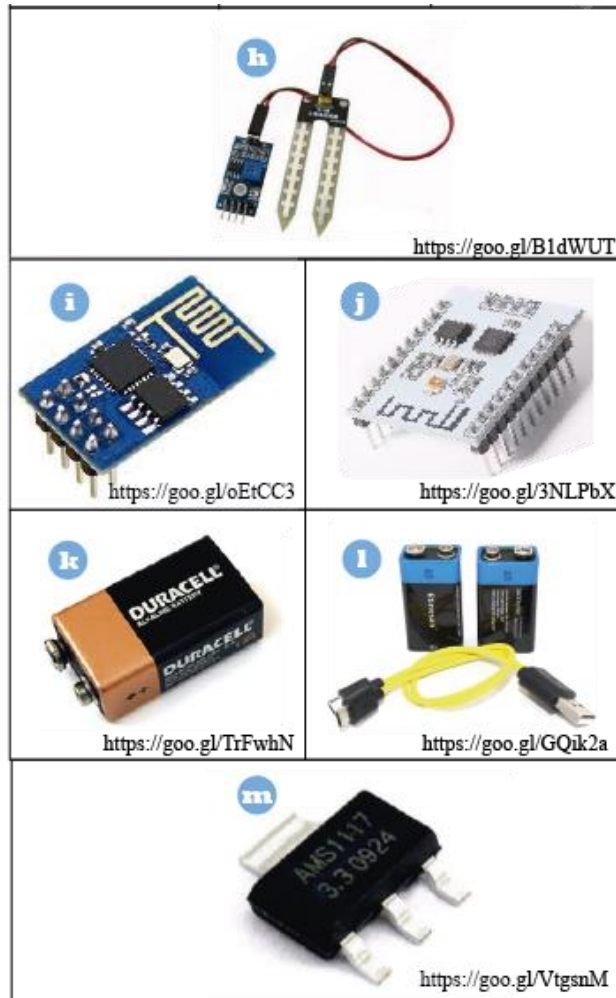


Figura 11. Componentes que cumplen con los requerimientos definidos. a) Luxómetro BH1750 b) Fotorresistencia LDR (LG55) c) Sensor de gases MQ-135 d) Sensor de gases MQ-3 e) Arduino nano f) módulo Omega2 g) Módulo NodeMCU h) Higrómetro FC-28 i) Módulo ESP8266-01 j) Módulo ESP8266-201 k) Batería alcalina 9V 150mah l) Batería litio 9v 400mah m) Regulador LD1117 3.3V

4.3 Selección de componentes

Después de realizada la búsqueda de componentes y sensores, se hizo la selección de estos, teniendo en cuenta variables indispensables identificadas en las especificaciones del producto, como el precio, el tamaño, el consumo de energía, la fiabilidad, la resistencia mecánica, el radio de cobertura y el funcionamiento. A continuación, se muestran los componentes seleccionados y sus características más importantes.

4.3.1 Arduino nano. Es una tarjeta de desarrollo creada por arduino para aplicaciones con restricciones de tamaño, sus principales características se muestran en la tabla 3 y su diagrama de pines se muestra en la figura 12.

*Tabla 3.
Características principales del arduino nano*

Característica	Valor
Microcontrolador Atmel ATmega	328
Voltaje de operación	5V
Voltaje de entrada (recomendado)	7 a 12 V
Voltaje de entrada (limite)	6 a 20 V
Pines digitales I/O	14
Pines de entradas análogas	8
Corriente DC	Por pin I/O 40 mA
Memoria flash	34 KB
SRAM	2 KB

EEPROM 512 M	1KB
Velocidad de reloj	16 MHz
Dimensiones	0.73" X 1.70"

Nota: Análisis de las características principales del Arduino nano ("Allied electronics", s.f). Adaptado de http://www.itisfermi.it/enforce/pdf/arduino_nano/tech.pdf

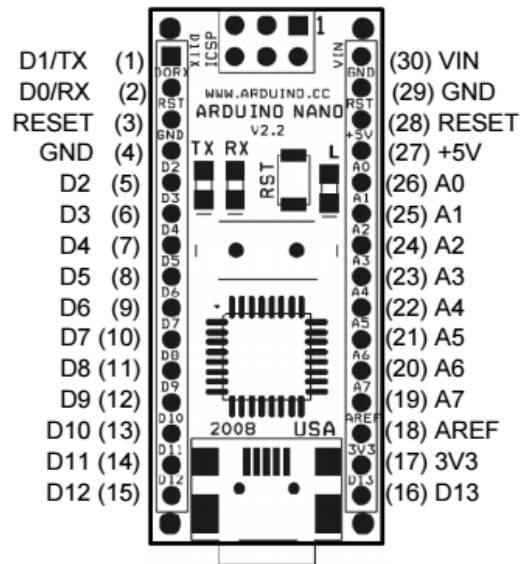


Figura 12. Arduino nano con sus respectivos puertos.
Adaptado de ("Arduino nano, user manual", s.f)

4.3.2 Módulo Wi-Fi ESP8266. El ESP8266 tiene capacidades a bordo de procesamiento y almacenamiento que le permite integrarse con sensores y dispositivos específicos de aplicación a través de sus GPIOs con un desarrollo mínimo y carga mínima durante el tiempo de ejecución. Además, está diseñado para ocupar el área mínima en una PCB ("Mactronica", s.f). A continuación, en la tabla 4 se presentan las características principales del módulo Wi-Fi ESP8266.

Tabla 4.
Características del módulo Wi-Fi ESP2866

Especificación	Característica
Tipo de Wi-Fi	Wi-Fi @ 2.4 GHz, soporta WPA / WPA2
Tamaño	Tamaño 11.5mm * 11.5mm
Convertidor ADC	ADC integrado de 10 bit de precisión
Protocolo	Protocolo stack TCP/IP integrado
Alimentación	PLL integrado, regulador de tensión y componentes de administración de energía
Potencia de salida	802.11b mode + 19.5dBm
Corriente de fuga	Menor que 10uA
Procesador – CPU	CPU de 32 bits de baja potencia: puede funcionar como procesador de aplicaciones.
Encendido y transferencia de paquetes	Menor a 2ms.
Consumo en stand by	El consumo de energía en espera es de menos de 1.0mW (DTIM3)
Rango de temperatura de operación	-40 ~ 125
Voltaje de alimentación:	3.3 V. Este módulo no tolera 5 V. Cualquier voltaje superior a 3.6 V en sus entradas o en el pin de alimentación puede dañarlo

Nota: Análisis de las características principales del módulo Wi-Fi Adaptado de <http://www.mactronica.com.co/modulo-wifi-esp8266-43672064xJM>

4.3.3 Sensor de humedad: higrómetro FC-28. El FC-28 es un sensor sencillo que mide la humedad del suelo por la variación de su conductividad. No tiene la precisión suficiente para realizar una medición absoluta de la humedad del suelo, pero tampoco es necesario para controlar un sistema de riego (Llamas, 2016). En la tabla 5 se presentan sus principales características.

Tabla 5.
Características principales del higrómetro FC-28

Características	Valor
Voltaje de funcionamiento	3.3v ~ 5v.
Indicadores	Rojo-Alimentación; Verde – Comunicación digital
Chips	LM393 Comparador estable
Dimensiones	3cm x 1.5 cm
Dimensiones de la sonda del suelo	6cm x 3cm
Longitud del cable	21 cm

Nota: Análisis de las características principales del higrómetro FC -28 Adaptado de <https://goo.gl/aaqogKc>

Además de las características mencionadas anteriormente, el higrómetro FC-28 tiene 10 bits de resolución, lo que da 1 024 valores diferentes: Incorpora además salida analógica y digital lo que permite ajustar la salida digital para que envíe una señal que puede servir para un posterior control.

4.3.4 Sensor MQ-135. Este sensor de control de calidad de aire es usado para la detección de contaminación en el medio ambiente y compuestos químicos que pueden ser nocivos para la salud, es por esto que su función principal es detectar la concentración de gas en diversos porcentajes. Su método de funcionamiento es a través de un sensor electroquímico que hace variar la resistencia en función de la sustancia con la que tiene contacto, además dispone de un calentador

para aumentar la sensibilidad de este sensor electroquímico. Como su potencia de consumo es elevada y el regulador que incorpora arduino no es suficiente, se debió considerar un regulador que cumpliera con las especificaciones del sensor.

La señal de salida que proporciona el MQ-135 es dual, de carácter analógico y digital. Respecto a la señal analógica proporcionada, esta viene a ser directamente proporcional al incremento de voltaje, en cuanto a la señal digital, esta presenta niveles bajos de tensión por lo que esta señal puede ser procesada por un microcontrolador, como entrada o salida, esto ya depende de la necesidad del usuario ("Mactronica", s.f). En la tabla 6 se muestra las características principales de este sensor.

Tabla 6.
Características principales del sensor MQ-135

Característica	Valor
Voltaje de operación	5V
Corriente de opción	150 mA
Potencia de consumo	800mw
Resistencia de carga	Potenciómetro ajustable
Detección de partes por millón	10ppm a 1000ppm
Concentración detectable	Amoniaco, Sulfuro, Benceno, Humo, Alcohol, Dióxido de carbono
Humedad de operación	Menor a 95% RH
Concentración de oxígeno	2% a 21%
Temperatura de operación	-20°C a 70° C

Nota: Análisis de las características principales del sensor MQ -135 Adaptado de <http://www.mactronica.com.co/sensor-mq135-calidad-del-aire-67629651xJM>

A continuación, en la figura 13 se presenta la variación de la resistencia del sensor MQ-135. La figura 15-a, muestra el comportamiento de la resistencia R_s/R_o en función de la temperatura; en donde se observa también que entre 0°C y 20°C se tiene una mayor variación, por ello se recomienda usar el dispositivo en temperaturas entre los 20°C y 40°C . En la figura 15-b se observa la variación de la resistencia en función de la concentración de ppm de los diferentes elementos detectados por el sensor MQ-135. Esta información ayuda a verificar si el funcionamiento del sensor MQ-135 es correcto.

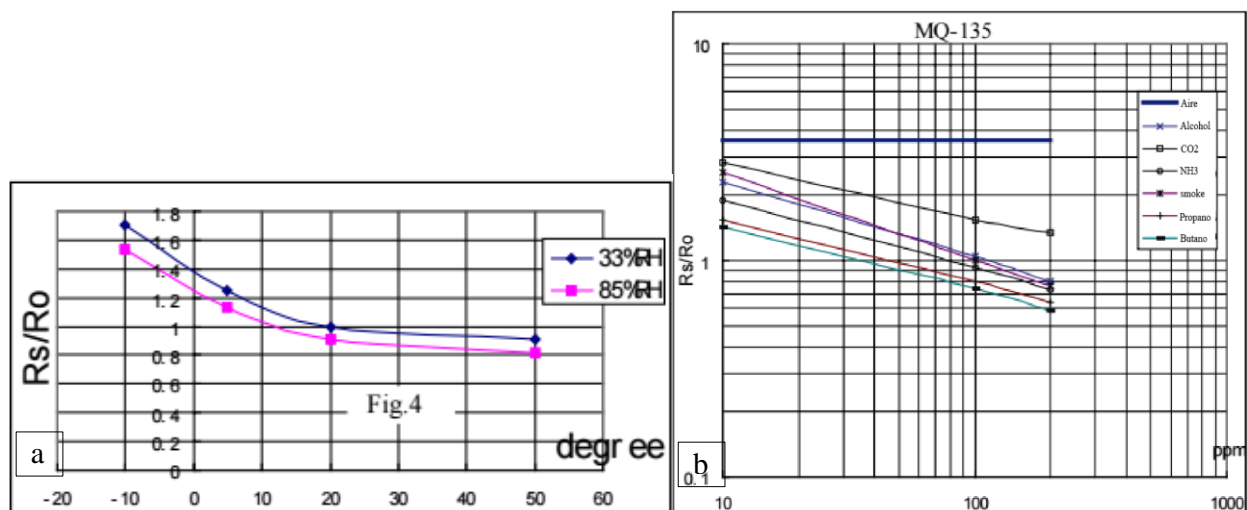


Figura 13. Comportamiento de la resistencia presente en el sensor en función de las concentraciones y la temperatura. a. Relación R_s/R_o vs temperatura para el MQ-135; b. Relación R_s/R_o vs ppm para cada uno de los elementos detectados por el MQ-135. ("Technical data", s.f)

De igual forma es importante resaltar que los datos son variables debido a la ubicación y al tiempo, como se evidencia en las figuras 14 y 15, en donde se muestra el incremento de la concentración de CO_2 en la atmósfera con el paso de los años y la diferencia de concentración de CO_2 dependiendo de la latitud en la que se encuentre respectivamente, por tanto, es necesario

aclarar que las mediciones tomadas para este análisis solo concordarán bajo las mismas condiciones en las que fueron tomados los datos, para este caso se tomaron en el CENIVAM, a temperaturas entre 20 a 25 ° C con una altitud de 959 msnm y en las coordenadas geográficas 7°08'25.1"N 73°06'57.6"W (Googleearth, 2017).

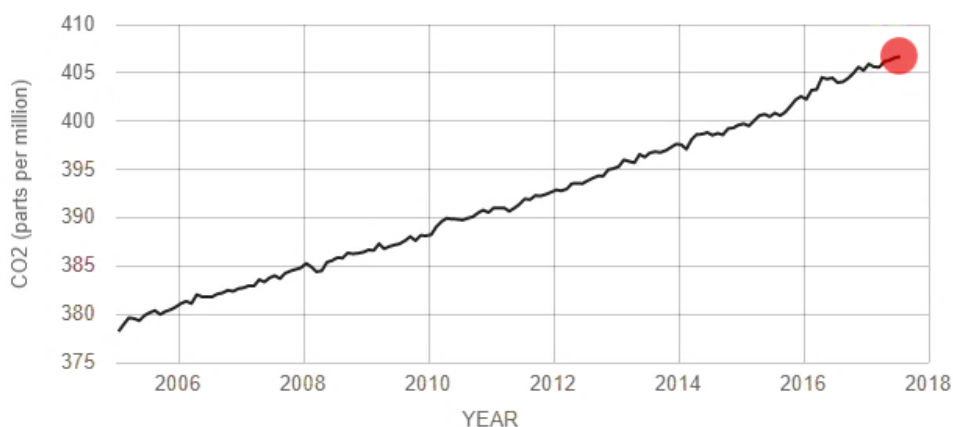


Figura 14. Incremento de la concentración CO_2 en la atmosfera, datos proporcionados por la NOAA, la última medición registrada en Julio de 2017 fue 406.99 ppm. ("NASA", Global climate change, 2017)

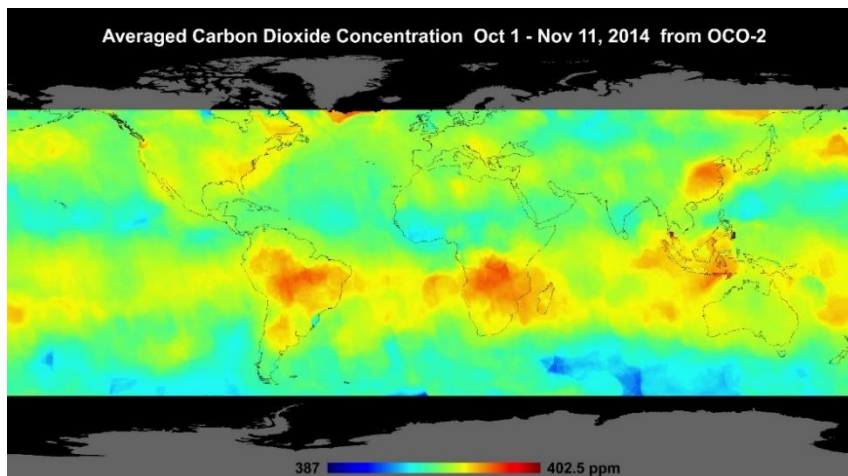


Figura 15. Niveles de concentración de CO_2 en la tierra durante los meses de octubre y noviembre del año 2014. ("NASA", 2017)

4.3.4 Luxómetro BH1750. El BH1750 es usado para detectar la fuente de la luz que se está midiendo y entrega la intensidad lumínica directamente en unidades Lux (Lx). El BH1750 incorpora un ADC de 16 bits, que brinda una resolución de 65536 valores; en la tabla 7 se puede observar sus principales características, en la figura 16 se muestra su diagrama de funcionamiento y para poder hacer un análisis de los datos que se están obteniendo, el fabricante ofrece una tabla que muestra lo que el sensor puede detectar tal cual como se muestra en la tabla 8.

Tabla 7.
Especificaciones técnicas del luxómetro BH1750

Características	Valor
Voltaje de Operación	3V – 5V
Interfaz digital	Bus I2C con capacidad de seleccionar entre 2 direcciones
Respuesta espectral	Similar a la del ojo humano
Mediciones	Mide iluminancia y convierte el resultado a una palabra digital
Rango de medición	1-65535 lux
Modos de consumo potencia	Modo de bajo consumo de energía
Rechazo de ruido	50/60 Hz

Nota: Especificaciones técnicas del luxómetro BH1750 Adaptado de <http://www.mactronica.com.co/sensor-de-luz-bh1750-50589654xJM>

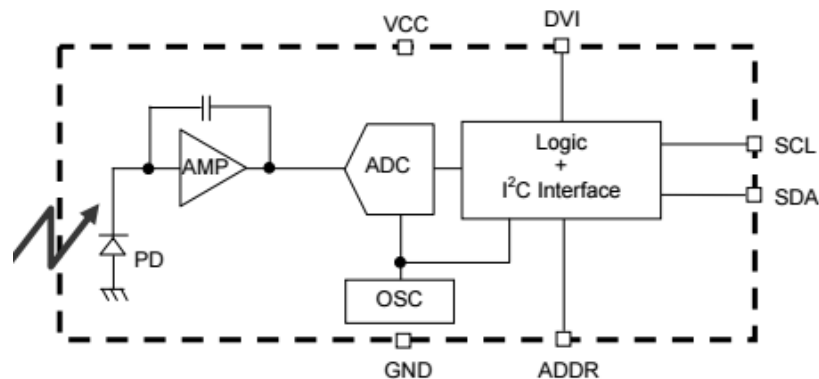


Figura 16. Diagrama de funcionamiento del luxómetro BH1750 Adaptado de (Llamas, Medir cantidad de luxes con arduino y el luxómetro BH1750, 2016)

Tabla 8:
Rango de operación para cada una de las condiciones en un luxómetro BH1750.

Condición	Rangos
Noche	0.001-0.02
Luz de medianoche	0.02-0.3
Interior nublado	5-50
Exterior nublado	50-500
Recomendado para lectura de libros	50-60
Soleado interior	100-1000
Estándar de video casero	1400
Bajo el sol de verano	Alrededor de 65000

Nota: Rango de operación para cada una de las condiciones en un luxómetro BH1750 Adaptado de ("Mecatrónica", s.f)

4.3.5 Batería 9V 400mAh. Batería de litio con 400mAh, recargable con cable USB. Esta batería brinda la corriente necesaria para que todos los dispositivos puedan tener un desempeño óptimo.

4.3.6 Regulador LD1117 3.3V. Este regulador permite alimentar el sensor de aire MQ-135 y el módulo ESP8266 para que trabajen con una tensión de 3,3 V lo cual es lo indicado para que ellos funcionen sin quemarse o dañarse ("Miki.pro", s.f) . En la figura17 se muestra cómo debe quedar el circuito con el regulador para que su funcionamiento sea adecuado.

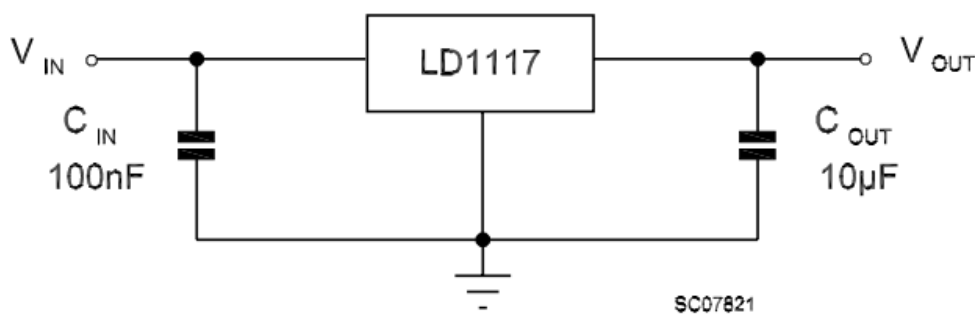


Figura 17. Circuito de funcionamiento adecuado para el regulador LD1117 3.3V ("SparkFun", s.f)

4.4 Configuración técnica

Ya seleccionados los componentes que cumplían con los requerimientos planteados, se dio comienzo a la configuración técnica con ayuda del software IDE de arduino de cada uno de los sensores escogidos. Esta configuración se basó en programar de tal forma que los sensores realizaran las funciones de medición que se pretendían con cada uno de ellos. Una vez realizado esto, se les hizo una verificación de funcionamiento con la intención de verificar si los datos que proporcionaban eran correctos. A continuación, se muestran la programación y su respectiva verificación.

4.4.1 Configuración técnica del luxómetro. Para comenzar, se cargó el archivo creado con la programación en arduino (ver figura 18). Luego, se hizo una pequeña prueba, pasando este sensor por diferentes ambientes, como en sombra, bajo el sol y en luz de una habitación; esto, con la intención de comprobar si el sensor podía reconocer y dar valores de los cambios a los que estaba expuesto.

```
LUXOMETRO $
%%PROYECTO DE GRADO
%%PRUEBA LUXOMETRO BH1750
%%JESUS CABALLERO & DANIELA ARAUJO
#include <Wire.h>
#include <BH1750.h>
BH1750 Luxometro;
void setup(){
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("Inicializando sensor...");
  Luxometro.begin(BH1750_CONTINUOUS_HIGH_RES_MODE); //inicializamos el sensor
}
void loop() {
  uint16_t lux = Luxometro.readLightLevel();//Realizamos una lectura del sensor
  Serial.print("Luz(iluminancia): ");
  Serial.print(lux);
  Serial.println(" lx");
  delay(500);
}
```

Figura 18. Código para uso único del sensor luxómetro BH1750 en IDE arduino 1.8.0

Es importante resaltar que el luxómetro BH1750 funciona sólo descargando su librería, la cual se puede encontrar en el siguiente link: <https://github.com/claws/BH1750>, se descarga un archivo .ZIP y después de descargarla se debe importar desde el IDE de arduino.

4.4.1.1 Verificación técnica del luxómetro BH1750. En el momento en que el sensor proporcionó los datos, fue de gran importancia saber si estos eran consistentes con las lecturas tomadas, para ello, se procedió a ver la hoja de datos otorgada por el fabricante donde muestra los rangos de valores que se deben obtener con respecto al ambiente en el que se encuentre expuesto el luxómetro. Siendo así, se pudo verificar que efectivamente el funcionamiento era el esperado.

Luego, se hizo una prueba de verificación más precisa donde se usó un piranómetro Hukseflux SR11-TR (ver figura 19) para comprobar que efectivamente las mediciones que se estaban obteniendo eran las correctas en cuanto a la radiación solar, la cual va a ser la principal fuente de luz que va a recibir este sensor (ver figura 20). Posterior a esto, se pudo determinar y corroborar el comportamiento del luxómetro. Se recalca que el propósito del sensor no es medir exactamente la cantidad de luz o radiación solar que recibe la planta, la función que debe cumplir es detectar el ambiente al que está expuesto, si es sombra, bajo sol directo, bajo alguna luz artificial, etc.



Figura 19. Piranómetro Hukseflux SR11-TR BH1750 ("Hukseflux", s.f)



Figura 20. Prueba de medición de radiación solar con piranómetro Hukseflux

Debido a que los datos del piranómetro fueron obtenidos en Watts, fue necesario realizar su debida conversión, para así conocer si éstos, coincidían con los entregados por el luxómetro los cuales son dados en lúmenes. Para esta conversión se hizo uso de la siguiente fórmula $p(w) = Ev (Lx) \times \frac{A (m^2)}{n (lm/W)}$, en donde η es el índice que determina la fuente de luz. Por Tanto, ésta fórmula fue usada para establecer el error del luxómetro a la hora de medir la radiación solar. Los resultados de las pruebas hechas para evaluar este funcionamiento se encuentran en el apéndice B.

4.4.2 Configuración técnica del sensor de calidad de aire. En la figura 21 se muestra la programación usada para recibir los datos proporcionados por el sensor MQ -135. Una vez se ejecutó este código, se realizó una pequeña prueba, la cual, consistió en colocar sustancias con diferentes concentraciones, con la intención de saber si los datos que el sensor proporcionaba,

tenían algún cambio. También se resalta que este sensor demora aproximadamente 20 segundos en empezar a tomar los datos mientras su resistencia se calienta.

```
sensor_mq135 §
%%PROYECTO DE GRADO
%%PRUEBA SENSOR DE AIRE MQ-135
%%JESUS CABALLERO & DANIELA ARAUJO
int s_analogica_mq135=0;

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
}

void loop()
{
  s_analogica_mq135 = analogRead(0);
  Serial.println(s_analogica_mq135, DEC);
  Serial.println(" ppm");
  delay(250);
}
```

Figura 21. Programación para uso único de sensor de aire MQ-135 en IDE arduino 1.8.0

4.4.2.1 Verificación técnica del sensor MQ-135. Actualmente en la UIS no se cuenta con un instrumento que permita la calibración de este tipo de sensores, por lo tanto, se buscó ayuda de entes externos, pero no se logró encontrar un elemento de medición de calidad de aire que permitiera verificar si las medidas tomadas eran las correctas. Por consiguiente, lo que se pudo hacer, fue verificar el comportamiento del sensor. Para ello se debió contar con una concentración de cualquier elemento de los que el sensor detecta; por facilidad se escogió el dióxido de carbono debido a que se encuentra en el ambiente, de igual forma, con ayuda de dos sensores MQ-135 (ver figura 22), la hoja de datos y midiendo el valor de la resistencia se pudo registrar el valor de la

resistencia en función de las ppm, debido a que, con el valor de la concentración de ppm es posible medir en el sensor el valor de la resistencia manualmente. Teniendo en cuenta que los valores tomados y los valores propuestos por la hoja de datos están bajo condiciones diferentes de humedad, velocidad del viento, temperatura y concentración de O_2 se puede observar que el funcionamiento característico del sensor se sigue manteniendo. Los datos de las pruebas hechas se presentan en el apéndice B.

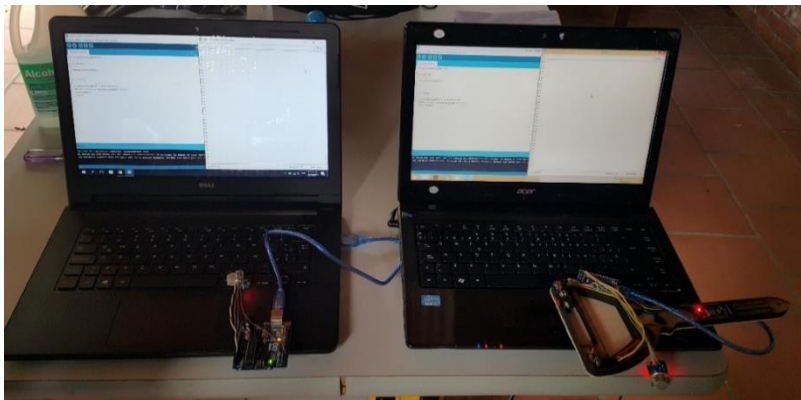


Figura 22. Sensores MQ expuestos a diferentes concentraciones de sustancias en las instalaciones de CENIVAM para prueba de verificación de funcionamiento.

4.4.3 Configuración técnica del higrómetro FC-28. En la figura 23 se muestra la programación usada para recibir los datos proporcionados por el sensor higrómetro FC-28. Una vez se ejecutó este código, se realizó una pequeña prueba, la cual, consistió en colocar muestras iguales de sustrato con diferentes porcentajes de humedad, con la intención de saber si los datos que el sensor proporcionaba tenían algún cambio.

```
PRUEBA_HIGROMETRO $
%%PROYECTO DE GRADO
%%PRUEBA HIGROMETRO
%%JESUS CABALLERO & DANIELA ARAUJO

void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
  Serial.begin(9600);
  pinMode(2, INPUT);
}

void loop() {
  val = analogRead(A0);
  Serial.println(val);
  delay(1000);
}
```

Figura 23. Programación para uso único higrómetro FC-28 en IDE arduino 1.8.0

4.4.3.1 *Verificación de funcionamiento de higrómetro FC-28.* Para la verificación técnica del higrómetro, se analizó la humedad de varias muestras pertenecientes al sustrato usado en el cultivo de *Lippia origanoides*. Inicialmente se realizó una prueba con dos higrómetros diferentes para descartar si diferían los valores de cada uno, para ello fueron expuestos a sustratos con diferentes porcentajes de humedad; una vez se tuvo certeza de que los dos higrómetros funcionaban de igual forma. Se empezaron las pruebas para saber la curva de comportamiento del sensor, por tanto, se prosiguió a pesar cada muestra y se les agregó una cantidad diferente de agua, como se puede observar en la figura 24, cada una de estas muestras fue medida por cada uno de los higrómetros FC-28. Luego, se pasaron por un horno a temperatura de 42°C (ver figura 27) para después pesar de nuevo las muestras y así determinar exactamente la cantidad de humedad que tenía cada una de ellas. De esta manera se pudo asignar a cada porcentaje de humedad un rango de

valores tomados por el sensor, como se puede observar en la figura 25. Los recipientes usados fueron debidamente pesados, para evitar peso extra en las muestras.



Figura 24. Prueba preliminar de funcionamiento con los dos sensores



Figura 25. Proceso de secado y peso de cada uno de las muestras en los laboratorios del CENIVAM

4.4.3.2 Procedimiento de la prueba. La prueba consistió en registrar los datos de humedad cada 4 días de los 20 días que duró este seguimiento, en donde se pudo determinar el comportamiento de la humedad en el sustrato vs los datos obtenidos por el sensor, estos datos fueron promediados y el error máximo obtenido fue menor al $\pm 3\%$. Este error fue obtenido elevando al cuadrado cada uno de los errores obtenidos durante cada prueba y sacando su raíz cuadrada al final de toda la suma, de esta manera se puede hallar el error máximo del instrumento (Creus, 2010). En la Figura 26 se muestra el resultado final de este análisis y en el apéndice B se muestran todos los datos obtenidos. Es necesario aclarar que este comportamiento se obtuvo en el CENIVAM, en donde se hizo uso de un sustrato específico, compuesto de 64% de bobinaza, 8% de arena y 28% tierra negra de mina, y por tanto esta prueba servirá para cultivos con estas mismas especificaciones.

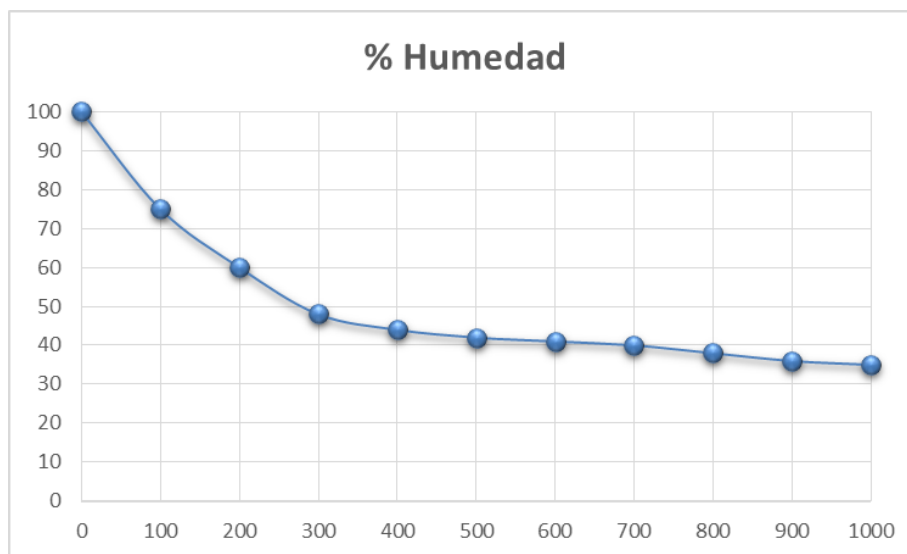


Figura 26. Gráfica de porcentaje de humedad Vs valores tomados por el higrómetro FC-28.

4.4.4 Configuración técnica Módulo Wi-Fi. El módulo ESP8266 funciona con 3.3 V por lo que fue necesario utilizar un regulador de tensión; de igual forma se debió instalar un plugin para que pudiera funcionar, el cual se puede encontrar en las librerías que ofrece arduino para descargar. Para la recopilación de datos se requirió de una plataforma llamada ThinkSpeak la cual se detallará más adelante, pero que entre sus más importantes características permite recibir, graficar y descargar los datos que son ingresados, además lo hace de manera gratuita. También se contó con una red inalámbrica de Wi-Fi a la cual debía conectarse el módulo, para esto fue necesario conocer el nombre de la red y la contraseña. En la figura 27 se presenta el código usado para el funcionamiento de este módulo.

```
prueba_conexio_wifi $
%%PROYECTO DE GRADO
%%PRUEBA MODULO WIFI ESP8266
%%JESUS CABALLERO & DANIELA ARAUJO
#define SSID "SSID" //Nombre de la Red Wifi a la que nos conectamos
#define PASS "PASSWORD" //Contraseña de la Red Wifi
#define IP "184.106.153.149" // thingspeak.com
boolean connectWiFi()

Serial.println("AT+CWMODE=3");
delay(2000);
String cmd="AT+CWJAP="; //
cmd+=SSID;
cmd+="\","";
cmd+=PASS;
cmd+="\","";
cmd = AT+CWJAP="SSID","PASS"

Serial.println(cmd);
delay(10000); //Darle 10 segundos para conectarse

if(Serial.find("OK")){
    return true; //Conexión existosa
}else{
    return false; //No se pudo conectar
```

Figura 27. Programación para uso único módulo WIFI ESP8266-01 en IDE arduino 1.8.0

4.5 Análisis de los componentes escogidos

Cada uno de los componentes seleccionados cumple a cabalidad con los requerimientos que debe tener el dispositivo a la hora de ser usado, además poseen características como tamaño, vida útil, facilidad de entendimiento para el usuario, lenguaje de programación, entre otras características que los hacen óptimos para el desarrollo de este cultivo. De igual forma los elementos escogidos son todos de bajo costo, lo que lo hace más atractivo a la hora de ser usados y en algún caso especial, de ser reemplazados. Se resalta que para este proyecto el objetivo no es la medición precisa de las variables sino el monitoreo de las condiciones en las que se encuentra el cultivo en tiempo real para que el usuario pueda tomar decisiones sobre este. Por último, todos los elementos son compatibles con arduino nano, en cuanto a alimentación y comunicación serial.

4.6 Diseño de circuito

En la figura 28 se observa el circuito de funcionamiento general, con sus debidas conexiones y en cada uno de los puertos que debe ser conectado. Este es el montaje que recopila todas las conexiones que se realizaron para cada una de las pruebas anteriormente mencionadas.

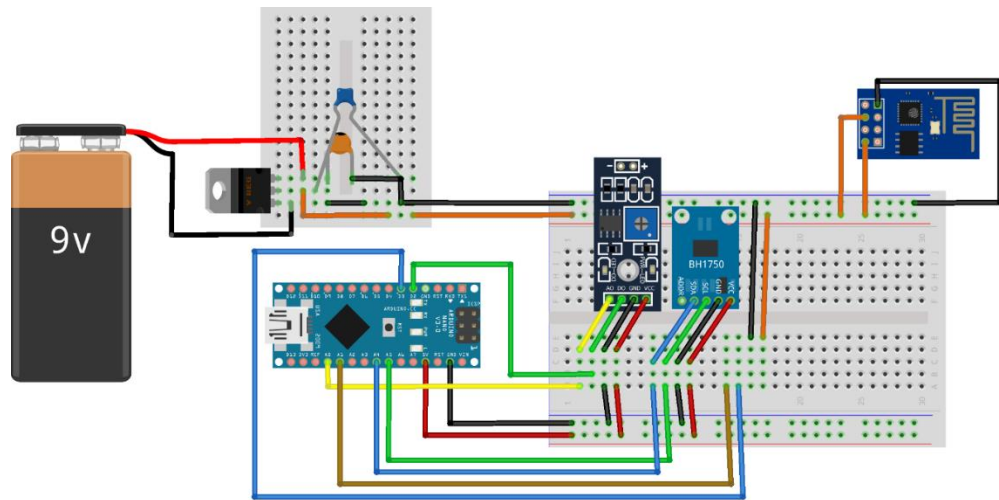
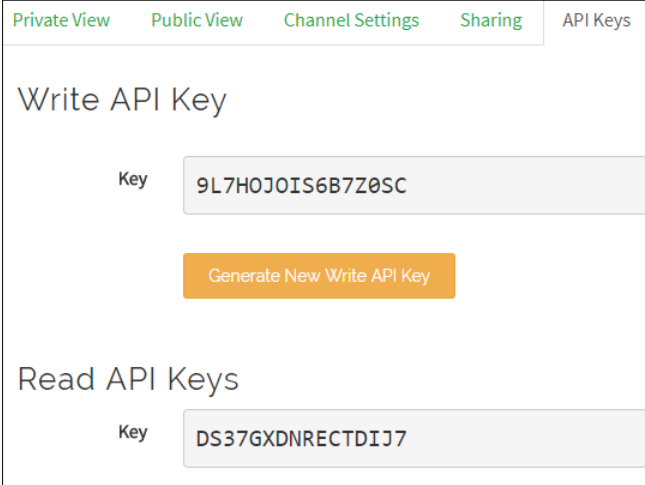


Figura 28. Circuito completo implementado con sus conexiones.

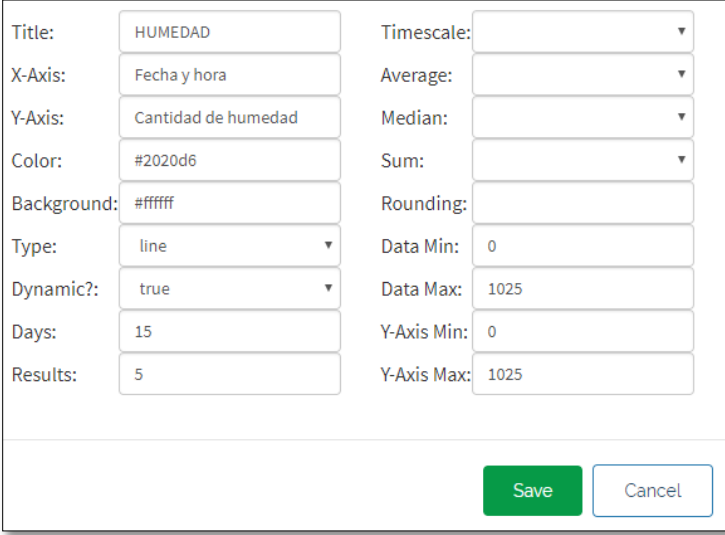
4.6.1 Uso de la plataforma ThinkSpeak. Se hizo uso de la plataforma gratuita ThinkSpeak, para que los datos dados por los sensores fueran graficados y que de esta manera fuera fácil para el usuario entenderlos. Esta plataforma permite visualizar hasta 5 entradas diferentes de datos, en donde permite obtener la información en tiempo real y ser vista en cualquier dispositivo con acceso a internet. En la figura 29 se observa la respuesta del módulo Wi-Fi a la programación enviada.

la visualización personalizada de las gráficas, como el cambio de color, el tipo de gráfica, visualización de ejes mínimo y máximo, fondo, escala de tiempo, mediana, promedio, entre otros.



The screenshot shows the 'API Keys' tab in the ThinkSpeak interface. It is divided into two sections: 'Write API Key' and 'Read API Keys'. Under 'Write API Key', there is a text input field containing the key '9L7HOJ0IS6B7Z0SC' and an orange button labeled 'Generate New Write API Key'. Under 'Read API Keys', there is a text input field containing the key 'DS37GXDIRECTDIJ7'.

Figura 30. Clave de escritura y lectura de los datos en ThinkSpeak. ("ThingSpeak", 2017).



The screenshot shows a configuration dialog box for a chart. It has two columns of settings. The left column includes: Title (HUMEDAD), X-Axis (Fecha y hora), Y-Axis (Cantidad de humedad), Color (#2020d6), Background (ffffff), Type (line), Dynamic? (true), Days (15), and Results (5). The right column includes: Timescale (dropdown), Average (dropdown), Median (dropdown), Sum (dropdown), Rounding (empty), Data Min (0), Data Max (1025), Y-Axis Min (0), and Y-Axis Max (1025). At the bottom right, there are 'Save' and 'Cancel' buttons.

Figura 31. Opciones de configuración de cada una de las gráficas de recepción de datos ("ThingSpeak", 2017).

En la figura 32 se observan las tres graficas dadas por la plataforma, en donde se muestra la respectiva medición de cada sensor.

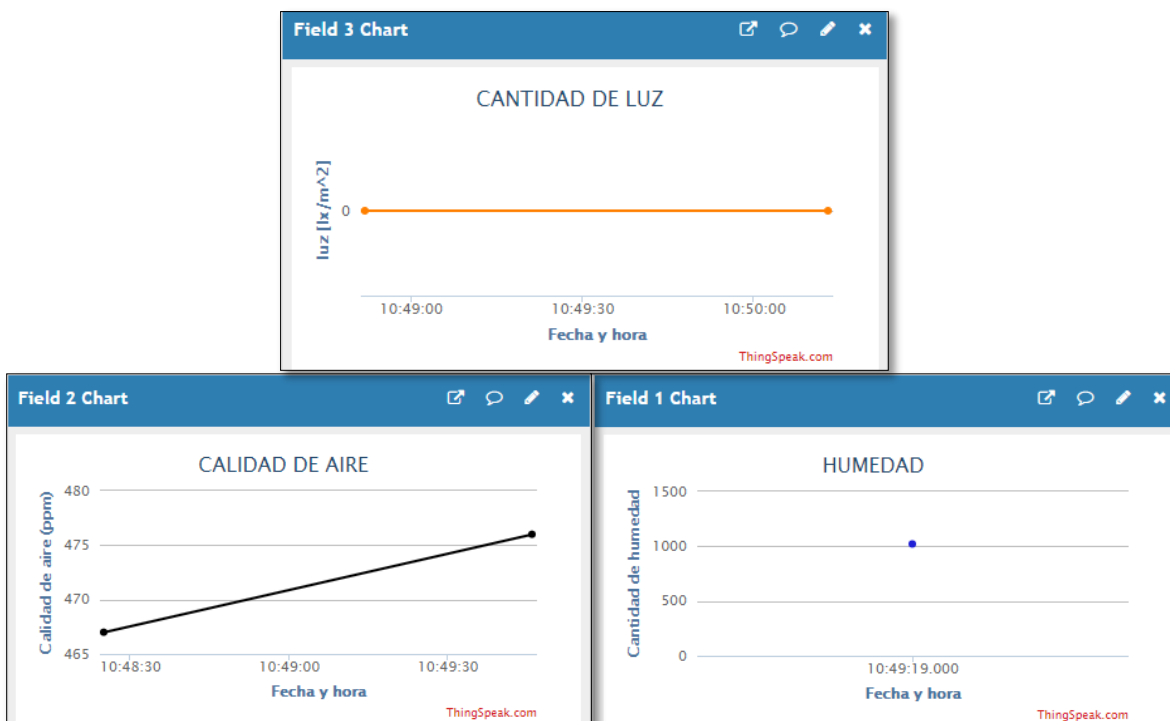


Figura 32. Visualización de los datos recibidos por cada sensor ("ThingSpeak", 2017).

5. Fase 3: Diseño externo

5.1 Generación de concepto

En esta etapa se vio la necesidad de definir lineamientos tanto técnicos como de diseño, basados en los requerimientos del producto y en el objetivo general planteado en la definición del proyecto con el fin de determinar claramente las tareas que se deben cumplir en el campo de diseño industrial e ingeniería electrónica en conjunto durante todo el proceso de desarrollo de esta tesis. A continuación, se presenta esta definición en la figura 33.

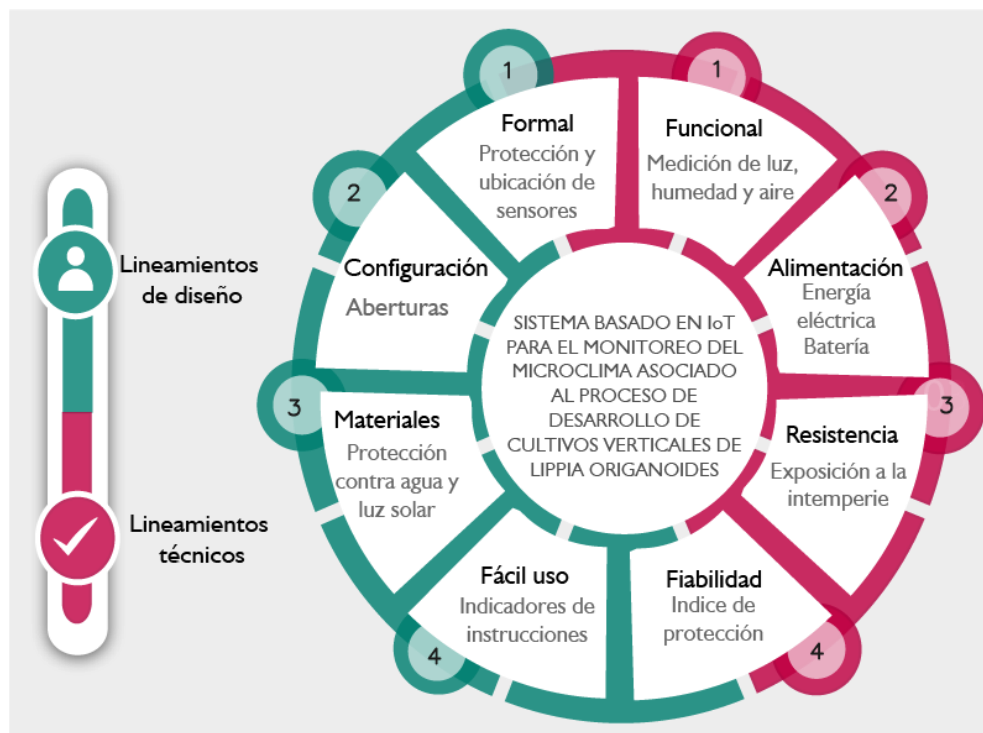


Figura 33. Recopilación de los lineamientos diseño-técnicos

En este paso se logró tomar decisiones que permitieron tener una dirección más clara sobre las soluciones a plantear, una de ellas, fue que la forma del dispositivo debía depender de las funciones que éste realiza, por tanto se plantea necesario que el dispositivo cuente con una forma tal que los sensores como el luxómetro, el higrómetro, y el MQ-135, se encuentren en una posición ideal para

que puedan realizar su trabajo de manera apropiada y así permitir que sus mediciones sean más confiables y sin impedimentos, ya sea por factores externos como la lluvia, posiciones inadecuadas que no permitan el paso de información, o el rompimiento del dispositivo por no tener una forma que resista a la hora de su uso; además su estructura debe permitir ubicar los componentes de tal manera que la recepción de datos sea la mejor posible.

También se definieron aspectos como la alimentación del dispositivo, en donde se debe analizar la ubicación de las aberturas necesarias sin ocasionar confusiones al usuario o problemas al dispositivo; así mismo, otro aspecto importante, es la resistencia del material de este modelo funcional, debido a que éste estará bajo la intemperie (no extremas) durante largas horas; por ello, es necesario la selección tanto de un material que soporte la luz solar o lloviznas leves como también un tipo de ensamble que evite la entrada tanto de polvo como de agua.

Teniendo en cuenta que el dispositivo debe adaptarse a un cultivo vertical con cualquier tipo de configuración, es necesario la definición de una estructura que asegure la estabilidad del dispositivo, además, es importante un análisis ergonómico que permita que la estructura del dispositivo sea de fácil manipulación, que sea cómodo y que no genere ninguna mala postura.

5.2 Propuestas formales

Para comenzar se definieron algunos conceptos como base para las ideas a generar, los cuales se basaron en elementos de uso cotidiano para su fácil identificación y manipulación, además, se tuvo en cuenta el análisis realizado en el comienzo de esta etapa, en donde se estableció necesario un

orden para los componentes, como ubicar el sensor de luz y el módulo Wi-Fi en la parte superior para una mejor obtención de información, el del aire en donde estuviera protegido de la lluvia, el sensor de humedad en la parte inferior debido a que debe ir bajo tierra, y por último se debía pensar en una forma fácil ya fuera para el intercambio de batería o para alimentar el dispositivo, por tanto esta no debía ser ubicada en la parte inferior para así no estar expuesta al tener contacto con el agua. Como resultado se obtuvieron once propuestas (ver figura 34), las cuales una vez presentadas se pasaron por una prueba de selección para filtrar las que más cumplían con los requerimientos planteados en la etapa anterior. Las propuestas presentadas a continuación se detallan en el apéndice C.

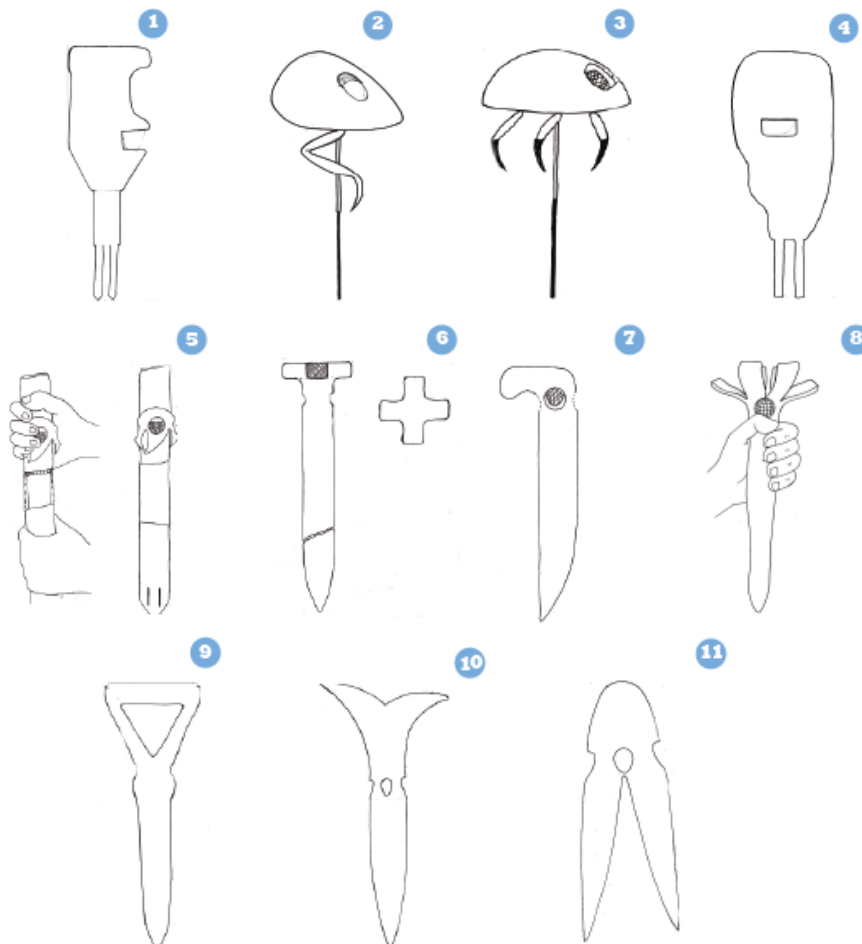


Figura 34. Ideas formales para el dispositivo de monitoreo.

5.3 Selección de alternativa

5.3.1 Prueba de selección. Para la selección de la alternativa final, se filtraron las propuestas al generar una matriz con los criterios basados en los lineamientos y requerimientos diseño-técnicos, en donde se hizo una calificación de las propuestas presentadas en bocetos. Siendo así, se dio el puntaje 0 a las propuestas que no cumplían lo suficiente con el criterio, el puntaje 1 porque cumplían parcialmente y el 2 porque cumplían satisfactoriamente; esta calificación permitió seleccionar por parte de los creadores, tres de las 11 propuestas planteadas. Ver tabla 9.

Tabla 9.
Matriz para la selección de propuestas

Criterios de selección	Ideas propuestas										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
La forma permite una mejor recepción de datos	0	0	0	0	1	1	2	1	2	2	2
La forma logra proteger todos los sensores	0	0	1	1	2	1	1	1	2	2	2
La forma permite una fácil distribución de los componentes	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	2
Se arma y desarma en pocos pasos	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2
Es cómodo al manipular	1	1	1	1	0	0	1	2	2	2	2
La distancia de la medición de la humedad es suficiente	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Permite un fácil intercambio de batería	1	1	1	1	1	2	2	1	1	2	2
Evita el ingreso de agua	1	1	0	0	2	2	2	2	2	2	2
Total	8	8	7	7	10	11	14	13	15	16	16
Aceptado	N	N	N	N	N	N	N	N	S	S	S

Nota: Matriz de los criterios que cumplían o no las ideas generadas.

Una vez seleccionadas las ideas, se definieron especificaciones como las dimensiones y la forma adecuada de manipulación, para esto se tuvo en cuenta parámetros antropométricos como el ancho de la mano de un hombre con un percentil de 95. Estas tres propuestas fueron presentadas en el seminario realizado por el semillero Bonifacio del CENIVAM, en donde se generaron opiniones y sugerencias para el mejoramiento de las propuestas seleccionadas. A continuación, se muestran las alternativas en las figuras 35 - 37 con sus respectivos cambios y la descripción de su manipulación.

Primera alternativa: Agarre de gancho

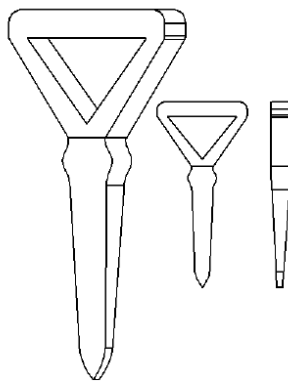


Figura 35. Primera alternativa seleccionada para su respectiva evaluación.

Cuando se realiza la acción de halar en este tipo de agarre, no interviene ni el pulgar ni la palma, la fuerza es hecha por los dedos índice, anular, corazón y meñique. Del mismo modo, cuando se ejecuta la acción de empuje, la posición de la mano sigue siendo la misma pero solo la palma ejerce la fuerza y los dedos permiten el agarre.

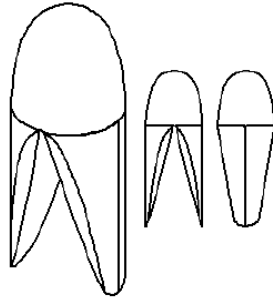
Segunda alternativa: Agarre palmar

Figura 36. Segunda alternativa seleccionada para su respectiva evaluación.

Para este tipo de agarre a la hora de halar, los dedos realizan la fuerza sin la intervención de la palma. Para empujar, la palma es la que ejecuta la fuerza sin la ayuda de los dedos.

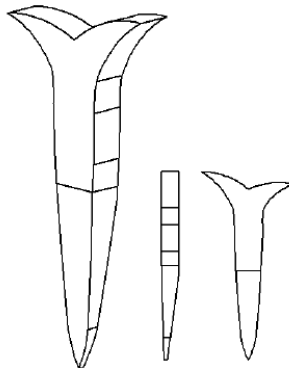
Tercera alternativa: Agarre en pinza

Figura 37. Tercera alternativa seleccionada para su respectiva evaluación.

Para realizar la fuerza y el agarre en esta alternativa, se utiliza el pulgar y las yemas de los demás dedos tanto para halar como para ejecutar el empuje.

Una vez hechos los respectivos cambios, se planteó realizar una segunda prueba para determinar cuál de las tres alternativas cumplía con mayor satisfacción las necesidades de los usuarios, en donde se determinó evaluar qué tanto podían cumplir con los requerimientos ergonómicos de menor nivel de incomodidad. Por tanto, esta prueba consistió en evaluar la incomodidad que generaba cada alternativa a la hora de realizar una actividad específica por parte de los usuarios. De igual forma se aclara que los movimientos que el usuario debe realizar en esta actividad no son repetitivos, sino esporádicos, y que se tomó esta variable de incomodidad como criterio de selección.

5.3.2 Evaluación de alternativas. Para el proceso de evaluación de alternativas, se determinó dividir la prueba en dos partes, la primera se basó en medir la presión que se ejerce en la mano durante la actividad e identificar la existencia de algún punto de concentración de esfuerzo, esto, con la intención de conocer si alguna de las alternativas causaba incomodidad, por tanto se hizo uso del Sistema de Cartografía de Presión de Guantes (*GPMS*, por sus siglas en inglés) el cual consta de 24 sensores montados en un guante y ubicados en áreas en donde se considera que el usuario llegaría a generar presión, estos sensores adquieren datos de fuerza manual multi-sensor y los expresa de igual forma en datos cuantificables por medio de una aplicación llamada FSA la cual permite exportarlos y leerlos en hojas de Excel para facilitar su debido análisis.

Debido a que en cada alternativa no solo se hace presión en la zona de las falanges, se ubicaron algunos sensores en la zona palmar en puntos donde la mano tenía contacto con el objeto.

La aplicación FSA también proporciona información sobre cada momento en el que se hace la presión, debido a que genera *frames* cada 0,06 milisegundos, lo cual permitió identificar el momento de la actividad en el que se generaba mayor esfuerzo y su respectivo valor. Luego de conocer el funcionamiento y los resultados que generaba este sistema de cartografía de presión se dio inicio al desarrollo de esta prueba.

La segunda parte de esta prueba se basó en medir la percepción de incomodidad de los usuarios por medio de una escala visual analógica (*EVA*), esta se llevó a cabo por medio de la aplicación *Visual Scale*, en donde los usuarios debían seleccionar sobre la línea qué tan incómodos se sentían cada vez que usaban cada una de las alternativas, se les explicó que el color rojo representaba incomodidad y la verde comodidad.

5.3.2.1 Selección de la muestra. Los participantes provienen de una población homogénea. Se seleccionaron 8 expertos hombres en el sector agrícola que quisieron participar voluntariamente, en un rango de edad entre los 25 y 60 años. Como criterio de inclusión se consideró que los participantes tuvieran experiencias en el sembrado de cultivos, sin importar la formación educativa que tuvieran en el momento.

5.3.2.2 Diseño de la prueba. Se decide desarrollar esta prueba como un estudio experimental, la cual permitiera tener una mayor fiabilidad en los resultados que se pretendían obtener después de finalizada la prueba. Se comenzó por plantear una hipótesis, la cual consistió en: *El área de contacto de una persona sobre un objeto afectan la incomodidad del usuario a la hora de realizar*

actividades como enterrar y desenterrar dicho objeto en un cultivo, para responder a esta hipótesis se hizo un análisis del área de contacto de la mano del usuario en tres tipos de tratamiento (ver figura 38) con diferentes configuraciones formales las cuales fueron determinados con características que influyen en la eficacia de un dispositivo de monitoreo. Para ver con mayor detalle el procedimiento de la experimentación realizada ver apéndice D.



Figura 38. Tratamientos de la variable independiente “Alternativas”.

Debido a que el dispositivo a desarrollar se usará en cultivos verticales, se establece una actividad específica (ver figura 39), la cual se debió realizar tres veces en diferentes alturas simulando la estructura de este tipo de cultivo, esto se hizo con la intención de conocer si esta variable aumentaba o no el esfuerzo hecho durante el desarrollo de la actividad, por tanto se ubicó cada maceta en tres alturas con 50 cm de diferencia, todas del mismo tamaño y el mismo volumen de abono (ver figura 40).

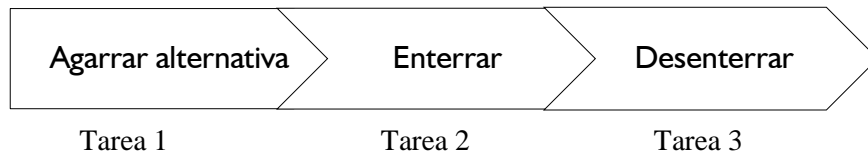


Figura 39. Tareas realizadas por el usuario.

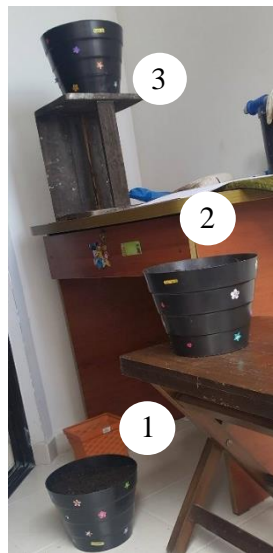


Figura 40. Entorno de la prueba con las alturas usadas

La actividad consistió en insertar la alternativa en forma totalmente vertical y sacarla de igual forma en las tres macetas ubicadas en el espacio de la prueba; se tomaron evidencias a partir de fotos y videos durante toda la actividad. Finalmente, se asignaron aleatoriamente los tratamientos para cada uno de los participantes con el fin reducir sesgos en la toma de datos.

Una vez realizado este proceso, se repitió la actividad en una sola maceta y sin los guantes para posteriormente realizar una prueba de percepción con la ayuda de la aplicación *Visual Scale*, con

la intención de conocer la percepción de incomodidad que tuvo con cada una de las alternativas presentadas, luego de realizar la actividad.

5.3.2.3 Análisis estadísticos de los datos. En la primera parte de la prueba realizada con los guantes, se hizo un promedio de los datos que muestran la máxima presión ejercida en la actividad y el promedio de la presión hecha en cada uno de los 24 sensores, esto, con la intención de conocer los esfuerzos realizados por la mano durante toda la actividad, también se analizó el tiempo en el que se hizo la mayor presión para saber el momento exacto donde se necesitó de mayor fuerza. Para responder a la hipótesis planteada en un comienzo se analizó en cuál de las tres alternativas se obtuvo mayor área de contacto; por tanto, se contó el número de sensores los cuales proporcionaron algún dato independientemente del momento en el que se haya realizado la presión.

En la tabla 10 se muestra el número de sensores en los que se les realizó presión al realizar la actividad con las tres alternativas por cada uno de los usuarios

Tabla 10.
Número de sensores en los que se ejerció presión.

Usuarios	Alternativas		
	1	2	3
U1	14	15	14
U2	10	14	16
U3	18	14	15
U4	15	16	10
U5	11	13	14
U6	13	13	9

U7	11	13	13
U8	15	17	11

Nota: Registro del número de sensores por alternativa en los que cada usuario ejerció presión.

Para saber si existía alguna diferencia significativa entre el área de contacto de las tres alternativas, se dio paso a un análisis estadístico el cual permitiera obtener resultados más fiables. Como primera medida se halló el coeficiente de variación para determinar si los datos eran homogéneos o si era necesario aumentar la muestra. Como resultado se obtuvo un coeficiente menor a 20% lo que nos indicó que los datos eran homogéneos (ver tabla 11).

Una vez realizado esto se determinó por medio del test de Shapiro-Wilk que los datos eran paramétricos debido a que se obtuvo un p-valor mayor a 0,05 (ver tabla 12). Ya definido los datos, se procedió a realizar un análisis ANOVA el cual da como resultado que no existe diferencia significativa entre el área de contacto de las tres alternativas propuestas (ver tabla 13), por tanto se procede a realizar el análisis de la segunda parte de la prueba.

*Tabla 11.
Coeficiente de variación*

	Altern1	Altern2	Altern3
Ds	2,66926956	1,50594062	2,49284691
Media	13,375	14,375	12,75
Coeficiente de variación	19,9571556	10,4761086	19,5517405

Nota: Análisis para determinar si la muestra es homogénea o no

Tabla 12.
Análisis estadístico Shapiro Wilk

	Alt1	Alt2	Alt3
P-Valor	0,65353908	0,15560372	0,62334525

Nota: Análisis para determinar si la muestra es paramétrica

Tabla 13.
Análisis ANOVA

Sources	SS	df	MS	F	P value	F crit	RMSSE	Omega Sq
Between Groups	10,38	2	5,1904761	0,876675	0,4331970	3,5545 5715	0,353891	-0,0118
Within Groups	106,5	18	5,9206349					
Total	116,9	20	5,8476190					

Nota: Análisis estadístico para determinar si existe diferencia significativa entre el área de presión ejercida y la incomodidad que genera cada alternativa en los usuarios.

Así mismo se realiza una comparación de los valores utilizando ANOVA, en donde se logra determinar que no existe diferencia significativa entre los datos de presión máxima y las diferentes alturas debido a que el nivel de significancia de un p-valor = 0,27, es decir, que la altura no influyo en el esfuerzo realizado por los usuarios.

Para la segunda parte de la prueba sin guantes, se hizo un promedio de cada una de las respuestas dadas según la pregunta de incomodidad realizada a los usuarios de acuerdo a su percepción durante la actividad, las calificaciones se obtuvieron mediante la aplicación Visual Scale (ver tabla 14).

Tabla 14.
Calificación de incomodidad por parte de los usuarios

Alternativas	Usuarios							
	U1	U2	U3	U4	U5	U6	U7	U8
1	3,50	1,25	2,30	2,12	1,40	4,31	2,05	2,15
2	8,03	5,30	4,33	4,20	3,77	3,23	5,27	3,45
3	6,73	2,33	1,15	2,64	0,45	7,30	2,73	2,16

Nota: Análisis de la incomodidad de cada usuario según las respuestas obtenidas por la aplicación *Visual Scale*

A partir de estas respuestas se realizó un análisis descriptivo, en donde se llega a concluir que los usuarios percibieron la alternativa 1 como el agarre menos incómodo. En la tabla 15 se observa, que los valores de promedio y desviación estándar son los más bajos en este tipo de agarre. De igual forma se puede analizar que la alternativa 2 fue el agarre en donde se percibió mayor incomodidad.

Tabla 15.
Análisis de los resultados de percepción

	U	Min.	Max.	Media	Ds
Alternativa 1	8	1,25	4,3	2,385	1,032
Alternativa 2	8	3,23	8,0	4,698	1,547
Alternativa 3	8	0,45	7,3	3,186	2,490

Nota: Análisis de datos de percepción de incomodidad en cada alternativa según los usuarios

5.3.2.4 Resultados. Al comparar las dos pruebas realizadas, se puede descartar la hipótesis generada en donde se plantea que el área de agarre de la mano de una persona sobre un objeto afecta la incomodidad del usuario a la hora de realizar actividades como enterrar y desenterrar dicho objeto en un cultivo, debido a que, a pesar de no existir alguna diferencia significativa entre el área de contacto de las tres alternativas, el usuario percibe menos incomodidad en la alternativa 1.

Los usuarios generan mayores presiones en las alternativas 2 y 3, mientras que en la alternativa 1 los puntos de presión se distribuyen en diferentes sectores en todos los usuarios, es decir que existe una posibilidad de que la mayor presión ejercida en la alternativa 1 se haya ejercido debido a un mal movimiento.

Al analizar los momentos grabados por la aplicación FSA se determinó que la acción de enterrar cada alternativa, generaba mayor presión en la mano.

Ninguna de las alternativas generó un cambio notorio en la presión a la hora de realizar la actividad en diferentes alturas, es decir que la forma no genera incomodidad si se usa el dispositivo para un cultivo con una altura de 100 centímetros.

Debido al análisis de percepción se decide seleccionar la alternativa 1, ya que más de la mitad de los usuarios percibe que es la menos incómoda de usar.

Es importante mencionar, que esta prueba fue presentada junto con sus respectivos resultados, en *International week of research, development and innovation – SIDDI 2017*, congreso realizado en la Universidad Pontificia Bolivariana, por la Facultad de Ingeniería Mecánica, Floridablanca (ver figura 41). La cual se presentó como ponencia titulada “System for microclimate monitoring in vertical farms”.



Figura 41. Congreso internacional de investigación, desarrollo e innovación en la Universidad Pontificia Bolivariana.

5.4 Diseño de detalle

5.4.1 Configuración diseño-técnico. Una vez seleccionada la forma y los elementos técnicos que el dispositivo requiere, se comenzó por ubicar los componentes en la alternativa escogida sobre las zonas ya establecidas, con la intención de modificar detalles de la forma en función de las dimensiones de cada componente y en la manera de cómo debían recibir los datos. En la figura 42 se muestran las modificaciones realizadas a la forma según los componentes a usar.

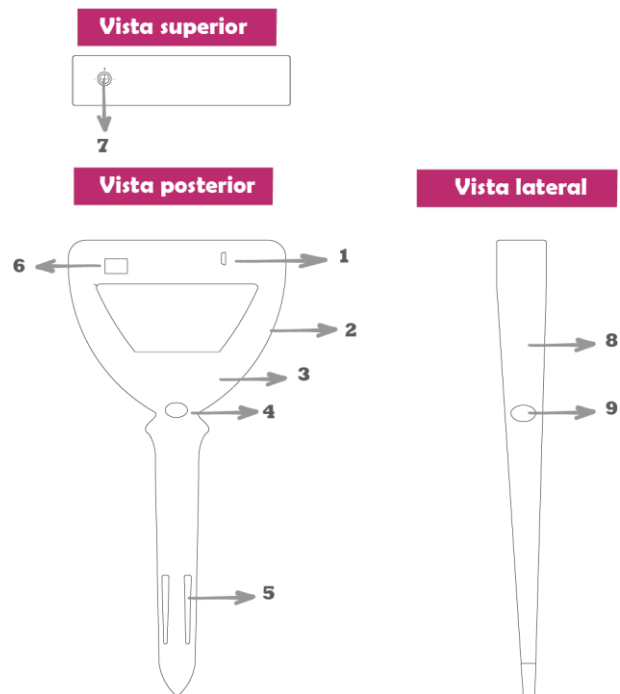


Figura 42. Vistas del modelo final con sus modificaciones

1. Abertura para la alimentación del dispositivo.
2. Se redondeó la forma con la intención de aumentar el espacio para que encajaran los componentes ubicados en esta sección.
3. Se eliminó el corte en punta debido a que el sensor de aire necesitaba mayor espacio.
4. Abertura cara posterior para la entrada del aire, esta tiene un conducto en forma de codo, el cual protege al sensor de la entrada de agua.
5. Abertura para la toma de datos del sensor de humedad.
6. Abertura para el interruptor de encender y apagar el dispositivo.
7. Abertura para que el sensor de luz tome sus datos.
8. Se disminuyó en grosor del dispositivo debido a que se perdía espacio.

9. Abertura cara lateral para la entrada del aire, esta tiene un conducto en forma de codo, el cual protege al sensor de la entrada agua.

Realizadas las modificaciones respectivas, se hicieron los cortes en el interior del modelado con las dimensiones de cada componente y cable para su respectivo encaje a presión dentro del dispositivo. Ver figura 43.

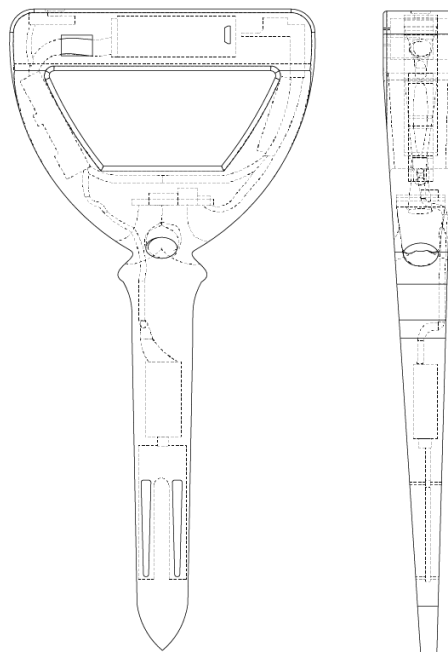


Figura 43. Modelado final con sus cortes internos

5.5 Selección de materiales

Para comenzar, se realizó una búsqueda de las propiedades mecánicas de los materiales usados comúnmente en dispositivos con funciones relacionadas a las de este proyecto y que además cumplieran con los requerimientos planteados en la etapa inicial, como la resistencia a la

intemperie y protección de los componentes internos, los cuales son tomados como los primeros parámetros de selección debido a su puesto de jerarquización en la tabla 1 mostrada en la identificación de necesidades del usuario. A continuación, en la figura 44 se muestra los que más cumplían con estos criterios.



Figura 44. Materiales propuestos para el modelo final.

Después de realizar un análisis de las propiedades físicas y mecánicas que caracterizan a cada propuesta, se filtraron los materiales que cumplían con los demás requerimientos como el bajo costo y fácil producción. Lo que permitió seleccionar al polipropileno, el cual ofrece ventajas como, resistencia a temperaturas hasta 140°C, resistencia a la abrasión y a los agentes químicos,

resistencia a la fractura por flexión o fatiga, su buena dureza superficial ("Textos científicos", 2005), es inerte, totalmente reciclable, su incineración no tiene efecto contaminante y su tecnología de producción es la de menor impacto ambiental ("Quiminet", 2017)

De igual forma se propuso realizar algunos detalles como la tapa de la abertura de la alimentación en un material, que, al introducirse y sacarse del modelo, no permita el acceso de agua; del mismo modo, para la conexión entre las dos partes del sensor de humedad es importante el uso de este mismo material dentro del modelo, ya que este sensor debe contar con aberturas, que permitan tener contacto con el agua. Por tanto, se selecciona la goma siliconada la cual no absorbe agua y logra proteger el interior del modelo. En la figura 45 se muestra la forma del tapón para el cierre de la abertura de la alimentación.



Figura 45. Tapón para dispositivos electrónicos ("Mercado libre", 2017).

5.5.1 Análisis del material seleccionado. En esta etapa se procede con un análisis estructural por medio del software SolidWorks, el cual permite hacer una simulación en el modelo de las fuerzas externas en el que estará sometido al ser manipulado, esto con la intención de

verificar la resistencia del material escogido, que en este caso ha sido el polipropileno. En la figura 46 se observa este análisis estático, en donde se le asignó una presión de 10N debido a que fue el máximo valor obtenido en la prueba de agarre realizada anteriormente; del mismo modo, se le asignó también una sujeción de geometría fija en la parte inferior debido a que esta zona del modelo se encontrará enterrada.

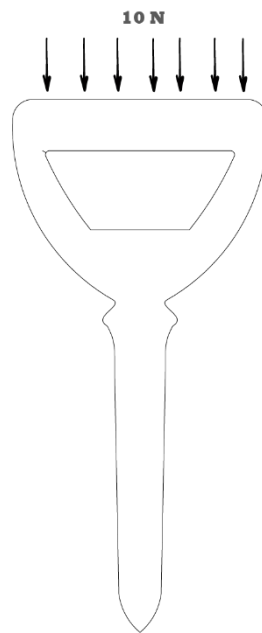


Figura 46. Diagrama de cuerpo libre

5.5.1.1 Prueba de Análisis estructural. El objetivo principal de esta prueba fue determinar si existía alguna zona en la alternativa formal planteada, que pudiera ser objeto de alguna falla al momento de manipular el objeto, y así dar paso a modificaciones necesarias sobre el modelo, mejorando su resistencia mecánica (Ver figura 47).

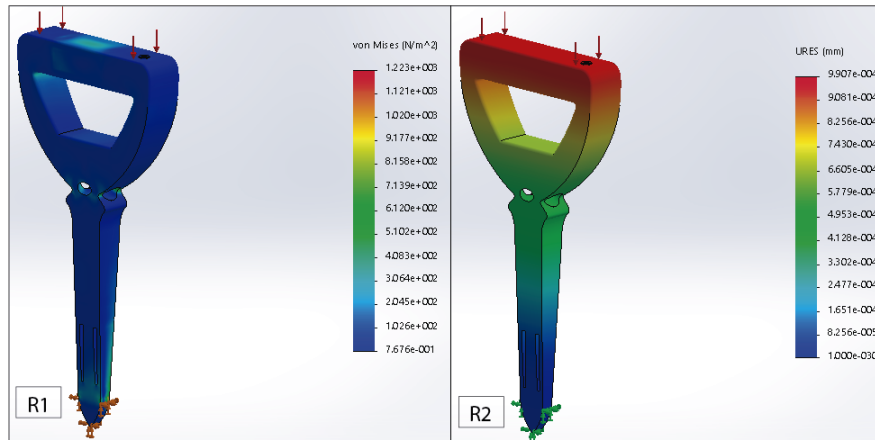


Figura 47. Análisis estático. R1. Resultado tensiones; R2. Resultado desplazamientos

Según estos resultados, no se presenta ningún punto extremo en donde se acumulen tensiones que indiquen fallas en el modelo, debido a que los valores más altos se encuentran entre $578.000,00 \text{ N/m}^2$ y $812.100,00 \text{ N/m}^2$ en el área de entrada de aire, lo cual equivale a menos de la mitad del límite elástico que soporta este material, de igual forma se decide ampliar esta sección para reducir estas tensiones y mejorar la resistencia mecánica (ver figura 48). Paralelamente se analizan los resultados de desplazamientos en donde se observó que el mayor valor es de $8.79\text{e-}004$ milímetros, lo que nos permite indicar que su desplazamiento es muy mínimo a la hora de usar el modelo.

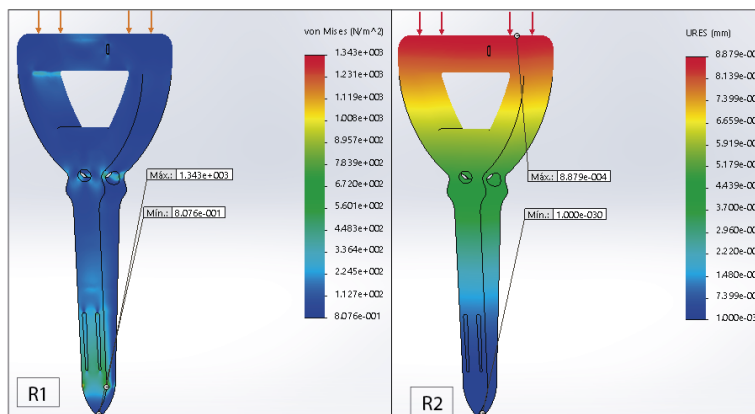


Figura 48. Análisis estático2. R1. Resultado de las tensiones; R2. Resultado de los desplazamientos.

Para este nuevo análisis se observa una reducción del 26% en los valores de las tensiones más altas, las cuales fueron presentados en la entrada de aire lateral.

5.5.2 Definición de planos. Para aumentar la facilidad en la manipulación del dispositivo, se propone realizar su construcción en dos piezas por termoformado, lo cual permite tener un acceso rápido al interior del dispositivo para programar o hacer alguna reparación en el interior de éste. Por tanto, se procede a la realización de los planos del modelo funcional (ver apéndice E).

Se propone el uso de tornillos en 4 puntos específicos para garantizar la impermeabilidad y protección de los componentes dentro del modelo, para esto, se hizo uso del tornillo cabeza Phillips avellanado de 3mm (ver figura 49).

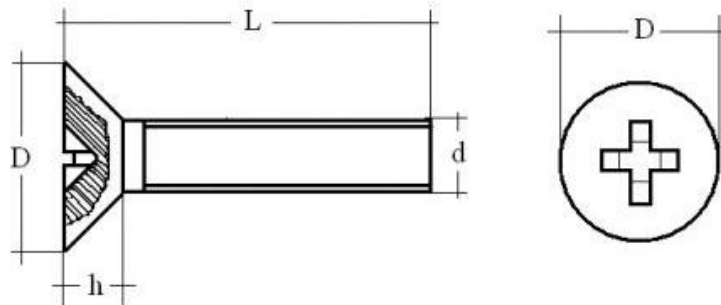


Figura 49. Tornillo cabeza Phillips avellanado de 3mm ("TR reche", s.f).

En la figura 50 se muestra el resultado obtenido una vez realizadas estas modificaciones, la cual consta de una vista externa y una interna del modelo.



Figura 50. Modelo con los resultados de la etapa de diseño de detalle; Vista externa (izquierda); vista interna (centro y derecha).

5.5.3 Color. Debido a que se propone que el dispositivo sea fácilmente reconocido por el usuario, en el momento en el que éste se encuentre funcionando en el cultivo, y que además su color permita tener una baja percepción de desgaste ya que debe ser enterrado y desenterrado, se plantea el uso de dos colores. Por tanto, se elige para el agarre un color que contraste con los colores que posee el cultivo, como el naranja, debido a que esta parte queda visible en el momento de estar enterrado, y para la parte restante se elige un gris oscuro. De igual forma se propone que el material sea brillante. (Ver figura 51).

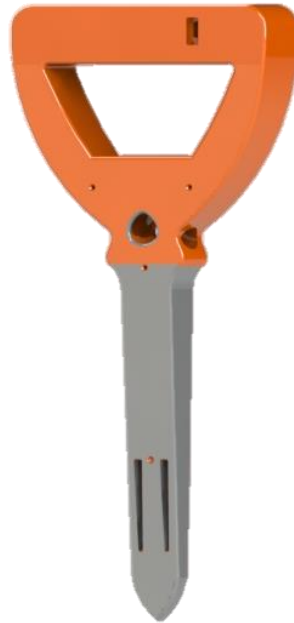


Figura 51. Propuesta de color para el sistema de monitoreo para cultivos de *Lippia origanoides*

5.5.4 Indicadores de uso. Con la intención de evitar la creación de instructivos, debido a su falta de aprovechamiento por parte de los usuarios, se implementó indicadores que fueran comunes para ellos, con el fin de facilitar su identificación, y así disminuir errores en el manejo del modelo funcional. Además, el desuso de estos instructivos permite promover y conservar los recursos naturales. En la figura 52 se presentan los indicadores usados en el dispositivo.



Figura 52. Indicadores usados en el modelo

6. Fase 4: Implementación técnica

Para el desarrollo de esta etapa, se puso a prueba el sistema de monitoreo para detectar posibles fallas en cuanto al funcionamiento y lectura de las variables del cultivo. Es importante aclarar que estas pruebas se realizaron en el CENIVAM en el cultivo vertical de *Lippia origanoides* por un periodo de 5 días y 8 horas de funcionamiento diario.

6.1 Recolección de datos

Esta prueba consistió en recolectar datos mientras el dispositivo estuvo en funcionamiento, donde se hizo énfasis en funciones como, comportamiento de la batería, recolección de datos de los sensores higrómetro, MQ-135 y luxómetro; envío continuo de datos, temperatura de operación y la veracidad en los datos recolectados. La prueba consistió también en cambiar la posición del sistema a cada hora, para así conocer el área de cubrimiento que el sistema llegaba a tener en la zona del cultivo de *Lippia origanoides*. Durante la prueba se revisó constantemente todos estos parámetros que nos permitieron saber si el dispositivo era apto para el trabajo continuo por largas jornadas de trabajo, En la figura 53 se observa uno de los momentos en que se hizo la implementación realizada en el cultivo de *Lippia origanoides*.



Figura 53. Sistema de monitoreo en funcionamiento en las instalaciones del CENIVAM.

6.2 Análisis y resultados de datos

En esta fase de implementación se pudo comprobar que el dispositivo trabaja sin ningún inconveniente, ya que, durante el desarrollo de la prueba se observaron resultados consistentes en cuanto a la humedad de donde estaba enterrado, calidad de aire del entorno y cantidad de luz solar. El sistema de Wi-Fi funcionó también de manera exitosa logrando enviar datos durante todo el periodo de la prueba. La batería pudo alimentar el circuito sin ningún problema o intermitencia durante el tiempo de desarrollo de la prueba, algunos elementos debido a su prolongado tiempo de funcionamiento tendieron a calentarse sin que esto afectara su vida útil debido a que se encuentran en su rango normal de temperatura de operación. En base a los resultados obtenidos se desarrolla tabla 16 donde se muestran los valores de cada aspecto importante del sistema.

Tabla 16.
Resultados del comportamiento del sistema en general

Característica	Valor
Distancia módulo Wi- Fi	50 metros \pm 10 metros
Duración de la batería	8 horas \pm 1 hora
Vida útil del sistema	Mayor a 2 años
Temperatura de operación	35°C \pm 3°C
Área de cobertura	Contenedor 120 cm x 40 cm x 40 cm
Tiempo de carga batería	45 minutos \pm 5 minutos

Nota: Resultados dados una vez realizada la implementación, sobre el comportamiento del sistema en general, la cual se ejecutó en el cultivo de Lippia origanoides

7. Fase 5: Verificación de diseño

Una vez finalizada la implementación y confirmado que el sistema de monitoreo propuesto cumplía satisfactoriamente con el objetivo, se llevó a cabo una verificación que determinara el cumplimiento del fácil uso y entendimiento del modelo funcional a evaluar. Para esto, se hicieron mediciones de forma cuantitativa de la eficacia, en donde se hizo uso de una métrica de número de errores, que permitió determinar, a partir del promedio de estos valores, que tan fácil fue para el usuario realizar toda la actividad propuesta. En cuanto al entendimiento se propuso que esta prueba fuera longitudinal, es decir, realizar dos veces la misma actividad en diferentes días para conocer si los errores que se cometieron una vez, fácilmente podían ser reconocidos y no volverlos

a cometer. Para cumplir tal fin, se construyó un modelo con dimensiones, formas e indicadores iguales al del modelo funcional para que el usuario realizara las actividades solicitadas (ver figura 54).



Figura 54. Modelo funcional del sistema de monitoreo construido para las pruebas de verificación. Vista frontal (izquierda); vista posterior (derecha)

7.1 Selección de la muestra

Para esta prueba los usuarios provenían de una población homogénea, se seleccionaron 8 personas hombres y mujeres que quisieron participar de forma voluntaria. Como criterio de inclusión se consideraron personas que trabajaran en campo o en jardinería y que tuvieran una mínima experiencia con términos tecnológicos. Se escogieron en un rango de edad entre 25 a 60 años.

7.2 Diseño de la prueba

Se decide desarrollar dos veces la misma prueba, con la intención de identificar si los errores cometidos por primera vez son fáciles de corregir por parte del usuario al realizar de nuevo la misma prueba, lo cual permite indicar el alto o bajo entendimiento del modelo funcional, debido a que se puede conocer si la información del modelo funcional permite recordarle al usuario su uso y así evitar los mismos errores. Por tanto, se implementó una métrica para cuantificar los resultados de la experiencia obtenida por el usuario, en donde, la primera vez de realizar la prueba, se observó y se registró el número de errores cometidos por ellos durante toda la actividad. Para comenzar se encontró el promedio de estos errores y así identificar si la actividad realizada con el modelo funcional fue fácil, de igual forma se analizan estos errores, y se modifican según la confusión vista por el usuario. Una vez realizado esto, se ejecutó de nuevo la misma prueba y se hizo su respectivo análisis.

7.3 Procedimiento

Se comenzó por explicar el procedimiento de la prueba al usuario, luego se les entregó una ficha de información sobre el porcentaje de humedad (ver tabla 17), cantidad de luz (ver tabla 18) y la calidad de aire (ver tabla 19) que tiene el cultivo según los valores dados por el sistema con la intención de facilitar la comprensión de estos resultados, sin embargo este proceso, no se tuvo en cuenta para la evaluación de eficacia debido a que el objetivo principal de esta prueba fue conocer el fácil uso y entendimiento del modelo funcional, por tanto fue realizado para que el usuario tuviera mayor conocimiento de lo que veía en la pantalla y así saber si en un futuro esta información podía ser útil para alguien cuyo objetivo sea crear una interfaz para el análisis de estos

datos. Una vez entregado el modelo funcional a usar y que el usuario estuviera en una posición cómoda, se dio inicio a la prueba, en donde se le pidió que realizara ciertas actividades, las cuales fueron: Encender el modelo funcional, identificar las funciones que el dispositivo ofrece según los indicadores, insertar el modelo funcional en la maceta, observar las mediciones proporcionadas por el sistema, apagarlo y ponerlo a cargar. Mientras se ejecutaba la prueba, se hizo registro de los errores que cada usuario tenía.

Tabla 17.
Análisis de los valores de humedad que proporciona el sistema

Humedad en el cultivo		
Valor del sistema	Porcentaje de humedad	Diagnóstico
0 – 500	43 – 100	Sustrato húmedo
501 – 700	42 – 40	Sustrato normal
701 – 1000	36 – 39	Sustrato seco

Nota: Valores del sistema convertidos en datos reales, con su respectivo diagnóstico.

Tabla 18.
Análisis de los valores de cantidad de luz que proporciona el sistema

Cantidad de luz en el cultivo		
Valor del sistema	Condición ambiental	Diagnóstico
0	Oscuridad total	No óptimo para el cultivo
Entre 1 y 1000	Luz Artificial	No óptimo para el cultivo
Mayor a 1000	Luz solar	Óptimo para el cultivo

Nota: Valores dados por la gráfica cantidad de luz, convertidos en datos reales, con su respectivo diagnóstico.

Tabla 19.
Análisis de los valores de calidad de aire que proporciona el sistema

Calidad de aire en el cultivo	
Valor del sistema	Diagnóstico
Entre 1 y 400 ppm	Aire apto para el cultivo
Mayor a 400 ppm	Aire NO apto para el cultivo

Nota: Valores dados por la gráfica calidad de aire, convertidos en datos reales, con su respectivo diagnóstico.

Para la ejecución de la prueba se hizo uso de instrumentos tecnológicos como un Smartphone para mostrar los datos proporcionados por el sistema, los cuales fueron graficados con la ayuda de la plataforma ThingSpeak.

7.4 Análisis de los datos

Para comenzar, se analizaron los errores cometidos por los usuarios (ver tabla 20), en donde se encontró un promedio de 1.75 y una mediana de 2, lo que quiere decir que, según el número de actividades las cuales fueron 6, estos valores no son altos, por tanto se sugiere que el número de errores es bajo, sin embargo se encuentra el mismo error cometido en una actividad por varios usuarios, por tanto, se determinó emplear tres tipos de puntajes para valorar cada actividad, debido a que algunas actividades fueron realizadas con éxito, otras que aunque se les fue difícil completarlas fueron finalizadas y en otras no pudieron completarlas. Por tanto, se le otorgo al 0 las actividades

cometidas sin ningún error, al 1 las actividades realizadas con dificultad y al 2 las que no fueron finalizadas (ver tabla 21). Una vez realizado esto, se clasifican en categorías A, B y C para así determinar qué información debía quedarse, cual debía modificarse y cual debía ser totalmente cambiada respectivamente; para esta clasificación, se tuvo en cuenta el puntaje con mayor número de repeticiones.

Tabla 20.
Número de errores cometidos
por el usuario

U	# Errores
1	0
2	1
3	2
4	3
5	3
6	2
7	1
8	2
Promedio	1,75
Mediana	2

Nota: Número de errores, promedio y mediana de los errores cometidos por el usuario

Tabla 21.
Valor de los errores cometidos por el usuario

Usuario	A1	A2	A3	A4	A5	A6
1	0	0	0	0	0	0
2	0	2	2	0	0	0
3	0	1	0	0	0	0
4	0	1	1	1	0	0
5	0	2	1	1	0	0
6	0	1	2	0	0	0
7	0	2	2	0	0	0
8	0	1	2	1	0	0

Nota: Clasificación del valor de la falla según el nivel de error cometido por el usuario.

En la categoría A se ubicaron las actividades 1, 4, 5 y 6 las cuales consistían en encender, sacar el dispositivo de la maceta, apagarlo y ponerlo a cargar, actividades que fueron realizadas satisfactoriamente por los usuarios; en la categoría B se ubicó la actividad 3 la cual consistió en insertar el modelo en la maceta; esta clasificación es debido a que esta actividad a pesar de realizarse, fue confusa para algunos usuarios, por tanto, se vio la necesidad de agregarle textura a la parte superior del dispositivo para indicarles en donde debían coger el dispositivo ya que algunos en un principio lo agarraban desde la parte inferior porque pensaban que podían dañar el sensor de luz (ver figura 55). Por último, en la categoría C se encuentra la actividad 2, la cual consistió en la identificación de las funciones según los indicadores, en donde el indicador Wi-Fi fue el que generó confusión, por tanto, se hace el cambio de este por el que se muestra en la figura 56, ya que este indicador representa mejor a la función de conexión a internet.



Figura 55. Textura, indicador de agarre



Figura 56. Indicador de Wi-Fi
("Emol", 2014)

Una vez realizadas estas modificaciones, se ejecutó de nuevo la prueba con los mismos usuarios que participaron la primera vez, en donde se encuentra, la disminución de los errores cometidos anteriormente en algunos usuarios, debido a que eran más claras algunas funciones, el usuario recordó cómo debían hacerlas (ver tabla 22). Sin embargo, se encuentran aún errores por confusiones como el símbolo de Wi-Fi, pero se sugiere que el valor de errores sigue aun siendo muy bajo y que no generan impedimento para la manipulación del modelo funcional

*Tabla 22.
Número de errores cometidos
en la repetición de la prueba*

U	# Errores
1	0
2	0
3	1
4	2
5	1
6	1
7	0
8	1
Promedio	0,75
Mediana	1

Nota: Número, promedio y mediana de los errores cometidos en la repetición de la prueba

7.5 Resultados

En los resultados se encuentra que el valor promedio del número de errores cometidos por los usuarios fue un valor muy bajo, lo cual indica que el usuario presenta dificultades mínimas a la hora de realizar la actividad propuesta.

De acuerdo al análisis hecho a cada actividad, se pudo realizar las modificaciones necesarias, las cuales influyeron en la reducción de los errores cometidos por el usuario, además, se observa que estos errores no influyen en que el usuario pueda ejecutar toda la actividad.

Durante la prueba se registró que la actividad que más se les dificultaba a los usuarios, era la identificación de uno de los indicadores expuestos, en este caso el Wi-Fi, sin embargo, no fue un error que impidió la realización de las demás actividades.

Siendo así, se puede concluir que el modelo funcional propuesto para el sistema de monitoreo, presenta pocas dificultades para el usuario, sin embargo, estas no influyen en su manipulación, y por tanto permiten un fácil uso al realizar las actividades propuestas. De igual forma, la información presente en el dispositivo le permite recordar y entender al usuario como manipularlo.

7.6 Modelo final

Una vez hechos los cambios sugeridos después de realizadas las verificaciones, en la figura 57 se presenta el modelo final del modelo funcional de monitoreo para cultivos verticales de *Lippia origanoides*.



Figura 57. Sistema de monitoreo para el cultivo vertical de *Lippia origanoides*

Se muestra en el apéndice F la documentación del dispositivo en donde se encuentra la información técnica y de uso.

8. Conclusiones

Por medio de la recolección de datos, en donde se llevó a cabo una búsqueda de información en la literatura, análisis del estado del arte y la identificación de las necesidades del usuario, se pudo

establecer los requerimientos para el desarrollo de este proyecto, en donde se encontró que las variables que son necesarias medir para el óptimo desarrollo del cultivo de *Lippia origanoides* son, humedad de la tierra, calidad de aire y cantidad de luz.

Debido a que se hizo uso del principio del internet de las cosas, este sistema le permite al usuario consultar información de la humedad, cantidad de luz y calidad de aire, en tiempo real y de manera remota del cultivo de *Lippia origanoides*. De igual forma, da como ventaja la posibilidad de usar múltiples dispositivos distribuidos en un área, permitiendo cubrir una zona con mayores dimensiones.

Para evitar que el diseño del dispositivo propuesto pueda generar molestias en las manos del usuario al ejecutar la tarea de enterrar y desenterrar el dispositivo, se realizó una evaluación para la selección de una de las alternativas generadas, en donde se dio como resultado, la selección del modelo formal que generó una baja percepción de incomodidad a la hora de enterrar y desenterrar el dispositivo; debido a esto, su uso puede realizarse de forma frecuente, sin riesgo a molestias futuras; además, se da como resultado un fácil uso debido a que la información dada por el modelo funcional fue entendible por parte del usuario.

Este dispositivo puede ser usado en un cultivo con características diferentes a las planteadas en este proyecto, sin embargo se debe tener en cuenta que se debe auto calibrar con sensores adicionales, como de temperatura o de altitud, es decir, que de cierta manera se re programe para que pueda monitorear adecuadamente cualquier cultivo.

Dado que el presente proyecto se realizó en el marco de un trabajo interdisciplinar, la selección y aplicación de una metodología que permitiera la realización de las actividades de forma eficaz, fue fundamental para el satisfactorio cumplimiento de los objetivos.

Este proyecto puede ser considerado una base de futuros proyectos que requieran un monitoreo para poder implementar un sistema de control y automatización en un cultivo, debido a que este sistema ya proporciona los datos para su análisis y permite tomar las acciones correspondientes frente al cultivo.

Por tanto, se puede concluir que el modelo funcional propuesto para el monitoreo del microclima de *Lippia origanoides*, cumple satisfactoriamente con el objetivo principal, debido a que además de permitirle al usuario tener información en tiempo real, le permite manipularlo de forma cómoda y entenderlo fácilmente.

9. Recomendaciones

Se recomienda realizar un mantenimiento y actualización de datos en el dispositivo al menos una vez cada año, esto debido a que día a día las condiciones ambientales van cambiando, desde la concentración de ppm en el ambiente, hasta la cantidad de luz. Para ello el dispositivo está pensando en que sea fácil de destapar y de cambiar componentes de ser necesario, de igual forma tiene habilitado el puerto para que pueda ser programado.

Se recomienda la realización de una interfaz de usuario que explicita de manera sintética y gráfica, la información obtenida del dispositivo. Se sugiere lo anterior, dado que la interfaz gráfica de usuario para la obtención de datos, no hace parte del alcance del proyecto.

10. Referencias

"ACEA". (2010). Los factores ambientales y su influencia en el desarrollo de los cultivos bajo invernaderos. *Asesores en construccion y extension agricola*.

"Allied electronics". (s.f). *Arduino nano*.

"Arduino nano, user manual". (s.f). s.l.

"Arduino". (s.f). Obtenido de <https://www.arduino.cc/en/Reference/SPI>

"Bluehack". (s.f). Obtenido de Comando AT:
<http://bluehack.elhacker.net/proyectos/comandosat/comandosat.html>

"Emol". (2014). Obtenido de www.emol.com

"Hukseflux". (s.f). Obtenido de Thermal sensors: https://www.hukseflux.com/product/sr11-tr-pyranometer?referrer=/product_group/pyranometer

"I2C Bus". (s.f). Obtenido de <http://www.i2c-bus.org/i2c-bus/>

"Mactronica". (s.f). Obtenido de <http://www.mactronica.com.co/modulo-wifi-esp8266-43672064xJM>

"Mactronica". (s.f). *Sensor Mq135 - Calidad Del Aire*. Obtenido de <http://www.mactronica.com.co/sensor-mq135-calidad-del-aire-67629651xJM>

"Mecatrónica". (s.f). *SENSOR DE LUZ BH1750*. Obtenido de <http://www.mactronica.com.co/sensor-de-luz-bh1750-50589654xJM>

"Miki.pro". (s.f). Obtenido de Tienda online de componenete electrónicos:
<https://www.miki.pro/fuentes-alimentacion.php>

"NASA". (2017). Obtenido de <https://www.nasa.gov/jpl/oco2/pia18934>

"NASA". (2017). *Global climate change*. Obtenido de <https://climate.nasa.gov/vital-signs/carbon-dioxide/>

"Nexgen ergonomics". (s.f). Obtenido de <http://www.nexgenergo.com/ergonomics/nexglove.html>

"NexGen, ergonomics". (2016). Obtenido de Glove preassure mapping system.

"play store". (27 de Octubre de 2016).

"Quiminet". (2017). Obtenido de <https://www.quiminet.com/articulos/los-mejores-tipos-usos-y-aplicaciones-del-polipropileno-2681386.htm>

"SparkFun". (s.f). *LD1117 series*. STMicroelectronics group of companies. Obtenido de <https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/LD1117V33.pdf>

"Textos científicos". (25 de Agosto de 2005). Obtenido de <https://www.textoscientificos.com/polimeros/polietileno/propiedades>

"Thecnical data". (s.f). Obtenido de <https://www.olimex.com/Products/Components/Sensors/SNS-MQ135/resources/SNS-MQ135.pdf>

"ThingSpeak". (17 de Junio de 2017). Obtenido de https://thingspeak.com/channels/262220/private_show

"ThingSpeak". (2017). Obtenido de https://thingspeak.com/channels/262220/api_keys

"TR reche". (s.f). Obtenido de <http://www.tornilleriareche.com/tornillo-cabeza-avellanada-con-phillips-din-965-producto>

Antolinez, C., & Nelson, R. (2008). PLASTICIDAD FENOTÍPICA EN *Lippia alba* Y *Lippia origanoides* (VERBENACEAE): RESPUESTA A LA DISPONIBILIDAD DE NITRÓGENO. *Scielo*.

Arango, O., Hurtado, A., Pantoja, D., & Santacruz, L. (2014). *Actividad inhibitoria del aceite esencial de Lippia origanoides*. Nariño.

Banbazán, M. (1998). Análisis de plantas y síntomas visuales de deficiencias de nutrientes.

Barreiro, P. (s.f). *Sensores para la caracterización de suelo agrícola*.

Betancour, L., Ariza, C., Diaz, G., & Afanador, G. (2012). Efecto de diferentes niveles de aceites esenciales de *Lippia origanoides kunth* en pollos de engorde. *Revista MVZ Córdoba*.

Camargo, A., & Rodriguez, N. (2008). *RESPUESTAS FENOTÍPICAS DE Lippia alba Y Lippia origanoides*. Bucaramanga.

Castro, A. (24 de Septiembre de 2013). *sistema de control de temperatura a través de arduino y la tecnología GPRS/GSM*. Madrid.

- Cobos, M. (2014). *LÍNEAS DE TRABAJO FUTURO CON SENSORES REMOTOS EN LA AGRICULTURA EN EL ECUADOR*.
- Creus, A. (2010). Instrumentacion Industrial. En A. Creus, *Instrumentacion Industrial* (pág. 23). México: Alfaomega.
- Environment, H. (2017). *La luz en tus plantas*. México: HYDROENVIRONMENT.
- Googleearth. (08 de 10 de 2017). *coordenadas geográficas*. Obtenido de <https://goo.gl/DuVR6R>
- Gutierrez, M., Cadet, E., Rodriguez, W., & Araya, J. (2011). *EL GREENSEEKER Y EL DIAGNÓSTICO DEL ESTADO DE SALUD DE LOS CULTIVOS*.
- Kioskea. (Junio de 2014). *Estándar GSM (Sistema global de comunicaciones móviles)*. Obtenido de <http://es.ccm.net/contents/681-estandar-gsm-sistema-global-de-comunicaciones-moviles>
- Llamas, L. (19 de Enero de 2016). Obtenido de <https://www.luisllamas.es/arduino-humedad-suelo-fc-28/>
- Llamas, L. (27 de Octubre de 2016). *Medir cantidad de luxes con arduino y el luxómetro BH1750*. Obtenido de <https://www.luisllamas.es/medir-cantidad-de-luxes-con-arduino-y-el-luxometro-bh1750/>
- Madrigal, M. (12 de Enero de 2016). *Qué es Internet de las cosas. IOT para Dummies*. Obtenido de <https://www.mmadrigal.com/qu-es-internet-de-las-cosas-iot-para-dummies/>
- Martinez, E. C. (2010). *Metodos para medir la humedad del suelo para la prolongramación del suelo*. Arizona: Extensión Cooperativa.

- Mendéz, A., Vélez, J. P., & Villarroel, D. (s.f). Los drones como herramienta para el monitoreo de cultivos. *Revista de la Bolsa de Comercio de Rosario*.
- Navarro, J., & Vargas, G. (2012). *Diseño e implementación de un sistema domótico aplicado a la agricultura*. Bogotá D.C.
- Nosolosig. (2013). *Ambisens, tecnología de teledetección con Sensores Ópticos Terrestres, aplicada a la agricultura de precisión*. Noticias TIG.
- Parra, E., & Rodríguez, N. (2007). Plasticidad fenotípica de *Lippia alba* y *Lippia origanoides* (verbenaceae) en respuesta a la disponibilidad de luz. *Revista unal*, 96.
- Primo, H. (2016). *Agrofy*.
- Quiminet*. (2012). Obtenido de Aceites esenciales: obtención y aplicaciones: <https://www.quiminet.com/articulos/aceites-esenciales-obtencion-y-aplicaciones-2676632.htm>
- Rueda, E. A. (11 de Marzo de 2012). Bumangueses solo disponen de 4 m² por cada habitante. *Vanguardia*.
- SIMA. (2015). Sistema integrado de monitoreo .