

SISTEMA DE MEDICIÓN AUTOMATIZADA DE VARIABLES AMBIENTALES  
PARA AGRICULTURA DE PRECISIÓN CON SOFTWARE LIBRE

ESTUDIANTES - INVESTIGADORES:

DANIEL REYES BETANCOURT

CRISTIAN ARRIETA PACHECO



UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA DE SISTEMÁS

CARTAGENA DE INDIAS D. T. Y C., 2019.

SISTEMA DE MEDICIÓN AUTOMATIZADA DE VARIABLES AMBIENTALES  
PARA AGRICULTURA DE PRECISIÓN CON SOFTWARE LIBRE

PROYECTO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA  
OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO DE SISTEMÁS

DIRECTOR – INVESTIGADOR:

M. SC AMAURY CABARCAS ALAVAREZ

PH. D. JAVIER ANTONIO MONTOYA MARTINEZ

ESTUDIANTES - INVESTIGADORES:

DANIEL REYES BETANCOURT

CRISTIAN ARRIETA PACHECO



UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA DE SISTEMÁS

CARTAGENA DE INDIAS D. T. Y C., 2019.



**Tesis de Grado:** SISTEMA DE MEDICIÓN AUTOMATIZADA DE VARIABLES AMBIENTALES PARA AGRICULTURA DE PRECISIÓN CON SOFTWARE LIBRE.

**Autores:** DANIEL REYES BETANCOURT  
CRISTIAN ARRIETA PACHECO

**Director:** Ing. M. SC AMAURY CABARCAS ALAVAREZ  
PhD. JAVIER ANTONIO MONTOYA MARTINEZ

**Nota de Aceptación**

---

---

---

---

---

---

**Presidente del Jurado**

---

**Jurado**

---

**Jurado**

Cartagena de Indias, \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ del 2019

## TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE TABLAS.....	6
LISTA DE ILUSTRACIONES .....	7
RESUMEN .....	12
ABSTRACT .....	13
1. INTRODUCCIÓN .....	14
1.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	16
1.1.1. Descripción del Problema.....	16
1.1.2. Pregunta Problema .....	19
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	20
1.3. OBJETIVOS.....	23
1.3.1. Objetivo General .....	23
1.3.2. Objetivos Específicos .....	23
1.4. ALCANCE .....	24
2. MARCO DE REFERENCIA.....	26
2.1. MARCO TEÓRICO .....	26
2.1.1. Variables ambientales.....	27
2.1.2. Tecnología .....	28
2.1.3. Protocolo de enrutamiento.....	30
2.1.4. Plataforma web.....	30
2.1.5. MongoDB .....	31
2.1.6. SCRUM.....	31
2.1.7. BACKLOG.....	31
2.2. ESTADO DEL ARTE .....	32
2.3. DEFINICIONES, ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS .....	40
3. METODOLOGÍA .....	44
3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN Y ENFOQUE.....	44
3.2. FUENTES DE INFORMACIÓN .....	44
3.3. INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN .....	44

3.4.	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS .....	45
3.5.	DESARROLLO GENERADO POR OBJETIVOS.....	45
4.	RESULTADOS.....	47
4.1.	Especificación de requerimientos que involucren la creación de un sistema de monitoreo de variables ambientales a nivel de software y hardware que permitan elaborar el diseño de un Backlog completo del sistema .....	47
4.1.1.	Modelo de Negocio .....	47
4.1.2.	Ámbito del sistema.....	51
4.1.3.	Requisitos .....	52
4.1.4.	Arquitectura general.....	55
4.1.5.	Modelo de Sistema .....	56
4.2.	Diseño del modelo basado en etapas para la selección y aplicación de los componentes a nivel de software y hardware. ....	76
4.2.1.	Hardware .....	79
4.2.2.	Software.....	107
4.3.	Desarrollo de un prototipo funcional de un sistema de medición automatizada de variables ambientales para agricultura de precisión .....	113
4.3.1.	Hardware .....	113
4.3.2.	Software.....	135
4.4.	Evaluación de los resultados obtenidos del prototipo a través de una prueba piloto	148
4.4.1.	Prueba Piloto .....	148
5.	CONCLUSIONES .....	165
6.	RECOMENDACIONES .....	168
7.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	169

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Requerimientos no funcionales del sistema de medición automatizada de variables ambientales para agricultura de precisión con software libre .....	23
Tabla 2 Definiciones, acrónimos y abreviaturas.....	40
Tabla 3 Backlog Sprint del proyecto.....	46
Tabla 4 Tabla de Requisitos Funcionales.....	53
Tabla 5 Tabla de Requisitos no funcionales.....	54
Tabla 6 Tabla de precios entre las diferentes plataformas de desarrollo .....	80
Tabla 7 Tiempo de respuesta de la medición de gases en el BME680 (BOCH,2016) .	83
Tabla 8 Tiempo de respuesta de la medición de humedad relativa en el BME680 (BOCH,2016).....	83
Tabla 9 Tiempo de respuesta de la medición de Presión Atmosférica en el BME680 (BOCH,2016).....	84
Tabla 10 tiempo de respuesta de la medición de la Temperatura ambiental en el BME680 (BOCH,2016).....	85
Tabla 11 Tiempo de respuesta de la medición de la luminosidad en el VEML6030 (Vishay,2016).....	86
Tabla 12 Tiempo de respuesta de la medición de la Temperatura de suelo en el DS18B20 (Dallas,2016).....	88
Tabla 13 Tabla de tiempos de respuesta de la medición de los rayos ultravioleta en el VEML6075 (Vishay,2016).....	90
Tabla 14 Consumo energético de componentes .....	95
Tabla 15 Voltajes permitidos para alimentar el módulo DS3231 (Maxim, 2016) .....	99
Tabla 16 Descripción de áreas de censado por sensor .....	117
Tabla 17 Datos de la prueba desde la BD .....	163
Tabla 18 Resultados finales.....	164
Tabla 19 Clima de Cartagena (timeanddate).....	164

## LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Ciclo de Vida de la metodología SCRUM (Córdoba Software) .....	45
Ilustración 2 Modelo de dominio .....	48
Ilustración 3 Modelo de dominio de la solución propuesta.....	49
Ilustración 4 Diagrama de casos de uso del mundo real .....	50
Ilustración 5 Diagrama de actividades del mundo real .....	51
Ilustración 6 Esquema General del Sistema (Autoría Propia).....	55
Ilustración 7 Diagrama de casos de uso Aplicativo (Autoría propia).....	56
Ilustración 8 Diagrama de Casos de Uso Dispositivo (Autoría propia).....	57
Ilustración 9 Diagrama de Clases del Software (Autoría propia).....	58
Ilustración 10 Diagrama de clases del nodo (Autoría Propia).....	60
Ilustración 11 Paquetes Varios del Software Embebido .....	61
Ilustración 12 Paquete Managers .....	62
Ilustración 13 Paquete Functionality Expander.....	63
Ilustración 14 Paquete Sensor.....	64
Ilustración 15 Esquema de base de datos (Autoría propia) .....	65
Ilustración 16 Diagrama de secuencia de autenticación de usuario (Autoría propia)..	66
Ilustración 17 Secuencia de creación de usuarios (Autoría Propia) .....	67
Ilustración 18 Secuencia de creación de zonas (Autoría Propia) .....	68
Ilustración 19 Secuencia de monitoreo de cultivo (Autoría Propia).....	69
Ilustración 20 Diagrama de Secuencia del Software Embebido (Autoría propia).....	70
Ilustración 21 Diagrama de Actividades General (Autoría propia).....	71
Ilustración 22 Diagrama de paquetes (Autoría Propia).....	73
Ilustración 23 Diagrama de componentes (Autoría propia) .....	74
Ilustración 24 Diagrama de despliegue (Autoría propia).....	75
Ilustración 25 Proceso iterativo de verificación-diseño-prototipacion .....	76
Ilustración 26 Modelo en V para el desarrollo de Hardware (Autoría propia) .....	78
Ilustración 27 Módulo Wifi ESP8266-12F (Autoría Propia) .....	80
Ilustración 28 Módulo ESP8266 (Autoría propia).....	80
Ilustración 29 Circuito BME680 (Autoría propia) .....	81
Ilustración 30 Módulo electrónico BME680 (Autoría propia).....	81
Ilustración 31 Esquema electrónico del módulo del sensor de luminosidad VEML6030 (Autoría propia).....	86
Ilustración 32 Módulo Electrónico VEML6030 (Autoría propia).....	86

Ilustración 33 Módulo Electrónico para medir humedad de suelo (Autoría propia) ....	88
Ilustración 34 Sonda DS18B20 temperatura de suelo (Autoría propia) .....	88
Ilustración 35 Esquema electrónico de VEML6075 (Autoría propia).....	90
Ilustración 36 Módulo Electrónico del VEMI6075 (Autoría propia) .....	90
Ilustración 37 Configuración de Carga para baterías de Litio del TP4056 (Nanjin,2016)	
.....	91
Ilustración 38 Esquema Electrónico TP4056 (Autoría Propia) .....	91
Ilustración 39 Módulo Electrónico TP4056 (Autoría propia) .....	91
Ilustración 40 Esquema Electrónico del Panel Solar (Autoría propia) .....	92
Ilustración 41 Panel Solar del sistema (Solar China).....	92
Ilustración 42 Características de Carga Batería 18650 (Panasonic, 2017) .....	94
Ilustración 43 Características del Ciclo de vida de la Batería 18650 (Panasonic, 2017)	
.....	94
Ilustración 44 Características de descarga (Temperatura) (Panasonic, 2017).....	94
Ilustración 45 Características de descarga (Tasa de Descarga) (Panasonic, 2017) .....	94
Ilustración 46 Esquema Electrónico del Sensor de Temperatura y conversor de voltaje de la batería (Autoría propia).....	96
Ilustración 47 Batería de Litio 18650 (Panasonic, 2017).....	96
Ilustración 48 NTC implementado para medir la temperatura de la batería (Autoría propia).....	96
Ilustración 49 Esquema electrónico de RT9013 (Autoría propia).....	97
Ilustración 50 Esquema Electrónico DS3231 (Autoría propia).....	98
Ilustración 51 Módulo Electrónico DS3231 (Autoría propia).....	98
Ilustración 52 Esquema Electrónico PCF8574 (Autoría propia).....	100
Ilustración 53 Módulo Electrónico PCF8574 (Autoría propia).....	100
Ilustración 54 Esquema electrónico PCF8591 (Autoría propia).....	100
Ilustración 55 Módulo electrónico PCF8591 (Autoría propia) .....	100
Ilustración 56 Construcción de la malla y comunicación. (Autoría propia) .....	101
Ilustración 57 Documento en MongoDB - Zona .....	108
Ilustración 58 Esquema con Mongoose para Node.Js - Zona .....	108
Ilustración 59 Documento en MongoDB - Nodo.....	109
Ilustración 60 Esquema con Mongoose para Node.Js - Nodo.....	109
Ilustración 61 Documento en MongoDB - Errores en la zona .....	110
Ilustración 62 Esquema con Mongoose para Node.Js - Errores en la zona .....	110

Ilustración 63 Documento en MongoDB - Usuario .....	110
Ilustración 64 Esquema con Mongoose para Node.Js - Usuario .....	110
Ilustración 65 Arquitectura en carpetas del servidor .....	111
Ilustración 66 Endpoint en Node.Js .....	111
Ilustración 67 Diagrama de Bloques de conexión de los módulos .....	113
Ilustración 68 Vista frontal Placa de desarrollo ESP8266 con Pantalla Oled .....	114
Ilustración 69 Vista lateral Placa de desarrollo ESP8266 con Pantalla Oled.....	114
Ilustración 70 Plataforma de Desarrollo con sensores .....	115
Ilustración 71 Placa de desarrollo prevista para el Servidor GPS Vista Frontal .....	116
Ilustración 72 Placa de desarrollo prevista para el Servidor GPS Vista Trasera.....	116
Ilustración 73 Esquema General de bloques del sistema embebido .....	118
Ilustración 74 Circuito electrónico del prototipo final.....	119
Ilustración 75 Diseño de cavidad para el BME680 (Sparkfun).....	120
Ilustración 76 Consideraciones térmicas del BME680 en la PCB (Sparkfun).....	121
Ilustración 77 Métodos para evitar el estrés mecánico en el sensor BME680 (Sparkfun) .....	121
Ilustración 78 Vista Frontal del prototipo del proyecto .....	124
Ilustración 79 Vista Trasera del prototipo del Proyecto.....	125
Ilustración 80 Modelo 3D del contenedor de la PCB .....	126
Ilustración 81 Corte de Análisis de Sección de la consideración F .....	127
Ilustración 82 Corte de Análisis de Sección del sistema ensamblado .....	128
Ilustración 83 Modelo 3D de lámina de pagoda intermedia.....	129
Ilustración 84 Modelo 3D Lamina de Pagoda de concentracion. ....	129
Ilustración 85 Modelo 3D de la base del modelo .....	130
Ilustración 86 Modelo 3D del contenedor de los sensores de suelo .....	131
Ilustración 87 Análisis de Corte de sección del modelo 3D de los sensores de suelo	131
Ilustración 88 Parte superior del Sistema ensamblado.....	132
Ilustración 89 Modelo 3D de todo el Sistema ensamblado .....	132
Ilustración 90 Impresión 3D de la Base de la Pagoda.....	133
Ilustración 91 Impresión 3D de la Base Vista trasera.....	133
Ilustración 92 Impresión 3D de la base del Panel Solar y la PCB.....	133
Ilustración 93 Impresión 3D de la Base del Panel y la PCB vista trasera.....	133
Ilustración 94 Impresión 3D de la cubierta de la PCB.....	134
Ilustración 95 Pagoda Parcialmente ensamblada.....	134

Ilustración 96 Pagoda totalmente ensamblada.....	134
Ilustración 97 Pagoda con el Tubo insertado.....	134
Ilustración 98 Aplicativo web – Página de inicio de sesión.....	135
Ilustración 99 Vista de gráficas para usuario estándar 1.....	136
Ilustración 100 Vista de gráficas para usuario estándar 2.....	136
Ilustración 101 Vista de gráficas para usuario estándar - Título de zona .....	137
Ilustración 102 Vista de gráficas para usuario estándar - Datos de la zona .....	137
Ilustración 103 Vista de gráficas para usuario estándar - Gráfica de datos actuales..	138
Ilustración 104 Ocultar datos de la gráfica.....	138
Ilustración 105 Visualizar datos en un punto único de la gráfica .....	138
Ilustración 106 Vista de gráficas para usuario estándar - Notificaciones del día.....	139
Ilustración 107 Vista de gráficas para usuario estándar - Datos del día con Justgage	139
Ilustración 108 Vista de gráficas para usuario estándar - Datos del mes y días anteriores .....	140
Ilustración 109 Botones de navegación.....	140
Ilustración 110 Vista de gráficas para usuario - Seleccionar zonas.....	140
Ilustración 111 Vista de mapas para usuario estándar – Mapa de calor .....	141
Ilustración 112 Botones de variables .....	141
Ilustración 113 Notificación de alerta .....	142
Ilustración 114 Notificación de error .....	142
Ilustración 115 Vista de mapas para usuario estándar – Mapa general .....	142
Ilustración 116 Polígono con datos.....	143
Ilustración 117 Polígono sin datos.....	143
Ilustración 118 Vista de administrador - Creación de usuario .....	143
Ilustración 119 Vista de administrador – Usuarios.....	145
Ilustración 120 Vista de administrador – Modificar datos de usuario .....	145
Ilustración 121 Vista de administrador – Crear zona.....	146
Ilustración 122 Vista de administrador – Modificar datos de la zona .....	146
Ilustración 123 Alerta en formulario de zona.....	147
Ilustración 124 Vista de administrador – Modificar datos de administrador .....	147
Ilustración 125 Creación de usuario de prueba.....	149
Ilustración 126 Zona de prueba .....	149
Ilustración 127 Solicitudes al servidor para la creación de una zona .....	150

Ilustración 128 Búsqueda de datos almacenados en BD desde el servidor para envío de alertas.....	150
Ilustración 129 Zona sin datos.....	151
Ilustración 130 Configuración de la zona.....	151
Ilustración 131 Visualización de inicialización del Servidor GPS.....	152
Ilustración 132 Visualización de la consola del Gateway Pt:1.....	153
Ilustración 133 Visualización de la consola del Gateway Pt:2.....	154
Ilustración 134 Visualización de la prueba del servidor GPS.....	155
Ilustración 135 Visualización de la consola del Nodo Pt:1.....	156
Ilustración 136 Visualización de la consola del Nodo Pt:2.....	157
Ilustración 137 Visualización de la consola del Nodo una vez recoleta los datos de los sensores.....	158
Ilustración 138 Gráfica de datos actuales en tiempo de ejecución.....	159
Ilustración 139 Datos actuales - Variable de temperatura.....	159
Ilustración 140 Gráfica del mes y medidores del día con valores iguales.....	160
Ilustración 141 Gráfica del mes y medidores del día con promedios iguales.....	160
Ilustración 142 Cambio en las gráficas por toma de datos.....	161
Ilustración 143 Mapa de calor en tiempo de ejecución.....	162
Ilustración 144 Mapa general en tiempo de ejecución.....	162
Ilustración 145 Mapa general sin datos en el área en tiempo de ejecución.....	163

## RESUMEN

El objetivo del presente proyecto fue desarrollar un sistema de medición automatizada de variables ambientales para agricultura de precisión con software libre. El software en conjunto con los conocimientos del usuario final, permite el análisis y control del estado de un cultivo.

El proyecto está desarrollado bajo la metodología SCRUM, la cual permitió definir los componentes hardware y software del sistema, tales como mecanismos de recolección, procesamiento y almacenamiento de información.

Se destaca del desarrollo, la implementación de microcontroladores para coordinar de forma eficiente la toma y transferencia de un alto volumen de datos. Dichos datos son provenientes de la recolección de variables ambientales de un cultivo. Así mismo, en su construcción se utilizan dispositivos de propósito general, de fácil consecución y bajo costo, estos elementos, así como su interfaz gráfica son programados con Software libre.

Las variables ambientales que influyen en el cultivo pueden ser la temperatura, humedad, luminosidad, presión atmosférica, entre otras. Estas variables al ser recolectadas y procesadas por el sistema, por medio de un portal web generan gráficas, mapas de calor, historial de datos, alertas, etc.

Finalmente, el presente proyecto represente una motivación e innovación en el campo de las ciencias agrícolas, incursiona y desarrolla productos software y hardware que benefician a la comunidad, dado que el sistema se convierte en una herramienta que ayuda al crecimiento del rendimiento del cultivo, generando más alimentos, mayores ganancias, aumento en la productividad sin necesidad de expandir el área agrícola, lo cual, a su vez involucra menos deforestación, mejora toma de decisiones que disminuyen los riesgos de plagas y aumenta la calidad laboral del agricultor.

## ABSTRACT

The objective of the present project was to develop a system of automated measurement of environmental variables for precision agriculture with free software. The software in conjunction with the knowledge of the end user, allows the analysis and control of the state of a crop.

The project is developed under the SCRUM methodology, which allowed defining the hardware and software components of the system, such as mechanisms for collection, processing and storage of information.

It stands out from the development, the implementation of microcontrollers to efficiently coordinate the taking and transfer of a high volume of data. These data are from the collection of environmental variables of a crop. Likewise, in its construction, general-purpose devices are used, which are easy to obtain and inexpensive. These elements, as well as their graphic interface, are programmed with Free Software.

The environmental variables that influence the crop can be temperature, humidity, luminosity, atmospheric pressure, among others. These variables, when collected and processed by the system, through a web portal generate graphs, heat maps, data history, alerts, etc.

Finally, the present project represents a motivation and innovation in the field of agricultural sciences, ventures and develops software and hardware products that benefit the community, since the system becomes a tool that helps the growth of crop yield, generating more food, greater profits, increase in productivity without the need to expand the agricultural area, which, in turn, involves less deforestation, improved decision-making that reduces the risks of pests and increases the quality of the farmer's labor.

## 1. INTRODUCCIÓN

La presente investigación está en el marco de la innovación tecnológica, con la prioridad de diseñar y construir un prototipo de bajo costo que permita el monitoreo de variables ambientales que intervienen en los procesos agrícolas de manera automatizada. Las principales herramientas a utilizar son el módulo Wi-Fi ESP8266-12F (o posterior) y una amplia variedad de sensores que en conjunto crean un dispositivo. Este se encarga tanto del monitoreo, como de la comunicación con un servidor que finalmente ilustra datos por medio de una interfaz gráfica, facilitando la interacción entre el usuario y la red de dispositivos.

Al ser un proyecto de innovación tecnológica, comprende el uso de la programación y el manejo de circuitos. Además, el presente proyecto está adscrito al grupo de investigación GIMATICA de la Universidad de Cartagena, el cual está enfocado en las líneas de investigación de: Inteligencia computacional, tecnología de la información y las comunicaciones, sistemas de información geográficos e ingeniería de software.

Siguiendo las anteriores líneas, el proyecto de investigación se encuentra en las líneas de tecnologías de la información y las comunicaciones e ingeniería de software, dado que se hace un enfoque en la agricultura de precisión, la cual busca la masificación de los procesos productivos en el agro por medio de la implementación de tecnologías. Para el desarrollo de la investigación se usaron las instalaciones de la universidad, tales como: zonas verdes y laboratorios.

El proyecto surge por la iniciativa y presente necesidad de hacer más productivos los campos en Colombia, creando un dispositivo que sirve de apoyo en la toma de decisiones en materia de producción de las hectáreas de tierra.

La Unidad de Planificación Rural Agropecuaria de Colombia (UPRA) tiene cifras que preocupan: 68% de los predios rurales en el país tienen menos de cinco hectáreas, mientras que 82% de la tierra productiva está en manos de 10% de los propietarios. Para el presidente de la Sociedad de Agricultores en Colombia (SAC), independiente del tamaño de la explotación agropecuaria, los productores colombianos deben tener un enfoque empresarial, que implica conocer los costos de producción, tener claros sus gastos y proyectar su rentabilidad (Dinero, 2017).

Dicho de otro modo, en Colombia ha llegado la hora de ampliar los campos de acción en la agricultura y por lo tanto es de vital importancia la incursión tecnológica en este medio.

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (Dinero, 2017), estipula en la revista Dinero, que Latinoamérica se establece como el granero del mundo y por lo tanto afirma que: “Para el año 2050 en el mundo habrá 9.300 millones de personas para alimentar y se requerirá un 50% o 60% más de los alimentos disponibles en el planeta, de los cuales el 85% proviene de la agricultura”.

Sin embargo, los agricultores en Latinoamérica presentan impedimentos a la hora de generar su desarrollo a nivel industrial, con problemas relacionados a la poca investigación, las cadenas de comercialización ineficientes, la falta de financiamiento y asesoría, educación inadecuada en el tema y escasa inversión en infraestructura para el terreno, etc.

A pesar de las dificultades, la incursión tecnológica es inevitable, un ejemplo de esto se presenta en el estudio de los campos de arroz de Colombia, en donde el uso eficiente del agua determina el futuro del cultivo de arroz, frente a los tratados de libre comercio, ya que es un factor que condiciona el área sembrada, el rendimiento de la cosecha y los costos de producción, además de su sostenibilidad en el tiempo (González & Alonso, 2016). Dado lo anterior, la implementación de un sistema de monitoreo enfocado en el riego sería un medio adecuado para aumentar la productividad de los campos de arroz.

Se evidencia en los aportes de diferentes gremios en Colombia oportunidades de emprendimiento para el mercado en producción de arroz, maíz, caucho y forestales. Para el fomento de las exportaciones, las frutas, el cacao, la piscicultura, la carne bovina y los aceites refinados que ofrecen oportunidades. Esto constituye un gran desafío para iniciar una verdadera transformación del sector productivo nacional, con mejores tecnologías, agricultura de precisión, automatización, economías a escala, mejoras genéticas y valor agregado (DINERO, 2016).

Por lo anterior y más, las investigaciones como la presente pretenden ser bases para la industrialización de la agricultura, fomentando el crecimiento comercial en Colombia y generando nuevos conocimientos en el área.

## **1.1.FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.1.1. Descripción del Problema**

La implementación de tecnologías emergentes en las empresas se hace cada vez más común, la tecnología ha facilitado la realización de negocios, ha permitido el incremento de ingresos al sistematizar procesos, ha mejorado técnicas existentes y ha permitido agregar nuevas herramientas de trabajo dentro de las compañías.

Según Cifras del departamento administrativo nacional de estadísticas (DANE, 2016) sobre los indicadores básicos de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) en las empresas: “mostraron que de los 36.232 micro establecimientos investigados en 2015, el 32,4 % usaba algún bien TIC como: computador de escritorio, computador portátil, Smartphone, tableta, asistente digital personal (PDA) y dispositivo móvil de captura (DMC)”. La entidad evidencia que un gran número de empresas ya están incorporando tecnologías dentro de sus establecimientos.

Sin embargo, la participación de la tecnología ya no es un lujo, o una inversión cuestionable sino una necesidad fundamental que permite a las empresas estar a la vanguardia de los nuevos retos a afrontar en el mercado nacional e internacional.

Resulta pertinente mencionar a una de las industrias que está más apartada del campo tecnológico, como es el caso de la industria agropecuaria. La industria agropecuaria es uno de los sectores que más ha favorecido al desarrollo de las sociedades, y está conformado por el sector agrícola y ganadero o pecuario. Dado que es un campo que se encarga de la producción de alimentos, cabe resaltar que el Banco Interamericano de Desarrollo (BID, 2011), estima que el 11% del valor de la producción alimentaria mundial es contribuido por América Latina y el caribe, y que además poseen un 24% de la tierra cultivable en del mundo. Pero, este mismo ente atribuye que la agricultura de la región padece de un lento crecimiento de la productividad, y que la tasa anual de crecimiento de la productividad total de la región solo incrementó en un 1,9 por ciento entre 1961 y 2007. (BID, 2011).

En 2015 de acuerdo a la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL, 2015), en el sector agrícola de esta región se presentó la menor tasa de crecimiento en la productividad agrícola desde 2009, esto debido al lento crecimiento de la zona euro y la desaceleración de los países emergentes y China, que crearan un menor crecimiento de la

demanda de productos de Colombia, afectando sus exportaciones de alimentos y materias primas.

Por otra parte, la sociedad de agricultores de Colombia o en sus siglas SAC, estima que el 65,8% de la tierra apta para siembra en Colombia no se aprovecha como es debido (El tiempo, 2016). Lo anterior suena algo desalentador, teniendo en cuenta que el DANE (n.d.) determina que para el 2020, 11,6 millones (hoy, 11,1 millones) de personas vivirán en áreas rurales, aumentando la demanda en alimento.

Siguiendo el orden de ideas, si en Latinoamérica hay una gran cantidad de terreno y población, ¿Cuál es la razón del desaprovechamiento del potencial que tiene la tierra para la agricultura?, expertos en el tema como Felipe Fonseca Director de la Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA), declaran que “La principal razón en este sentido es el desconocimiento de los mercados agropecuarios, seguida de una baja productividad y competitividad de las actividades, y un rezago en materia tecnológica. (...)” (El tiempo, 2016). En su declaración menciona el estancamiento en materia tecnología en el sector agropecuario en Colombia, como una de las razones del poco avance en este sector.

La corporación colombiana de investigación agropecuaria (CORPOICA, 2015), en su estudio sobre la ciencia, tecnología e innovación en el sector agropecuario, afirma que:

La dinámica de la agricultura del país, sus índices de productividad y competitividad, su importancia en la generación de empleo, la heterogeneidad de los sistemas productivos, la importancia de la producción por parte de los pequeños productores (2/3 del total), los índices de pobreza rural, unidos al potencial derivado de la biodiversidad y agroecología para usos agrícolas, son factores que presionan la demanda de innovación y por lo tanto, cambios fundamentales en su organización y direccionamiento. (p.9)

De acuerdo a las consideraciones anteriores, si no se innova en el campo agropecuario, no se aprovecharía el máximo potencial del campo y no se estará obteniendo todo su beneficio.

En otros países ya se han empezado a aplicar tecnologías y estudios para la agricultura, como es el caso de la agricultura de precisión, la cual estudia el uso correcto de la tecnología en los procesos de producción del campo.

Un ejemplo de ello se encuentra en la provincia de Xin-jiang, China, donde se implementó un sistema compuesto por una red de sensores inalámbricos para monitorear

la humedad del suelo en un cultivo de algodón. Cada nodo está compuesto por un procesador ATmega128, un transceptor CC1000, una batería de 4000 mAh y su respectivo sensor de humedad del suelo EC-20 de la serie ECH20. El nodo toma el dato capturado y lo convierte de análogo a digital, para luego aplicarle un algoritmo de compresión y enviarlo a través de la red compuesta por todos los nodos. El dato es recibido por el Gateway, el cual construye un puente entre la red inalámbrica de sensores y el sistema GPRS. En última instancia, los datos llegan al servidor para recibir, almacenar, analizar los datos de la WSN (Wireless Sensor Network) o RIS. Después de seis meses de su implementación se pudo apreciar que el sistema permitió realizar riegos razonables, reduciendo considerablemente el consumo de agua y aumentando el crecimiento de la raíz de la planta (Suárez Barón & Suárez Barón, 2014).

En Colombia se han desarrollado proyectos con fines similares al anterior caso de éxito, pero no han llegado a causar un alto impacto, un ejemplo de ello está en la Universidad del Cauca en la que se presentó un proyecto que consistía en una red de sensores inalámbricos para el monitoreo de variables ambientales en un campo de café, de la cual se encontraron algunos problemas técnicos en la transmisión de los datos y el proyecto quedó en estudio (Suárez Barón & Suárez Barón, 2014).

También existen otros proyectos que tienen la misma finalidad, pero no con el mismo enfoque, un ejemplo claro es el uso de drones para el monitoreo de parcelas, los cuales por medio de tomas de imágenes multiespectrales captan información del ambiente de manera no invasiva. Hay empresas que alquilan o comercializan el préstamo de drones especializados en la toma de estas imágenes, pero el coste de alquiler por jornada completa puede variar de 1.000 € a 3.000 € y, en el caso de la compra existen drones por precios de entre 6.000 y 8.000€ y de hasta rangos entre 30.000 a 40.000€ en función de la tecnología y fiabilidad (Elika, 2014).

De lo anterior, se puede evidenciar una relación en los proyectos, en donde el común denominador es el uso de tecnologías para el monitoreo de variables ambientales, dichas variables dependen del cultivo, pero guardan cierto parentesco teniendo en cuenta que al fin al cabo son plantas las que están siendo analizadas. Las variables pueden ser: la radiación solar, la luminosidad, la humedad relativa del ambiente, la velocidad del viento, la humedad de la tierra, etc. Dichas variables pueden determinar de manera adecuada el estado del cultivo, o en su defecto apoyar a un experto con los datos presentados.

Por último, es válido concluir que aquellas personas que poseen tierras dedicadas a la agricultura necesitan un sistema de monitoreo propio que permita dar a conocer las condiciones ambientales de un terreno en particular (Turin, 2014). Por ende, es de vital importancia un cambio en las prácticas de la agricultura, teniendo en cuenta que estos sistemas, de la abstracción obtenida de dichas variables y posterior análisis de las mismas, apoyan al control de subvenciones agrarias, detección de falta de riego en zonas específicas, uso óptimo de los fertilizantes, detección temprana de plagas, índices relativos de calidad, etc.

### **1.1.2. Pregunta Problema**

¿Cómo realizar la medición de las variables ambientales que inciden en los cultivos, aplicando tecnologías de bajo coste y software libre?

## 1.2. JUSTIFICACIÓN

En materia de investigación agropecuaria las cifras de participación en el país son demasiado bajas y además las entidades que se involucran en este campo de investigación son muy reducidas, tal como expresa el ente CORPOICA, el cual estima que:

En términos generales la capacidad que tiene el país en materia de investigación en aspectos relacionados con las ciencias agrícolas es menor que en otras disciplinas. De acuerdo con Colciencias, en Colombia se registran en la Plataforma ScienTI 4.304 grupos reconocidos según lo establecido en la Convocatoria 640/2013 de Colciencias, concentrados en las áreas de ciencias sociales (36%), ciencias naturales (20%), ciencias médicas y de la salud (15%), ingenierías y tecnologías (15%), humanidades (9%) y en menor proporción ciencias agrícolas (5%). Para este último caso, se clasificaron 32 investigadores como sénior, 118 como asociado y 278 como junior (CORPOICA, 2015, pág. 39).

Por otra parte, en la convocatoria 735 realizada en Colciencias en 2015, se registraron el periodo 2014 para dicha convocatoria, en materia de grupos de investigación e investigadores un total de 3870 y 8280 participantes respectivamente. Y a nivel de categorías se tiene que en grupos de investigación e investigadores se presentaron en porcentaje de la siguiente manera: ciencias Agrícolas 5% y 5%, Ciencias Médicas y de la salud un 17% y 17%, Ciencias Naturales 22% y 28%, Ciencias Sociales 31% y 24%, Humanidades 7% y 6%, Ingeniera y Tecnología un 18% y 19% (COLCIENCIAS, 2015).

La anterior información revela el poco interés en el ámbito de la investigación en este sector, por ello CORPOICA advierte que:

Desde el punto de vista de la investigación generadora de conocimiento para la innovación, esta perspectiva de la agricultura conduce a nuevas preguntas de investigación que interrelacionan el medio ambiente, el clima, la alimentación, la salud, la demografía, los aspectos de género, la urbanización y cambios de escalas de producción, entre otros aspectos. Este escenario impone a las instituciones de investigación, de desarrollo tecnológico y de vinculación tecnológica, una renovación en su concepción del desarrollo y de la innovación en la agricultura y modelos de organización que permitan generar investigación integradora, capacidad para desarrollar meta análisis sobre aspectos amplios y para producir síntesis con destino no solo a los

investigadores y prestadores de servicios técnicos sino también a los formadores...  
(CORPOICA, 2015, pág. 6)

Por lo anterior, la presente investigación contribuye en el desarrollo de material de investigación en el ámbito agrícola, ayudando al mejoramiento en este medio e incentivando a otros jóvenes a incursionar en este campo que aún no ha sido totalmente explotado.

El actual trabajo va dirigido al sector agropecuario y a la comunidad en general, por medio de tecnologías libres y con código abierto, las cuales pretenden apoyar el monitoreo de las variables ambientales del campo con énfasis en la agricultura de precisión. Además, se usan tecnologías novedosas, sensores comerciales de bajo costo, microcontroladores con Wi-Fi embebido, paneles solares, etc. Todo lo anterior pensado en crear un sistema rentable y accesible para los agricultores.

Por otra parte, la Universidad de Cartagena, tiene el privilegio de implementar el proyecto en sus zonas verdes, y a futuro, en posibles invernaderos creados por los estudiantes para fines académicos.

Hay que tener en cuenta que el monitorear del cultivo es una tarea profesional que implica una formación especial, no quiere decir que necesariamente lo deba efectuar un profesional, como puede ser el caso de un ingeniero agrónomo, pero sí sería conveniente que este coordinará, supervisará y evaluará los resultados.

Las decisiones tomadas por alguien estudiado en el tema son más productivas que las de una persona no capacitada, en este orden de ideas es importante resaltar que el monitoreo integral de cultivos es una práctica que constituye la base de una agricultura planificada y es a la vez un registro de trazabilidad. Además, hay que tener en cuenta que los mercados internacionales pondrán cada vez más muros para la comercialización en general, y una de las más cercanas a ser afectada es el uso exhaustivo de químicos para la defensa de los cultivos (La Nación , 2016).

Hay una gran diversidad de variables que afectan el desarrollo del cultivo, distanciando el factor humano de los procesos de producción del campo, el medio ambiente sería el factor crucial para determinar el correcto crecimiento del agro, por lo tanto, conocer su estado es de vital importancia para los dueños de parcelas. Dado lo anterior, si se conociera el estado del cultivo, se podría tener una adecuada toma de decisiones respecto a las acciones a realizar en el cultivo.

Dando un ejemplo, cuando desciende la temperatura el desarrollo de las plantas se hace más lento. Si es muy baja, puede causar grandes daños en tejidos jóvenes de la planta; por ejemplo, los tallos vegetativos pueden morir a  $-5^{\circ}\text{C}$ , por lo tanto, si el cultivo está en una edad temprana, una helada puede ser un gran daño en el cultivo.

En temperaturas altas el cultivo necesitará más suministros como nutrientes, agua, radiación solar, entre otros. Todo lo anterior para poder mantener su nivel de metabolismo, por lo tanto, el manejo del cultivo debe ser cada día más minucioso, el rendimiento se puede reducir hasta 4% por cada  $1^{\circ}\text{C}$  que aumente la temperatura media que necesite la planta.

Cuando la temperatura es alta, por lo general la radiación solar es alta, esto afecta directamente en la fotosíntesis de la planta, y por otra parte puede quemar las hojas de la misma, evitando un correcto crecimiento.

Otra variable a tener en cuenta es la humedad relativa del aire, el cual representa un factor climático que puede modificar el rendimiento final de los cultivos; así, cuando dicho parámetro se encuentra en niveles altos, las plantas disminuyen su transpiración, así como su crecimiento. Por otra parte, al aumentar la humedad relativa del ambiente, este se vuelve un lugar propicio para el crecimiento de plagas. Si la humedad está baja las plantas transpiran en exceso, perdiendo más agua, lo cual si no es tratado a tiempo puede provocar que se deshidraten y, finalmente, se marchiten (Infoagro, s.f.).

Los cambios no previstos en el cultivo y que generan daños se traducen como pérdidas, por eso la importancia del monitoreo de la tierra. Cuando aparecen plagas usualmente se usa pesticidas para erradicarlas, pero ¿Qué tan beneficioso es el uso de estos productos químicos?, ¿A qué precio los dueños de las parcelas usan este tipo de medidas por no tener un control adecuado del campo?

En Uruguay de las 20.000 toneladas de carne vacuna exportadas a Estados Unidos desde octubre de 2015, 55 toneladas fueron interceptadas con restos del plaguicida, lo cual representó al 0,3% del total del envío y no sólo significó pérdidas para el sector, sino también un gran obstáculo en la continuidad de las exportaciones. Brasil ha sufrido rechazo de contenedores cuya carne tenía residuos, en el caso Argentina no fue ajena a esto y, en menor medida, en años pasados lo ha sufrido (La Nación, 2016).

Proyectos como el presente intentan mitigar casos como el anterior, ya que al tener un monitoreo del cultivo se podrán realizar acciones preventivas y se evitará en mayor medida el

uso de pesticidas, y por resultante se mejorará el estado de los alimentos y por ende la calidad de los productos.

### 1.3. OBJETIVOS

#### 1.3.1. Objetivo General

Desarrollar un sistema de medición automatizada de variables ambientales para agricultura de precisión con software libre utilizando SCRUM. El sistema debe cumplir mínimamente los siguientes requerimientos no funcionales:

<i>Número</i>	<b>Requerimiento No-Funcional</b>	<b>Descripción</b>
<i>RNF1</i>	Usabilidad	El sistema debe ser fácil de usar para cualquier usuario.
<i>RNF2</i>	Rendimiento	El sistema debe soportar una gran cantidad de peticiones.
<i>RNF3</i>	Seguridad	El sistema debe asegurar la información médica de los pacientes, ya que esta es considerada información sensible.
<i>RNF4</i>	Portabilidad	El sistema debe ejecutarse en varios sistemas operativos y plataformas.
<i>RNF5</i>	Disponibilidad	El sistema debe permanecer disponible para los usuarios.

*Tabla 1. Requerimientos no funcionales del sistema de medición automatizada de variables ambientales para agricultura de precisión con software libre*

#### 1.3.2. Objetivos Específicos

1. Especificar los requerimientos que involucra la creación de un sistema de monitoreo de variables ambientales a nivel de software y hardware que permita elaborar el diseño de un Backlog completo del sistema.
2. Diseñar un modelo basado en etapas que se desarrollaran en el transcurso de la investigación para la selección y aplicación de los componentes a nivel de software y hardware.
3. Desarrollar un prototipo funcional de un sistema de medición automatizada de variables ambientales para agricultura de precisión.
4. Evaluar los resultados obtenidos del prototipo a través de una prueba piloto que permita realizar el control de calidad pertinente para el mejoramiento del sistema.

#### **1.4. ALCANCE**

La implementación de un sistema completo de monitoreo va más allá del alcance del presente proyecto, el cual consiste en la completa absorción de datos referentes al estado del cultivo, esto debido a las diferentes necesidades que se presentan por particularidades específicas del agro y que por el momento no se cuenta con suficiente información para anexarlas en el proyecto. Pero se establecerán colaboraciones con grupos de investigación que hoy en día realizan recorridos semanales de cultivos y que aplican en ellos técnicas avanzadas de fotografía aérea de amplio espectro, quienes podrán complementar más adelante sus actividades con el análisis de la información registrada por los sensores que se desarrollarán en este proyecto e incluirán esa información en discusiones que involucran a todo un equipo de expertos.

El producto final generado por esta propuesta se realizó bajo la metodología ágil SCRUM, y consta de un sistema hardware y otro software, en el primer apartado se tiene al módulo ESP8266 como ente coordinador de los sensores de obtención de datos y también procurará la transmisión de los mismos por una red de nodos. Se le conoce como nodo al dispositivo encargado de la recolección y envío de datos. El módulo implementa el protocolo de enrutamiento para sensores conocido como ESP-NOW para la correcta comunicación de sensores en la red. Cada nodo consta del módulo antes mencionado y los siguientes sensores: SHT21, TSL2561 y YL-69. Cada uno de estos sensores está a cargo de la obtención de una o varias variables ambientales, y están programados de tal forma que sean interoperables.

Una vez los datos lleguen al nodo que corresponde como puerta de enlace entre el cultivo e Internet, se envía la información recolectada por la red de nodos a un servidor, con ciertas unidades de tiempo para evitar el embotellamiento de información. El servidor realiza el análisis y almacenamiento de los datos, y dicho servidor fue programado bajo el lenguaje de programación JavaScript y la base de datos que se usó MongoDB.

La información suministrada por el sistema es ilustrada y categorizada en un portal web, de tal manera que sea fácil su comprensión por parte de un personal autorizado y que este cuente con las competencias para la interpretación de los datos.

Del análisis y discusión de la información por parte de expertos surge un informe para el usuario final (dueño o administrador del cultivo), con recomendaciones sobre el manejo del terreno y las plantas. El presente proyecto muestra índices relacionados a los datos obtenidos por la red de sensores, de tal manera que se tienen medidas en diferentes áreas del terreno, pero

que a diferencia de una fotografía aérea no contempla toda el área. Por lo tanto, hay limitaciones tanto espaciales y de carácter conceptual. Se entiende que, al no cubrir toda la zona, hay espacios en donde el análisis por parte del sistema no es ejecutado.

El sistema que se desarrolló siguiendo esta propuesta puede analizar en tiempo real el estado de las plantas de un cultivo, para ello fue necesario que un potencial usuario final haya decidido dividir el terreno en cuadrículas. En una situación ideal se tiene un nodo de sensores por cada planta, el cual nos proporcionaría un índice de humedad del suelo en el sitio donde está sembrada la planta, la temperatura y humedad de esa planta en específico, también determinaría si está siendo golpeada y con qué intensidad por los rayos del sol y, por último, nos diría si está siendo sometida a vientos fuertes o moderados.

De lo anterior es importante aclarar que no se espera que haya señales o elementos que entorpezcan la comunicación de los nodos. Además, la presente investigación en un estado ideal daría suficiente información, como para no tener que optar por otras tecnologías, pero dado que este es un prototipo es necesario confrontar, contrastar y/o calibrar con otros medios, tales como drones, fotografías, expertos, etc.

En síntesis, este proyecto se enfoca en implementar el prototipo en un terreno de siembra, pero al no haber contado con uno propio se usaron las instalaciones de la Universidad de Cartagena, más específico sus zonas verdes como lugares de prueba, en esas zonas se tuvo un arreglo denso cuadrulado de nodos con sensores de medición, cada uno con capacidad de comunicar los datos recolectados vía inalámbrica, en un periodo de un semestre, más específicamente el semestre correspondiente al segundo periodo del 2018.

Finalmente, en cuanto se esté en una etapa posterior al presente proyecto, el equipo de expertos con quienes se buscará colaboración, ayudará a definir líneas guías sobre qué hacer en cada situación no esperada y con estos parámetros el personal técnico encargado del monitoreo de un cultivo particular podrá ofrecer un dictamen sobre cómo se encuentra el cultivo y qué medidas tomar.

## **2. MARCO DE REFERENCIA**

### **2.1. MARCO TEÓRICO**

La agricultura es considerada una de las actividades económicas más importantes para la sociedad, esto debido a las técnicas para la obtención y control de los frutos del campo, los cuales han permitido el abastecimiento de alimento de los seres humanos, permitiendo así el desarrollo económico y social de los países.

Por consiguiente, al ser una actividad tan prioritaria ha ido evolucionando poco a poco con el desarrollo de la humanidad, hasta llegar al punto de integrarse con las nuevas tecnologías. A esta integración en conjunto de buenas prácticas, se le conoce como agricultura de precisión. El concepto de agricultura de precisión es tratado de diferentes formas, pero para no entrar en generalidades o en particularidades, se interpretará de la siguiente manera: “La agricultura de precisión está basada en el reconocimiento de la variabilidad espacial y temporal del clima, los suelos y los cultivos, y consecuentemente, de la importancia de proporcionar un manejo agronómico específico que tenga en cuenta esas diferencias.” (Lizarazo Salcedo & Carvajal, 2011).

La agricultura de precisión al ser un tema tecnológico presenta ciertas arquitecturas, las cuales pueden ser tratadas como arquitecturas de precisión. Este tema en particular no es tratado con mucha profundidad lo largo del documento, pero se entiende que esta presente y que hace parte del desarrollo de la propuesta.

La estructura de la arquitectura Lambda, por ejemplo, considera diferentes capas como son: La capa de captura de datos, cuya función es la obtención de variables asociadas a un cultivo. La capa de almacenamiento, cuya función es recopilar la información en tiempo real desde los sensores. La capa de procesamiento, genera predicciones y recomendaciones, la cual es evaluada mediante pruebas de carga con el fin de determinar su capacidad y tiempo de respuesta. La capa de consulta, permite a los usuarios finales visualizar en una interfaz web o cualquier otro medio que ofrezca una vista (Montoya, Colorado, Muñoz, & Golondrino, 2017).

La arquitectura presentada en el presente proyecto tiene cierta similitud a la arquitectura lambda, pero se simplificó al solo montar las bases del proyecto en capas, como capa red de nodos, capa de servidor y capa portal web, tal como será ilustrado y explicado más adelante en el apartado de metodología.

Las arquitecturas permiten encaminar el proyecto de una forma clara y concisa, y estas pueden variar entre proyectos. Un ejemplo de arquitectura propia puede ser la presentada en el

proyecto “Arquitectura Software Basada en Tecnologías Smart para Agricultura de Precisión”, donde se tiene una red de sensores instalados sobre las zonas de cultivo que monitorizan las variables. Las mediciones obtenidas se almacenan de manera autónoma y continua sobre una base de datos MongoDB, cuyo diseño prevé la variabilidad espacio-temporal de los diversos componentes de la aplicación (zonas, cultivos, sectores de irrigación, etc.). Datos obtenidos de otras fuentes, tales como servicios meteorológicos o análisis de suelo completan el modelo, cuyo objetivo final es el de mejorar la eficiencia en la gestión de la explotación agraria. Los procesos que combinan toda esta información y ponen en marcha el modelo se implantan mediante el uso del framework, consiguiendo al integrar estas tecnologías una infraestructura digital para la explotación rentable de recursos agrarios, tal como se hace en el presente proyecto, pero no con el objetivo de ayudar en el proceso de riego y fertilización (Sánchez, Barrena, Bustos, Campillo, & García, 2016).

### **2.1.1. Variables ambientales**

Las variables seleccionadas en el proceso de medición del presente proyecto son: la temperatura, la temperatura del suelo, la humedad, la humedad del suelo, el índice UV, la luminosidad y los gases volátiles. Inicialmente se seleccionaron estas variables con el objetivo de reducir costos, ya que los sensores encargados de censar las variables anteriormente descritas no tienen un alto valor en el mercado. Pero, es importante aclarar, que dichas variables tienen un impacto considerable en el cultivo.

La temperatura influye en el desarrollo de las plantas, tal como se mencionó en apartados anteriores, si es muy baja, puede causar grandes daños en tejidos jóvenes de la planta; por ejemplo, los tallos vegetativos pueden morir a  $-5^{\circ}$ . Por otro lado, la temperatura del suelo es importante debido a que influye en los procesos bióticos y químicos. En temperaturas tanto ambientales, como en la temperatura de la tierra, si es alta el cultivo necesitará más suministros como nutrientes, agua, radiación solar, entre otros.

Cuando la temperatura es alta, por lo general la radiación solar es alta (índice UV), esto afecta directamente en la fotosíntesis de la planta, y por otra parte puede quemar las hojas de la misma, evitando un correcto crecimiento.

Un tema relacionado al índice UV, es la luminosidad, la luminosidad es el sistema de medición de luz que incide en un lugar, esta ayuda a la fotosíntesis de las plantas, mientras más rápida sea la velocidad de la fotosíntesis, más rápido crecerá la planta. Dependiendo la

intensidad y la calidad de la luz se ve impactada la velocidad de la fotosíntesis, por lo cual, es importante tener en cuenta en que posición, con referencial al sol, se encuentra el cultivo.

La humedad relativa del aire, cuando se encuentra en niveles altos, causa que las plantas disminuyan su transpiración, así como su crecimiento. Por otra parte, al aumentar la humedad relativa del ambiente, se vuelve un lugar propicio para el crecimiento de plagas. Si la humedad esta baja las plantas transpiran en exceso, perdiendo más agua, lo cual si no es tratado a tiempo puede provocar que se deshidraten y, finalmente, se marchiten (Infoagro, s.f.). La humedad del suelo por otra parte, responde a preguntas referentes al riego, por ejemplo, se puede definir un intervalo de riegos con la finalidad de optimizar la producción, conservar el agua, minimizar impactos ambientales y ahorrar dinero. La cantidad de agua también influye en la humedad del suelo, en cantidades suficientes puede evitar pérdidas excesivas por percolación, incrementos en consumo de energía, costos del agua, etc.

Por último, la medición de gases volátiles es importante debido a que las actividades agrícolas pueden ser responsable de una serie de impactos sobre el medio natural, derivados fundamentalmente del uso de fertilizantes orgánicos y sintéticos, la actividad ganadera y otras actividades como el cultivo del arroz y la quema de residuos agrícolas. La creciente preocupación y sensibilización social sobre el efecto ambiental causado por las actividades antropogénicas se ha traducido en una serie de exigencias legales, la mayoría de ellas traspuestas a la legislación nacional, para la protección del medio ambiente (JIMÉNEZ, 2014).

### **2.1.2. Tecnología**

Para interpretar mejor las tecnologías que están implicadas en la agricultura de precisión es correcto comenzar por los microcontroladores, los cuales involucran al concepto de PIC (Controlador de interfaz Periférico) los cuales consisten en un circuito integrado o microchip contenido en un encapsulado de plástico o cerámica, que están compuestos por un conjunto de circuitos electrónicos que mediante su programación son capaces de automatizar procesos eléctricos y mecánicos (Martínez Cantón, 2016).

Los microcontroladores en compañía de los sensores, se encargan de la obtención y la interpretación de los datos obtenidos por estos últimos, actualmente han avanzado tanto que son capaces de integrar otras tecnologías, tales como bluetooth, Wi-Fi, entre otros.

Los microcontroladores con módulos Wi-Fi integrados son esenciales para la creación de redes de microcontroladores, a las cuales se nombrarán como nodos desde ahora, los nodos se comunican uno con otros por medio de protocolos de red.

En particular en este proyecto se usará el Módulo ESP8266, el cual es un SOC (System on chip) autónomo, con pila de protocolos TCP / IP integrado que puede dar acceso a cualquier microcontrolador a la red WiFi. El ESP8266 es capaz de alojar una aplicación o descargar todas las funciones de red Wi-Fi desde otro procesador de aplicaciones. Cada módulo ESP8266 viene pre programado con un firmware de conjunto de comandos AT, lo que significa que simplemente puede conectarlo a su dispositivo Arduino y obtener casi la capacidad Wi-Fi que ofrece Wi-Shield. El módulo ESP8266 es una placa extremadamente rentable con una enorme y cada vez mayor comunidad. (mikrocontroller, 2015).

Una vez seleccionado el microcontrolador que se encargará de los procesos de interpretación de datos, se deben seleccionar los sensores que se encargarán de la recolección de datos, dichos datos ya han sido mencionados con anterioridad, tales fueron luminosidad, temperatura, humedad del suelo y del ambiente. Para poder censar las anteriores variables se utilizarán inicialmente los sensores SHT21, TSL2561 y YL-69.

Los anteriores sensores se comunicarán con el microcontrolador por medio del bus I2C, el cual es un estándar que permite la comunicación entre microcontroladores, memorias y sensores, sólo requiere de dos líneas de señal y un común. Permite el intercambio de información entre muchos dispositivos a una velocidad aceptable, de unos 100 Kbits por segundo, aunque hay casos especiales en los que el reloj llega hasta los 3,4 MHz. La comunicación de datos del bus I2C es en serie y sincrónica, esto quiere decir que una de las señales del bus marca el tiempo y la otra se utiliza para intercambiar datos. (J. Carletti, 2017)

Ahora bien, el sensor SHT21, es un sensor de humedad y temperatura de Sensirion, con un chip diseñado por CMOSens® y se comunica por medio del protocolo I2C de manera digital. Cuenta con un sensor de humedad de tipo capacitivo reelaborado y sensor de temperatura de banda ancha que mejora el rendimiento e incluso más allá del nivel sobresaliente de la generación de sensor anterior (SHT1x y SHT7x), por ejemplo, se tomaron medidas para estabilizar el comportamiento a altos niveles de humedad. (Sensirion, 2011)

Por otra parte, el TSL2561 es un convertidor de luz a señal digital que transforma la intensidad de la luz en una salida y es enviada por medio del protocolo I2C. Este dispositivo combina un fotodiodo de banda ancha (visible más en infrarrojo) y un fotodiodo de respuesta infrarroja en un solo circuito integrado CMOS capaz de proporcionar una respuesta casi fotópica sobre un rango dinámico efectivo de 20 bits (resolución de 16 bits). (TAOS, s.f.)

No menos importante se tiene al YL-69, el cual tiene la capacidad de medir la humedad del suelo, aplicando una pequeña tensión entre los terminales del módulo, y esto hace pasar una corriente que depende básicamente de la resistencia que se genera en el suelo y el cual obedece mucho a la cantidad de humedad. Por lo tanto, al aumentar la humedad la corriente crece y al bajar la corriente disminuye.

Consiste en una sonda YL-69 con dos terminales separados adecuadamente y un módulo YL-38 que contiene un circuito comparador LM393 SMD (de soldado superficial) muy estable, un led de encendido y otro de activación de salida digital. Este último presenta 2 pines de conexión hacia el módulo YL-69, 2 pines para la alimentación y 2 pines de datos. VCC, GND, D0, A0 (taloselectronics, s.f.).

### **2.1.3. Protocolo de enrutamiento**

Una vez entendido el funcionamiento de los sensores, se procederá a explicar la comunicación entre nodos, como bien es sabido se deben tener ciertos protocolos para poder establecer dicha comunicación, el protocolo que se usará será el ESP-NOW. Este protocolo se basa en el modelo OSI (Open System Interconnection) o modelo de interconexión de sistemas abiertos, el cual es un modelo de referencia para los protocolos de red, expresado por medio de una estructura de capas. Las capas que maneja son: Física, Datos, red, transporte, sesión, presentación y por último aplicación.

El protocolo ESP-NOW usa una estructura de datos conocida como lista enlazada, la cual contiene la información del dispositivo local y la información del dispositivo enlazado, esta se mantendrá en la capa de bajo nivel de ESP-NOW. La información de los dispositivos se utiliza para enviar y recibir datos, ESP-NOW mantiene la información esencial de los compañeros, como la dirección MAC y la clave en la capa inferior, ESP-NOW también almacena los datos utilizados con frecuencia para la capa de aplicación evitando la sobrecarga del mantenimiento secundario de la lista enlazada (espressif, 2016).

### **2.1.4. Plataforma web**

Por otra parte, para creación de la plataforma web se usará Node.js, el cual es un entorno de ejecución para JavaScript construido con el motor de JavaScript V8 de Chrome, se implementará gracias a la facilidad de conexión que tiene con el microcontrolador ESP8266, Node.js usa un modelo de operaciones E/S sin bloqueo y orientado a eventos, que lo hace liviano y eficiente (Node.js, 2017).

### **2.1.5. MongoDB**

MongoDB es la base de datos NoSQL líder que permite a las empresas ser más ágiles y escalables. Organizaciones de todos los tamaños están usando MongoDB para crear nuevas aplicaciones que mejoran la experiencia del cliente, aceleran el tiempo de comercialización y reducen costes (MongoDB, 2017).

### **2.1.6. SCRUM**

Para el desarrollo del proyecto se usará la metodología de desarrollo SCRUM, la cual suele introducirse en los procesos de las empresas de desarrollo de software y presupone un conjunto de prácticas que agilizan los métodos de creación del proyecto, por lo tanto, permite una mayor adaptabilidad a factores externos e impredecibles (Fokina, 2016).

### **2.1.7. BACKLOG**

Dentro de los diferentes participes que hacen parte de un equipo de desarrollo enmarcado por la metodología SCRUM, se tiene al Product Owner, este es quien traduce las necesidades del cliente en el producto que debe crear el equipo del proyecto. El Product Owner es quien conoce mejor lo que el cliente necesita; él describe y prioriza estas necesidades en historias que agrega al Product Backlog.

El product backlog (o pila de producto) es un listado de todas las tareas que se pretenden hacer durante el desarrollo de un proyecto. Todas las tareas deben listarse en el product backlog, para que estén visibles ante todo el equipo y se pueda tener una visión panorámica de todo lo que se espera realizar.

## 2.2. ESTADO DEL ARTE

Un sensor es un objeto capaz de detectar magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, y transformarlas en variables eléctricas. Bajo esta definición, los sensores pueden ser muy variados y pueden representar unidades físicas en forma de una señal analógica, o digital (0 y 1) según sea el caso.

Así pues, existe una amplia variedad de sensores diseñados para percibir la información externa de una magnitud física y transformarla en una señal eléctrica que sea posible introducir a un circuito de control, de modo que queda a disposición del empleador, el uso de la capacidad de cuantificar del sensor y la reacción que hay que tomar en consecuencia. Un sensor consta de uno o varios elementos sensibles a una magnitud física, como por ejemplo la intensidad o color de la luz, temperatura, presión, magnetismo, humedad, y debe ser capaz por sus propias características o por medio de dispositivos intermedios de transformar esa magnitud física en un voltaje o corriente eléctrica que pueda alimentar a un circuito, el cual la utilice directamente o en una etapa previa que la condicione (amplificando, filtrando, etc.) para que finalmente se la pueda utilizar para el control de un proceso o estado.

En campos como las ciencias exactas la toma de datos es imprescindible, por lo tanto, la implementación de sensores es cada vez necesaria, esto debido a la alta gama de magnitudes físicas que se pueden detectar.

En proyectos como Ultrafast Graphene oxide humidity sensors (Borini, y otros, 2013) se establece que los sensores permiten que un dispositivo electrónico se convierta en una puerta de enlace entre los mundos digital y físico, además, los sensores tienen un rendimiento sin precedentes que puede crear nuevas aplicaciones y nuevas vías de interacción con el usuario. Por ejemplo, el óxido de grafeno puede ser explorado con los sensores de humedad y temperatura con una serie de características convenientes tales como la flexibilidad, la transparencia y la idoneidad para la fabricación a gran escala, mostrando la naturaleza bidimensional de óxido de grafeno y su súper permeabilidad al agua. Lo anterior, permite a los sensores de humedad una velocidad sin precedentes de respuesta (respuestas de ~ 30 ms y el tiempo de recuperación), esto abre la puerta a diversas aplicaciones, tales como interfaces de usuario sin contacto.

Otro ejemplo sería la implementación de la electroquímica y las tecnologías basadas en sensores ópticos. En Real-time monitoring of critical care analytes in the bloodstream with chemical sensors: progress and challenges (2015), se usan estas tecnologías, las cuales han

intentado medir importantes componentes críticos en la sangre en tiempo real o casi en tiempo real (por ejemplo: oxígeno, dióxido de carbono, el pH, electrolitos ( $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Cl^-$ , etc.), glucosa y lactato), esto por medio de dos configuraciones principales las cuales han sido sensores de catéteres intravasculares, unidos a sensores con el muestreo de sangre intermitente a través de un catéter permanente adjunto.

En un caso particular, los sensores pueden ser implementados en estaciones meteorológicas las cuales sirven para captar diferentes variables físicas del entorno, tales como la luz, la velocidad del viento, humedad, entre otros, lo cual comprende el estudio de la agro meteorología (Departamento de Agronomía, 2001). La agro meteorología es la ciencia que estudia las condiciones meteorológicas, climáticas, hidrológicas y el papel que estos juegan en los procesos de la producción agrícola. La agro meteorología observa dichas variables y ayuda a predecir cuándo se acercan, sequías, tornados, precipitaciones, etc.

De acuerdo con lo anterior, se entiende que las estaciones meteorológicas son un resultado de la agro meteorología, y estas se han convertido en referencia mundial de monitorización de datos atmosféricos, por consiguiente, es utilizada en todos los continentes y en casi todos los países, son conocidas por su precisión, robustez, fiabilidad, su amplio rango de temperaturas de funcionamiento, y su bajo consumo (Campbell, 2001). Las estaciones meteorológicas ofrecen la flexibilidad para cambiar fácilmente la configuración de los sensores, procesamiento de datos, almacenamiento y obtención de datos, pero no tienen como enfoque al proceso agrícola en sí, sino más bien al medio ambiente que lo rodea, esto debido a que sus datos se enfocan sólo en el ambiente.

Con referencia a lo anterior, se han realizado proyectos como Estudio de la irradiación global en Galicia basado en medidas recogidas en estaciones meteorológicas (Rodríguez Gómez, 2016), que tuvo como finalidad el mejoramiento del conocimiento de la irradiación global diaria en Galicia, se estudió el comportamiento de la radiación solar, durante el periodo 2005- 2007. Los datos se obtuvieron de redes de medición de cinco instituciones diferentes, configurando entre todos, una malla de medición, que evoluciona de forma creciente en el tiempo, pero cuyos nodos aportan medidas de diferente calidad, además se realizan diferentes procesos de validación que tienen como finalidad de terminar cuales son las áreas geográficas que presentan valores extremos de irradiación.

Otra investigación asociada al tema es el uso del minicomputador de bajo costo 'Raspberry Pi' en estaciones meteorológicas (Salcedo & Cendros, 2016), el objetivo de este

trabajo fue la implementación del minicomputador 'Raspberry Pi' como controlador de una estación meteorológica automatizada, se ofrecieron aplicaciones en el campo ambiental con una propuesta para manejar una estación meteorológica automática, con ayuda de sensores adicionales. Algo resaltante es la placa Raspberry Pi como “cerebro” del proyecto, dicho dispositivo es un computador de placa simple de bajo costo desarrollado en el Reino Unido por la fundación que lleva su mismo nombre, y que utiliza una adaptación de Debian denominada Raspbian como sistema operativo, algo parecido a la placa “cerebro” ESP8266-12F del presente proyecto, pero con diferentes especificaciones.

Por otra parte, el análisis de las variables ambientales por medio de sensores en el ámbito del control de procesos en la agricultura se le conoce con el término de agricultura de precisión, Díaz García-Cervigón y Juan José (2015) afirman que:

La agricultura de precisión es el manejo diferenciado de los cultivos utilizando para ello diferentes herramientas tecnológicas (GPS, sensores planta-clima-suelo e imágenes multiespectrales provenientes tanto de satélites como de UAS/RPAS), a partir de este manejo diferenciado del cultivo se puede detectar la variabilidad que tiene una determinada explotación agrícola, así como realizar una gestión integral de dicha explotación. En términos generales se puede considerar que la gestión localizada de un cultivo está definida por un ciclo de cuatro fases: 1) Monitorización, es decir, detección y mapeo de las variables que interesan en cada momento (ej.: Infestaciones de las malas hierbas o presencia de zonas infectadas por hongos); 2) Toma de decisiones y elaboración del mapa de tratamientos en función del mapa obtenido de la variable de interés (fase denominada también planificación de la actuación: qué aplicar, cómo, cuándo y dónde); 3) Actuación en campo o ejecución del manejo localizado que se ha decidido; 4) Evaluación de la rentabilidad (económica y medioambiental) de las operaciones realizadas en el cultivo para programar acciones el año siguiente. La finalidad de todo esto es la obtención de mayores rendimientos (económicos, medioambientales, sociales...etc.).

La agricultura de precisión ha sido aplicada alrededor del mundo para el mejoramiento del agro, los proyectos en donde está involucrada varían en tecnologías, enfoques, necesidades, sitios, etc.

Prosiguiendo con la idea anterior, se entiende que a nivel mundial los proyectos enfocados en la agricultura de precisión transforman las necesidades del agro en un proyecto que pretende suplir dicha necesidad.

Investigaciones como Precision Farming Technologies for Weed Control in the Mississippi Delta de James E. Hanks y Charles T. Bryson (2009), en donde se buscó la comparación de dos tecnologías enfocadas a la agricultura de precisión en una cuenca del Mississippi, los cuales fueron relacionados a sistemas de gestión de área de evaluación (MDMSEA). Este proyecto consistía en rociar sólo cuando se presentará malezas, esto por medio de sensores de tipo reflectancia, la prueba ocurrió durante tres años en la cuenca del Lago Deep Hollow. Se Redujo en promedio en los 3 año en el uso de pesticidas con cada sistema en un 73% y 49%, respectivamente, para el algodón (43 ha) y la soja (47 ha). Evento confirmado por la evaluación de los sistemas de posicionamiento global (GPS) y sistemas de información geográfica (GIS) para el mapeo de malezas confirmó que reducciones significativas en el uso de herbicidas se pueden obtener con esta tecnología.

En otros lugares se presenciaron proyectos como Precision Farming: Technologies and Information as Risk-Reduction Tools (Franklin R. ,2009), en el cual se pretendía reducir los riesgos ambientales que se producen por el uso de plaguicidas con la mejora de la gestión ambiental y una mayor rentabilidad económica a través de un uso más eficiente de los recursos escasos. La información puede ayudar a los agricultores a reducir el uso de pesticidas, reducir la necesidad de aerosoles, reducir los costos de entrada y llevar la racionalidad ambiental y económica. Esto con el fin de explotar el potencial de la agricultura de precisión para localizar con exactitud las variables de población de plagas/malezas espacialmente, con lo que se requiere un sistema de aplicación selectiva.

Ahora bien, Precision farming using unmanned aerial and ground vehicles (Bhuvaneswari, Vasudevan, & Ajith Kumar, 2016), se basa en el diseño de un UAV (Vehículo aéreo no tripulado) completamente autónomo para la agricultura de precisión destinado al manejo de fincas. Dicho UAV proporciona imágenes espectrales de alta resolución. Como objetivo secundario del proyecto, se tuvo el desarrollo de un UGV (Vehículo terrestre no tripulado) equipado con múltiples sensores para proporcionar un alto nivel de autonomía para el modelado ambiental y obtener imágenes en tiempo real. Al trabajar los dos vehículos en conjunto se tendrán imágenes que se procesarán con índices específicos tales como: Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada [NDVI], Índice de Vegetación de Diferencia

Renormalizada [RDVI], Índice de Vegetación Ajustada al Suelo Optimizado [OSAVI], Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada Mejorada [ENDVI] y Índice de Vegetación Ajustada al Suelo [SAVI] para obtener resultados útiles para el manejo de la finca.

En el agro, otro componente clave es el uso de fertilizantes, por eso el uso óptimo del mismo es de gran interés para los agricultores. En la investigación nombrada Variable Rate Fertilizer Distributor in Precision Farming Based on PLC Technology (Shao & Wang, 2007), para lograr mejorar la racionalidad de la fertilización de los cultivos y disminuir la contaminación y los residuos, se usaron sensores ópticos sobre la base de la tecnología PLC. El valor NDVI (Índice Vegetativo de Diferencia Normalizada) fue una escala para medir el estado de salud del cultivo. Según los datos en tiempo real del equipo NDVI, en conjunto con el algoritmo fuzzy aplicado en este proyecto, y un tractor que aplicó fertilizante a través del operador eléctrico, se indicó que el NDVI podría instruir fertilizante de tasa variable, y podría satisfacer con los requisitos planteados y con un margen de error permisivo.

Por otra parte, se cuenta con los microcontroladores que tienen WiFi embebido o aquellos que usan tarjetas para adaptar dicha capacidad, estos pueden crear redes inalámbricas y proporcionan datos confiables con una gran cobertura de terreno, pero su sostenibilidad y utilización ha sido puesta en duda muchas veces, ya sea por la difícil aplicación, la no credibilidad, el deterioro de los sensores por las condiciones climáticas, etc. Pero recientes investigaciones demuestran que su aplicación podría ayudar en gran medida a la agricultura de precisión.

No obstante, aún los profesionales se enfrentan a desafíos en la integración de la sostenibilidad de las redes de sensores inalámbricos, que tienen una amplia gama de aplicaciones día a día, sobre todo en sistemas de gran escala, en los que estos temas son más comúnmente desafiantes. Por lo tanto, se busca evaluar la barrera más esencial, que es la resistencia a la estrategia que implica el uso de esta tecnología en sistemas de gran escala. Las barreras más comunes se recogen de las literaturas y validaciones hechas por profesionales y expertos técnicos, analizadas aún más con la ayuda de casos de organizaciones que consideran su vigilancia utilizando redes inalámbricas. Los miembros/nodos de una red son considerados como responsables de las decisiones y sus respuestas son analizadas a través de una herramienta multicriterio. (Srie Vidhya, 2015).

En los marcos de las observaciones anteriores, cabe aclarar que las investigaciones relacionadas con este tema han comenzado a superar ciertos impedimentos en la

implementación de redes de sensores, esto debido a los esfuerzos de numerosos investigadores que de una u otra forma han encontrado soluciones a problemas utilizando redes de sensores, y por lo tanto generan aportes de cómo solucionar o manejar ciertas situaciones que pueden presentarse por el uso de estas, ejemplos claros son los trabajos citados en este apartado.

En un contexto nacional, se puede recalcar el proyecto que se mencionó en otro apartado, más específicamente en cauca Colombia, el cual trataba del uso de redes de sensores para el monitoreo del café. Otro caso, vendría siendo el proyecto nombrado como Aplicaciones de la agricultura de precisión en palma de aceite “*Elaeis Guineensis*” e híbrido O x G (Lizarazo Salcedo & Carvajal, 2011), en donde se especifica que el objetivo de la agricultura de precisión es que se logre un correcto manejo agronómico, este tiene que ser minucioso, y se debe realizar a nivel de lote, o en su debido caso, en caso particular en cada palma, y por lo tanto para que esto pase, se necesita un sistema de información para el manejo agronómico.

Mayormente los proyectos enfocados en la agricultura de precisión se limitan a un tipo de cultivo en específico, por lo tanto, ciertas medidas tienen su grado de particularidad y solo se aplican para estos casos, de modo que el presente proyecto tiene como fin servir como un sistema de medición universal, pero por dicha universalidad no podrá contar con ciertas especificaciones que tendrán ciertos cultivos.

Prosiguiendo con el tema, se han realizado proyectos como Redes de Sensores Inalámbricos Aplicadas a Optimización en Agricultura de Precisión para Cultivos de Café en Colombia (Aparicio urbano-Molano , 2013), en donde se presentó un diseño preliminar de una red de sensores para cultivos de café en Colombia, usando el estándar 802.15.4, por lo cual la arquitectura del sistema estaba basada en tres nodos que utilizan sensores para temperatura y humedad del suelo, temperatura de las hojas, radiación solar y flujo fotosintético usando un radio XBee 802.15.4. Se estimó que a pesar de ser un diseño preliminar y que hubo ciertas fallas en el envío de datos, si se obtuvo comunicación con el servidor localizado en la ciudad de Popayán, Colombia.

Según se ha citado, se usó para el envío de datos un radio Xbee 802.15.4, los cuales son un medio inalámbrico que sirve para la interconexión y comunicación entre dispositivos. Para hacer uso de esta tarjeta, se debió usar otro dispositivo, en este caso fue el PIC 24 Microchip, lo que requiere tener que acoplar más elementos al sistema, mientras que en el presente proyecto se implementara el ESP8266-12F, un dispositivo que no requiere el uso de tarjetas externas para realizar la conexión debido a que esta ya cuenta con esta opción integrada.

En otra escena, conocer el estado del cultivo es un gran beneficio para toda la comunidad, pero existen ciertas prácticas que son costosas, como es el caso de las metodologías de ensayos de nutrientes del suelo, las cuales consumen mucho tiempo y requieren un muestreo laborioso. En el proyecto Electronic nose based wireless sensor network for soil monitoring in precision farming system (Dorji, Pobkrut, & Kerdcharoen, 2017), se implementa “la nariz electrónica” (e-nose), está basado en una red de sensores inalámbricos diseñada especialmente para resolver este problema. Los lugares más propicios en una granja pueden generar una gran cantidad de datos en tiempo real implementando agricultura de precisión y con ellos realizar un seguimiento del estado del suelo basado en compuestos orgánicos volátiles. El análisis de componentes principales indicara diferentes niveles de fertilidad del suelo basados en la materia orgánica del suelo.

En el proyecto Arquitectura de nodo inteligente para redes de sensores inalámbricos y escalables aplicaciones en monitorización ambiental (Rosas & Andre , 2016) , del cual, los autores establecen que:

Las redes de sensores son actualmente una de las tecnologías emergentes de mayor progreso e interés, en particular aquellas que emplean sistemas de comunicación inalámbricas. La integración de estas redes a las infraestructuras y a diversos entornos asociados a una red inalámbrica de comunicación ha transformado drásticamente la forma en que los datos del entorno son adquiridos y procesados. Actualmente, las redes de sensores son consideradas como uno los pilares principales en una nueva forma de percibir e interactuar con el mundo que nos rodea, proporcionando beneficios a la sociedad y mejorando la productividad de las industrias.

Se puede recalcar el gran aporte y el progreso que tienen las redes de sensores, además de la importancia de las mismas, por ello, la anterior tesis tiene como propuesta el diseño de un FRAMEWORK basado en el estándar ISO/IEC/IEEE 214510 para el soporte de arquitecturas de nodos de sensores inalámbricos, en donde se podría manipular una red de sensores de manera rápida y eficaz.

Siguiendo este mismo objetivo, en la investigación propuesta se prefirió usar tecnologías novedosas en el campo de los sensores con Wi-Fi embebido como es el caso del ESP8266-12F, el cual funciona con el estándar IEE 802.11 para la comunicación web, y este a su vez, en combinación de la plataforma Node.js para el manejo de datos.

En otro aspecto, no solo se están facilitando el uso de estas herramientas sino también, su implementación con otras áreas, un ejemplo de ello vendría siendo el proyecto Sistema sensor para el monitoreo ambiental basado en redes Neuronales (Rubio, Stein-Carrillo , Hernández-Aguilar , Ávila-Camacho , & Meléndez-Ramírez, 2016), en este proyecto se creó un sistema capaz de identificar contaminantes ambientales que facilitaran las tareas relacionadas con el manejo de residuos y la restauración del medio ambiente. Lo resaltante va desde el uso de sensores de gas de óxido de estaño utilizado para la detección de vapores químicos, una tarjeta Arduino y una red neuronal que ayudara a la toma de acciones inmediatas y a la distinción de dichos gases en el aire, este último componente representa un fragmento de la inteligencia artificial en integración con proyectos de esta índole.

En el mismo orden de ideas, Low-Cost Wireless System for Agrochemical Dosage Reduction in Precision Farming (Viani, Bertoli, & Polo, 2017), es un proyecto que trató el tema de la reducción de la dosificación de plaguicidas mediante una combinación innovadora de la tecnología de red de sensores inalámbricos y la teoría de la lógica difusa. Aprovecha la distribución espacial para determinar la dosis óptima de plaguicidas, gracias a las características propias de una arquitectura inalámbrica. Las reglas de la lógica difusa imitan el razonamiento humano a través del simple modelado de las mejores prácticas de los agricultores. El proyecto fue probado experimentalmente en un viñedo en el norte de Italia para el tratamiento de la infección del mildiu y se obtuvo un 47% de reducción de plaguicidas durante una campaña de medición de tres meses.

Por último, el proyecto en cuestión, tiene como finalidad monitorear las variables ambientales y presentar resultados de manera amigable al usuario, implementando tecnologías como ESP-NOW, paneles solares para el auto sostenimiento, una plataforma basada en Node.js en compañía de otras tecnologías, y todo esto con el fin de mejorar la velocidad de transmisión de datos y reducir el costo del proyecto.

### 2.3.DEFINICIONES, ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

*Tabla 2 Definiciones, acrónimos y abreviaturas*

Nombre	Descripción
<b>Nodo</b>	Representa el conjunto de dispositivos electrónicos que componen el sistema de recolección. Ejemplo: Microcontroladores, circuitos electrónicos, etc.
<b>Backlog</b>	Subconjunto de objetivos/requisitos seleccionados para la iteración actual y su plan de tareas de desarrollo. Se elabora en la reunión de planificación de la iteración seleccionando lo que prevé que podrá completar en forma de incremento de producto preparado para ser entregado.
<b>Microcontrolador</b>	(abreviado $\mu$ C, UC o MCU) es un circuito integrado programable, capaz de ejecutar las órdenes grabadas en su memoria. Está compuesto de varios bloques funcionales, los cuales cumplen una tarea específica. Un microcontrolador incluye en su interior las tres principales unidades funcionales de una computadora: unidad central de procesamiento, memoria y periféricos de entrada/salida.
<b>SoC</b>	Un sistema en chip o SoC (del inglés system on a chip o system on chip), describe la tendencia cada vez más frecuente de usar tecnologías de fabricación que integran todos o gran parte de los módulos que componen un computador o cualquier otro sistema informático o electrónico en un único circuito integrado o chip
<b>Comandos AT</b>	Los comandos AT son instrucciones codificadas que conforman un lenguaje de comunicación entre el hombre y un terminal modem
<b>I2C</b>	Circuito inter-integrado es un bus serie de datos desarrollado en 1982 por Philips Semiconductors. Se utiliza principalmente internamente para la comunicación entre diferentes partes de un circuito, por ejemplo, entre un controlador y circuitos periféricos integrados.
<b>SMD</b>	La tecnología de montaje superficial o en superficie, más conocida por sus siglas SMD del inglés surface-mount device, es el método de construcción de dispositivos electrónicos más utilizado actualmente

<b>MQTT</b>	Es un protocolo usado para la comunicación machine-to-machine (M2M) en el "Internet of Things".
<b>Broker</b>	Es un programa intermediario que traduce los mensajes de un sistema desde un lenguaje a otro, a través de un medio de telecomunicaciones.
<b>SOP</b>	Un Circuito Integrado de Esquema Pequeño (SOIC) es un paquete de circuito integrado (IC) montado en superficie que ocupa un área aproximadamente 30 a 50% menos que un paquete en línea doble equivalente (DIP), con un grosor típico que es 70% menos.
<b>LDO</b>	Baja caída: un regulador de voltaje lineal que funciona incluso cuando el voltaje de entrada apenas supere el voltaje de salida deseado.
<b>PSRR</b>	En electrónica, el Factor de Rechazo a Fuente de Alimentación (o PSRR, de las siglas en inglés Power Supply Rejection Ratio) es un término usado para describir la cantidad de ruido de una fuente de alimentación que un dispositivo en particular puede rechazar.
<b>RTC</b>	Es un reloj de computadora (generalmente en forma de circuito integrado) que mantiene la hora actual.
<b>MCAD</b>	El software de diseño asistido por computadora mecánico (MCAD, por sus siglas en inglés) se usa para crear y modificar geometría 2D y 3D, para diseñar, evaluar y documentar componentes mecánicos y componentes de chapa metálica, ensamblajes y productos. Estos componentes incluyen moldes, troqueles y otras herramientas.
<b>ECAD</b>	El software de diseño asistido por computadora eléctrico (ECAD, por sus siglas en inglés) se utiliza para crear y modificar diagramas y diseños, incluidos 2D y 3D, para diseñar, evaluar y documentar placas de circuitos impresos (PCB).
<b>PCB</b>	En electrónica, una "placa de circuito impreso" (del inglés: Printed Circuit Board, PCB), es una superficie constituida por caminos, pistas o buses de material conductor laminadas sobre una base no conductora que interconecta los componentes de esta.
<b>AP</b>	Un punto de acceso inalámbrico (en inglés: wireless access point, conocido por las siglas WAP o AP), en una red de computadoras, es un dispositivo de red que interconecta equipos de comunicación

	inalámbricos, para formar una red inalámbrica que interconecta dispositivos móviles o tarjetas de red inalámbricas.
<b>API</b>	La interfaz de programación de aplicaciones, conocida también por la sigla API, en inglés, application programming interface, es un conjunto de subrutinas, funciones y procedimientos (o métodos, en la programación orientada a objetos) que ofrece cierta biblioteca para ser utilizado por otro software como una capa de abstracción.
<b>NGX-MQTT</b>	Paquete usado por NodeJS que implementa una API que permite la conexión MQTT con un Broquer.
<b>RXJS</b>	RxJS (Extensiones reactivas para JavaScript) es una biblioteca para la programación reactiva que utiliza observables que facilita la composición de código asíncrono o basado en devolución de llamada.
<b>OLED</b>	Un diodo orgánico de emisión de luz u OLED (siglas en inglés de organic light-emitting diode) es un tipo de diodo que se basa en una capa electroluminiscente formada por una película de componentes orgánicos que reaccionan a una determinada estimulación eléctrica, generando y emitiendo luz por sí mismos.
<b>ACK</b>	Un ACK (del inglés acknowledgement, en español acuse de recibo o asentimiento), en comunicaciones entre computadores, es un mensaje que el destino de la comunicación envía al origen de esta para confirmar la recepción de un mensaje.
<b>QoS</b>	Calidad de servicio (quality of service, en inglés) es el rendimiento promedio de una red de telefonía o de computadoras, particularmente el rendimiento visto por los usuarios de la red. <sup>1</sup> Cuantitativamente mide la calidad de los servicios que son considerados en varios aspectos del servicio de red, tales como tasas de errores, ancho de banda, rendimiento, retraso en la transmisión, disponibilidad, jitter, etc.
<b>uBlox</b>	Es una empresa suiza que crea semiconductores y módulos inalámbricos para los mercados de consumo, automotriz e industrial. Operan como una casa de diseño y de IC sin fabless. Sus soluciones inalámbricas conectan máquinas, vehículos y personas para ubicar sus posiciones exactas y comunicarse a través de redes de corto alcance

	(WI-FI, Bluetooth) o celulares. Usando su cartera de chips, módulos o soluciones de software, es posible crear subsistemas y productos para satisfacer las necesidades de las soluciones de Internet de las cosas (IoT), M2M o Car2Car (o Vehículo a Vehículo) de manera rápida y económica.
<b>ESP32</b>	Es un chip Wi-Fi de bajo coste con pila TCP/IP completa y capacidad de MCU (Micro Controller Unit) producida por el fabricante chino Espressif Systems, con sede en Shanghai.
<b>SMAVA</b>	Acrónimo del presente proyecto, Sistema de Medición Automatizada de Variables Ambientales para agricultura de precisión
<b>MOSQUITTO</b>	Eclipse Mosquitto™ es un servidor de mensajes de código abierto (con licencia EPL/EDL) que implementa las versiones 3.1 y 3.1.1 del protocolo MQTT. MQTT proporciona un método ligero para llevar a cabo la mensajería utilizando un modelo de publicación/suscripción
<b>WEBSOCKET</b>	WebSocket es una tecnología que proporciona un canal de comunicación bidireccional y full-duplex sobre un único socket TCP. Está diseñada para ser implementada en navegadores y servidores web, pero puede utilizarse por cualquier aplicación cliente/servidor.

### **3. METODOLOGÍA**

#### **3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN Y ENFOQUE**

La elaboración del proyecto se realizó en la Universidad de Cartagena (Cartagena-Colombia), como una investigación de carácter experimental, en donde se tomaron muestras de un ambiente controlado y dichas muestras fueron presentadas por medio de un portal web para uso de agricultores, ingenieros agrónomos o semejantes en su labor. Esta investigación se desarrolló la durante el año 2018.

Además, de ser una investigación de tipo experimental se trató con una cronología prospectiva, en la cual se observa el comportamiento de las variables involucradas. La identificación e interpretación de los resultados parte de los coeficientes resultantes de las estimaciones, todo esto en el marco de las teorías consideradas anteriormente.

#### **3.2.FUENTES DE INFORMACIÓN**

Conforme a las fuentes primarias, se buscaron publicaciones de investigaciones relacionadas con la aplicación de dispositivos en el área de agricultura de precisión que hicieran lecturas de variables cuyo fin sea el mejoramiento del estado del cultivo. Parte de esta investigación se hizo con búsquedas en las bases de datos que están disponibles para el uso estudiantil de la Universidad de Cartagena, dichas publicaciones mencionados anteriormente, se consideran como aportes al estado del arte del presente proyecto

Para obtener la información referente al estado en que se encontraba el problema, se comparó la implementación tecnologías enfocadas en agricultura de precisión en otros países con Colombia.

Finalmente se realizaron las búsquedas y comparación de sensores y controladores, con el fin de establecer diferencias en cuanto al uso, precio y la precisión que puedan tener estos. Adicionalmente, se investigo acerca de las partes electrónicas que conformarían al dispositivo y cómo podrían interactuar entre ellas, esta información se recopiló a través de las hojas de referencias de cada uno de los componentes.

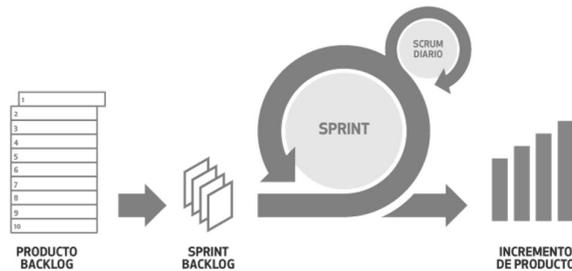
#### **3.3. INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN**

La recolección de información para la creación de los requisitos y requerimientos, se hizo por medio del uso parcial de la metodología llamada Documentación de Requerimientos Centrada en el Usuario (DoRCU). La Documentación de Requerimientos Centrada en el Usuario, es una metodología para la Ingeniería de Requerimientos caracterizada por su flexibilidad y orientación al usuario.

### 3.4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Una vez finalizada la etapa de investigación en la metodología, se establecieron las directrices del proyecto teniendo en cuenta factores como complejidad de uso del sistema, costo de los componentes, integración entre hardware y software, entre otros. Todo lo mencionado anteriormente tiene la finalidad de mejorar el proceso de cultivación a través de la obtención de nuevas tecnologías para pequeños agricultores.

### 3.5. DESARROLLO GENERADO POR OBJETIVOS



*Ilustración 1 Ciclo de Vida de la metodología SCRUM (Córdoba Software)*

Este proyecto utilizó la metodología de desarrollo de software SCRUM y su ciclo de vida es representado en la Ilustración 1, articulada con los objetivos específicos de la siguiente manera:

En primera estancia se realizó el UPStream que da como resultado el Backlog del producto, cumpliendo con el objetivo 1 “Especificar los requerimientos que involucra la creación de un sistema de monitoreo de variables ambientales a nivel de software y hardware que permita elaborar el diseño de un Backlog completo del sistema”. Se obtuvieron las tareas:

1. Aplicativo web
  - 1.1. Diseño de vistas sin funcionalidades anidadas
  - 1.2. Desarrollo de funcionalidades para las vistas
  - 1.3. Diseño de funcionalidades para el servidor
  - 1.4. Desarrollo de funcionalidades para el servidor
  - 1.5. Integración con componentes hardware
2. Dispositivo Hardware
  - 2.1. Diseño esquemático
  - 2.2. Diseño electrónico
  - 2.3. Diseño de modelo 3D

- 2.4.Desarrollo de código fuente para micro-controladores
- 2.5.Ensamble de componentes para dispositivos Hardware
- 2.6.Integración con componentes web

Siguiendo con la metodología SCRUM se realizó “Sprint Planning” que da como resultado el Backlog del Sprint, en el que cada miembro del equipo se compromete a entregar funcionalidades al finalizar cada sprint. Aprovechando la metodología de SCRUM se realizaron pequeñas investigaciones a medida que se realizaron las tareas, en las cuales se seleccionaron las tecnologías del software y del hardware dando como cumplimiento del objetivo 2 “Diseñar un modelo basado en etapas que se desarrollara en el transcurso de la investigación para la selección y aplicación de los componentes a nivel de software y hardware”.

	Tareas	Sub Actividades	Cronograma de Actividades (Meses)												
			Abril 2018 - Marzo 2019												
			Abril	Marzo	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo
P L A T A F O R M A	Diseño de vistas sin funcionalidades anidadas	Mockups													
		Investigacion de Tecnologias													
		Investigacion MQTT para Front													
Diseño de funcionalidades para las vistas	Funcionalidades segun Doc. de Req.														
	Definicion de Arquitectura														
Diseño de funcionalidades para el servidor	Funcionalidades segun Doc. de Req.														
	Definicion de Arquitectura														
	Investigacion MQTT para Back														
Desarrollo de funcionalidades para el servidor	Funcionalidades segun Doc. de Req.														
	Definicion de Arquitectura														
W E B	Integración con componentes hardware	Integracion ( Servidor - Nodo)													
		Integracion ( Plataforma - Nodo)													
		Integracion Total													
Diseño del esquema electrónico	Consideraciones de Diseño														
	Seleccion de Componentes														
	Verificacion de circuitos de referencia														
Diseño del Circuito impreso	Consideraciones de Diseño														
	Diseño														
	Enrutamiento														
Diseño de modelo 3D	Investigacion de Tecnologias														
	Consideraciones de Diseño														
	Modelado 3D														
Desarrollo de código fuente para micro-controladores	Definicion de Arquitectura														
	Investigacion de Tecnologias														
	Pruebas														
Integración con componentes web	Prueba de topologia														
	Prueba de Sensores														
	Prueba de Conexion														

Tabla 3 Backlog Sprint del proyecto

Una vez se realizaron todos los Sprint y las siguientes etapas de la metodología SCRUM en el proceso de desarrollo, se hizo el “Spring Retrospective” en el cual se establecieron las características a mejorar del producto y se anexan en la conclusión del proyecto. Lo anterior dio como resultado el cumplimiento del objetivo 3 “Desarrollar un prototipo funcional de un sistema de medición automatizada de variables ambientales para agricultura de precisión”.

Luego del desarrollo del prototipo se hicieron pruebas, tanto individuales, como grupales de los componentes que conforman el sistema, demostrando la completa funcionalidad del producto; en esta prueba se tomaron datos durante un periodo de 30 minutos, con 3 nodos, de los cuales se tomaban 7 variables simultáneamente durante el periodo de prueba.

La evaluación de los resultados da como cumplimiento al objetivo 4 “Evaluar los resultados obtenidos del prototipo a través de una prueba piloto que permita realizar el control de calidad pertinente para el mejoramiento del sistema”. Este objetivo también se cumplió a través de la verificación del cumplimiento de cada uno de los requisitos funcionales descritos en el documento “Documento de Requisitos.docx” en la prueba piloto.

## **4. RESULTADOS**

### **4.1. Especificación de requerimientos que involucren la creación de un sistema de monitoreo de variables ambientales a nivel de software y hardware que permitan elaborar el diseño de un Backlog completo del sistema**

El objetivo 1 fue resuelto partiendo del análisis y el diseño del componente software y hardware para el SISTEMA DE MEDICIÓN AUTOMATIZADA DE VARIABLES AMBIENTALES PARA AGRICULTURA DE PRECISIÓN CON SOFTWARE LIBRE (SMAVA), se basó en la norma ISO/IEC/IEEE 29148-2011 para el desarrollo de los artefactos software.

#### **4.1.1. Modelo de Negocio**

El modelo de negocio que abarca este proyecto no es en su totalidad el manejo del cultivo, sino, la forma en que se lleva a cabo la recolección de información para el monitoreo del mismo. Para la creación de este modelo de negocio se llevó a cabo una investigación sobre el proceso de mantenimiento de cultivo. Como resultado de dicha investigación se desarrollaron los diagramas: un diagrama de dominio del mundo real y uno con la solución, diagrama de actividades y casos de uso. Con los dos modelos de dominio se realiza una aproximación de lo que sería el mundo real y los cambios que este recibe tras la implementación de la solución.

#### 4.1.1.1. Modelo de dominio del mundo real

El modelo de dominio presenta los principales conceptos del modelo de negocio, los cuales tienen las siguientes características:

- Acciones: Se hace referencia a los actos que realiza el campesino sobre el cultivo, con el objetivo de mejorar la productividad del este último.
- Datos: Se hace referencia a los diferentes atributos del campo como el estado de la tierra, su estado climático y la condición del mismo en general.
- Campesino: Persona que tiene por oficio trabajar y cultivar la tierra.
- Cultivo: En agricultura se refiere a una parcela de tierra sin edificar, fuera del área urbana, presta para el uso cultural agrícola.

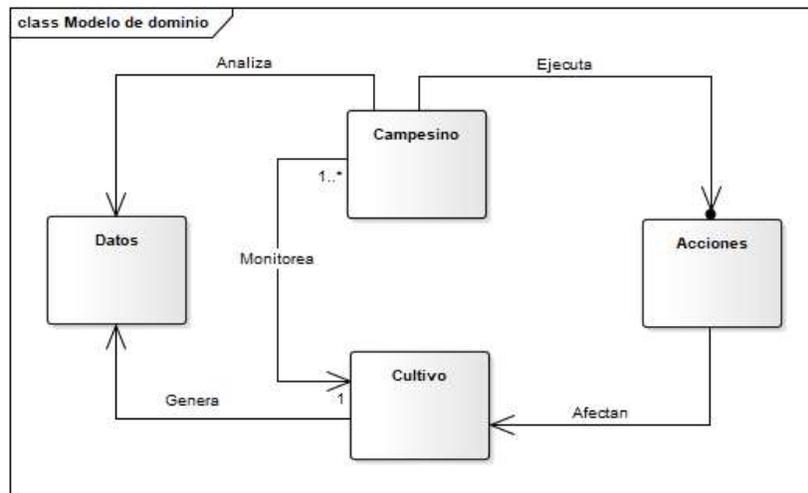


Ilustración 2 Modelo de dominio

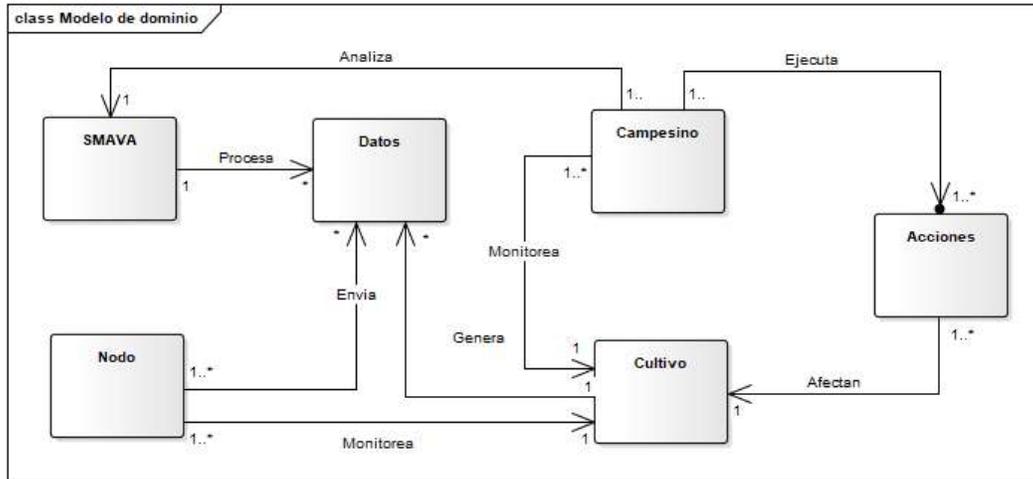
Dado el modelo presentado anteriormente, se puede entender que el campesino está encargado de monitorear el cultivo, analizar los datos del cultivo y tomar acciones para mejorar el estado del mismo, pero la información al ser abstraída por él mismo no necesariamente es correcta y al no ser almacenada no podrá tener un histórico que le sirva de referencia a la hora de tomar decisiones.

#### 4.1.1.2. Modelo de dominio de la solución

El modelo de dominio de la solución, presenta los anteriores conceptos en diagrama de dominio del mundo real, más los que involucran la solución:

- SMAVA: Se hace referencia al sistema encargado de procesar, almacenar y graficar los datos para el usuario.

- Nodo: Se hace referencia a los diferentes dispositivos encargados de obtener la información del campo.



*Ilustración 3 Modelo de dominio de la solución propuesta*

En este modelo se presentan como actores a SMAVA y los Nodos, que vendría siendo la propuesta del presente proyecto. A diferencia del modelo de dominio del mundo real, el campesino no solo monitorea el cultivo sino también analiza los datos de la plataforma, datos que son actualizados de forma periódica por los nodos y que son almacenados para siempre estar a su disposición. Los datos proporcionados por el sistema son obtenidos por dispositivos altamente confiables y precisos en su labor, por lo tanto, la toma de decisiones será más precisa por parte del campesino.

#### **4.1.1.3. Diagrama de casos de uso del mundo real**

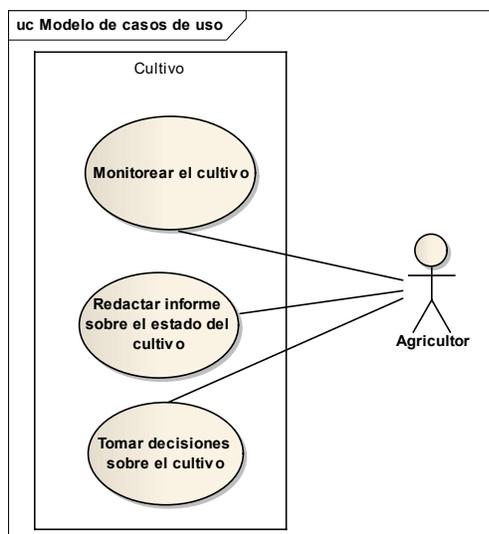
Se identificó como actor principal en el negocio (Dentro del proceso de monitoreo de variables) al campesino. Además, se determinó que el espacio en cual se centran sus actividades es el cultivo y como resultado del proceso, se toman decisiones.

El campesino, como máxima autoridad tiene el deber de tomar decisiones sobre el cultivo, independientemente de la posible cadena de mando que haya debajo de él. El campesino no solo se dedica a sacarle provecho al campo, sino también a su estudio. El campesino está al tanto de su cultivo y nota cuando este sufre algún cambio. Además, tiene ciertas cuentas sobre el cultivo, por ejemplo, la cantidad producida al finalizar el proceso de cultivación, la diferencia de cultivo, el periodo de tiempo en el que es mejor cultivar, etc.

La persona que se dedica al estudio y aplicación de medios técnicos de explotación agrícola, se le denomina ingeniero agrónomo, dado que no todos los campesinos cuentan con

el nivel de estudio de un ingeniero agrónomo, se puede decir que el campesino es conocedor hasta cierto punto de las practicas que usa un profesional.

Teniendo en cuenta la información anterior, las principales actividades que realiza un campesino son: Monitorear el cultivo, redactar un informe sobre el estado del cultivo y tomar direcciones sobre el cultivo. Estas actividades representan el diagrama de casos de uso del mundo real.



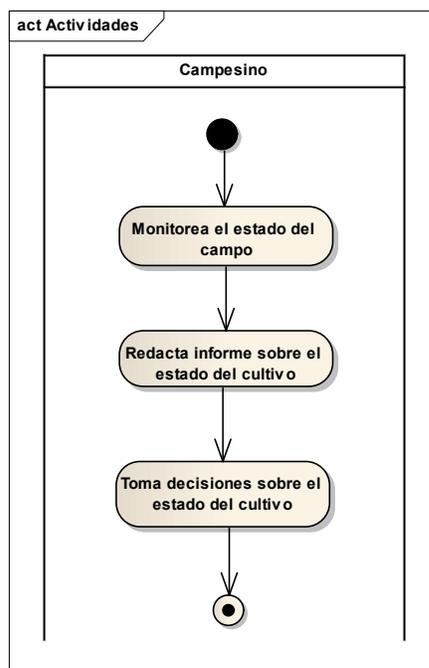
*Ilustración 4 Diagrama de casos de uso del mundo real*

#### ***4.1.1.4. Diagrama de actividades del mundo real***

El proceso para determinar el estado del cultivo, comienza con el monitoreo, el cual implica saber en qué condiciones se encuentran las variables ambientales que influyen en el desarrollo del cultivo, así como el estado de las plantaciones y calcular el consumo de insumos gastados en su sostenimiento.

Después de analizar los resultados del monitoreo, se procede a crear un informe, el cual contiene de forma detalla y precisa los datos recolectados. Se aclara que no todos los campesinos redactan un informe, puede que anoten o tomen ciertos comentarios de los puntos anteriormente mencionados, pero por efectos del desarrollo del proyecto se le denomino informe. Este informe, más la experiencia del campesino se determinar si se están usando de forma adecuada o no los recursos destinados al cultivo.

Por último, el campesino dictamina si hay cambios en los procedimientos que se están llevando a cabo y en el algún momento se reiniciara todo el procedimiento planteado dando como resultado el siguiente diagrama de actividades:



*Ilustración 5 Diagrama de actividades del mundo real*

#### **4.1.2. Ámbito del sistema**

Para mejorar la presentación de la información generada sobre el estado del cultivo, se pretende intervenir en el proceso de monitoreo de variables ambientales, con la ayuda de un sistema compuesto por una aplicación web y componentes hardware incorporados en las hectáreas de tierra del campesino.

El sistema generará gráficas, mapas de calor, historial de datos, etc. Todo lo anterior, a partir de los datos censados por los dispositivos. Esto permitirá al campesino un mejor manejo en la toma de decisiones respecto al agro.

##### ***4.1.2.1. Visión general de la especificación de requerimientos***

A continuación, se presentará una descripción de cada una de las funcionalidades del proyecto, interfaces generales, adaptaciones, restricciones, herramientas que permitirán la correcta funcionalidad del sistema, desarrollo de los requerimientos y servicios.

#### ***4.1.2.2.Perspectiva del producto***

El sistema de medición de variables ambientales generará diferentes visualizaciones de los datos obtenidos por los nodos implementados en el campo del cliente. Actualizando datos en tiempo real, y creando historial de los mismos. En esta sección se detallan las diferentes interfaces del sistema, así como el proceso de interacción con los usuarios, las restricciones que se presentan y los requerimientos de estas.

#### ***4.1.2.3.Funciones del producto***

El sistema se plantea como una plataforma web que cuenta con una lógica computacional que permite a los clientes visualizar información de sus tierras y dispositivos encargados de la recolección de información. Por otra parte, los clientes que accedan a este sistema deben poder crear diferentes zonas, estas representaran sus tierras. Las siguientes funcionalidades se centran en apoyar el monitoreo del cultivo:

- Gestión de usuarios.
- Gestión de zonas.
- Cálculo y visualización de datos.

#### ***4.1.2.4.Requisitos futuros***

- Creación de nodos especializados, cada cultivo requiere la recolección de información específica o cuentan con condiciones ambientales hostiles que requieren dispositivos especiales.
- La aplicación podrá soportar múltiples idiomas, para tener un mayor alcance a la población.

#### **4.1.3. Requisitos**

Las siguientes tablas corresponde a los requisitos funcionales y no funcionales del software, para el sistema de medición de variables ambientales para agricultura de precisión con software libre.

Se entienden como requisitos funcionales a los servicios que prestará el sistema y la forma en que reaccionará a determinados insumos. Los requisitos funcionales del presente proyecto se encuentran definidos en la Tabla 4 Tabla de Requisitos Funcionales.

*Tabla 4 Tabla de Requisitos Funcionales*

<b>#</b>	<b>Requisito Funcional</b>	<b>Descripción</b>
<i>RF1</i>	Manejo de usuarios.	El sistema debe estar en la capacidad de administrar usuarios, con el objetivo de no permitir el acceso a cualquier individuo. Los datos de usuario que se deben suministrar son: Nombre, Apellido, E-mail, nombre de usuario y contraseña.
<i>RF2</i>	Manejo de zonas.	El sistema permitirá la creación, modificación y eliminación de las zonas en el sistema. El usuario debe suministrar datos como: Nombre de la zona, periodo de muestreo, descripción, etc.
<i>RF3</i>	Ver el estado de las variables del cultivo.	Las variables del cultivo se deben visualizar en diferentes formatos, tales como: mapas de calor, gráficas y tablas.
<i>RF4</i>	Asignar nodos.	El sistema permitirá al usuario la posibilidad de agregarle un nodo o varios a una zona en particular.
<i>RF5</i>	Tener acceso a los datos almacenados.	El usuario no debe estar atado al uso específico de una página, debe tener la opción de usar sus datos como desee.

Los requisitos no funcionales no se refieren directamente a las funciones específicas suministradas por el sistema, sino a las propiedades del sistema: rendimiento, seguridad, disponibilidad, los cuales para el presente proyecto son presentados en la siguiente tabla.

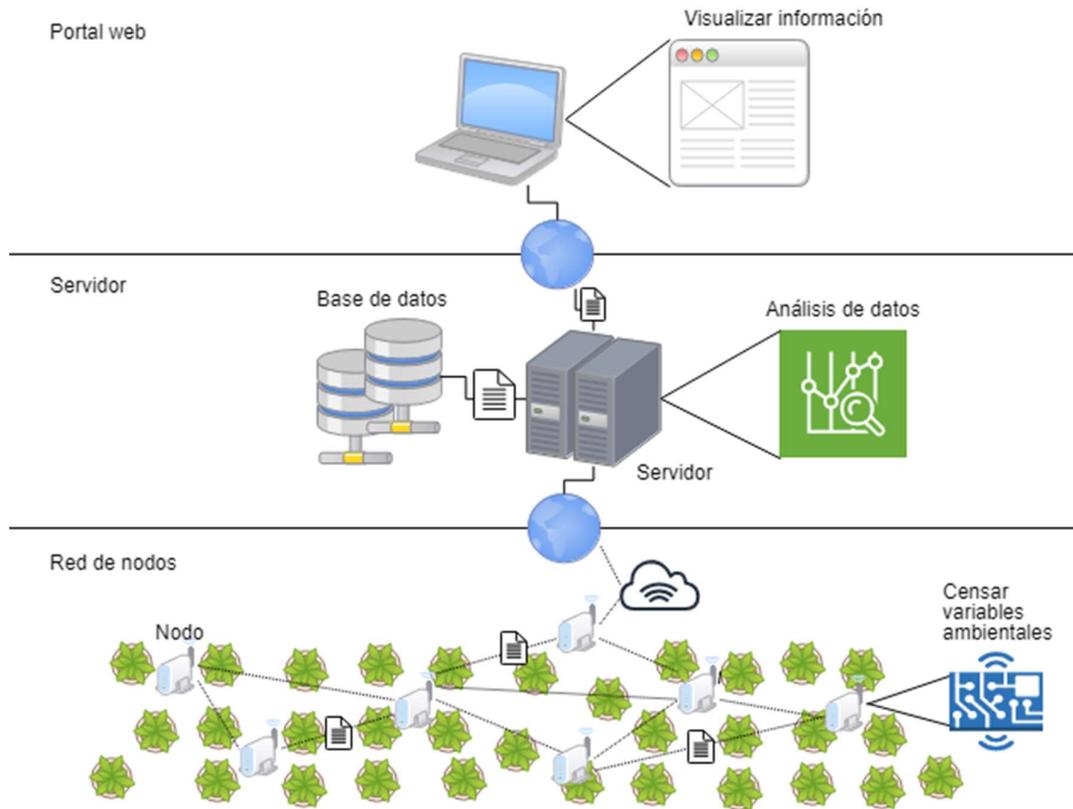
Tabla 5 Tabla de Requisitos no funcionales

#	Requisito No-Funcional	Descripción
<i>RNF1</i>	Usabilidad	El sistema debe ser fácil de usar para cualquier usuario.
<i>RNF2</i>	Rendimiento	El sistema debe soportar una gran cantidad de datos para procesar.
<i>RNF3</i>	Seguridad	El sistema debe asegurar la información de las zonas, dado que estos datos permitirán una mejora de decisiones a futuro.
<i>RNF4</i>	Portabilidad	El sistema debe ejecutarse en varios sistemas operativos y plataformas.
<i>RNF5</i>	Disponibilidad	El sistema debe permanecer disponible para los usuarios.

Para tener más detalles sobre este apartado dirigirse al documento “Documento de Requisitos.docx” en la carpeta del proyecto.

#### 4.1.4. Arquitectura general

De acuerdo a los requerimientos del sistema, el enfoque que se le dio a la solución y como implementó, se produjeron los siguientes artefactos, los cuales están resumidos en el siguiente esquema general, que sirven como apoyo para la explicación del sistema a usuarios que no estén familiarizados con los componentes de este, seguidamente se mostrarán la arquitectura técnica del sistema.



*Ilustración 6 Esquema General del Sistema (Autoría Propia)*

El esquema anterior se divide en 3 secciones, la mejor forma de entenderlo es partiendo desde la base “Red de nodos”, la cual está conformado por los nodos interconectados para obtener datos del cultivo, enviárselos entre ellos y por medio de un Gateway o puerta de enlace, conectarse a internet para poder enviar los datos al servidor.

Posteriormente en la sección de “Servidor”, el servidor almacena, analiza los datos obtenidos y espera a que se le hagan peticiones para mostrar esta información a lo que sería la sección de “Portal web”.

## 4.1.5. Modelo de Sistema

### 4.1.5.1. Vista de escenarios

#### 4.1.5.1.1. Casos de Uso de la plataforma SMAVA

En los siguientes diagramas se exponen las funcionalidades del aplicativo web y del dispositivo, los cuales fueron desarrollados teniendo en cuenta los requisitos funcionales y no funcionales.

Para el diagrama de casos de uso representado en la Ilustración 7 Diagrama de casos de uso Aplicativo (Autoría propia), se tienen como actores al administrador y al usuario estándar.

El administrador del sistema se encarga de la parametrización de usuarios y zonas, por lo tanto, las funcionalidades que tiene a su disposición son la creación, modificación, eliminación de usuarios y zonas para los usuarios (gestión de usuarios y zonas). Por otro lado, se encarga de la administración y configuración de los dispositivos, dado que al gestionar las zonas de los usuarios establece parámetros necesarios para configuración de los nodos.

El usuario estándar por otra parte puede visualizar los datos obtenidos por los dispositivos y dispone de las diferentes opciones del aplicativo para dicha labor.

El dispositivo en diferente medida se encarga de censar las variables ambientales y enviar los datos al servidor de la aplicación, tal como se especifica en la Ilustración 8 Diagrama de Casos de Uso Dispositivo (Autoría propia).

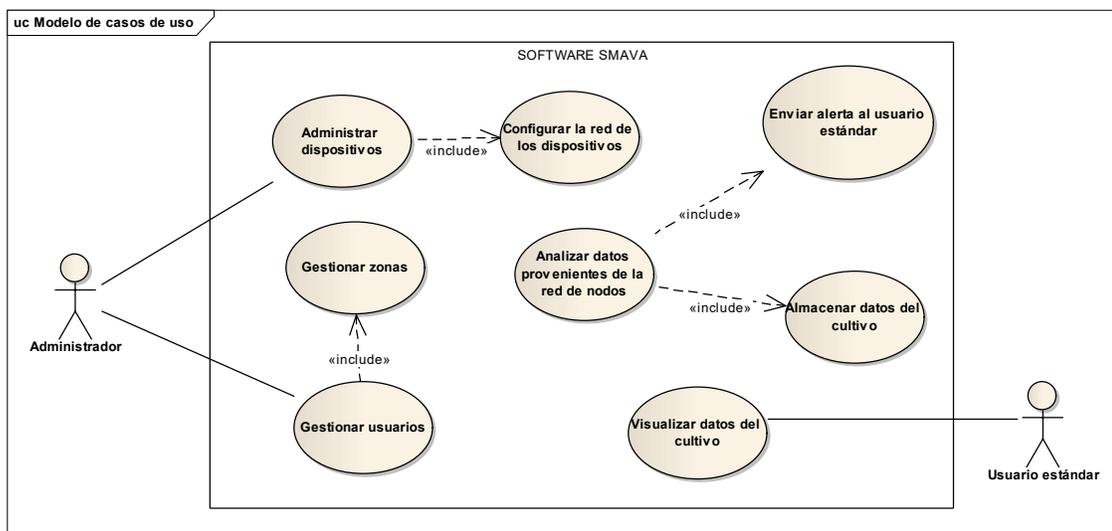


Ilustración 7 Diagrama de casos de uso Aplicativo (Autoría propia)

#### 4.1.5.1.2. Casos de Uso del Software Embebido

El dispositivo interoperará con el aplicativo a través de un broker MQTT, lo cual brinda la posibilidad de conectar a diferentes plataformas en caso de ser necesario.

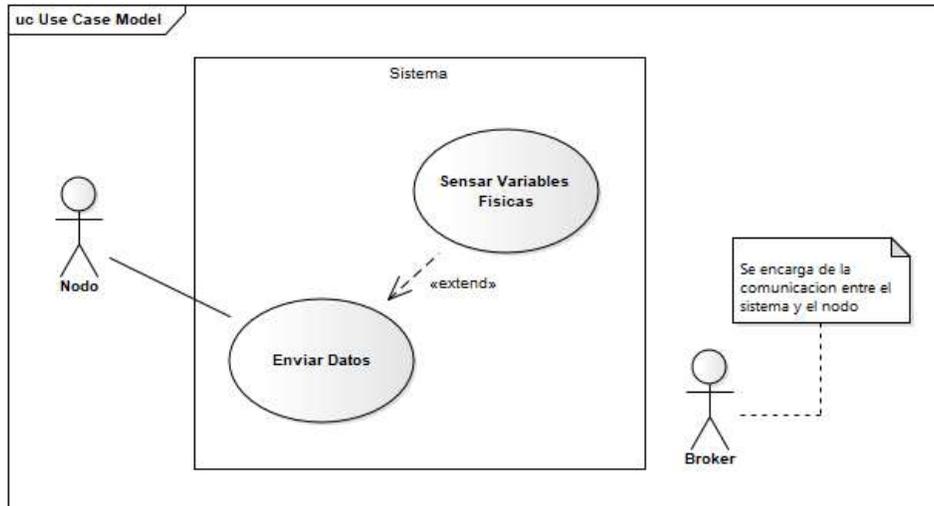


Ilustración 8 Diagrama de Casos de Uso Dispositivo (Autoría propia)

#### 4.1.5.2. Vista de lógica

##### 4.1.5.2.1. Diagrama de clases de la plataforma SMAVA

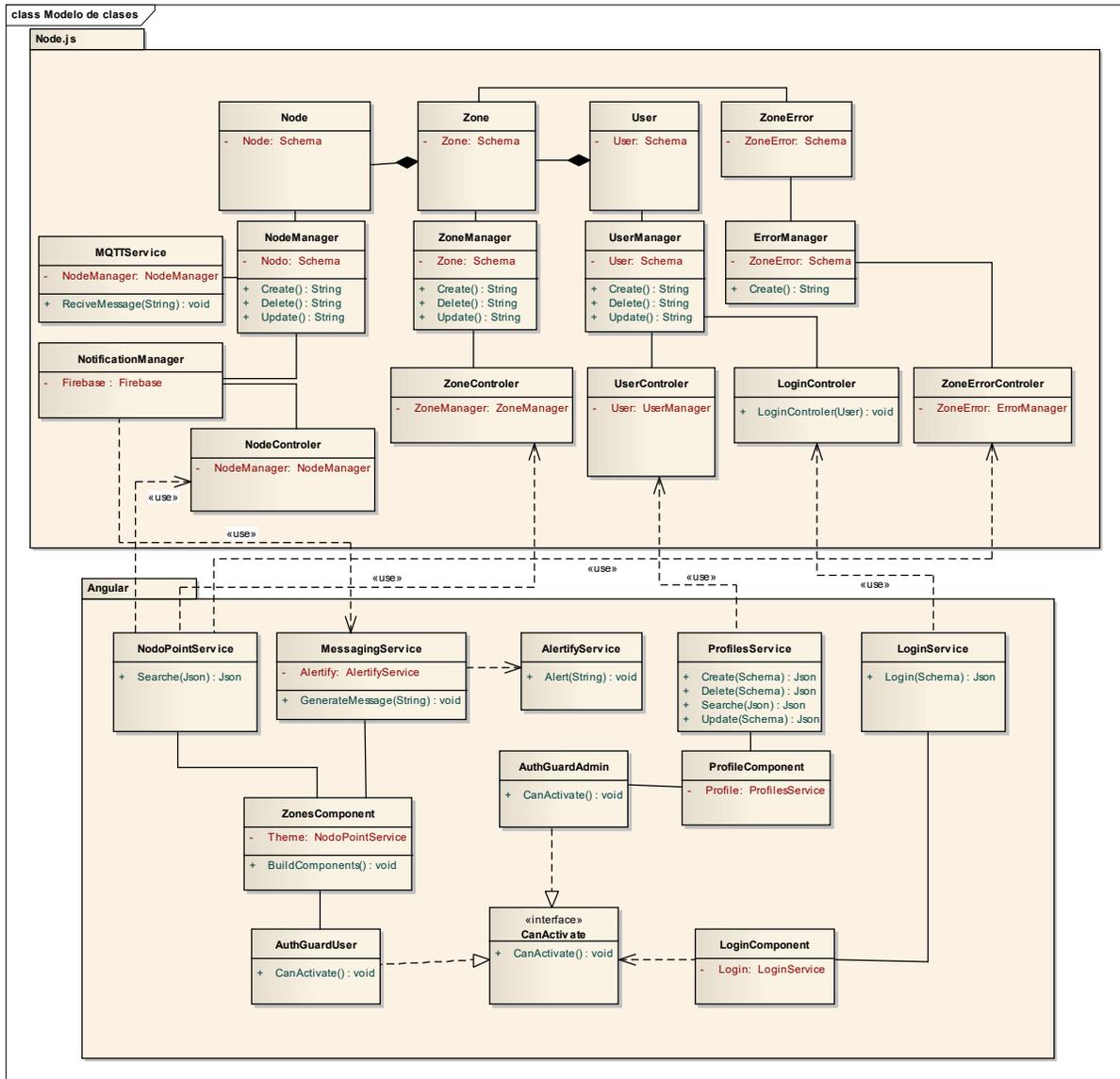


Ilustración 9 Diagrama de Clases del Software (Autoría propia)

El anterior diagrama es una aproximación a un modelo de clases para la arquitecta que implementa el entorno de desarrollo Node.Js y Angular. Para NodeJs, las clases situadas al inicio de la carpeta Node.js son esquemas, estos son representaciones de los datos que almacena la base de datos. Seguidamente se tienen las clases que tienen Manager en su nombre, estas son clases en JavaScript que encapsulan los métodos que se pueden usar con estos esquemas, tales como creación, edición y borrado. Y las clases que tienen controller en su nombre tienen las URIs, que no son más que enlaces para que Angular tenga acceso a los datos del servidor.

La clase NotificationManager es la única que tiene un puente con Angular promedio de un token, que le permite enviar mensaje a los usuarios, esta funcionalidad se explica en el objetivo dos de la metodología.

Angular maneja una arquitectura en capas que puede ser descrita por componentes: HTML con lógica en JavaScript y servicios: Lógica en JavaScript que permite la conexión con datos externos.

Angular ofrece diversos servicios que facilitan la programación, uno de ellos vendría siendo CanActivate, este se ilustra en el diagrama de clases debido a que es el encargado de determinar qué páginas puede o no acceder un usuario. Como se puede ver en el diagrama el componente de inicio de sesión o LoginComponent depende de esta clase, la cual sirve para establecer los permisos a los usuarios.

Para una descripción más detallada de la implementación tecnología del proyecto, ver el objetivo 2 de la metodología.

#### 4.1.5.2.2. Diagrama de clases del software embebido

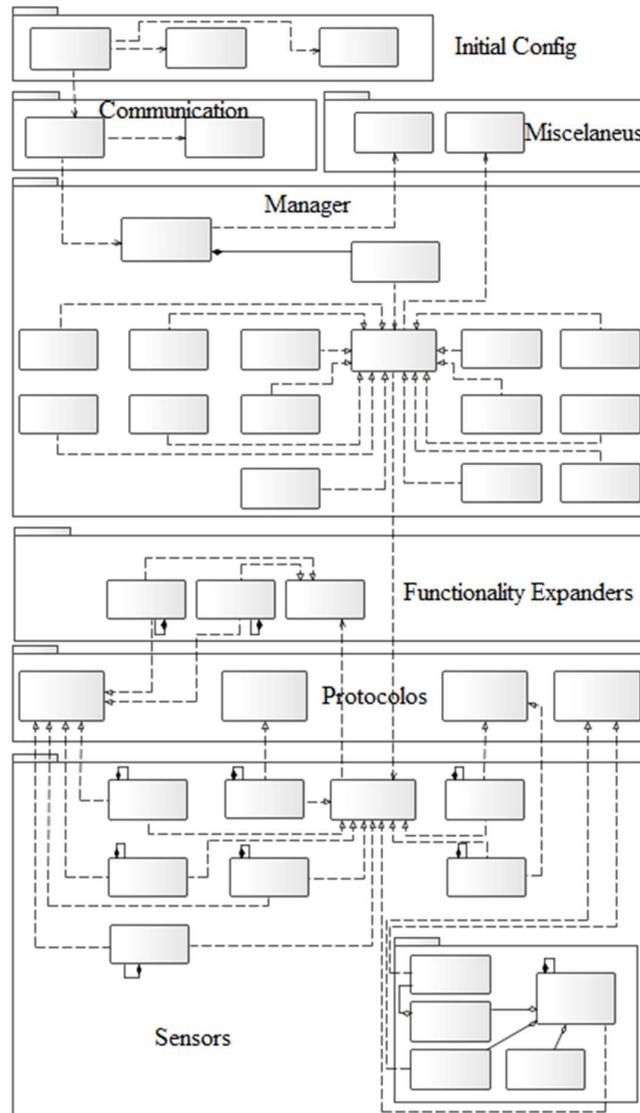
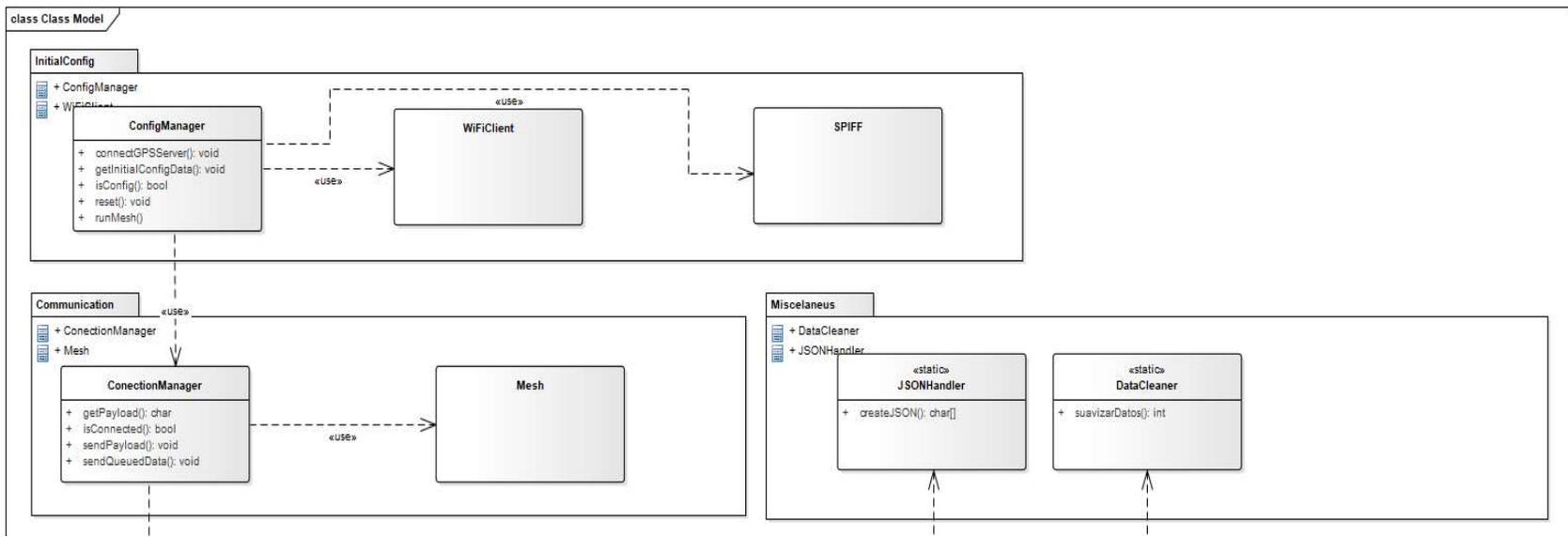


Ilustración 10 Diagrama de clases del nodo (Autoría Propia)

La Ilustración 10 representa el diagrama de clases del software embebido, se decidió presentar el diagrama en su forma completa, mencionando únicamente sus paquetes. Posteriormente se detalla cada uno de los paquetes que lo conforman.

El diagrama está estructurado en los siguientes paquetes empezando desde los inferiores hasta los superiores: Sensores, Protocolos, Periféricos, Gestores, Comunicación y Miscelánea.



*Ilustración 11 Paquetes Varios del Software Embebido*

El paquete “Communication” se encarga de gestionar la configuración y encendido de la Malla a través de la interfaz externa Mesh.

El paquete “Miscelaneus” implementa dos clases que son utilizadas a lo largo del desarrollo, pero que no son esenciales para ningún paquete, JSONHandler permite realizar operaciones tales como convertir mensajes en formato JSON a objetos en memoria, y Datacleaner implementa algoritmos de suavización de datos para evitar enviar datos corrompidos por las interferencias del ambiente.

El paquete “Initial Config” implementa todo el proceso de configuración inicial del nodo, este se conecta al Servidor GPS y una vez recibe los datos de este, se permite al paquete “Communication” empezar su proceso.

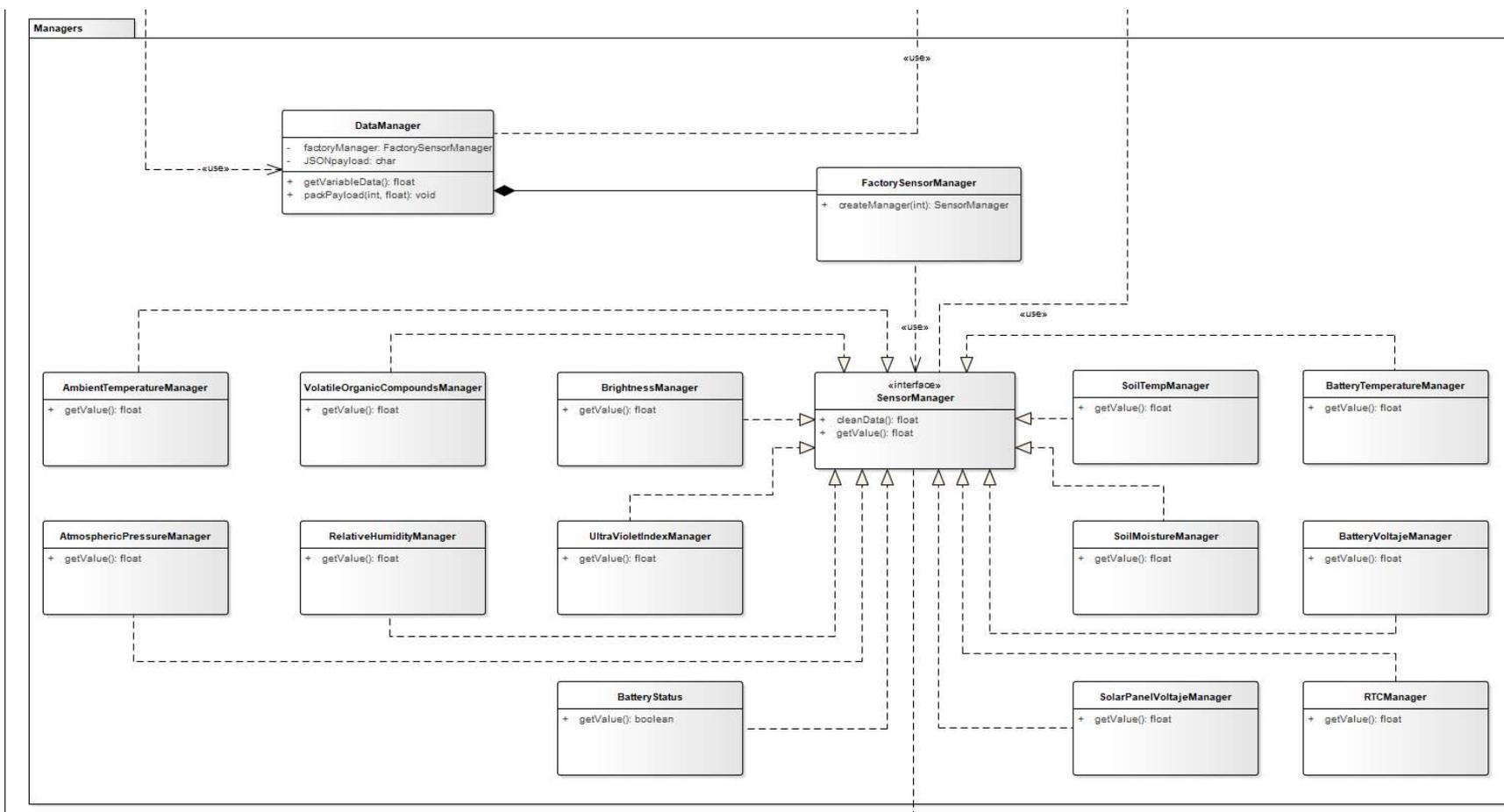


Ilustración 12 Paquete Managers

El paquete “Manager” resuelve el problema de fragmentación de memoria heap y el desbordamiento de la pila del micro controlador, mediante la creación de objetos pequeños, que pueden ser alojados en la memoria, de modo que su tamaño no varía tanto, lo que evita la creación

de instancias que ocupan más espacio en memoria y no permiten trabajar libremente. El problema de Polling, que hace referencia a una operación de consulta constante, generalmente hacia un dispositivo de hardware, para crear una actividad sincrónica sin el uso de interrupciones, se corrige implementando los tiempos de muestreo en cada uno de los gestores de las diferentes variables que a su vez implementan sensores específicos, evitando la saturación del bus I2C, por el cual se extraen las variables físicas ya sea a través de los periféricos o de los sensores en sí.

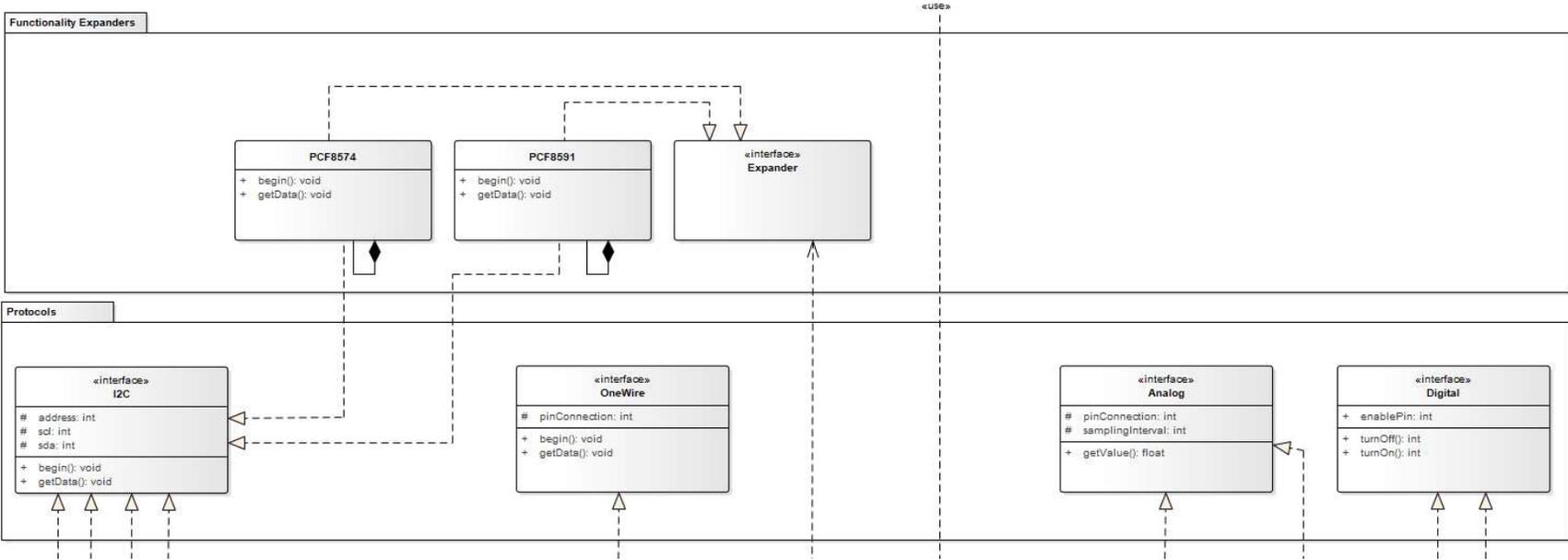


Ilustración 13 Paquete Functionality Expander

El paquete “Functionality Expanders” implementa los componentes que permiten al micro controlador principal expandir sus funcionalidades tales como más I/O, ADC, etc.

El paquete de “Protocolos” permite establecer una base de trabajo para cada uno de los sensores y periféricos que implementan protocolos, unificando la invocación de métodos dentro del software.

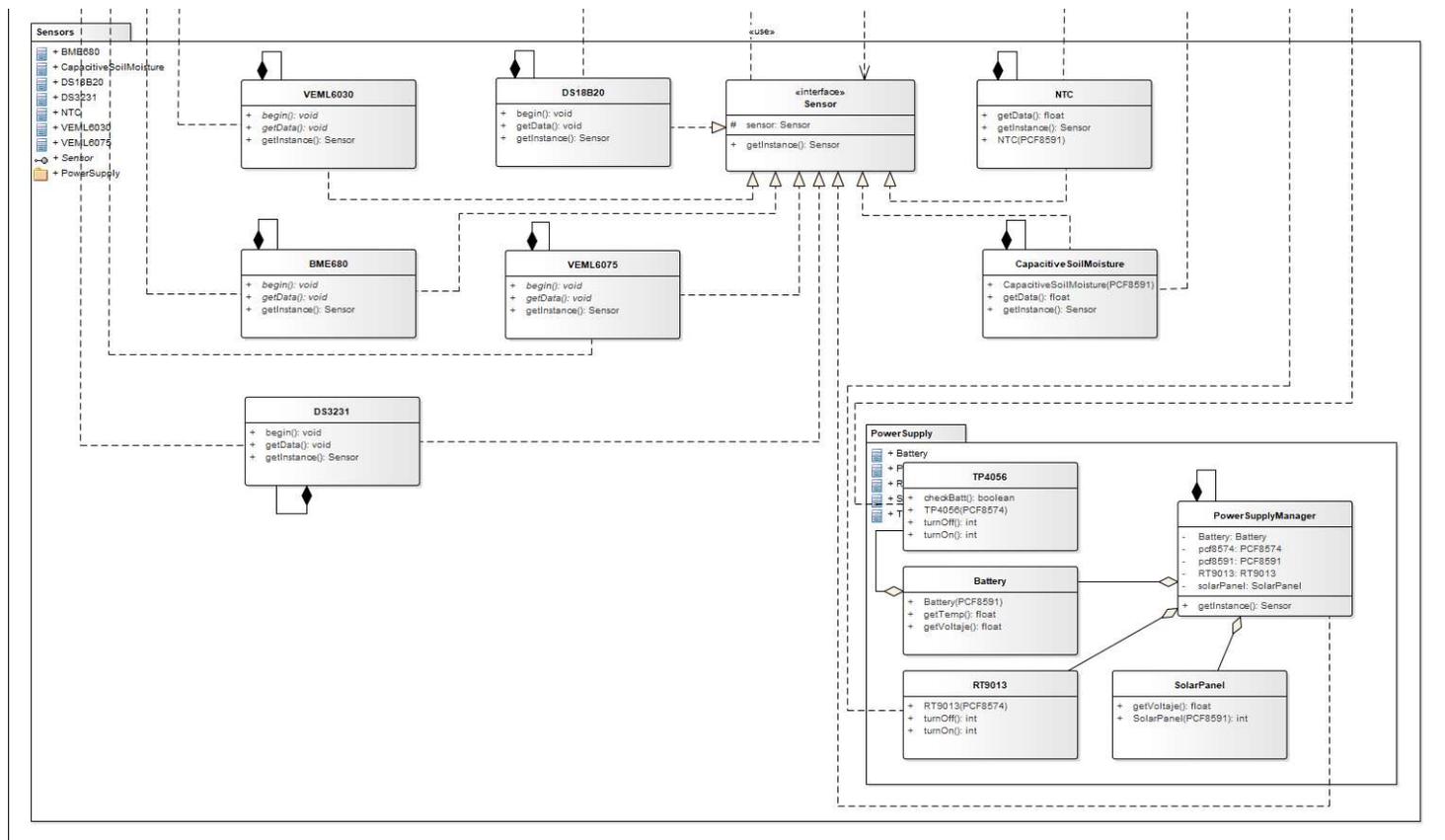
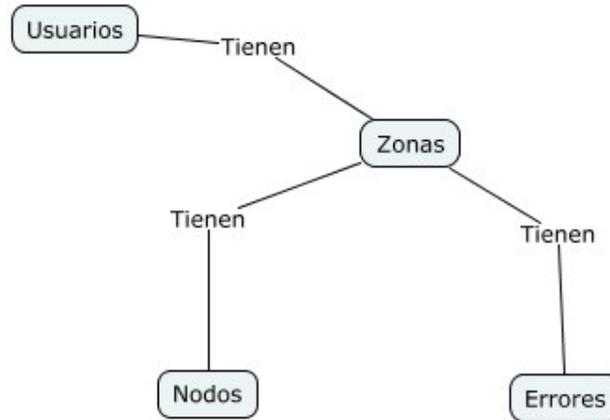


Ilustración 14 Paquete Sensor

El paquete “Sensors” contiene los componentes hardware encargados de traducir las variables físicas a señales digitales, estos solo poseen una única instancia dentro del software. Este paquete implementa inyección de dependencias en algunos sensores debido a que el micro controlador inicialmente propuesto no cumplió con lo necesario para implementar todo lo que conlleva el prototipo, es por ello que se aprecia la relación de uso entre la Interfaz “Sensors” y “Functionality Expander”.

#### 4.1.5.2.3. Esquema de base de datos

En la Ilustración 15 Esquema de base de datos (Autoría propia), se puede ver la estructura que se planteó para el esquema de base de datos.



*Ilustración 15 Esquema de base de datos (Autoría propia)*

Dentro del proceso de investigación se determinó el uso de una base de datos no relacional, por lo cual el modelo de entidad de relación no es el más adecuado a la hora de representar este tipo de base de datos. Se decidió este tipo de esquema debido a la naturaleza cambiante que se requiere en el proyecto.

Para las bases de datos no relacionales los esquemas pueden ser representados de muchas maneras, la Ilustración 15 Esquema de base de datos (Autoría propia) representa la base de datos como un mapa mental, en donde se tienen usuarios que a su vez tienen zonas, estas zonas tienen nodos y errores. Para una descripción más detallada del esquema implementado ver como se desarrolló el objetivo 2 de la metodología.

#### 4.1.5.2.4. Diagramas de secuencia de la plataforma SMAVA

##### 4.1.5.2.4.1. Autenticación de usuario

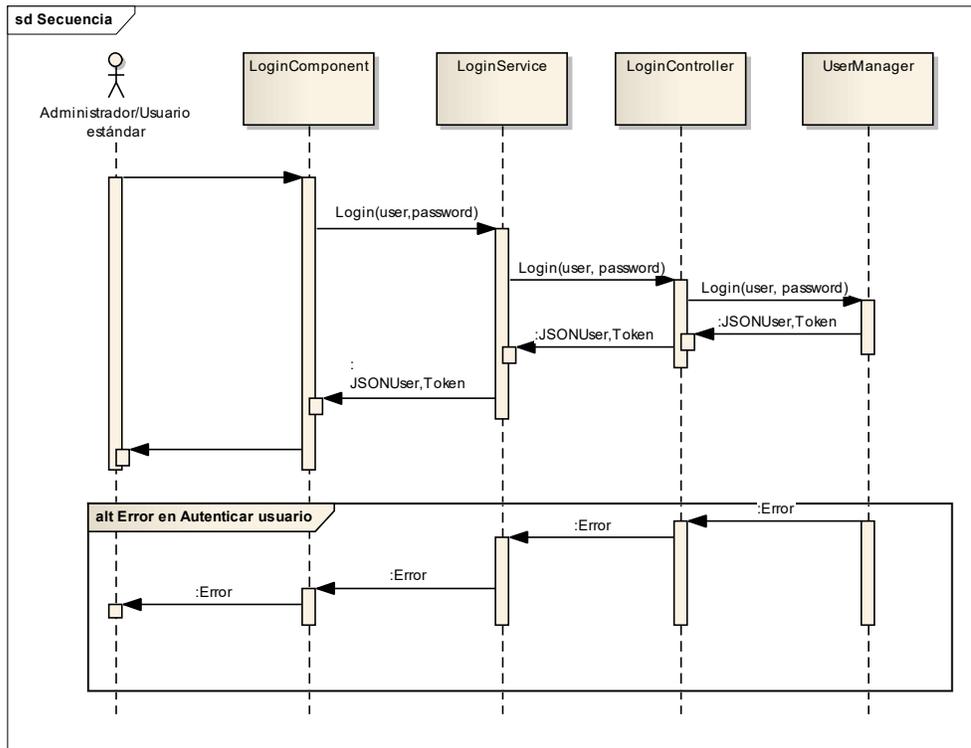


Ilustración 16 Diagrama de secuencia de autenticación de usuario (Autoría propia)

El primer paso para acceder al aplicativo es por la autenticación, en la Ilustración 16 Diagrama de secuencia de autenticación de usuario se puede observar la secuencia de pasos para dicho proceso. La secuencia parte desde la vista de LOGIN (Login Component) en donde el usuario digita su nombre de usuario y contraseña, seguidamente se hace uso de un servicio, el cual invoca un controlador de autenticación, este vendría siendo el límite entre las peticiones de la página y el servidor. Seguidamente se usa el UserManager, una clase que compara la información recibida con la almacena en la base de datos usando y si el proceso resulta exitoso, retornar el token de autenticación y los datos del usuario.

En caso de error, se retorna un mensaje de error desde el punto donde se originó la falla y no se ejecuta la autenticación del usuario.

#### 4.1.5.2.4.2. Creación de Usuario

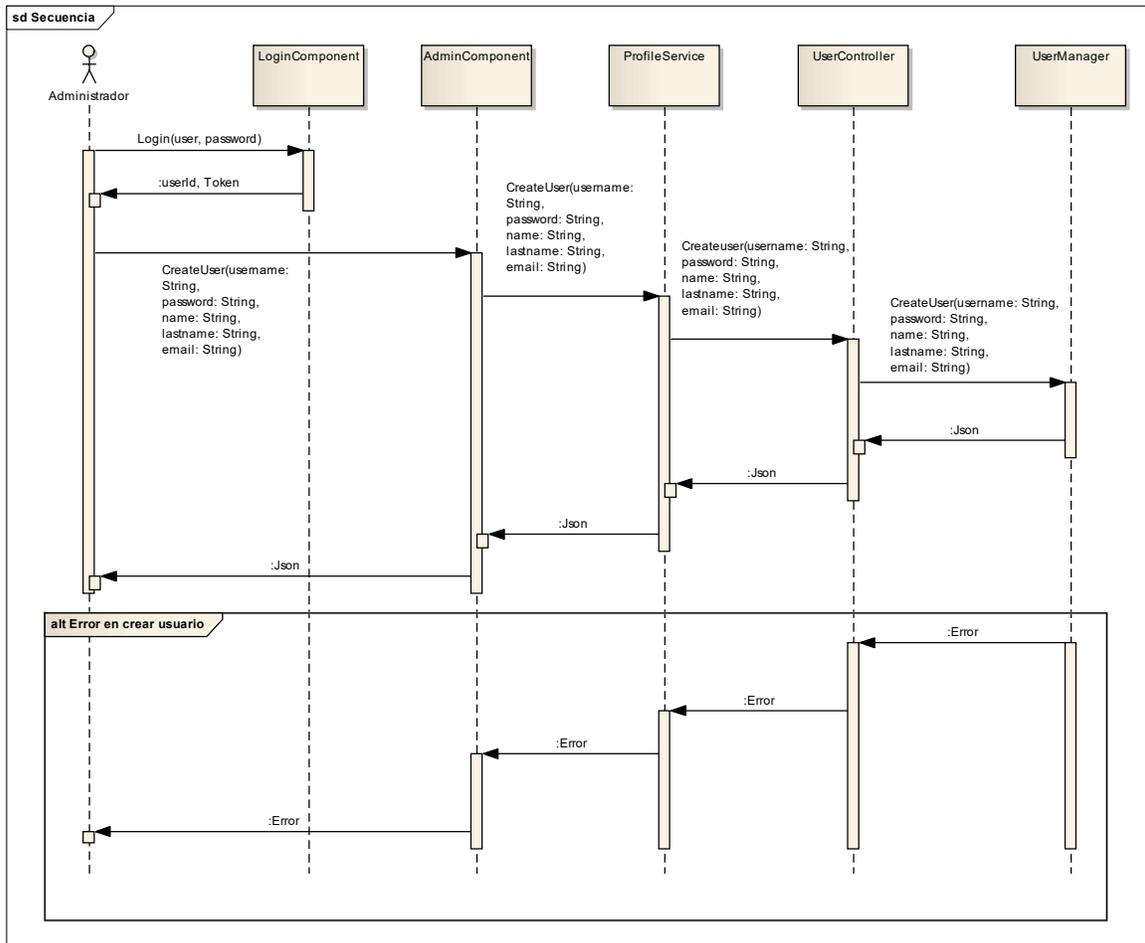


Ilustración 17 Secuencia de creación de usuarios (Autoría Propia)

Para la creación de un usuario estándar, el administrador debe realizar la secuencia de autenticación exitosamente y una vez dentro de la aplicación debe dirigirse a la vista de creación de usuarios, introducir los datos del usuario y dar aceptar, en la Ilustración 17 Secuencia de creación de usuarios, se presenta lo que ocurre internamente en el proceso. Seguidamente el sistema recurre al servicio de Angular que conducirá a un controlador de Node.js, y al igual que en el proceso de autenticación se hará uso del UserManager, pero en este caso almacenará la información enviada y envía una respuesta en formato JSON indicando que finalizó con éxito. Los procesos de modificación y borrado siguen la misma secuencia, pero el resultado cambia según la acción ejecutada, en caso de error, se retorna un mensaje de error desde el punto donde se originó el error y no se ejecuta ningún proceso.

#### 4.1.5.2.4.3. Creación de Zonas

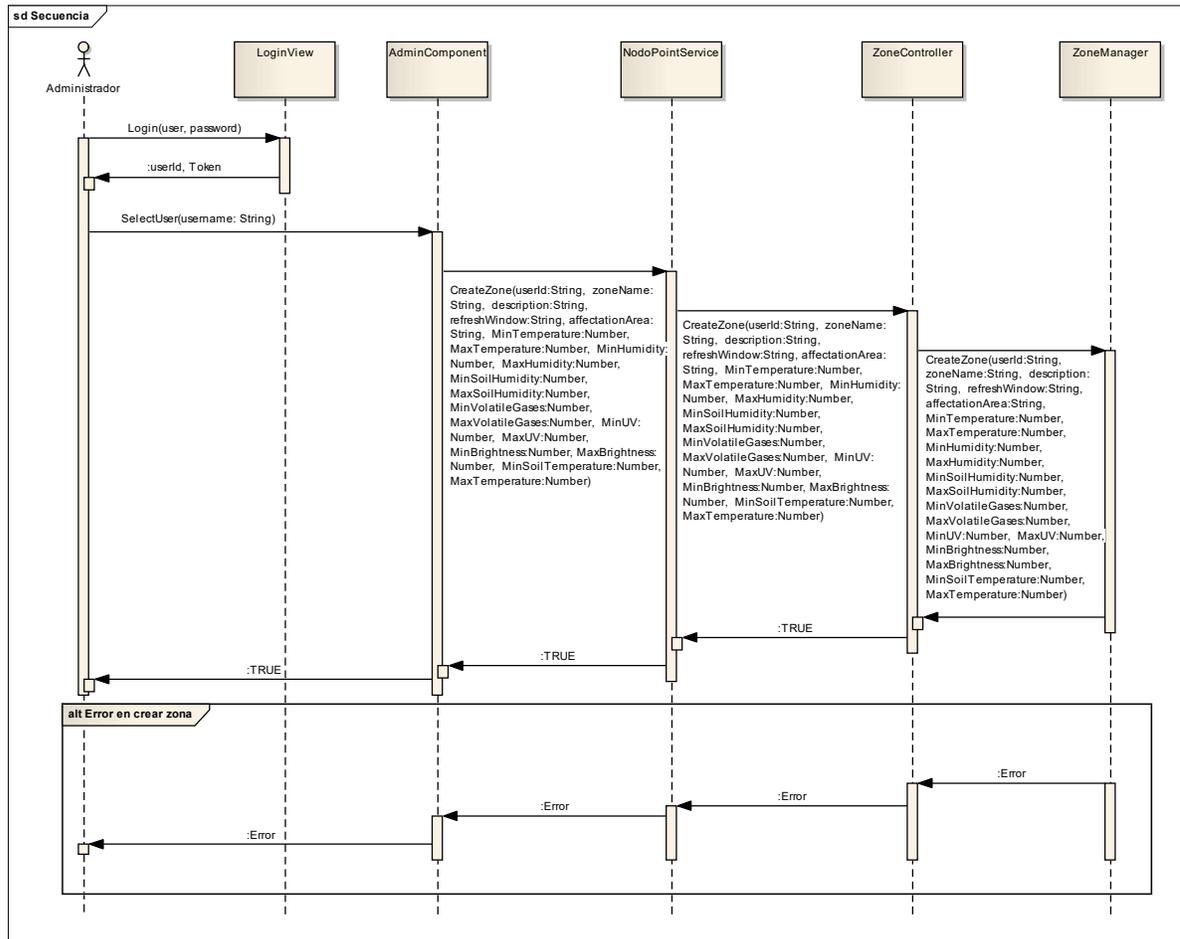


Ilustración 18 Secuencia de creación de zonas (Autoría Propia)

En la en la Ilustración 18 Secuencia de creación de zonas (Autoría Propia), se ilustran los procesos internos para crear una zona. La secuencia se asemeja al proceso de creación de usuario, pero primeramente se debe seleccionar un usuario y en la vista de usuarios seleccionar la opción de crear zona, esto permitirá al administrador digitar los datos de la nueva zona, los cuales están definidos y explicados en el objetivo dos. Se tiene el ZoneManager en vez del UserManager, con el objetivo de gestionar la información de la zona. Si se desea modificar o eliminar una zona, se siguen la misma secuencia de pasos, pero el resultado dependerá de la opción deseada y al igual que en procesos anteriores si ocurre un error, este se notifica y el proceso no se concluye.

#### 4.1.5.2.4.4. Visualizar gráficas y mapas de una zona

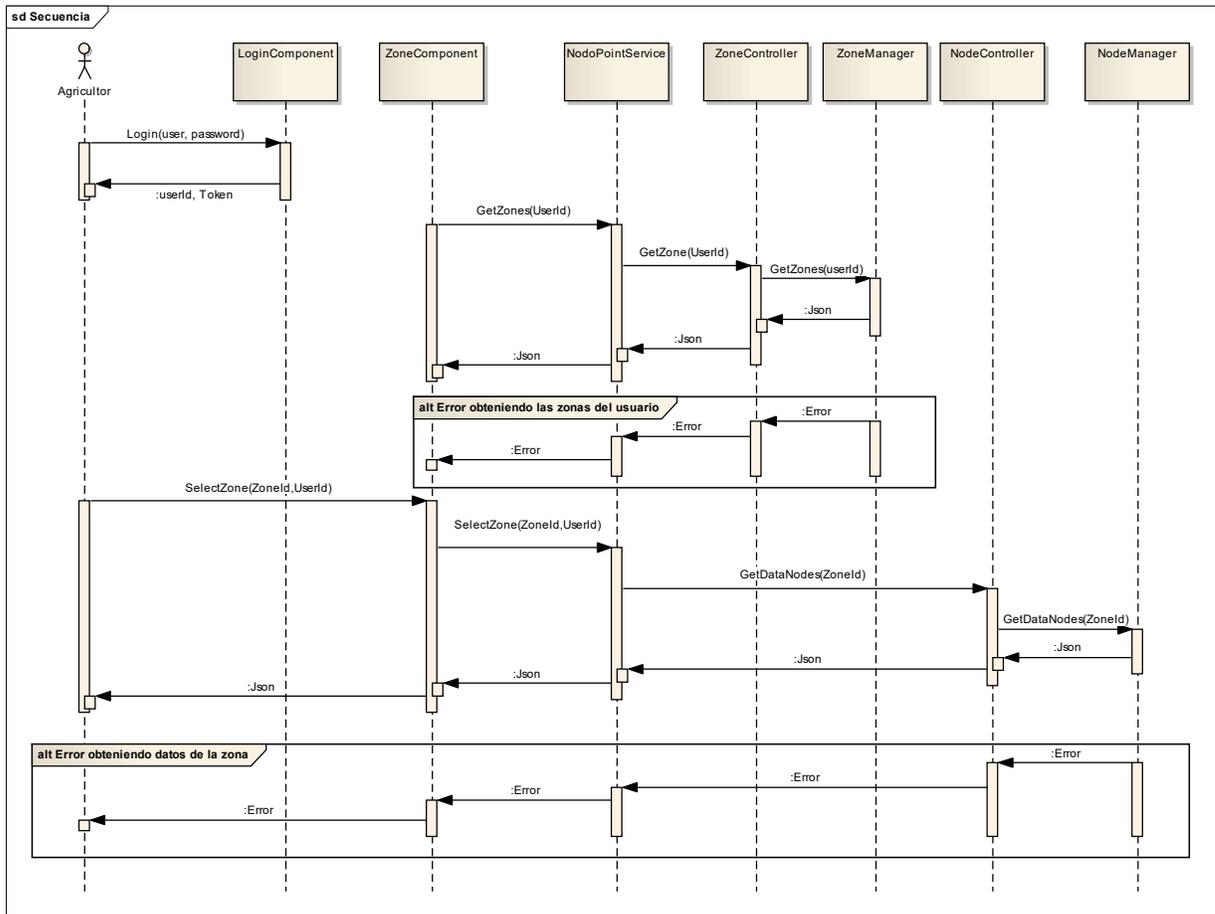


Ilustración 19 Secuencia de monitoreo de cultivo (Autoría Propia)

El usuario estándar tiene la labor de monitorear el cultivo, para ello debe realizar el proceso de autenticación, la página automáticamente lo dirige a la pantalla de gráficas, seleccionará la primera zona que encuentre y mostrará sus datos. Este proceso se puede observar en la Ilustración 19 Secuencia de monitoreo de cultivo. Para este apartado, debido a que se necesitan los datos de los nodos, se hace uso de NodeManager, el cual se encarga de gestionar los datos que recolectan los nodos.

#### 4.1.5.2.4.5. Diagrama de secuencia del software embebido

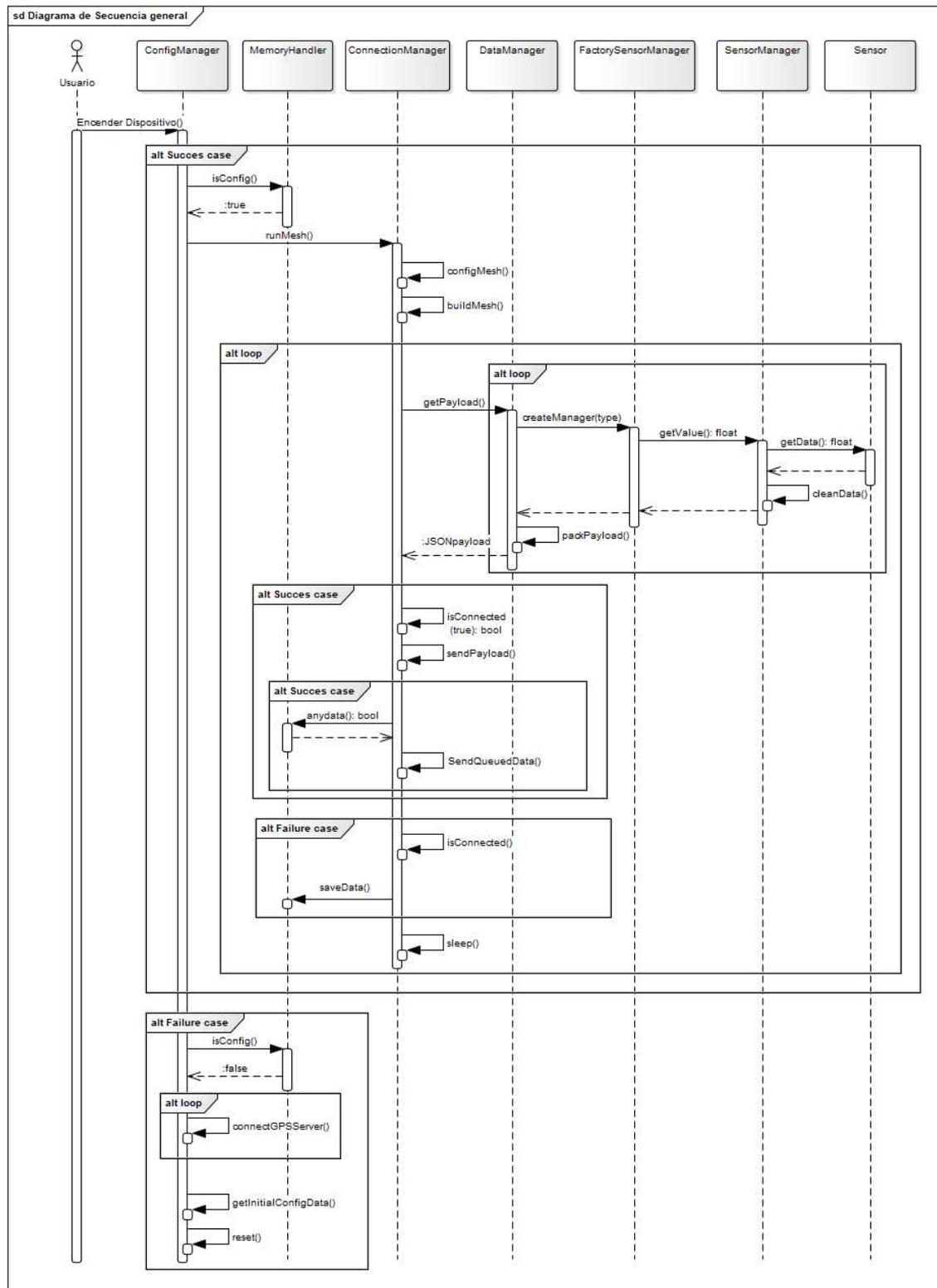


Ilustración 20 Diagrama de Secuencia del Software Embebido (Autoría propia)

### 4.1.5.3. Vista de procesos

#### 4.1.5.3.1. Diagrama de Actividades

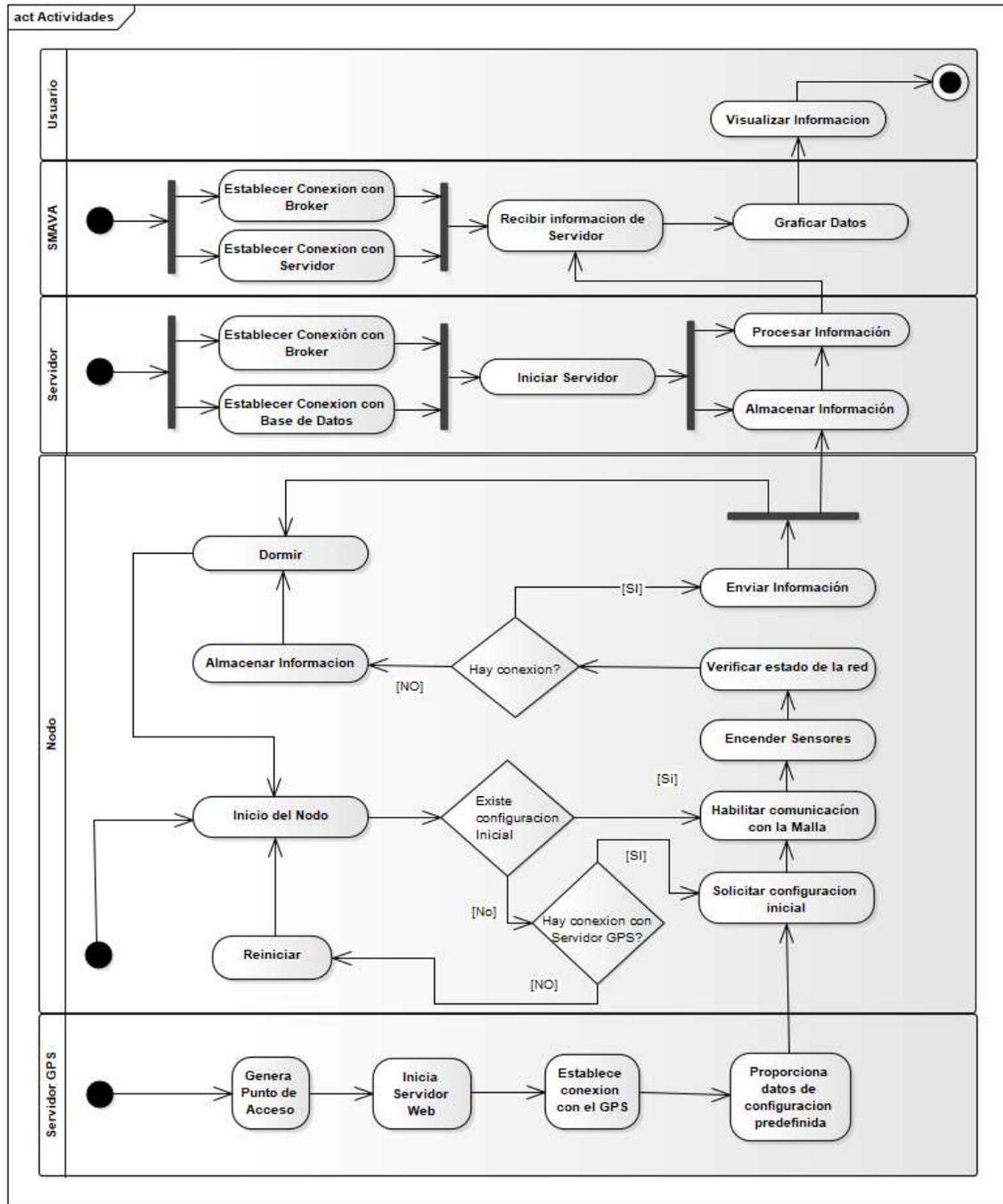


Ilustración 21 Diagrama de Actividades General (Autoría propia)

Una vez el nodo es iniciado o encendido por el usuario, este automáticamente verifica el archivo de configuración en memoria, si el archivo de configuración existe se asume que el dispositivo fue previamente configurado y se procede a realizar todos los procesos pertinentes

para establecer la comunicación con los demás nodos y formar la malla, de no haber un archivo en memoria se procede a conectarse al dispositivo configurador Servidor GPS que contiene toda la información necesaria previamente cargada y se la suministra al nodo una vez este la solicita.

Una vez la malla de nodos esté en funcionamiento y exista una conexión a Internet, estos proceden a extraer la información de cada uno de los sensores que incorpora el sistema, si el nodo detecta que no tiene conexión con el bróker, este procede a guardar de manera organizada los datos obtenidos y estos serán enviados la próxima vez que el nodo al intente enviar, la información al bróker se habilite la conexión internet.

Los datos enviados por el bróker son inmediatamente leídos por el servidor y este los almacena en la base de datos, así mismo el servidor procesa la información necesaria a ser desplegada en la plataforma desarrollada que finalmente será visualizada por un usuario.

#### ***4.1.5.4.Vista de desarrollo***

##### ***4.1.5.4.1. Diagrama de Paquetes***

Aquí se muestra cómo se planea implementar el software que dará solución al problema de tal forma que se diferencia a simple vista el encapsulamiento y organización entre los componentes a través de los paquetes.

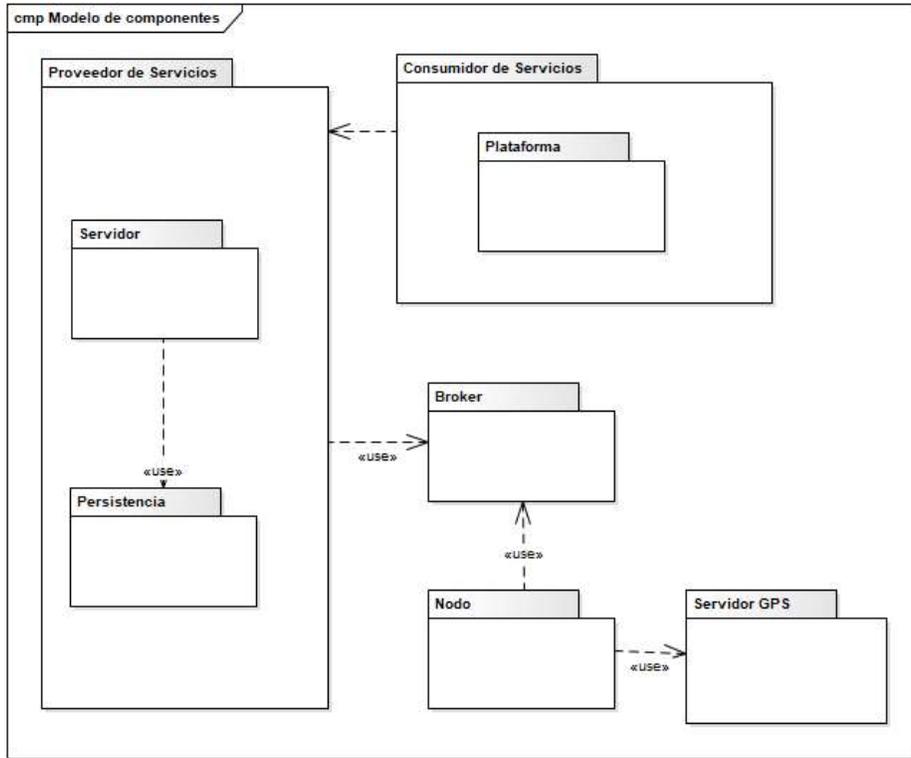


Ilustración 22 Diagrama de paquetes (Autoría Propia)

#### 4.1.5.4.2. Diagrama de Componentes

Se puede ver reflejado en el diagrama de componentes, con un nivel más alto de abstracción, cómo se les da una solución a los requisitos funcionales.

Los componentes que conforman la arquitectura del proyecto tienen cierta orientación al estilo arquitectónico de sistemas distribuidos, ya que se implemente el patrón igual a igual por medio del artefacto BROKER.

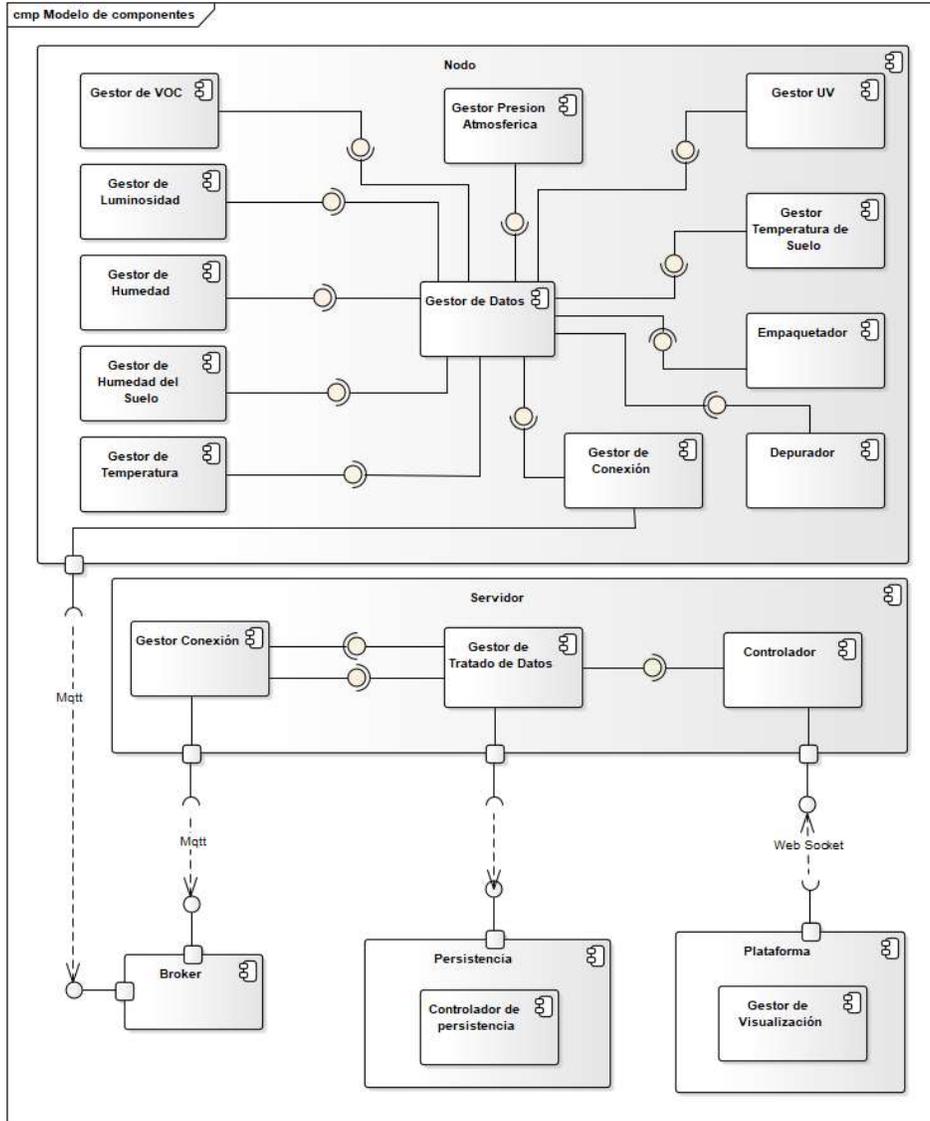


Ilustración 23 Diagrama de componentes (Autoría propia)

#### 4.1.5.5. Vista física.

##### 4.1.5.5.1. Diagrama de Despliegue

En el siguiente diagrama se puede apreciar cómo se planeó hacer el despliegue total del sistema, las tecnologías e interacciones de las mismas en el sistema.

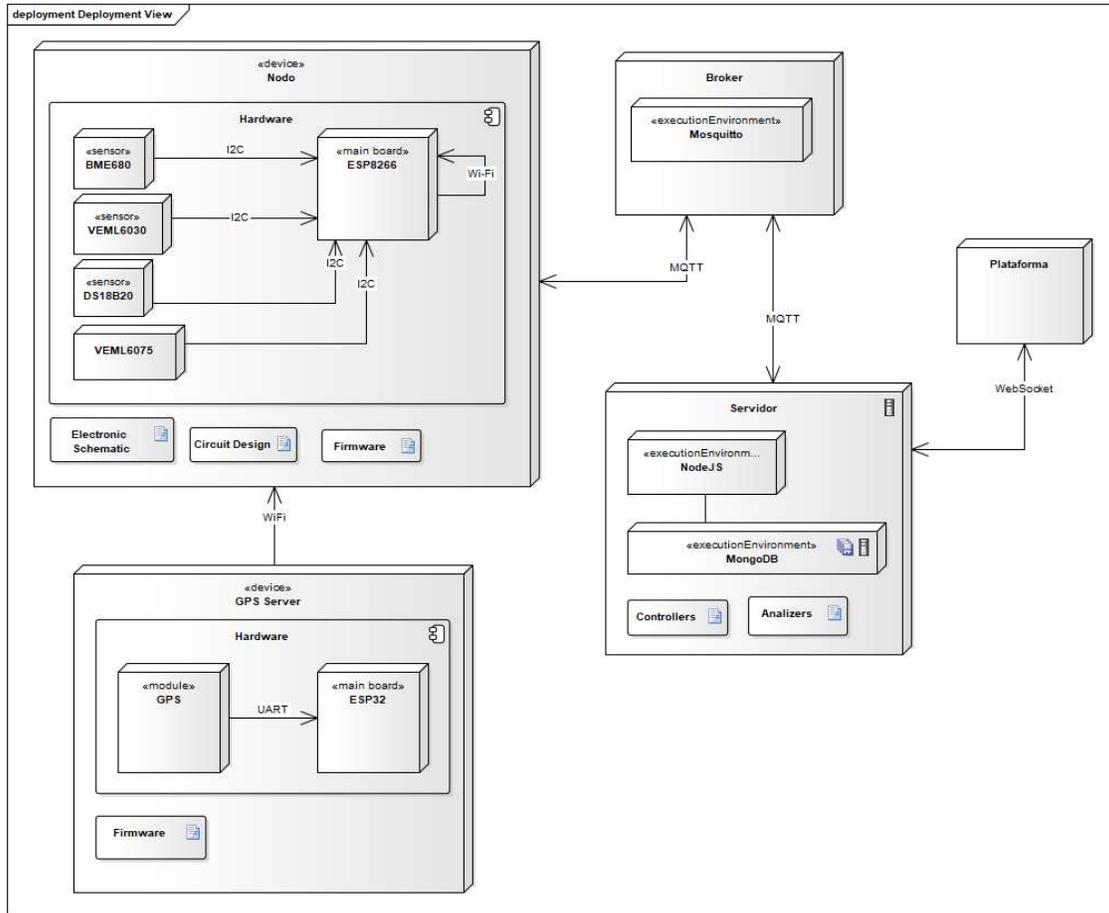


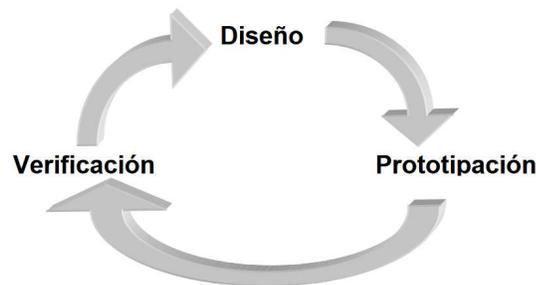
Ilustración 24 Diagrama de despliegue (Autoría propia)

#### **4.2. Diseño del modelo basado en etapas para la selección y aplicación de los componentes a nivel de software y hardware.**

De acuerdo a las necesidades presentadas en este proyecto, el desarrollo de un Firmware y un Software a la medida, es para la ingeniería en la actualidad un reto debido a que no se presenta una forma concreta de abordar este tipo de desarrollos, por lo anterior el presente desarrollo toma como base la metodología de codiseño para definir como modelo, la relación entre esta y SCRUM permite apropiarse de las bondades de estas en la presente investigación (A. Perez, 2006).

El modelo propuesto permite la selección de componentes hardware, utilizando la metodología de codiseño la cual se basa en un análisis Top-Down del producto final, partiendo de una abstracción de alto nivel y a medida que se da el desarrollo, se va seleccionando el hardware necesario, a partir de la satisfacción del modelo de negocio definido en el objetivo 1.

El diseño de hardware tiene un problema fundamental, que no existe en el diseño de software y es el alto costo del ciclo de diseño-prototipación-verificación (Ilustración 25), ya que el costo del prototipo por lo general es bastante elevado.



*Ilustración 25 Proceso iterativo de verificación-diseño-prototipación*

Por lo tanto, se busca minimizar el costo del ciclo anterior, incluyendo la fase de prototipación, únicamente al final del mismo. Esto se consigue mediante la inclusión de una fase de verificación, diseño y simulación que elimina la necesidad de elaborar físicamente un prototipo.

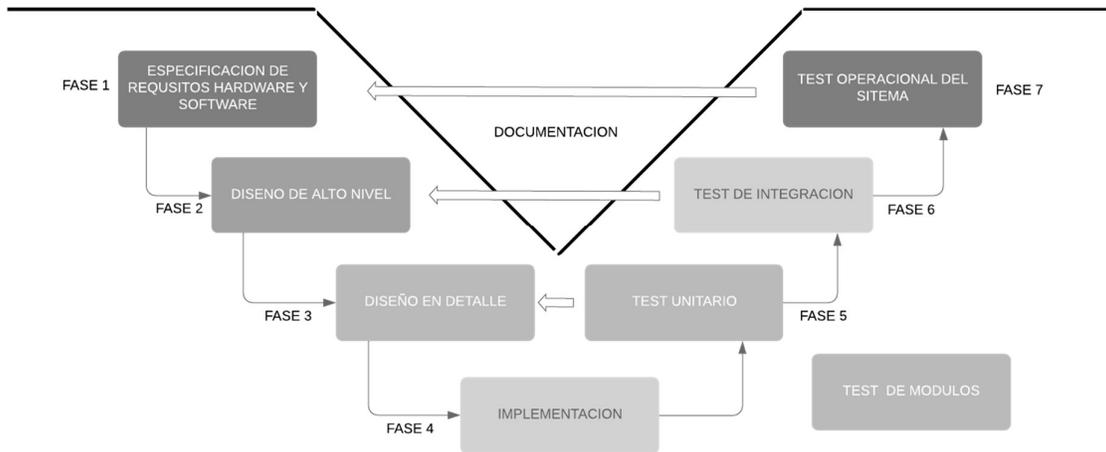
En el ciclo de diseño hardware las herramientas CAD están presentes en todos los pasos. En primer lugar, la fase de descripción de la idea será un sistema electrónico, un diagrama de bloques, etc. Luego en la fase de simulación y verificación, en donde las diversas herramientas permiten realizar simulación por eventos, funcionales, digitales o eléctricas, considerando el nivel de simulación requerido. La última etapa es comprendida por herramientas especializadas

en la fabricación del prototipo propiamente dicho y se orientan a la fabricación de circuitos impresos. Estas herramientas permiten realizar microcircuitos, así como la programación de dispositivos que así lo requieran.

Los productos de consumo pueden ser más rápidos de probar en "trozos". Por ejemplo, dice Chen, "Podemos separar la forma y la función para acelerar la prueba del producto. Para un dispositivo de mano, se puede probar la forma con espuma y prototipos impresos en 3D. Además, formé parte de un proyecto de controlador de juegos usando Bluetooth. Hicimos 50 iteraciones / versiones en una semana " (Zhang, n.d.).

Por otro lado, dice Chen, "para un producto más grande, como, por ejemplo, un robot de cinco pies de alto en el cual estaba involucrado, no puedes crear quince o veinte versiones en una semana, así que tienes que planificar de manera prolongada los ciclos de prototipado. Para el proyecto del robot, utilizamos espuma para probar la forma de este mientras desarrollamos prototipos de ingeniería. Entonces, incluso para un robot este proceso iterativo puede darse. Pero, por supuesto, la forma y la función tienen que unirse con el tiempo " (Zhang, n.d.).

Siguiendo la anterior idea, el presente proyecto generó múltiples iteraciones dada su naturaleza en el diseño hardware, la cual pretende generar un dispositivo de bajo costo. Partiendo de la premisa anterior y la metodología de codiseño implementada, se siguió el proceso de codiseño de A. Perez, el cual intuye la implementación del Modelo en V para el desarrollo de hardware (A. Perez, 2006).



*Ilustración 26 Modelo en V para el desarrollo de Hardware (Autoría propia)*

En la Ilustración 26 se muestran las fases del modelo en V, las cuales serán descritas a continuación:

**DEFINICIÓN DE ESPECIFICACIONES (Fase 1):** Se definió y documentó los diferentes requisitos del sistema a desarrollar tal como se especificó en el objetivo 1 en el apartado de requisitos del sistema.

**DISEÑO GLOBAL (Fase 2):** También llamado diseño de alto nivel. Su objetivo es obtener un diseño y visión general del sistema tal como se especifica en el objetivo 1 en el apartado de casos de uso del hardware y software.

**DISEÑO EN DETALLE (Fase 3):** Consiste en detallar cada bloque de la fase anterior tal como se explica en los diagramas de actividades presentados en el objetivo 1.

**IMPLEMENTACIÓN (Fase 4):** Es la fase en la que se materializa el diseño en detalle lo cual hace referencia a la implementación de los diagramas definidos en el objetivo 1.

**TEST UNITARIO (Fase 5):** En esta fase se verifica cada módulo HW y SW de forma unitaria, comprobando su funcionamiento, de acuerdo al objetivo 4 apartado 4.4.

**INTEGRACIÓN (Fase 6):** En esta fase se integran los distintos módulos que forman el sistema. Como en el caso anterior, ha de generarse un documento de pruebas. Por una parte, se debe comprobar en todo el sistema el funcionamiento correcto, y por otra, en caso de tratarse con un sistema tolerante a fallos, debe verificarse que ante la presencia de un fallo persiste el funcionamiento correcto. Se comprueba el cumplimiento de los requisitos establecidos

mencionados a través del diagrama de secuencia y se ejemplifica en el desarrollo del objetivo 4.

TEST OPERACIONAL DEL SISTEMA (Fase 7): Se realizan las últimas pruebas, pero sobre un escenario real, en su ubicación final, anotando una vez más las pruebas realizadas y los resultados obtenidos, esta última etapa, aunque pertenece al modelo en V no se implementó en el presente proyecto debido a que se sale del alcance descrito.

Los siguientes dispositivos Hardware y tecnologías Software implementadas en el proyecto son el resultado de implementar el modelo en V.

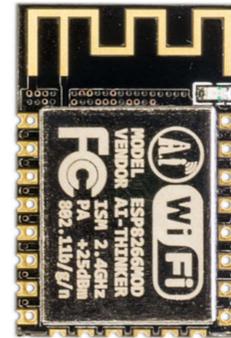
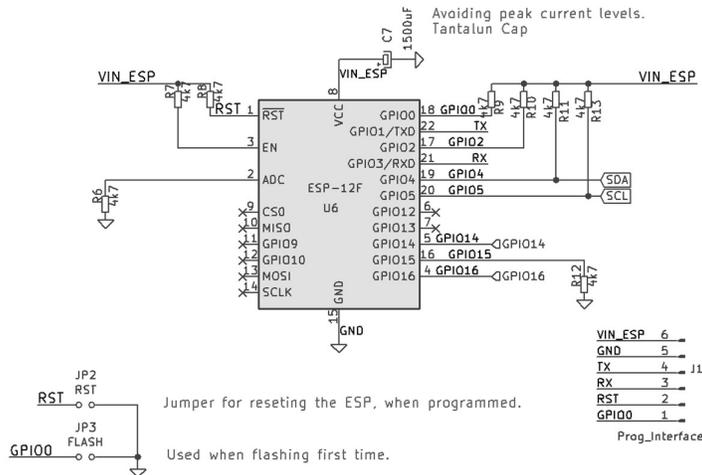
#### **4.2.1. Hardware**

##### ***4.2.1.1. Módulos electrónicos***

###### ***4.2.1.1.1. ESP8266***

Para el control de los sensores y la obtención de datos, se determinó que el ESP8266-12F es el encargado de coordinar y comunicar los datos obtenidos por los sensores. En particular en este proyecto se usa el Módulo ESP8266, el cual es un SOC (System on chip) autónomo, con pila de protocolos TCP / IP integrado que puede dar acceso a cualquier microcontrolador a una red Wifi generada por el mismo. El ESP8266 es capaz de alojar una aplicación o descargar todas las funciones de red Wi-Fi desde otro procesador de aplicaciones. (mikrocontroller, 2015). El ESP8266-12F es un chip altamente integrado, diseñado para las necesidades de un nuevo mundo interconectado, este microcontrolador se encarga de dirigir el funcionamiento de cada uno de los sensores que se usa en el diseño del prototipo. También ofrece una solución completa y autónoma de las redes Wi-Fi gracias a su arquitectura interna, la cual se puede apreciar en la Ilustración 27 Módulo Wifi ESP8266-12F, dicha estructura con fines de ahorrar recursos monetarios del proyecto en cuanto a la conectividad que se quiere, además, su programación a nivel software es compatible con lenguajes de programación abiertos de alto nivel como C, C++ y Lua.

La comunicación con los sensores mencionados en el siguiente apartado se realizó a través de algunas librerías open source hechas por la empresa Adafruit. La comunicación se da a través de la librería open source PainlessMesh descrita en el apartado 4.2.1.2.



*Ilustración 27 Módulo Wifi ESP8266-12F (Autoría Propia)*

*Ilustración 28 Módulo ESP8266 (Autoría propia)*

Una diferencia en precios con otras alternativas se puede apreciar en la siguiente tabla:

Referencia	Costo	Información
ESP8266 -12E	US \$8.27 (aliexpress, 2018)	Cache inteligente, automatización del hogar, redes de sensores, etc.
Arduino MEGA R3	US \$9.48 (aliexpress, 2018)	El Mega 2560 R3 es un micro controlador basado en el ATmega2560.
Raspberry Pi 3 + Wi-Fi y Bluetooth	US \$37.89 (ebay, 2018)	Mejor procesamiento y conectividad a bordo que otros modelos, ahorra tiempo con el desarrollo de aplicaciones.

*Tabla 6 Tabla de precios entre las diferentes plataformas de desarrollo*

Seguidamente, se realizaron comparaciones preliminares para determinar que sensores son los más adecuados para realizar las mediciones de las variables ambientales, teniendo en cuenta características como tamaño, consumo energético, cantidad de variables medibles por componente electrónico, durabilidad, costo, importancia de la medición en cuestión, entre otros. Dado las características antes mencionadas se seleccionaron los siguientes:

De las investigaciones impartidas en el presente proyecto, se presenta que la temperatura y humedad relativa, en particular, son de gran importancia para evitar la pérdida de agua en ciertos alimentos, lo que al final se traduce como calidad del producto. Los resultados obtenidos por el control de dichas variables han sido consistentes y muestran que la calidad solo puede mantenerse bien si tanto humedad como temperatura se manejan juntas y esto es importante tanto para frutas y hortalizas que se comercializan en fresco como destinadas a industrialización (Toivonen & M.A).

#### 4.2.1.1.2. SHT21

Para el manejo de las variables de humedad y temperatura se tenía el sensor SHT21, un chip diseñado por CMOSens® que se comunica por medio del protocolo I2C de manera digital. Cuenta con un sensor de humedad de tipo capacitivo reelaborado y sensor de temperatura de banda ancha (farnell, 2011) .

#### 4.2.1.1.3. BME680

Se determinó que el sensor BME680, tiene ciertas ventajas sobre el SHT21 en los siguientes aspectos, es un sensor ambiental integrado desarrollado específicamente para aplicaciones móviles y portátiles donde el tamaño y el bajo consumo de energía son requisitos clave. Al expandir la familia existente de sensores ambientales de Bosch Sensortec, el BME680 integra por primera vez sensores de gas, presión, humedad y temperatura de alta linealidad y alta precisión. El sensor de gas dentro del BME680 puede detectar una amplia gama de gases, tales como, los que son liberados por la quema de combustibles, gasolina, madera, carbón o gas natural (Bosch, 2018).

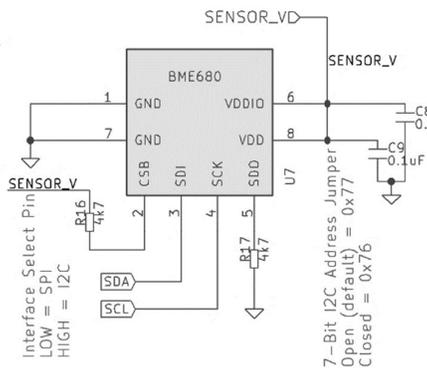


Ilustración 29 Circuito BME680  
(Autoría propia)

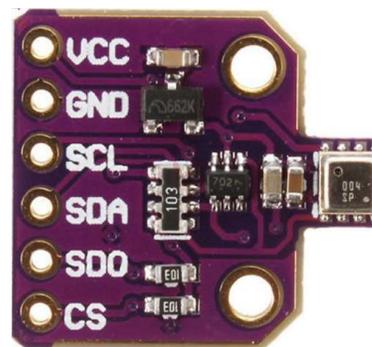


Ilustración 30 Módulo electrónico  
BME680 (Autoría propia)

El BME680 ya ha sido probado en otros ámbitos diferentes al campo, se implementó en un estudio que desarrollaba un dispositivo de bajo costo para medir la calidad del aire exterior o en sus siglas en inglés IAQ, que constaba de dos sensores principales: BME680 y CCS811. Se comenta que el dispositivo era capaz de medir y grabar de forma continua, lo que le permite controlar la calidad del aire, incluidos los Compuestos Orgánicos Volátiles Totales (TVOC), la temperatura y la humedad. El dispositivo fue empleado para medir tres áreas de servicio de un hospital a gran escala en Nakhonnayok, Tailandia: el área de espera, la sala de emergencias y la farmacia para pacientes ambulatorios (Lasomsri, Yanbuaban, Kerdpoca, & Ouypornkochagorn, 2018).

El tiempo de respuesta de las variables del BME680 varía de acuerdo a los modos de operación en que este se configure, ver la Tabla 7, Tabla 8, para más detalles.

Para el caso de esta variable se seleccionó el modo de operación “Low Power Mode” ubicado en la quinta fila de la columna “Condition” con la fila 5 “Response time” de la Tabla 7, debido a que al utilizar el modo “Ultra-Low Power Mode”, implica que el microcontrolador va a durar más tiempo encendido con todas sus funcionalidades habilitadas dado que el tiempo de respuesta de este es demasiado prolongado y la cantidad de muestras recolectadas de la demás variables son menor a los 92 segundos que menciona este modo de operación lo que conlleva a un consumo más alto de energía y el modo “Continuous Mode” no se usa por su tiempo de respuesta demasiado alto lo que implica un gasto energético más alto del sensor cuando no es necesario debido a los tiempos de respuesta de las otras variables.

Parameter	Symbol	Condition	Min	Typ	Max	Unit
Operational range <sup>1</sup>			-40		85	°C
			10		95	% r.H.
Supply Current during heater operation	I <sub>DD</sub>	Heater target temperature 320 °C, constant operation (V <sub>DD</sub> ≤ 1.8 V, 25°C)	9	12	13	mA
Peak Supply Current	I <sub>Peak</sub>	Occurs within first ms of switching on the hotplate	15	17	18	mA
Average Supply Current (V <sub>DD</sub> ≤ 1.8 V, 25°C)	I <sub>DD,IAQ</sub>	Ultra-low power mode		0.09		mA
		Low power mode		0.9		mA
		Continuous mode		12		mA
<b>Response time<sup>2</sup> (brand-new sensors)</b>	T <sub>33-63%</sub>	<b>Ultra-low power mode</b>		<b>92</b>		<b>s</b>
	T <sub>33-63%</sub>	Low power mode		1.4		s
	T <sub>33-63%</sub>	Continuous mode		0.75		s
Resolution of gas sensor resistance measurement			0.05	0.08	0.11	%
Noise in gas sensor resistance (RMS)	N <sub>R</sub>			1.5		%

Tabla 7 Tiempo de respuesta de la medición de gases en el BME680 (BOCH,2016)

La medición realizada por el BME680 para determinar la humedad relativa se le determina su tiempo de respuesta de acuerdo a la información proporcionada por la Tabla 8 columna “Parameter” fila número 7 “Response Time”, en donde se muestra de acuerdo a las capacidades del sensor que esta tiene un tiempo de respuesta de 8s para actualizar su registro sin ocasionar un sobre muestreo sobre el mismo.

Parameter	Symbol	Condition	Min	Typ	Max	Unit
Operating Range <sup>11</sup>			-40	25	85	°C
			0		100	% r.H.
Full accuracy range			0		65	°C
			10		90	% r.H.
Supply Current	I <sub>DD,H</sub>	1 Hz forced mode, temperature and humidity measurement		2.1	2.8	µA
Absolute Accuracy	A <sub>H</sub>	20–80 % r.H., 25 °C, including hysteresis		±3		% r.H.
Hysteresis <sup>12</sup>	H <sub>H</sub>	10→90→10 % r.H., 25°C		±1.5		% r.H.
Nonlinearity <sup>13</sup>	NL <sub>H</sub>	10→90 % r.H., 25°C		1.7		% r.H.
Response time to complete 63% of step <sup>14</sup>	τ <sub>0-63%</sub>	N <sub>2</sub> (dry) → 90 % r.H., 25°C		8		s
Resolution	R <sub>H</sub>			0.008		% r.H.
Noise in humidity (RMS)	N <sub>H</sub>	Highest oversampling		0.01		% r.H.
Long-term stability	ΔH <sub>stab</sub>	10–90 % r.H., 25°C		0.5		% r.H./year

Tabla 8 Tiempo de respuesta de la medición de humedad relativa en el BME680 (BOCH,2016)

La frecuencia de muestreo que se determinó para la presión atmosférica fue de 1Hz, dado que el consumo energético que esta medición genera es muy bajo en la frecuencia descrita en la Tabla 9 columna “Condition” fila número 3 “Supply Current”.

Parameter	Symbol	Condition	Min	Typ	Max	Unit
Operating temperature range	$T_A$	operational	-40	25	85	°C
		full accuracy	0		65	
Operating pressure range	$P$	full accuracy	300		1100	hPa
Supply current	$I_{DD,LP}$	<b>1 Hz forced mode, pressure and temperature, lowest power</b>		<b>3.1</b>	<b>4.2</b>	<b>μA</b>
Temperature coefficient of offset <sup>15</sup>	$TCOP$	25–40 °C, 900 hPa		±1.3		Pa/K
				±10.9		cm/K
Absolute accuracy pressure	$A_{p, full}$	300–1100 hPa 0–65°C		±0.6		hPa
Relative accuracy pressure	$A_{rel}$	700–900hPa, 25–40 °C, at constant humidity		±0.12		hPa
	$A_{rel}$	900–1100hPa 25–40 °C, at constant humidity		±0.12		hPa
Resolution of pressure output data	$R_P$	Highest oversampling		0.18		Pa
Noise in pressure	$N_{P,fullBW}$	Full bandwidth, highest oversampling		1.4		Pa
				11		cm
		Reduced bandwidth, highest oversampling		0.2		Pa
				1.7		cm
Solder drift		Minimum solder height 50μm	-0.5	1.2	+2.0	hPa
Long-term stability <sup>16</sup>	$P_{stab}$	per year		±1.0		hPa
Possible sampling rate	$f_{sample\_P}$	Lowest oversampling, see chapter 3.3.2	157	182		Hz

*Tabla 9 Tiempo de respuesta de la medición de Presión Atmosférica en el BME680 (BOCH,2016)*

La temperatura ambiental al tener la posibilidad de trabajar en “Force mode” permite realizar el muestreo a un intervalo de tiempo optimo considerando las restricciones energéticas del dispositivo y la baja frecuencia con que los parámetros ambientales medidos cambian de forma natural, por lo que se escogió el modo de operación mencionado.

Parameter	Symbol	Condition	Min	Typ	Max	Unit
Operating temperature range	$T_A$	operational	-40	25	85	°C
Supply current	$I_{DD,T}$	<b>1 Hz forced mode, temperature measurement only</b>		<b>1.0</b>		μA
Absolute accuracy temperature <sup>17</sup>	$A_{T,25}$	25 °C		±0.5		°C
	$A_{T,full}$	0–65 °C		±1.0		°C
Output resolution	$R_T$	API output resolution		0.01		°C
RMS noise	$N_T$	Lowest oversampling		0.005		°C

*Tabla 10 tiempo de respuesta de la medición de la Temperatura ambiental en el BME680 (BOCH,2016)*

#### **4.2.1.1.4. VEML6030**

Por otra parte, la luminosidad solar, su radiación y rangos de fotoperiodos, influye directamente en la función de los fertilizantes aplicados al suelo con fines de nutrición vegetal; la influencia trasciende a la modificación del pH en la zona inmediata a la raíz y acorde a la etapa de desarrollo del cultivo en cuestión. Este factor luz, pocas veces manejado por técnicos y agricultores en general, tiene su gran influencia que trasciende los ciclos biológicos y altera los planes económicos de inversión en la cosecha. Para medir esta variable, y que sea tenida en cuenta en los procesos de cultivo, se tiene como sensor de medición de intensidad lumínica el VEML6030, el cual es un convertidor de luz a señal digital que transforma la intensidad de la luz en una salida y es enviada por medio del protocolo I2C. Este dispositivo combina un fotodiodo de banda ancha (visible más en infrarrojo) y un fotodiodo de respuesta infrarroja en un solo circuito integrado CMOS capaz de proporcionar una respuesta casi fotópica sobre un rango dinámico efectivo de 20 bits (resolución de 16 bits) (alldatasheet). Su estructura se puede ver en la

Ilustración 32 Módulo Electrónico VEML.

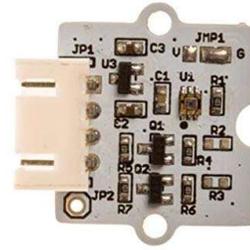
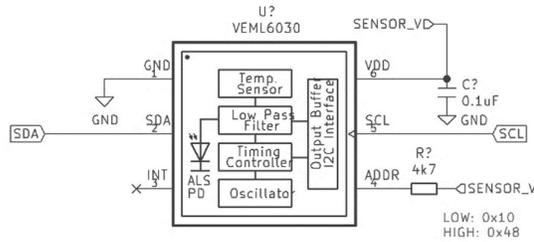


Ilustración 31 Esquema electrónico del módulo del sensor de luminosidad VEML6030 (Autoría propia)

Ilustración 32 Módulo Electrónico VEML6030 (Autoría propia)

El VEML6030 fue implementado en un nodo sensor móvil completo que tiene la capacidad de controlar la temperatura, la presión atmosférica, la humedad relativa, el brillo y los campos magnéticos. En dicha implementación, se logra un consumo de energía muy bajo debido a la selección deliberada de componentes, la operación cíclica y / o bajo demanda posible gracias a un circuito de activación de baja potencia con sensibilidad mejorada, que permite que el controlador, el transmisor y los sensores estén en una batería (Pflaum, Weigel, & Koelpin, 14).

BASIC CHARACTERISTICS ( $T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ , unless otherwise specified)						
PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Supply voltage		$V_{DD}$	2.5	3.3	3.6	V
Shut down current <sup>(2)</sup>	$V_{DD}$ is 3.3 V	$I_{sd}$	-	0.5	-	$\mu\text{A}$
Operation mode current <sup>(1)</sup>	$V_{DD}$ is 3.3 V, PSM = 11, refresh time 4100 ms	$I_{DD}$	-	2	-	$\mu\text{A}$
	$V_{DD}$ is 3.3 V, PSM = 00, refresh time 600 ms	$I_{DD}$	-	8	-	$\mu\text{A}$
	$V_{DD}$ is 3.3 V, PSM_EN = 0, refresh time 100 ms	$I_{DD}$	-	45	-	$\mu\text{A}$
I <sup>2</sup> C clock rate range		$f_{SCL}$	10	-	400	kHz
I <sup>2</sup> C bus input H-level range	$V_{DD}$ is 3.3 V	$V_{ih}$	1.3	-	3.6	V
I <sup>2</sup> C bus input L-level range	$V_{DD}$ is 3.3 V	$V_{il}$	-	-	0.4	V
Digital current out (low, current sink)		$I_{ol}$	3	-	-	mA
Digital resolution (LSB count)	with ALS_GAIN = "01"		-	0.0036	-	lx/step
Detectable minimum illuminance	with ALS_GAIN = "01"	$E_{V\ min.}$	-	0.0072	-	lx
Detectable maximum illuminance	with ALS_GAIN = "10"	$E_{V\ max.}$	-	120 000	-	lx
Dark offset <sup>(1)</sup>	with ALS_GAIN = "01"		-	3	-	step

Tabla 11 Tiempo de respuesta de la medición de la luminosidad en el VEML6030 (Vishay,2016)

Los periodos de muestreo del VEML6030 varían de acuerdo a los modos de operación de corriente, estos se ven reflejados en la Tabla 11, cuarta fila en la columna "Test condition". De acuerdo a lo mencionado anteriormente el sensor se configura en modo PSM=00 lo que corresponde a una tasa de refresco de cada 600ms.

#### **4.2.1.1.5. YL-69**

La humedad del suelo es otra variable a tener en cuenta, su importancia recae principalmente en la especie, las condiciones, el tipo de suelo, su estructura, su composición, etc. El tipo de planta es la que nos determina su tolerancia a mayor o menor cantidad de agua en el sustrato. Dada la cantidad de agua en el suelo, sus raíces son las que se pudren o no, por lo cual su control debe ser monitoreado.

Dado los argumentos anteriores, se encontró que el YL-69 tiene la capacidad de medir la humedad del suelo, aplicando una pequeña tensión entre los terminales del módulo, y esto hace pasar una corriente que depende básicamente de la resistencia que se genera en el suelo y el cual obedece mucho a la cantidad de humedad. Por lo tanto, al aumentar la humedad la corriente crece y al bajar la corriente disminuye.

La esta estructura del YL-69, consiste en una sonda con dos terminales separados adecuadamente y un módulo YL-38 que contiene un circuito comparador LM393 SMD (de soldado superficial) muy estable, un led de encendido y otro de activación de salida digital. Este último presenta 2 pines de conexión hacia el módulo YL-69, 2 pines para la alimentación y 2 pines de datos. VCC, GND, D0, A0 (taloselectronics).

El sensor YL-69 en primera instancia fue seleccionado como parte de los principales sensores que conforman al proyecto, pero después una investigación más exhaustiva, se determinó que el YL-69 sufre de corrosión electrolítica en la sonda que este usa debido al intercambio de electrones que sufre entre sus terminales, esto con el tiempo genera toxicidad en el área donde se inserta, de modo que, si se coloca cerca de una planta, el estado de esta puede verse comprometida.

#### **4.2.1.1.6. YL-85**

Dado lo anterior, se tomó la decisión de implementar un módulo que comparte las mismas características, pero que no sufre las desventajas anteriormente mencionadas, conocido como YL-85 y además se optó por medir la temperatura del suelo con la sonda que incorpora el DS18B20 (Ilustración 34 Sonda DS18B20 temperatura de suelo).



Ilustración 33 Módulo Electrónico para medir humedad de suelo (Autoría propia)



Ilustración 34 Sonda DS18B20 temperatura de suelo (Autoría propia)

En otro aspecto, la luz es uno de los factores más importantes que regulan el crecimiento y desarrollo de las plantas. Sin embargo, el aumento de la radiación ultravioleta-B debido a la acción antropogénica o, en otras palabras, a los efectos resultantes de los procesos que son consecuencia de acciones humanas, por ejemplo, la erosión del suelo por las actividades agrícolas, puede tener un impacto negativo en éstas, provocando una disminución de la fotosíntesis y de la producción de biomasa. Esta radiación puede además causar daño en distintas biomoléculas, entre la cuales la más importante es el DNA (Ríos, 2009).

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Temperature Conversion Time	t <sub>CONV</sub>	9-bit resolution	(Note 12)		93.75	ms
		10-bit resolution		187.5		
		11-bit resolution		375		
		12-bit resolution		750		
Time to Strong Pullup On	t <sub>SPON</sub>	Start convert T command issued			10	µs
Time Slot	t <sub>SLOT</sub>	(Note 12)	60		120	µs
Recovery Time	t <sub>REC</sub>	(Note 12)	1			µs
Write 0 Low Time	t <sub>LOW0</sub>	(Note 12)	60		120	µs
Write 1 Low Time	t <sub>LOW1</sub>	(Note 12)	1		15	µs
Read Data Valid	t <sub>RDV</sub>	(Note 12)			15	µs
Reset Time High	t <sub>RSTH</sub>	(Note 12)	480			µs
Reset Time Low	t <sub>RSTL</sub>	(Notes 12, 13)	480			µs
Presence-Detect High	t <sub>PDHIGH</sub>	(Note 12)	15		60	µs
Presence-Detect Low	t <sub>PDLOW</sub>	(Note 12)	60		240	µs
Capacitance	C <sub>IN/OUT</sub>				25	pF

Tabla 12 Tiempo de respuesta de la medición de la Temperatura de suelo en el DS18B20 (Dallas,2016)

La frecuencia de muestreo del sensor YL-85 es determinada por la frecuencia de muestreo del expansor analógico representado en la Ilustración 55 Módulo electrónico PCF8591. Para el caso del sensor de temperatura de suelo este tiene un periodo de muestreo que depende de cuan preciso se requiere la medición, en la Tabla 12 Tiempo de respuesta de la

medición de la Temperatura de suelo en el DS18B20 (Dallas,2016), se puede observar en la primera fila columna “Conditions” que para una resolución de 9 bits requiere un tiempo de procesamiento de ~100 ms, para una resolución de 10 bits ~190ms, para 11bits ~400 ms y para 12 bits ~750ms, dado que la temperatura del suelo no necesita una precisión tan alta se determinó el uso de la resolución de 9 bits, lo que permite realizar rápidamente la medición y liberar ciclos de procesamiento.

Debido a la naturaleza de las señales de ambos sensores estos son sensibles a perturbaciones naturales (rayos, tormentas solares) y/o generadas por el hombre (campos magnéticos, maquinaria), debido a lo anterior se presume que el dispositivo una vez implementado pueda presentar inconvenientes si la altura a la que se instale el nodo sea muy alta, dado que a mayor longitud mayor interferencia en las líneas que transmiten la información de los nodos.

#### ***4.2.1.1.7. VEML6075***

Siguiendo el anterior orden de ideas, con el objetivo de medir la cantidad de rayos ultravioletas que recaen sobre el cultivo, se resolvió por usar el VEML6075, el cual es un sensor de luz ultravioleta (UV) avanzado con interfaz de protocolo I2C y diseñado por el proceso CMOS.

Se opera fácilmente a través de un simple comando I2C. La función de acuse de recibo activo (ACK) con el umbral de configuración de las ventanas permite al sensor UV enviar un mensaje de alerta UVI. Bajo una fuerte condición de UVI solar, la programación del software puede implementar fácilmente la señal ACK inteligente. Tiene una excelente compensación de temperatura y una configuración de frecuencia de actualización robusta que no utiliza un filtro de paso bajo RC externo, además, tiene una sensibilidad lineal a la luz UV solar y se ajusta fácilmente mediante una resistencia externa. (Vishay, 2016)

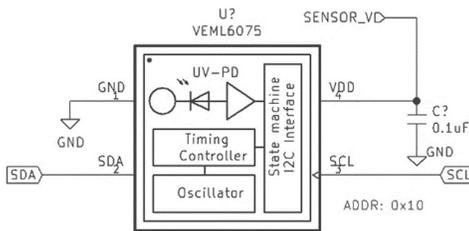


Ilustración 35 Esquema electrónico de VEML6075 (Autoría propia)



Ilustración 36 Módulo Electrónico del VEML6075 (Autoría propia)

Las mediciones realizadas por el VEML6075 se realizan cada 50ms de acuerdo a la Tabla 13 Tabla de tiempos de respuesta de la medición de los rayos ultravioleta en el VEML6075, se puede observar “UVA responsivity” y “UVB responsivity” en la columna “Parameter”, el cual muestra el tiempo de respuesta para cada uno de los dos parámetros y sus valores típicos.

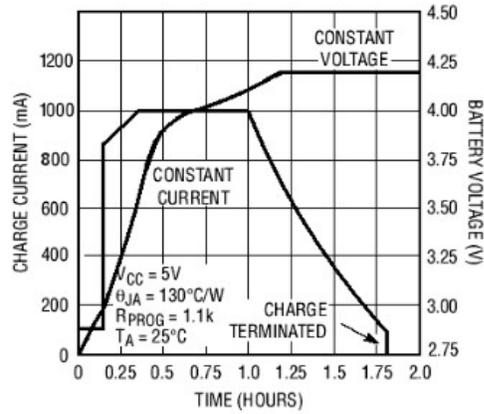
BASIC CHARACTERISTICS (T <sub>amb</sub> = 25 °C, unless otherwise specified)						
PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Supply operation voltage		V <sub>DD</sub>	1.7	-	3.6	V
Supply current	V <sub>DD</sub> = 1.8 V	I <sub>DD</sub>	-	480	-	µA
I <sup>2</sup> C signal input	Logic high	V <sub>IH</sub>	1.5	-	-	V
	Logic low	V <sub>IL</sub>	-	-	0.8	
I <sup>2</sup> C signal input	Logic high	V <sub>IH</sub>	1.4	-	-	V
	Logic low	V <sub>IL</sub>	-	-	0.6	
Operating temperature		T <sub>amb</sub>	-40	-	+85	°C
Shutdown current	Light condition = dark; V <sub>DD</sub> = 1.8 V, T <sub>amb</sub> = 25 °C	I <sub>DD</sub> (SD)	-	800	-	nA
UVA responsivity	t <sub>T</sub> = 50 ms <sup>(1)</sup>		-	0.93	-	counts/µW/cm <sup>2</sup>
UVB responsivity	t <sub>T</sub> = 50 ms <sup>(2)</sup>		-	2.1	-	counts/µW/cm <sup>2</sup>
Visible / infrared response	W-LED / IRED (940 nm)		-	0.5	< 1	%

Tabla 13 Tabla de tiempos de respuesta de la medición de los rayos ultravioleta en el VEML6075 (Vishay,2016)

Cabe agregar que la autonomía de cada nodo depende de una serie de periféricos, tales como, batería, panel, regulador de voltaje, etc. Que en su conjunto mantienen en funcionamiento cada dispositivo, por lo cual, se eligieron para tal fin los siguientes elementos:

#### 4.2.1.1.8. TP4056

El TP4056 es un cargador lineal completo de corriente constante / voltaje constante para baterías de iones de litio de una celda. Su paquete SOP y su bajo número de componentes externos hacen que el TP4056 sea ideal para aplicaciones portátiles.

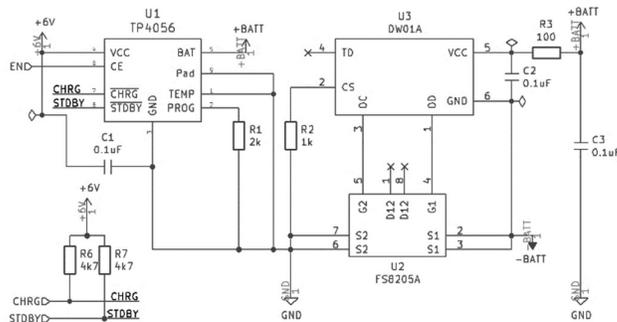


*Ilustración 37 Configuración de Carga para baterías de Litio del TP4056 (Nanjin, 2016)*

La retroalimentación térmica regula la corriente de carga para limitar la temperatura del troquel durante la operación de alta potencia o temperatura de ambiente alta. La tensión de carga se fija dado el voltaje máximo de 4.2V diseñado para trabajar con baterías de Litio; la corriente de carga se puede programar externamente con una resistencia, que para este caso concreto se seleccionó la resistencia R1 representada en la Ilustración 38 Esquema Electrónico TP para proporcionar una carga máxima de 500mAh.

El TP4056 determina automáticamente el ciclo de carga cuando la corriente de carga cae a 1/10 del valor programado, después de que se alcanza el voltaje de flotación final ( Ilustración 37 Configuración de Carga para baterías de Litio del TP4056).

Otras características del módulo incluyendo monitoreo de corriente, bloqueo de bajo voltaje, recarga automática y dos pines de estado para poder indicar la terminación de la carga y la presencia de un voltaje de entrada. (Corp., 2016)



*Ilustración 38 Esquema Electrónico TP4056 (Autoría Propia)*

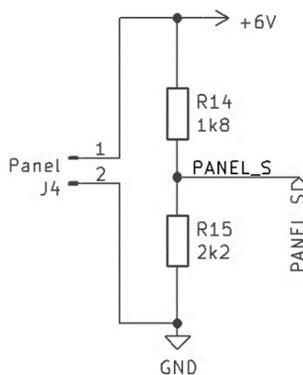


*Ilustración 39 Módulo Electrónico TP4056 (Autoría propia)*

El TP4056 es controlado por el ESP8266 el cual activa o desactiva la carga del dispositivo dependiendo de la temperatura que tenga la batería, los estados de los pines son examinados a través del componente electrónico representado en la Ilustración 53 Módulo Electrónico PCF8574.

#### 4.2.1.1.9. *Panel solar*

El panel solar es seleccionado tiene una potencia máxima de 1.2W, equivalente a 6V y 200mA de corriente con un margen de error de +/-5%, además cuenta con un recubrimiento de vidrio templado y la celda es de silicio mono cristalino, ideal para cargar baterías de Litio. Se implementó un divisor de voltaje a través de las resistencias específicas R14 y R15 para poder censar el estado del panel solar y convertir dicha información a un estado lógico que pueda ser procesado por el módulo electrónico representado en la Ilustración 55 Módulo electrónico PCF8591.



*Ilustración 40 Esquema Electrónico del Panel Solar (Autoría propia)*



*Ilustración 41 Panel Solar del sistema (Solar China)*

El cálculo realizado para obtener los valores de las resistencias R14 y R15 en la Ilustración 40 Esquema Electrónico del Panel Solar depende de la siguiente ecuación:

$$V_{out} = V_{in} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

Esta ecuación establece que el voltaje de salida es directamente proporcional al voltaje de entrada conforme a la relación de R1 y R2.

Existen algunas generalidades que deben tenerse en cuenta al utilizar los divisores de voltaje. Estas son simplificaciones que hacen que la evaluación de un circuito divisor de voltaje

sea un poco más fácil. En primer lugar, si R2 y R1 son iguales, entonces el voltaje de salida es la mitad del de la entrada, esto es independientemente de los valores de las resistencias.

$$R_1 = R_2 : V_{out} = V_{in} \cdot \frac{R}{2R} = \frac{V_{in}}{2}$$

Si R2 es mucho mayor que R1, entonces el voltaje de salida será muy cercano al de la entrada, habrá muy poco voltaje a través de R1.

$$R_2 \gg R_1 : V_{out} \approx V_{in} \cdot \frac{R_2}{R_2} = V_{in}$$

Por otro lado, si R2 es mucho más pequeño que R1, el voltaje de salida será muy pequeño en comparación con el de la entrada. La mayor parte del voltaje de entrada estará a través de R1.

$$R_2 \ll R_1 : V_{out} \approx V_{in} \cdot \frac{0}{R_1} = 0$$

Por lo que para este caso se seleccionó R1 = 1800Ohms y R2 = 2200 Ohm para tener un voltaje máximo de salida de 3.3v.

$$3.3v = 6v \times \frac{2200}{1800 + 2200}$$

#### **4.2.1.1.10. Batería Ion de litio**

La implementación de la batería de litio para este proyecto fue seleccionada debido al gran número de ciclos que esta puede brindar (Ilustración 43 Características del Ciclo de vida de la Batería 18650), que a diferencia de otros tipos de baterías que podrían suministrar grandes cantidades de corriente, pero el ciclo de vida es corto, además, la alta energía y potencia que puede brindar; Cabe destacar que posee un alto rendimiento de seguridad, ideal para energía asistida para dispositivos médicos y/o robótica. (Panasonic, 2016)

A continuación, se muestran los diagramas que representan el estado de la batería inmersas en condiciones como temperatura, tasas de altas descargas, y la cantidad de ciclos respecto al amperaje que esta puede manejar.

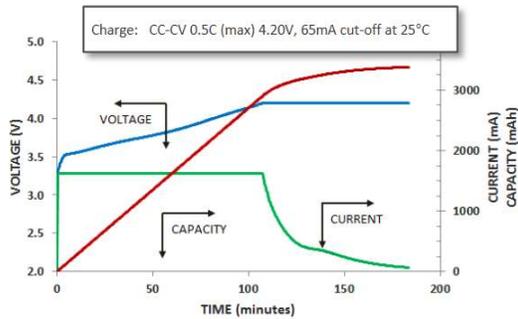


Ilustración 42 Características de Carga Batería 18650 (Panasonic, 2017)

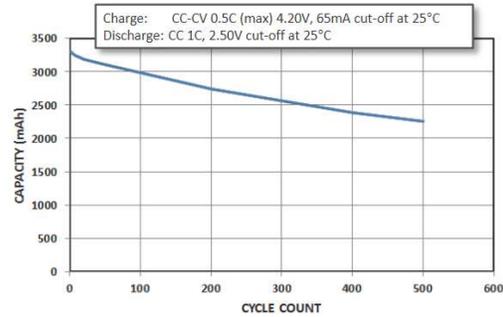


Ilustración 43 Características del Ciclo de vida de la Batería 18650 (Panasonic, 2017)

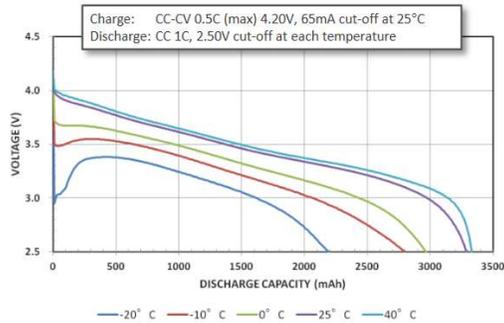


Ilustración 44 Características de descarga (Temperatura) (Panasonic, 2017)

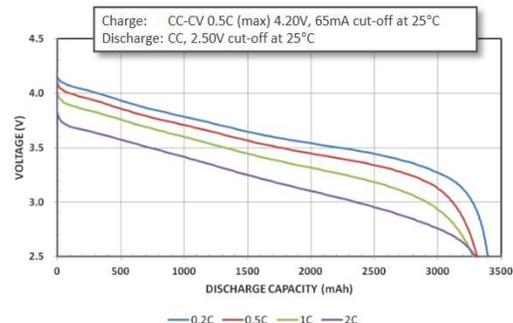


Ilustración 45 Características de descarga (Tasa de Descarga) (Panasonic, 2017)

La Ilustración 42 Características de Carga Batería 18650 (Panasonic, 2017) Ilustración 43 Características del Ciclo de vida de la Batería 18650 muestra como disminuye la capacidad de carga de la batería con respecto a la cantidad de ciclos de carga y descarga que esta tenga, es por ello que entre menos cantidad de veces se descargue completamente la batería, mayor posibilidad habría de extender la vida útil de la misma.

La Ilustración 43 Características del Ciclo de vida de la Batería 18650 (Panasonic, 2017) Ilustración 42 Características de Carga Batería 18650 representa las condiciones que debe tener la batería para que esta pueda ser cargada y no presente problemas en el transcurso de su vida útil, es por ello que se implementa el circuito integrado referenciado en la Ilustración 38 Esquema Electrónico TP, el cual gracias a su característica principal garantiza que la carga de la batería se ejecute de la forma que se espera, ver Ilustración 37 para más información.

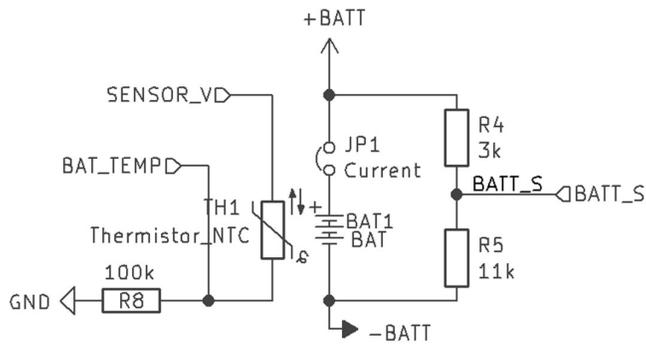
La Ilustración 44 Características de descarga (Temperatura) muestra la variación de la descarga de acuerdo a la temperatura a la que se somete, se puede observar que alrededor de 40°C la batería aún conserva notoriamente su capacidad máxima de descarga.

Finalmente, en la Ilustración 45 Características de descarga (Tasa de Descarga) se aprecia la variación del voltaje de acuerdo a las diferentes tasas de descarga (0.2C = 410mAh, 0.5C = 1025mAh, 1.0C = 2050 mAh , 2.0C = 4100mAh), para el caso particular del proyecto la suma del consumo de todos los componentes se puede ver referenciada en la Tabla 14 Consumo energético de , donde los valores máximos calculados a partir de del consumo teórico de cada componente, no supera la tasa de descarga 0.2C equivalente a 410mAh, lo cual indicaría que la batería mantendrá su vida útil por mucho más tiempo.

	Consumo Mínimo	Consumo Típico	Consumo Máximo
ESP8266	0.000010 A	0.050000 A	0.170000 A
BME680	0.015000 A	0.017000 A	0.018000 A
VEML6030	0.000002 A	0.000008 A	0.000045 A
YL-85	0.000400 A	0.000400 A	0.001000 A
VEML6075	0.000480 A	0.000480 A	0.000480 A
DW01A	0.000003 A	0.000003 A	0.000006 A
FS8205A	0.000001 A	0.000001 A	0.000025 A
RT9013	0.000025 A	0.000025 A	0.000050 A
DS3231	0.000200 A	0.000200 A	0.000600 A
PCF8574	0.025000 A	0.025000 A	0.100000 A
PCF8591	0.010000 A	0.010000 A	0.050000 A
<b>Total</b>	<b>0.051121</b> <b>A</b>	<b>0.103117</b> <b>A</b>	<b>0.340206</b> <b>A</b>

*Tabla 14 Consumo energético de componentes*

De acuerdo a la Ilustración 46 se visualiza la implementación de un termistor que permite la lectura de la temperatura, haciendo posible el control de carga y descarga a través del controlador principal ESP8266, además el voltaje de la batería es constantemente monitoreado con el fin de determinar el estado de carga del dispositivo, esto fue posible implementando el divisor de voltaje específico para esta aplicación, de tal forma que pueda ser lógicamente compatible con los componentes electrónicos utilizados en el prototipo.



*Ilustración 46 Esquema Electrónico del Sensor de Temperatura y conversor de voltaje de la batería (Autoría propia)*



*Ilustración 47 Batería de Lítio 18650 (Panasonic, 2017)*



*Ilustración 48 NTC implementado para medir la temperatura de la batería (Autoría propia)*

El esquema electrónico representado en la Ilustración 46 Esquema Electrónico del Sensor de Temperatura y conversor de voltaje de la batería (, permite visualizar un NTC cerca lo que sería el símbolo de la batería, este NTC (Ilustración 48) es de 100kOhms, esto quiere decir que a una temperatura de 25°C tiene una resistencia de 100kOhms.

El funcionamiento se basa en la variación de la resistencia del semiconductor, debido al cambio de una temperatura ambiente, creando una variación en la concentración de portadores. Para los termistores NTC, al aumentar la temperatura, aumentará también la concentración de portadores, por lo que la resistencia será menor, de ahí que el coeficiente sea negativo.

Partiendo de la explicación realizada sobre el divisor de voltaje en la Ilustración 40 Esquema Electrónico del Panel Solar, se coloca una resistencia de 100K lo cual significa que a 25 grados habrá un voltaje de salida de 1.65V, esto permite tener un margen de 1.65V por encima y por debajo correspondiente a +-50°C.

Para la medición del voltaje de la batería se implementó un divisor de voltaje, donde el voltaje de entrada máximo es de 4.2v y el voltaje máximo de salida es 3.3 V, dado que el componente electrónico referenciado en la Ilustración 55 Módulo electrónico PCF8591 es el encargado de recibir la señal y este será alimentado a 3.3v, lo que significa que su voltaje de referencia máximo es de 3.3v, es por ello que se hace la reducción de voltaje usando las resistencias R4 y R5 presentes en la Ilustración 46 Esquema Electrónico del Sensor de Temperatura y conversor de voltaje de la batería (.

#### 4.2.1.1.11. RT9013

El RT9013 es un regulador LDO de 500 mAh de alto rendimiento, que ofrece PSRR (Power Supply Rejection Ratio), extremadamente alto y caída muy baja. Ideal para RF portátil y aplicaciones inalámbricas con exigentes requisitos de rendimiento y espacio. Posee un consumo tan bajo como 25µA que permite prolongar la vida útil de la batería. El RT9013 también funciona con condensadores cerámicos de bajo ESR, lo que reduce la cantidad de espacio de la placa necesaria para las aplicaciones de energía, fundamental en los dispositivos inalámbricos de uso diario. El RT9013 consume 0,7 µAh típicos en modo de apagado y un tiempo de encendido rápido inferior a 40 µs. (Richtech, 2011)

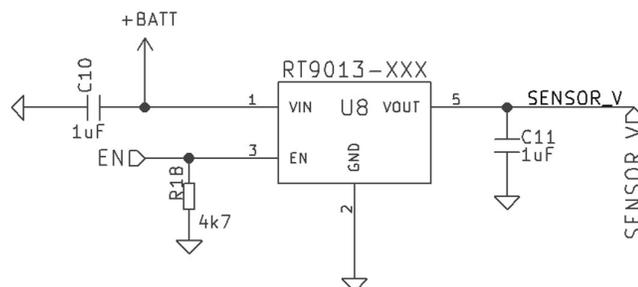


Ilustración 49 Esquema electrónico de RT9013 (Autoría propia)

El RT9013 fue seleccionado por su tamaño y su posibilidad de ser habilitado o deshabilitado por otro componente externo como lo sería el ESP89266 a través del PCF8574, este módulo dentro del diseño final es usado para alimentar específicamente el ESP8266 de forma independiente y otro a todos los sensores, debido a que los picos altos de consumo del ESP8266 podría generar fallas en la medición realizada por los sensores si estos estuvieran conectado a la misma línea de voltaje.

Resulta oportuno, mencionar que no todos los componentes electrónicos seleccionados, tienen el deber de medir, procesar o proveer energía al dispositivo. También se cuentan con

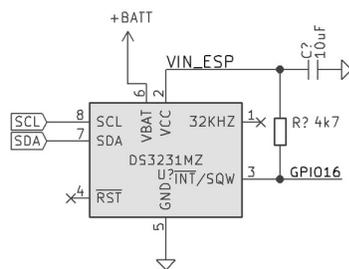
equipos encargados de generar soporte a los anteriores, para ello, se necesitan mecanismos que extiendan la cantidad de periféricos que se pueden conectar al microcontrolador, control de voltaje, etc.

#### 4.2.1.1.12. DS3231

Otro dispositivo que brinda soporte al nodo, es el DS3231. Reloj de tiempo real (RTC) I2C de bajo costo y extremadamente preciso con un oscilador de cristal compensado en temperatura y cristal. El dispositivo incorpora una entrada de batería y mantiene un horario preciso cuando la alimentación principal del dispositivo se interrumpe. La integración del resonador de cristal mejora también la precisión a largo plazo del dispositivo y reduce el número de piezas en una línea de fabricación.

El RTC mantiene información sobre segundos, minutos, horas, día, fecha, mes y año. La fecha al final del mes se ajusta automáticamente para los meses con menos de 31 días, incluidas las correcciones para el año bisiesto. El reloj funciona en formato de 24 horas o de 12 horas con un indicador AM / PM. Se proporcionan dos alarmas de hora del día programables y una salida de onda cuadrada programable. Dirección y datos son transferidos en serie a través de un bus bidireccional I2C.

Además, el DS3231 puede detectar fallas de energía cuando se necesita, para ello usa una referencia de voltaje de precisión compensada y un circuito comparador que monitorea el estado de VCC, proporcionando una salida de reinicio y cambio automático a la fuente de respaldo cuando sea necesario (Maxim, 2016).



*Ilustración 50 Esquema Electrónico DS3231 (Autoría propia)*



*Ilustración 51 Módulo Electrónico DS3231 (Autoría propia)*

El esquema electrónico de la Ilustración 50 muestra ciertos componentes que representan la configuración mínima del módulo, la Ilustración 51 Módulo Electrónico DS3231 muestra una batería de moneda, esta es reemplazada en el diseño final por la batería descrita en

¡Error! No se encuentra el origen de la referencia., la cual es utilizada para alimentar el sistema, de esta manera se reducen costos de fabricación y se alarga la vida de funcionamiento del reloj.

La implementación de una batería para el RTC garantiza que el sistema siempre mantenga actualizada la fecha dentro del nodo.

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Supply Voltage	V <sub>CC</sub>		2.3	3.3	5.5	V
	V <sub>BAT</sub>		2.3	3.0	5.5	V
Logic 1 Input SDA, SCL	V <sub>IH</sub>		0.7 x V <sub>CC</sub>		V <sub>CC</sub> + 0.3	V
Logic 0 Input SDA, SCL	V <sub>IL</sub>		-0.3		0.3 x V <sub>CC</sub>	V

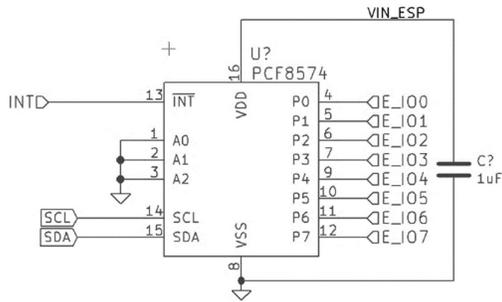
*Tabla 15 Voltajes permitidos para alimentar el módulo DS3231 (Maxim, 2016)*

En la Tabla 15 se puede observar en la fila “Supply Voltaje” que los parámetros de la batería implementada en el sistema cumplen con los criterios establecidos por el RTC en su hoja de datos.

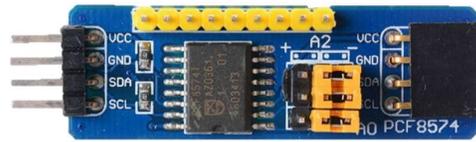
#### **4.2.1.1.13. PCF8574 y PCF8591**

Ante la situación planteada anteriormente el micro controlador ESP8266 cuenta con una cantidad limitada de pines disponibles para conectar periféricos, es por ello que se hace el uso del expensor digital representado en la Ilustración 53 Módulo Electrónico PCF8574 quien a través del protocolo I2C permite el uso de hasta 8 entradas y/o salidas cuasi-bidireccionales, pudiendo así controlar interrupciones, activaciones mediante lógica TTL y/o lectura de estados de otros dispositivos, además el expensor analógico representado en la Ilustración 55 Módulo electrónico PCF8591, quien se encarga de tomar los datos analógicos producidos por los diferentes periféricos conectados al prototipo.

El módulo electrónico representado en la Ilustración 53 Módulo Electrónico PCF8574 tiene 3 jumpers, estos son utilizados para seleccionar la dirección I2C que va a implementar, en el caso particular de este proyecto las direcciones que usa el módulo en todas sus variaciones no interfiere con las direcciones de los otros sensores y/o expansores, además el módulo electrónico incorpora una serie de pines hembra y macho, estos están presentes para darle fácil acceso a cada una de sus interfaces y poder realizar la conexión propiamente al microcontrolador.

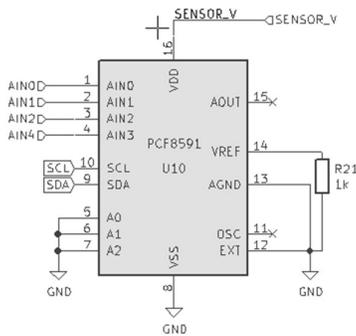


*Ilustración 52 Esquema Electrónico PCF8574 (Autoría propia)*

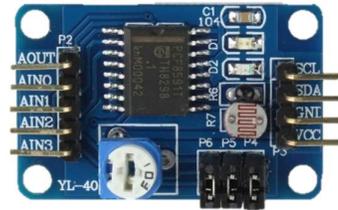


*Ilustración 53 Módulo Electrónico PCF8574 (Autoría propia)*

El módulo PCF8591 es un expansor analógico de 8 bits de resolución lo que se traduce en valores de 0-255, cada una de las señales analógicas proporcionadas por cada uno de los sensores (NTC, Panel Solar, Batería, Humedad de Suelo) está conectada a una de las entradas analógicas de este expansor.



*Ilustración 54 Esquema electrónico PCF8591 (Autoría propia)*



*Ilustración 55 Módulo electrónico PCF8591 (Autoría propia)*

El módulo electrónico representado en la Ilustración 55 Módulo electrónico PCF8591 presenta varios componentes electrónicos que no se visualizan en el esquema electrónico Ilustración 54 Esquema electrónico PCF8591, esto es debido a que el módulo implementa a modo de pruebas sobre este, un Potenciómetro, un LDR (Light Dependant Resistor) y un NTC, para el caso particular del proyecto estos componentes no son prescindibles y fueron removidos del esquema general del módulo, en el caso particular de uso que se le dará en el proyecto es necesario remover los jumpers que se encuentran en la parte de abajo del módulo dado que estos realizan la conexión con cada uno de los componentes mencionados anteriormente.

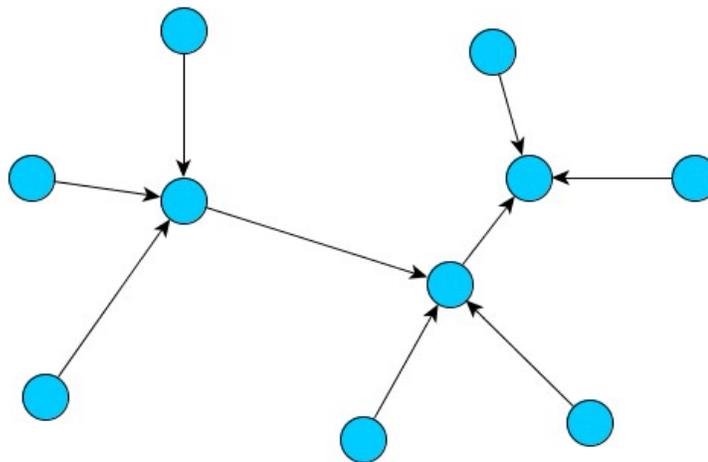
#### 4.2.1.2. Topología de Red

Ya habiendo seleccionado los módulos electrónicos que conforman en su totalidad el dispositivo final, se debe explicar de qué manera se llegan a comunicar, para ello, la comunicación entre sensores se diseñó originalmente bajo el protocolo de comunicación ESP-NOW, pero se hallaron inconvenientes en la sincronización de procesos, mientras se realizaban las pruebas, por lo cual, se decidió trabajar bajo otro enfoque.

Este nuevo enfoque crea una red TCP / IP de nodos, cada uno de los nodos se identifican de forma única por su chipId de 32 bits que se recupera del ESP8266 y por esta razón cada nodo tendrá un número único. Los mensajes pueden ser difundidos a todos los nodos en la malla, o enviados específicamente a un nodo.

Este tipo de red, es una red ad-hoc, lo que significa que no se requiere planificación, controlador central o enrutador. Cualquier sistema de uno o más nodos se auto organizará en una malla completamente funcional. El tamaño máximo de la malla está limitado por la cantidad de memoria RAM que puede asignarse al búfer de sub – conexiones, por lo que debería ser bastante alto.

La red usa objetos JSON para todos sus mensajes, hay un par de razones para esto, en primer lugar, el código y los mensajes son legibles y fáciles de entender, y, en segundo lugar, hace que la integración con aplicaciones FrontEnd, aplicaciones web y otras aplicaciones javascript resulte algo más sencillo.



*Ilustración 56 Construcción de la malla y comunicación. (Autoría propia)*

La dirección de la flecha en Ilustración 56 representa la dirección en la que se realizan las conexiones. Cada nodo actúa como un punto de acceso (AP) para que otros nodos se conecten a este y este último a su vez conecta a un AP de otro nodo. Hay un límite de 4 nodos por AP para el ESP8266.

Cada nodo que ya no está o ya está conectado a un AP, busca el AP de otros nodos periódicamente. Se conectará al AP con la señal más fuerte, que aún no está presente en la lista de conexiones o sub conexiones, es decir, que el nodo aún no conoce. Al conectarse solo a puntos de acceso desconocidos, la malla evita la creación de bucles de red, de manera que hay una sola ruta entre cada par de nodos en la malla.

Se almacena una lista de conexiones del nodo y para cada conexión también se almacena una lista de sub conexiones. (Nota: la lista de conexiones contiene las conexiones recibidas por el nodo y las conexiones iniciadas por el nodo). Cada nodo conoce la topología de red completa.

La lista de sub conexiones por nodo se obtiene mediante un mensaje de solicitud / respuesta. La solicitud contiene las sub conexiones del nodo solicitante y la respuesta contiene las sub conexiones del nodo que responde. La colección de sub conexiones devueltas, siempre excluye la conexión que solicita y sus sub conexiones.

Casos en los que se realiza una nueva sincronización de nodos.

- La solicitud de sub conexiones, se realiza periódicamente.
- Cuando se detecta cualquier actualización en la red, es decir, cualquier sub conexión de un nodo ha cambiado
- Cuando un nuevo nodo se conecta a un nuevo AP

A continuación, se describe el rol y el esquema JSON utilizado para los diferentes mensajes. Los mensajes enviados entre nodos pueden subdividirse en mensajes de control y mensajes de usuario. Los mensajes de control se envían entre nodos para intercambiar información sobre enrutamiento y sincronizar el tiempo entre nodos, mientras que los mensajes de usuario son generados por el usuario y enviarán un objeto JSON a un solo nodo o lo transmitirán a través de la red.

El esquema básico de JSON para cualquier mensaje es:

```
{
  "dest": 887034362,
  "from": 37418,
  "type":6
}
```

Donde “dest” es el nodo de destino, “from” es el nodo anterior por el que pasó el mensaje y “type” es el tipo de mensaje. La dirección del nodo se deriva de los últimos 4 bytes de la dirección mac.

### **Sincronización de tiempo**

Los relojes de los nodos están sincronizados para que todos ellos compartan el mismo tiempo. Por lo tanto, se pueden ejecutar tareas de forma síncrona.

El tiempo en un nodo se sincroniza con sus nodos vecinos. Cuando el tiempo del nodo se actualiza, actualizará los tiempos de los nodos a través de las conexiones a excepción del nodo que lo actualizó. Por lo tanto, el tiempo de la malla se mantiene sincronizado en un lapso de pocos segundos con un desfase de unos pocos milisegundos.

La sincronización de tiempo se inicia periódicamente cada 10 minutos y se agrega un retraso aleatorio a cada iteración para evitar colisiones de sincronización de tiempo.

Además de esta sincronización casi periódica, se inicia una sincronización de tiempo cada vez que un nodo se conecta a un AP. Antes de iniciar una solicitud de sincronización, el nodo de origen decide si (su par o él mismo) debe adaptar su reloj. Los nodos con menos conexiones y sub conexiones adoptarán una nueva hora para sincronizarse. En el caso de un número igual de conexiones, el nodo se comportará como AP es el que define el tiempo de sincronización.

La precisión de sincronización se mide en cada iteración. Si no se alcanza un valor mínimo de 10 ms, se repite el mismo proceso hasta que se alcanza ese valor de precisión. Esto normalmente toma de 2 a 4 solicitudes de sincronización de tiempo para obtener una buena precisión después del primer inicio. Este proceso usualmente toma menos de un segundo.

## Mensajes JSON de sincronización de tiempo

Después de que un nodo se conecta por primera vez a la malla o se conecta a un nuevo AP de un nodo, se calcula la necesidad de adoptar el tiempo de otro nodo como se explicó anteriormente, si no tiene que adoptar el tiempo, le pide a la otra parte que solicite tiempo usando el siguiente mensaje.

```
{
  "dest": 37418,
  "from": 887034362,
  "type":4,
  "msg":{
    "type":2,
    "t0":32990,
    "t1":448585896,
    "t2":448596056,
  }
}
```

El destinatario iniciará un procedimiento de sincronización de tiempo. Por otro lado, si tiene que adoptar el tiempo, envía una solicitud como la siguiente:

```
{
  "dest": 887034362,
  "from": 37418,
  "type":4,
  "msg":{
    "type":1,
    "t0":32990
  }
}
```

El esquema JSON anterior contiene “t0”, este es el valor de reloj interno cuando el paquete se generó en el adoptador de sincronización de tiempo, el destinatario luego llena la respuesta con otras 2 marcas de tiempo, “t1” y “t2”, “t1” es la marca de tiempo cuando se recibió la solicitud, “t2” es la marca de tiempo cuando se genera la respuesta, el adoptador calcula la marca de tiempo “t3” como se recibe la respuesta. Lo anterior es representado en el siguiente esquema JSON:

```

{
  "dest": 37418,
  "from": 887034362,
  "type": 4,
  "msg": {
    "type": 2,
    "t0": 32990,
    "t1": 448585896,
    "t2": 448596056,
  }
}

```

El tiempo compensado y el retraso de ida y vuelta en el adoptador se calculan como:

$$\text{offset} = \frac{t1 - t0}{2} + \frac{t2 - t3}{2}$$

$$\text{tripDelay} = (t3 - t0) - (t2 - t1)$$

El proceso se repite el número requerido de veces hasta que el desplazamiento calculado sea inferior a 10 us. Normalmente, la primera sincronización toma de 2 a 4 iteraciones. Este proceso se repite cada 10 minutos.

### **Mensajes de enrutamiento**

La información de enrutamiento se comparte en forma de mensajes de sincronización de nodos. Cada nodo informa a sus vecinos sobre todos los demás nodos a los que está conectado directamente y todas sus respectivas sub conexiones. De esta manera, cada nodo tiene una imagen en tiempo real de toda la malla y sabe qué nodos están conectados a la malla. Esta información se actualiza cada 3 segundos. La sincronización consiste en un par de mensajes, primero el nodo envía un NODE\_SYNC\_REQUEST ("type": 5) a sus vecinos. En segundo lugar, los vecinos responden con un NODE\_SYNC\_REPLY ("type": 6). Ambos mensajes tienen el siguiente esquema:

```

{
  "dest": ...,
  "from": ...,
  "type": ...,
  "subs": [
    {
      "nodeId": ...,
      "root" : true,
      "subs": [
        {
          "nodeId": ...,
          "subs": []
        }
      ]
    }
  ]
}

```

### **Mensajes individuales**

Para mensajes individuales, se especifica un nodo de destino y origen. El mensaje es enviado a través de la malla y busca al nodo destino. Estos mensajes son de tipo 9 y se agrega una cadena que contiene el mensaje, lo que da como resultado el siguiente esquema JSON:

```

{
  "dest": 887034362,
  "from": 37418,
  "type": 9,
  "msg": "The message I want to send"
}

```

### **Mensajes de difusión**

Para los mensajes de difusión, todas las conexiones repiten el mensaje y se envía a cada nodo. Los nodos al recibir el mensaje de difusión, transmiten el mensaje a otros nodos, excepto al nodo por el cual se recibe el mensaje.

El mensaje de difusión es virtualmente idéntico a los mensajes individuales, pero su tipo se establece en 8 y el destino es igual a la identificación del nodo receptor. Cuando se reenvía dicho mensaje, el campo de destino se cambia al siguiente nodo al que se envía el mensaje.

#### 4.2.2. Software

La aplicación web desarrollada en esta investigación, está compuesta por un servidor desarrollado Node.js, el cual es un entorno de ejecución para JavaScript construido con el motor de JavaScript V8 de Chrome, Node.js usa un modelo de operaciones E/S sin bloqueo y orientado a eventos, que lo hace liviano y eficiente. Para el almacenamiento de información se implementó MongoDB que es la base de datos NoSQL líder y permite a las empresas ser más ágiles y escalables. Organizaciones de todos los tamaños están usando MongoDB para crear nuevos tipos de aplicaciones, mejorar la experiencia del cliente, acelerar el tiempo de comercialización y reducir costes. Todo lo anterior compone el BACK – END de la aplicación, para generar el proyecto Node.js se usó Yeoman, el cual es una herramienta de andamiaje de código abierto para aplicaciones web (Yeoman, 2014).

Los datos en MongoDB son conocidos como documentos, vienen en formato JSON o BSON y para el caso concreto de este proyecto se usó JSON. Los documentos son representaciones de datos que a diferencia de modelos SQL no necesariamente requieren relaciones, pero no se aleja de su implementación. Las bases de datos NoSQL suelen ser bases de datos mucho más abiertas y flexibles, permiten adaptarse a necesidades de proyectos mucho más fácilmente que los modelos de entidad relación.

MongoDB en integración con Node.js, cuenta con un modelador de objetos conocido como mongoose. Mongoose proporciona una solución directa y basada en esquemas (Schema) para modelar los datos de una aplicación. Incluye conversión de tipos de manera incorporada, validación, creación de consultas, enlaces de lógica de negocios y más, todo listo para usar (mongoose.js, 2011 ).

Una vez definida la tecnología y el modelador de objetos o documentos de la base de datos, se procedió a crear los documentos que entenderán la aplicación, para ello se determinó la información que se quiere almacenar, que se quiere mostrar y que es necesaria para la aplicación teniendo en cuenta todo el proceso de investigación.

Como base del modelo de datos, se creó el documento que representa la zona, la zona en contexto de la aplicación se interpreta como el área en donde se implantan los nodos, como se ha mencionado a lo largo del documento, cada zona tiene características únicas que deben ser definidas y que estarán dispuestas en el documento que la representa. Las variables ambientales que encaminan el proyecto son la temperatura, la temperatura del suelo, la

humedad, la humedad del suelo, la luminosidad, los rayos UV y los gases volátiles, tal como se especifica en el objetivo uno en la selección de sensores.

Cada zona en su singularidad tendrá valores que son y no son aceptables para cada variable, por lo tanto, es necesario describir estos rangos. Por otro lado, dependiendo de las condiciones ambientales por las cuales pasa la zona, las variables mencionadas cambiarán en intervalos de tiempo diferente, como ejemplo se piensa en la temperatura, esta generalmente es estable a lo largo del tiempo por lo cual no debe ser tomada con mucha frecuencia.

Dada las consideraciones anteriores, se establece un tiempo entre muestreo de datos a nivel de la zona. Por último, a medida que se cambien los sensores que componen el nodo se podrá tener una mayor eficacia a la hora tomar datos, tanto en área cubierta como en precisión, o en otras palabras un área de afectación en donde se interpreta que en ese espacio las variables comparten los mismos valores. Como resultado de los análisis anteriores se tiene el siguiente documento y esquema en Mongoose para Node.js:

```
_id: ObjectId("5cc519369a38b01b78bcac1a")
userId: "5cbab31038e4724174433f1b"
zoneName: "prueba"
description: "Prueba"
refreshWindow: 5
affectationArea: 2
minTemperature: 1
maxTemperature: 2
minHumidity: 1
maxHumidity: 2
minSoilHumidity: 1
maxSoilHumidity: 2
minSoilTemperature: 1
maxSoilTemperature: 2
minUV: 1
maxUV: 2
minVolatileGases: 1
maxVolatileGases: 2
minBrightness: 1
maxBrightness: 2
__v: 0
```

*Ilustración 57 Documento en MongoDB - Zona*

```
var ZoneSchema = new Schema({
  userId: String,
  zoneName: String,
  description: String,
  refreshWindow: Number,
  affectationArea: Number,
  minTemperature: Number,
  maxTemperature: Number,
  minSoilTemperature: Number,
  maxSoilTemperature: Number,
  minHumidity: Number,
  maxHumidity: Number,
  minBrightness: Number,
  maxBrightness: Number,
  minSoilHumidity: Number,
  maxSoilHumidity: Number,
  minUV: Number,
  maxUV: Number,
  minVolatileGases: Number,
  maxVolatileGases: Number,
  minPressure: Number,
  maxPressure: Number
});
```

*Ilustración 58 Esquema con Mongoose para Node.js - Zona*

Los datos atributos como `_V` y `_id`, son creados automáticamente por la base de datos, representan el código único del registro y la versión del documento.

Otro ente imprescindible en el proyecto, son los datos recolectados por los nodos, estos están compuestos por las variables mencionadas con anterioridad, pero no solo se necesita saber que valores obtuvieron, sino también, la ubicación en donde lo hicieron, de tal forma que sean

fácilmente ubicables en un mapa. Dado que cada dato es tomado en un momento diferente, se necesita almacenar la fecha de obtención y en qué zona se tomaron. Como resultado del análisis anterior, el documento que representa al nodo es el siguiente:

```
_id: ObjectId("5cce9ad92e256f4ab4b7d11b")
lat: 10.123112
lng: 11.123112
temperature: 25
soilTemperature: 27
humidity: 80
brightness: 623
soilHumidity: 45
volatileGases: 628
uv: 3
zoneId: "5ac012583e194204e0afef6b"
date: 2019-05-05 00:48:18.000
__v: 0
```

*Ilustración 59 Documento en MongoDB - Nodo*

```
var NodeSchema = new Schema({
  lat: Number,
  lng: Number,
  temperature: Number,
  soilTemperature: Number,
  humidity: Number,
  brightness: Number,
  soilHumidity: Number,
  uv: Number,
  volatileGases: Number,
  zoneId: String,
  date: Date
});
```

*Ilustración 60 Esquema con Mongoose para Node.js - Nodo*

Al definir la zona, se definieron rangos de datos válidos para los datos censados, además se entiende que los datos son tomaos en intervalo tiempo, por lo cual cada X tiempo se puede presentar que los datos obtenidos estén por debajo o por encima de los establecidos. Teniendo lo anterior en cuenta, se definió un documento compuesto por la zona donde se tomó el dato, la fecha, y las variables que estuvieron fuera de los límites establecidos, con el objetivo de almacenar esas anomalías en la base datos. Dada que la cantidad de nodos que conforman una zona pueden ser pocos o muchos, se decidió por almacenar estas anomalías cuando el promedio de estas variables en el periodo de tiempo establecido sobrepase los límites.

El aplicativo tiene la cualidad soportar múltiples zonas, se recomienda dividir el terreno en zonas en donde el promedio de sus variables sea significativo, de tal forma que los errores registrados sean más precisos.

```

_id: ObjectId("5ccbe24814d69344f4d974ec")
zoneId : "5ac012583e194204e0afef6b "
date : 2019-05-03 01:40:08.505
valuesOutOfRange : Array
  > 0 : Object
    variable : "Temperatura "
    value : 10.4
    _id: ObjectId("5ccbe24814d69344f4d974f3")
  > 1 : Object
  > 2 : Object
  > 3 : Object
  > 4 : Object
  > 5 : Object
  > 6 : Object
__v : 0

```

```

var ZoneErrorSchema = new Schema({
  zoneId: String,
  date: Date,
  valuesOutOfRange: [
    {
      variable: String,
      value: Number
    }
  ]
});

```

*Ilustración 61 Documento en MongoDB - Ilustración 62 Esquema con Mongoose para Errores en la zona*

Dado que no todas las personas que monitorean el estado del cultivo conocen su naturaleza, o puede que no tengan las facultades o los permisos necesarios para modificar los datos definidos en la zona, se creó un documento que define los usuarios que harán uso de la aplicación. Se tiene primeramente un usuario administrador, el cual se ingresa como un dato por defecto en la aplicación que tendrá la cualidad de crear otros usuarios no administradores (Usuarios estándar), cada usuario estándar tendrá zonas asociadas, lo que explica el campo `userId` en el documento de la zona. Cada usuario tendrá, además, un nombre de usuario, una contraseña, el rol definido por defecto como `ROLE_USER` por la aplicación, un nombre, un apellido y un correo. Adicionalmente y con el propósito de enviar notificaciones en la aplicación al usuario, se creó el campo `token`, su funcionamiento será explicado más adelante.

```

_id: ObjectId("5b42de6b9cc6ef087858fe4f")
username: "juan1"
password: "1234"
role: "ROLE_USER"
name: "Juan luís"
lastname: "Restrepo "
email: "jaun@hotmail.com"
token: "fB04gOxaJ7U:APA91bEV1tzclwRyrYJTPF"
__v: 0

```

```

var UserSchema = new Schema({
  username: String,
  password: String,
  role: String,
  name: String,
  lastname: String,
  email: String,
  token: String
});

```

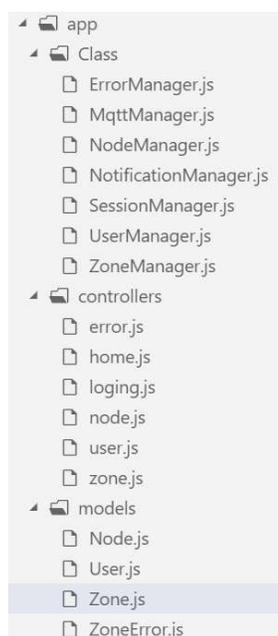
*Ilustración 63 Documento en MongoDB - Usuario*

*Ilustración 64 Esquema con Mongoose para Node.js - Usuario*

La arquitectura manejada para el servidor es modelo vista controlador (MVC), en donde los controladores son una serie de Middlewares de ExpressJS (Ilustración 65 Arquitectura en carpetas del servidor), lo que hace que el servidor se comporte como una aplicación de

Transferencia de Estado Representacional (REST). Los objetos REST siempre se manipulan a partir de Identificadores uniformes de recursos (URIs) o que en código son conocidos como ENDPOINTS. Es la URI y ningún otro elemento el identificador único de cada recurso de ese sistema REST. La URI nos facilita acceder a la información para su modificación o borrado, o, por ejemplo, para compartir su ubicación exacta con terceros (Ilustración 66 Endpoint en Node.Js).

Dado al comportamiento REST de la aplicación se crearon servicios dispuestos para la página desarrollada en Angular, no obstante, conociendo el JSON de salida generado por los Endpoints de Node.Js, los servicios pueden ser usados por aplicaciones de terceros.



*Ilustración 65  
Arquitectura en  
carpetas del servidor*

```
router.post('/CreateUser', function (req, res) {  
  
  var sbUsername = req.body.username.toLowerCase(),  
      sbPassword = req.body.password,  
      sbName = req.body.name,  
      sbLastname = req.body.lastname,  
      sbEmail = req.body.email;  
  
  ControlUser.CreateUser  
  (  
    sbUsername,  
    sbPassword,  
    sbName,  
    sbLastname,  
    sbEmail,  
    res  
  );  
});
```

*Ilustración 66 Endpoint en Node.Js*

Tal como se muestra en la Ilustración 65 Arquitectura en carpetas del servidor, se crearon clases en JavaScript, con el objetivo de encapsular la lógica entre el servidor y la base de datos. Se crearon clases para el manejo de errores (ErrorManager), la conexión MQTT entre los nodos y el servidor (MqttManager), el manejo de datos almacenados de los nodos (NodeManager), las notificaciones a los usuarios (NotificationManager), el manejo de sesiones (SessionManager) y el CRUD de zonas y usuarios (UserManager y ZoneManager).

Resaltando la clase `MqttManager`, se aprecia que es el puente entre la obtención de datos de los nodos y el servidor, en donde el procesamiento se hace por medio del protocolo MQTT implementando la librería `MQTT.js`, `MQTT.js` es una biblioteca cliente para el protocolo MQTT, escrita en JavaScript para `node.js` y el navegador (Rudd, Collina, Agor, & Buntsevich, s.f.). Se decidió este protocolo por su fácil implementación y manejo. El protocolo está pensado para ser utilizado en redes inalámbricas y con bajo ancho de banda. Una aplicación que utiliza MQTT envía y recibe mensajes llamando a una biblioteca de MQTT. Los mensajes se intercambian a través de un servidor de mensajería de MQTT. El cliente y el servidor de MQTT manejan las complejidades de entregar mensajes de forma fiable para la aplicación y mantener bajo el precio de la gestión de red.

`NotificationManager` por otro lado implementa `Firebase Cloud Messaging (FCM)` para el lado del servidor. FCM es una solución de mensajería multiplataforma que te permite enviar mensajes de forma segura y gratuita, con FCM, puedes notificar a una app cliente que un correo electrónico nuevo o que otros datos están disponibles para la sincronización (Google, s.f.). Como parte de los requisitos que se necesitan para usar FCM, es un token que permita enviar mensajes al cliente siempre y cuando este lo acepte, se creó el campo `token`, en el esquema de usuarios.

Para la creación del FRONT - END del proyecto se usó `Angular 7`, que es un marco de trabajo muy equilibrado, proporciona `TEMPLATING`, `DATABINDING` y una arquitectura estándar para los proyectos. Este último se usó en conjunto de servicios brindados por `GOOGLE`, como, por ejemplo: `Google Maps`, `Firebase`, etc.

Las versiones correspondientes de cada tecnología mencionada anteriormente son las siguientes: `Angular CLI: 7.3.6`, `Node.js` en versión `11.12.0` y `MongoDB` en versión `3.6.5`.

### 4.3. Desarrollo de un prototipo funcional de un sistema de medición automatizada de variables ambientales para agricultura de precisión

#### 4.3.1. Hardware

##### 4.3.1.1. Prototipo inicial

##### 4.3.1.1.1. Diagrama de Bloques del prototipo

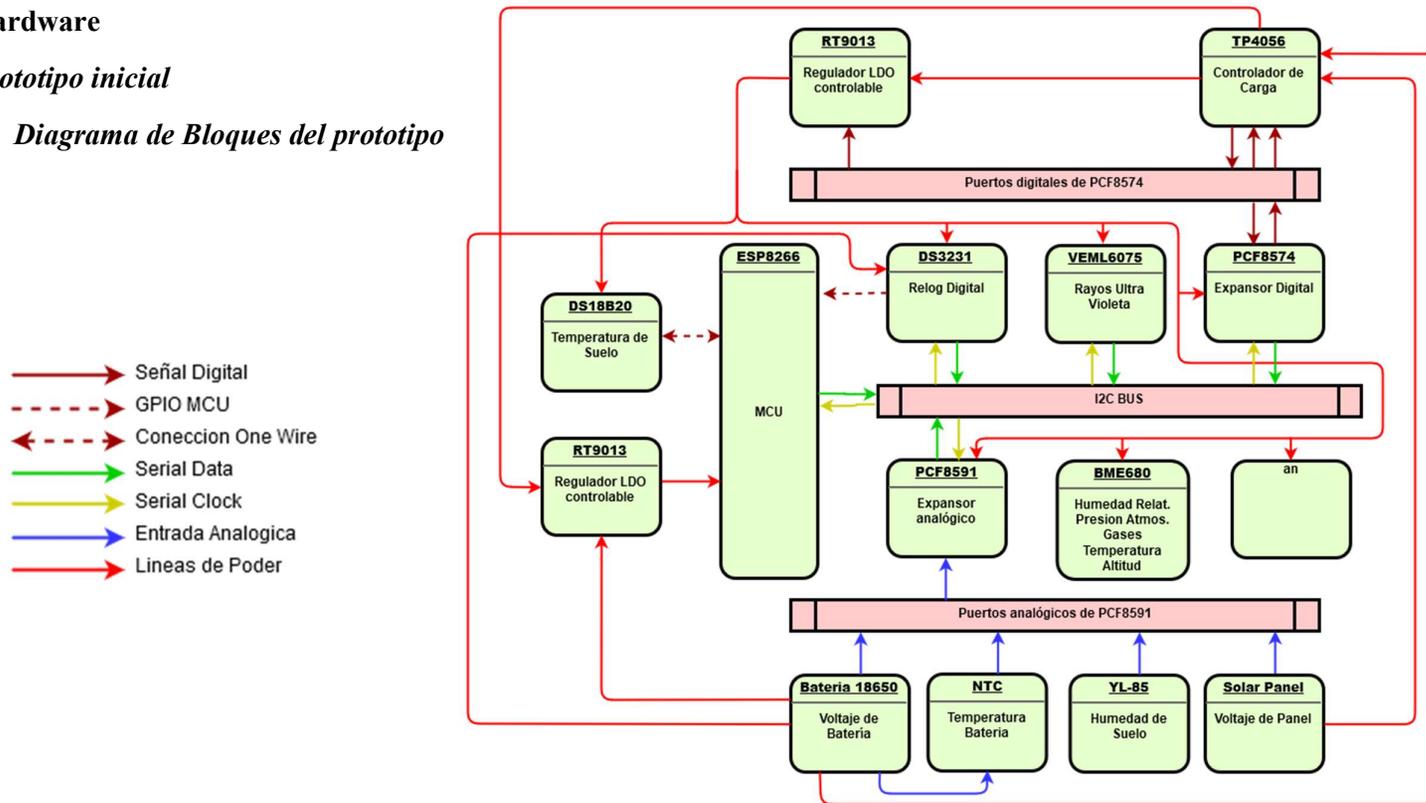
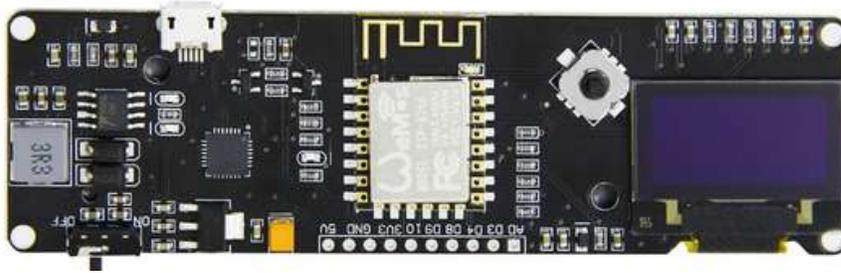


Ilustración 67 Diagrama de Bloques de conexión de los módulos

#### 4.3.1.1.2. *Plataforma de desarrollo implementada*



*Ilustración 68 Vista frontal Placa de desarrollo ESP8266 con Pantalla Oled*



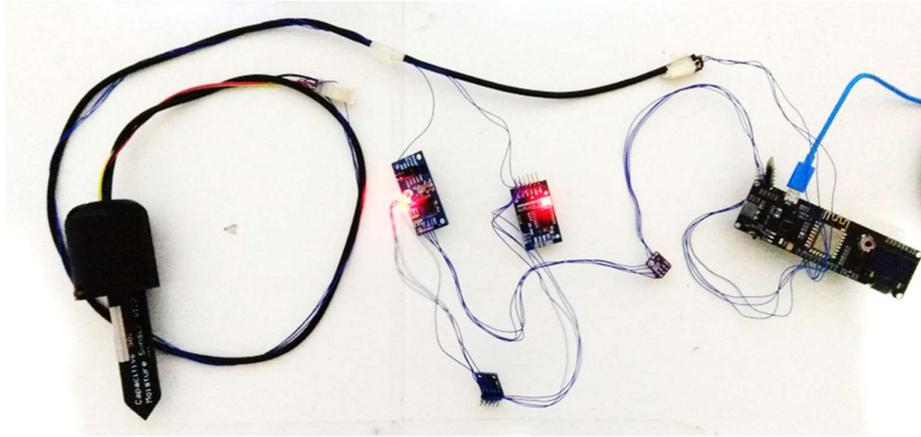
*Ilustración 69 Vista lateral Placa de desarrollo ESP8266 con Pantalla Oled*

Para la elaboración del prototipo se implementó una plataforma de desarrollo basada en el ESP8266 la cual integra un sistema de carga a través del módulo TP4056, una batería 18650 y por último una pantalla OLED para la visualización de información, además de un botón multipropósito para configuración.

Esta plataforma de desarrollo tiene expuesta las conexiones necesarias para anclar cada uno de los módulos comentados en la sección [4.2.1.1](#), por lo que facilitó el desarrollo y prueba de este. [Módulos electrónicos](#)

Se puede esperar que la frecuencia de transmisión de información de los sensores anclados a la plataforma sea igual o menor, una vez se tenga el prototipo final. Lo anterior, debido a que todos los módulos que implementan el protocolo I2C tienen resistencias PULL UP, lo cual, disminuye la frecuencia del bus de datos I2C.

Para ratificar lo anteriormente dicho se necesitaría el uso de un osciloscopio donde se evidencie la disminución de la frecuencia y para efectos de este trabajo de grado no se contempla esta evaluación.



*Ilustración 70 Plataforma de Desarrollo con sensores*

La Ilustración 70 Plataforma de Desarrollo con sensores, demuestra la posibilidad de conectar todos y cada uno de los módulos comentados anteriormente en la sección 4.2.1.

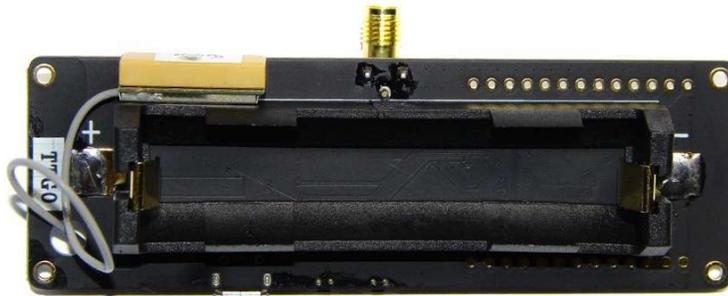
Cabe destacar que dentro de las bondades del software del prototipo, este realiza un proceso de censado y posteriormente ejecuta un algoritmo de suavizado de datos ya sea “promedio” o “mínimos cuadrados”, esto se ejecutan si el dato es obtenido a través del protocolo I2C o adquirido a través de un puerto análogo respectivamente, dado que las señales digitales ya implementan un proceso de filtrado en los chips y lo que se ve afectado es el envío de información más no la información como tal, pero las señales análogas están más expuestas a las interferencias del ambiente la información se daña en el proceso de transmisión.

El sistema implementa un matriz de N:M donde N es el número de variables que se toman y M la cantidad de muestras, al finalizar la toma de datos de cada una de las variables según sus tiempos de muestreo se ejecuta el algoritmo de suavizado respectivo y se almacena la información en un arreglo de tamaño N, este permite identificar la finalización de la toma de datos, permitiendo así la creación del mensaje que se envía al servidor.

#### 4.3.1.1.3. Servidor GPS



*Ilustración 71 Placa de desarrollo prevista para el Servidor GPS Vista Frontal*



*Ilustración 72 Placa de desarrollo prevista para el Servidor GPS Vista Trasera*

La plataforma de desarrollo T-BEAM es usada como Servidor GPS, se usa como un servicio que provee la latitud y longitud además de la fecha en formato EPOCH y el Tópico al que cual la malla publicará sus datos, la latitud longitud y fecha son obtenidos mediante la conexión interna que tiene con el módulo electrónico uBlox que trae consigo y a su vez esta información puede ser consultada por cada uno de los nodos a la hora de la configuración inicial. La plataforma T-BEAM tiene como controlador principal el ESP32 y que además de ser un Microprocesador embebe funcionalidades Wi-Fi similares al ESP8266 usadas en el prototipo, es necesario destacar que permite la creación de un servidor http accesible a través de la red inalámbrica que genera o Punto de Acceso (Access Point).

T-BEAM además incorpora LoRa, es tecnología ampliamente usada para telemetría de larga distancia, que, para futuras versiones del prototipo, esta podría ser implementada como enlace troncal entre Internet y los cultivos que estén alejado de una conexión a Internet.

La Ilustración 71 Placa de desarrollo prevista para el Servidor GPS muestra el estado físico de la plataforma, en la cual se aprecia la antena que tiene para obtener la señal de los satélites que ofrecen el servicio de GPS, y la batería 18650 que incorpora para subsistir mientras funciona aislado de una fuente de energía constante, el conector SMA que se logra visualizar es para la implementación de LoRa pero para efectos de esta prueba, dicha tecnología no se usará.

#### **4.3.1.1.4. Consideraciones de los sensores usados**

De acuerdo a la hoja de datos de cada uno de los sensores se pudo especificar el área mínima de censado en condiciones normales 25°C a partir de estos, la Tabla 16 Descripción de áreas de censado por sensor representa la siguiente información:

Sensor	Área de Censado
BME680	~30m <sup>2</sup>
VEML6030	N/A
VEML6075	N/A
DS18B20	~12m <sup>2</sup>
YL-85	~1m <sup>2</sup>

*Tabla 16 Descripción de áreas de censado por sensor*

### 4.3.1.2. Prototipo final

Una vez se determinaron los componentes y las forma en que estos deben interactuar, se procedió con la creación de un circuito electrónico conformado por todos los elementos descritos anteriormente, para ello se usó un software de diseño asistido por computadora mecánico, o MCAD KiCad, para diseñar y desarrollar sistemas mecánicos.

#### 4.3.1.2.1. Esquema electrónico general del prototipo

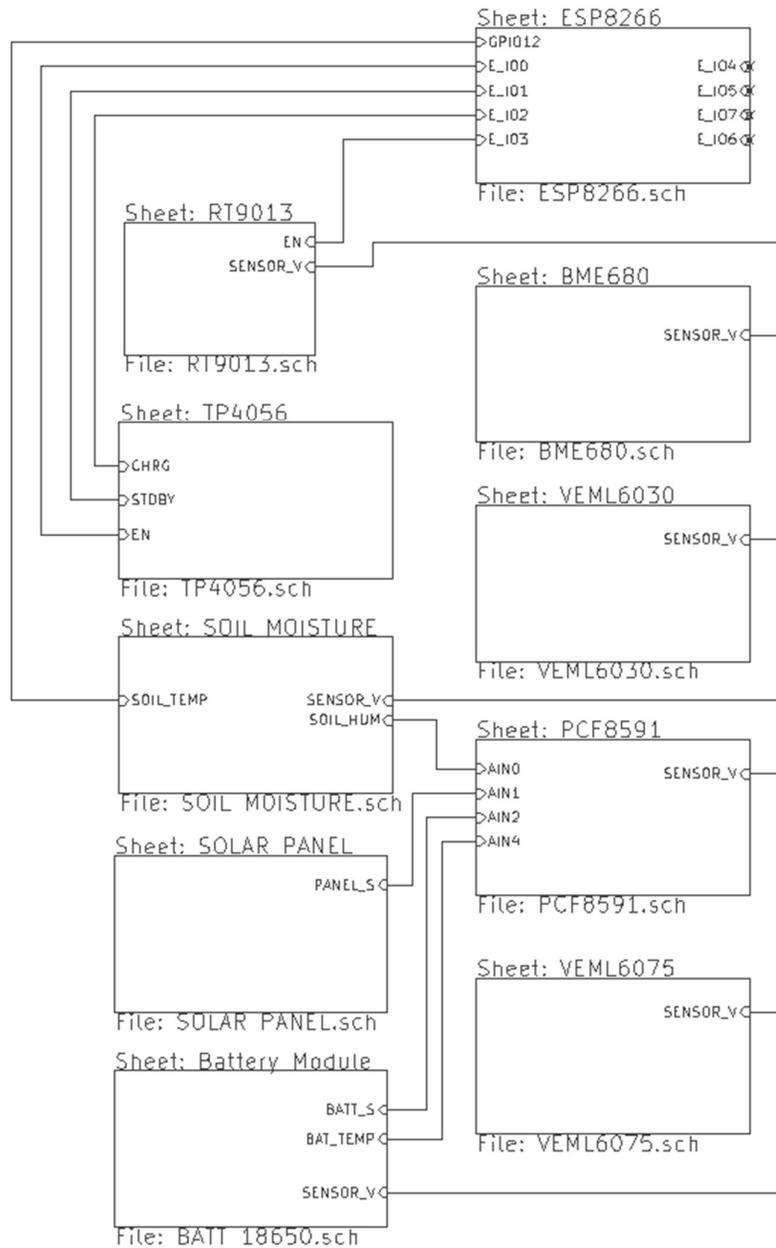
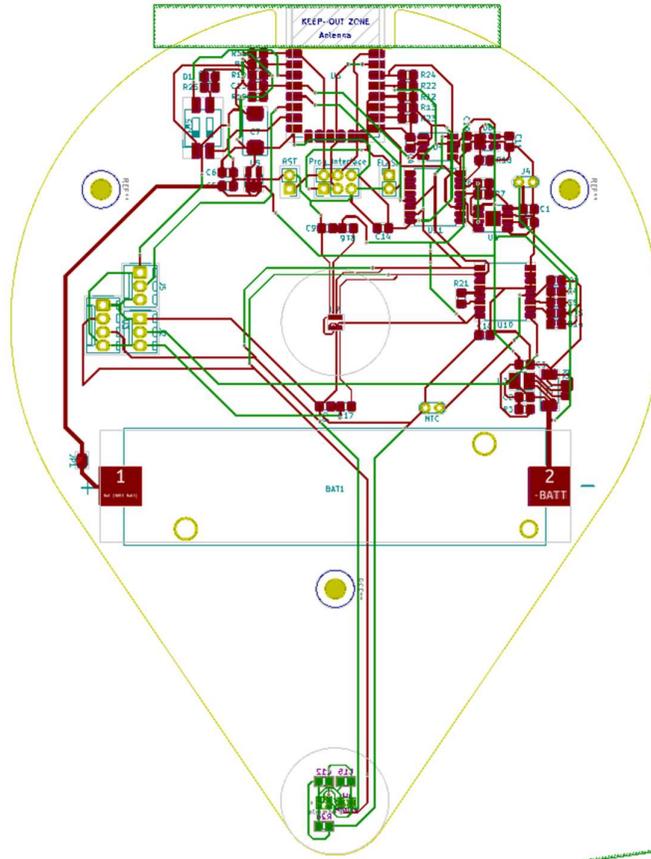


Ilustración 73 Esquema General de bloques del sistema embebido

#### 4.3.1.2.2. Circuito Impreso



*Ilustración 74 Circuito electrónico del prototipo final*

De igual forma, se decidió crear un modelo 3D, debido a que al diseñar el circuito que comprende la funcionalidad del dispositivo desde cero, es posible generar un envoltorio propio. Las ventajas que trae este proceso van desde reducción de costos en compra de piezas, hasta la reducción de tiempo en la espera por errores de diseño por parte de empresas que creen envoltorios para el dispositivo.

Para el desarrollo de este circuito impreso se tuvieron consideraciones técnicas propuesta por las diferentes empresas que promueven los diferentes componentes, un ejemplo de lo estas consideraciones puede ser para el ESP8266, el cual necesita un margen entre él y la PCB, de acuerdo a la guía de desarrollo de hardware presentada por la empresa Expressiff de desarrollo de hardware embebido:

“If the positions recommended are not suitable, please make sure that the module is not covered by any metal shell. The antenna area of the module and the area 5 mm outside

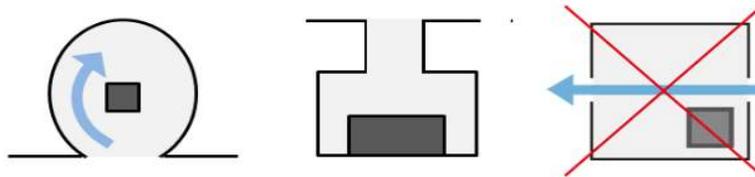
the antenna should be kept clean, (namely no copper, routing, components on it)” (Espressif, 2017)”

Se estableció la posición del módulo ESP8266 dentro de la PCB diseñada.

Para el caso del sensor BME680 nos referimos a la hoja de datos proporcionada, por Sparkfun donde a través de una serie de imágenes explican el posicionamiento que el sensor debe. Las consideraciones térmicas que se deben tener en cuenta y los aspectos mecánicos de donde se coloca el sensor para que este efectúe de forma óptima las mediciones.

La colocación incorrecta del sensor puede perjudicar el rendimiento. Por lo tanto, a continuación, se proporcionan algunas pautas para garantizar mediciones precisas y tiempos de respuesta relativamente rápidos:

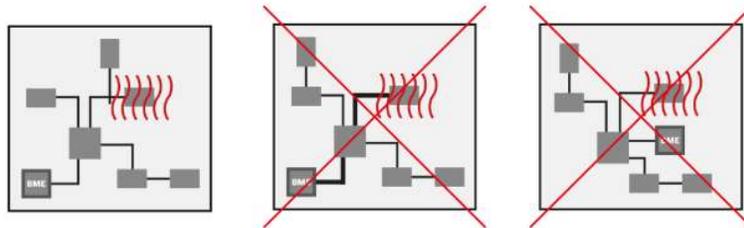
- El sensor debe colocarse lo más cerca posible del entorno, es decir, aire ambiente. El volumen muerto dentro de la cavidad, donde se coloca el sensor, debe ser minimizado
- El espacio por encima de la tapa metálica del sensor debe ser de al menos 0,1 mm
- Una gran apertura y un canal corto, a través del cual el gas se está difundiendo para alcanzar el sensor dentro del sistema, son altamente recomendados” (Sparkfun,2017)



*Ilustración 75 Diseño de cavidad para el BME680 (Sparkfun)*

De izquierda a derecha se tiene, una cavidad pequeña con flujo de aire (Izquierda), posicionamiento en una pequeña cavidad con un canal corto para el contacto con el ambiente (medio) y por ultimo cavidad de alto volumen sin flujo directo de aire (Derecha), para el caso particular de este proyecto se seleccionó la del posicionamiento en una cavidad pequeña con un canal de acceso hacia el medio ambiente, para mayor información referirse a la consideraciones de diseño 3D que influyen sobre este sensor en la Ilustración 81 Corte de Análisis de Sección de la consideración F.

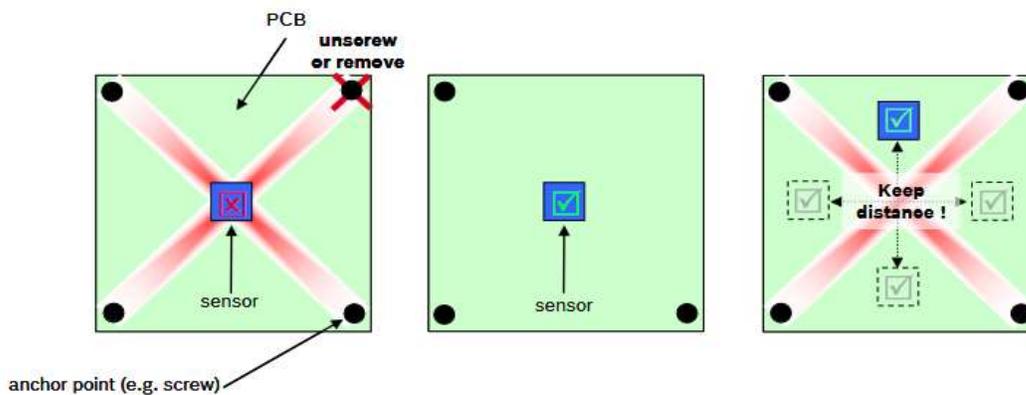
Es pertinente mencionar que dentro del diseño de la PCB respecto al sensor BME680 se deben tener algunas consideraciones térmicas que se deben seguir, estas se encuentran en la hoja guía proporcionada por Sparkfun.



*Ilustración 76 Consideraciones térmicas del BME680 en la PCB (Sparkfun)*

Se puede observar en la Ilustración 76 que el sensor debe estar alejado de cualquier fuente de calor interna (ESP8266 y Batería de Litio), y además la ruta que alimenta el módulo debe ser lo suficientemente delgada para conducir el calor de la fuente al sensor de forma directa.

Es por lo anterior mencionado que se definió el lugar del sensor al centro de la PCB alejado de toda fuente de calor y aislado térmicamente a través del diseño que se realizó para el representado en la Ilustración 81.



*Ilustración 77 Métodos para evitar el estrés mecánico en el sensor BME680 (Sparkfun)*

La Ilustración 77 presenta los métodos para minimizar el estrés mecánico en el sensor: (izquierdo) el sensor se coloca incorrectamente en una ubicación de alto esfuerzo mecánico, se quita el tornillo redundante (medio) para minimizar el estrés, el sensor (derecho) se coloca correctamente a una distancia razonable del área con alto nivel de estrés.

Debido a lo mencionado anteriormente la PCB no se atornilla, para ello tiene 3 agujeros que le permiten encajar y quedar fija en el modelo diseñado referenciado en la Ilustración 80 Modelo 3D del contenedor de la PCB.

Los sensores de luminosidad e índice ultravioleta por su naturaleza deben estar de alguna forma en contacto con la luz ambiental, esta luz no puede ser inducida hacia los sensores por reflexión dado que se presentarían variaciones no acordes a los datos reales.

El aislamiento de los sensores VEML6030 y VEML6075 define la forma de gota que tiene la PCB, el panel solar utilizado tiene un diámetro de 16cm lo cual indica un radio 8cm, este sensor se encuentra a una distancia de 10cm del centro del panel por lo que se garantiza que los rayos de luz logren incidir sobre estos.

La ubicación de la batería se da dado que esta por ser lo suficientemente grande ante el módulo ESP8266 podría causar alguna interferencia que no pueda garantizar su correcto funcionamiento,

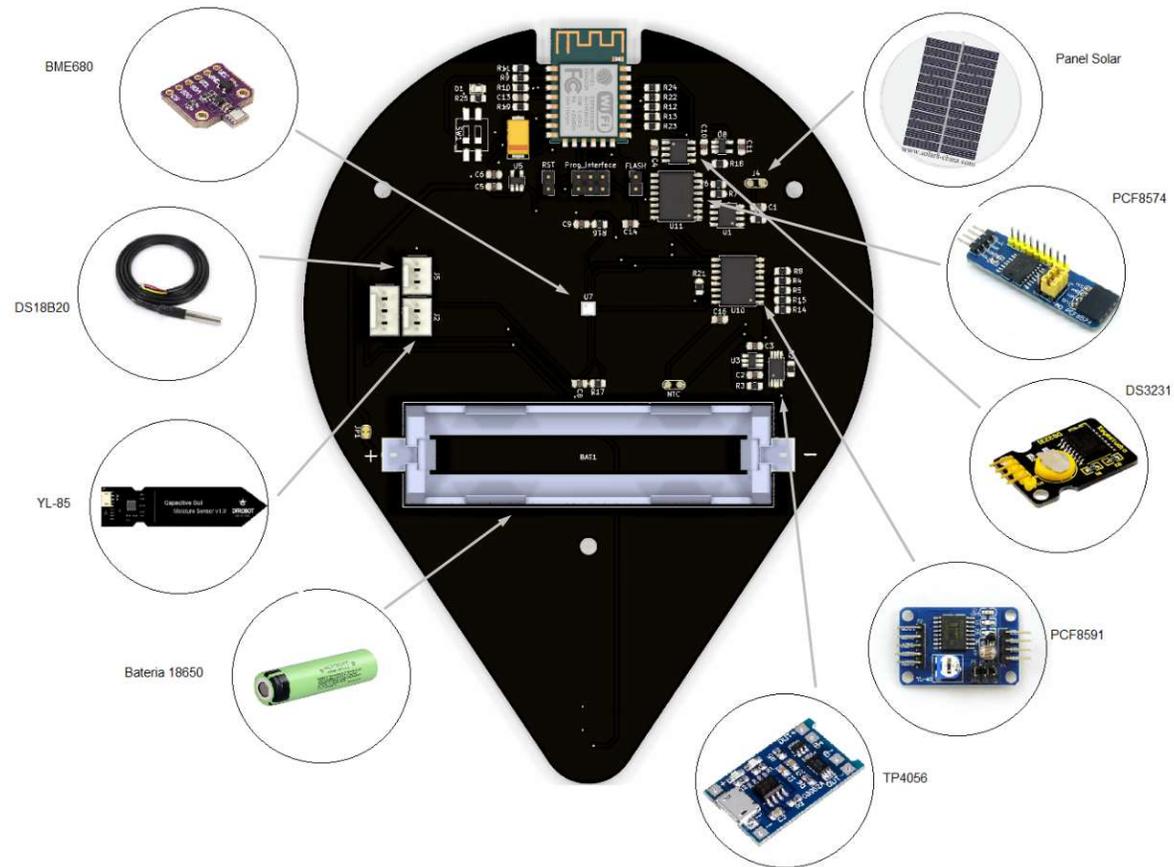
Los conectores de los sensores de suelo no tienen ninguna consideración, dentro del diseño se tomó la libertad de colocar en esta posición por conveniencia del modelo dado que era un lugar de la PCB que no había sido llenado por componentes electrónicos

#### ***4.3.1.2.2.1. Modelo 3D de la PCB***

Para la elaboración del modelo 3D se usó un software de Diseño Asistido por Ordenador Eléctrico (ECAD, por sus siglas en inglés) que generalmente es utilizado para crear y modificar diagramas y diseños, incluidos 2D y 3D, para diseñar, evaluar y documentar placas de circuitos impresos (PCB) electrónicos.

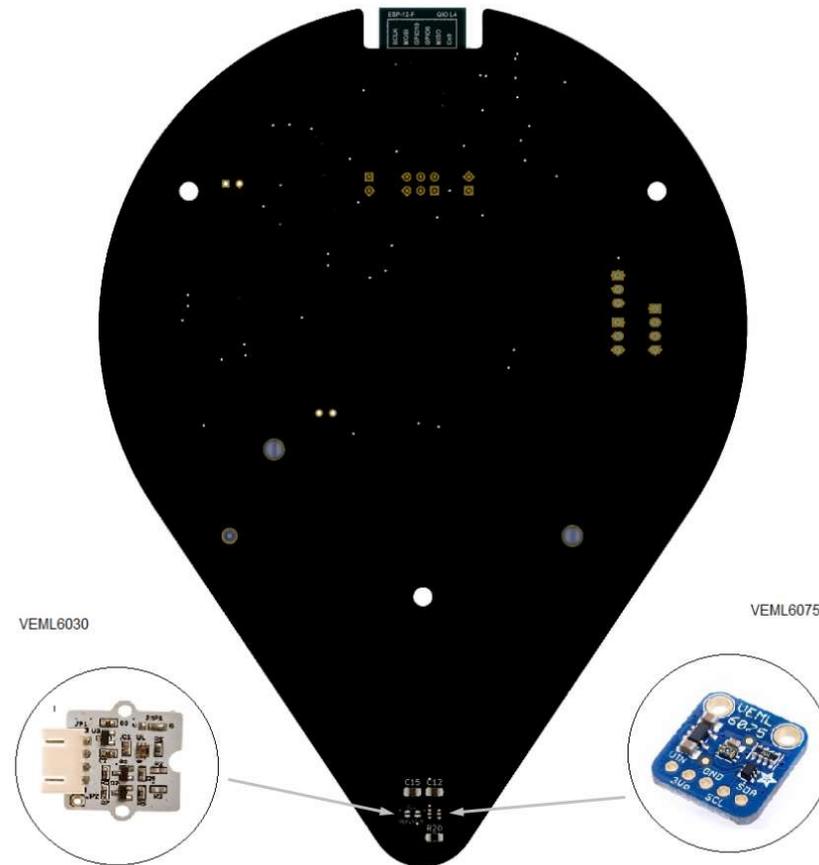
Se utilizó KiCad como software para el desarrollo del circuito impreso, este software integra los modelos 3D de cada componente utilizado en el diseño 3D de la PCB y los posiciona de acuerdo a las necesidades del desarrollador, inicialmente se realiza un diagrama esquemático que contiene de forma teórica todas las conexiones que se realizaran. Posteriormente, se hace una asociación entre cada símbolo de cada componente del diagrama inicial con su pieza física teniendo en cuenta el número de interfaces, la numeración de las interfaces, el tipo de encapsulado, entendiéndose encapsulado como la forma física del componente a posicionar, y una vez se tiene la asociación de todos los componentes se procede a general la lista de asociaciones, por consiguiente se procede al diseño del circuito impreso, este diseño refleja cómo se verá físicamente el dispositivo. Este proceso es en donde se tienen en cuenta todas las

consideraciones sobre el posicionamiento de los sensores, y por último se exporta el modelo generado por el ECAD KiCad a un formato legible por un MCAD como Fusion 360 donde se realiza el diseño del contenedor.



*Ilustración 78 Vista Frontal del prototipo del proyecto*

La Ilustración 78 muestra donde se encuentra cada uno de los módulos descritos anteriormente en lo que sería el primer diseño del prototipo final del presente proyecto.



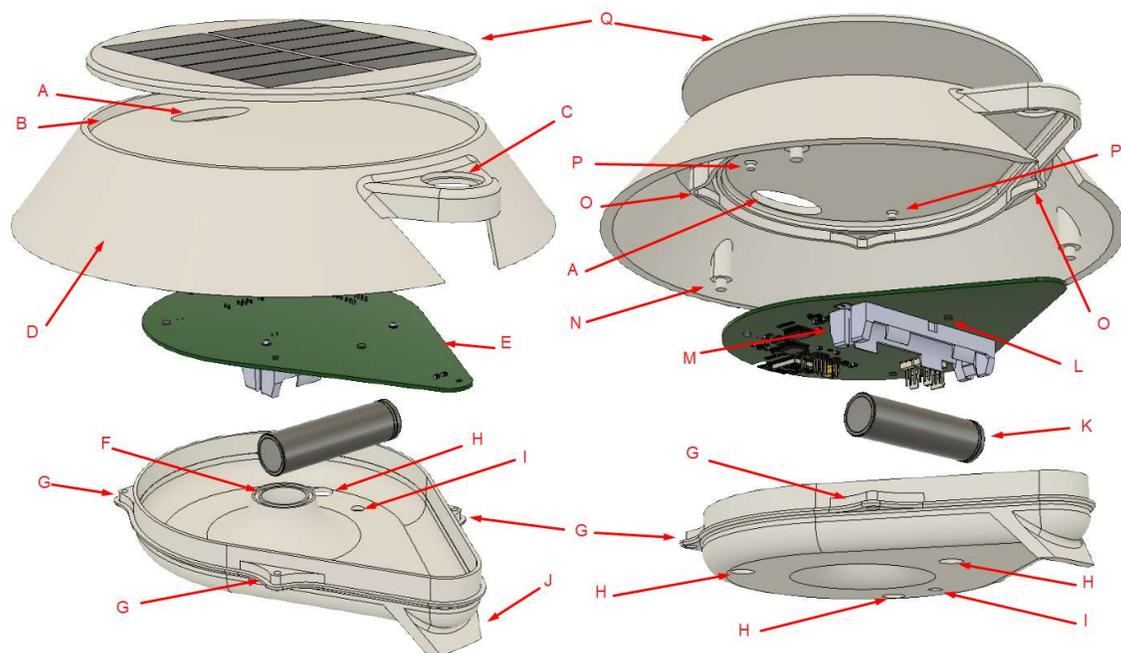
*Ilustración 79 Vista Trasera del prototipo del Proyecto*

La Ilustración 79 muestra donde se encuentra cada uno de los módulos descritos anteriormente en lo que sería el primer diseño del prototipo final del presente proyecto.

Dado al proceso de elaboración de modelos 3D, se pudo crear un modelo de integración entre los dominios de diseño de ECAD y MCAD, con esta integración se hizo la propuesta del sistema embebido que integra todas las soluciones anteriormente descritas, dan como resultado las siguientes ilustraciones.

#### 4.3.1.2.3. Modelo 3D del contenedor del prototipo

Para el desarrollo de los siguientes modelos 3D, se tuvieron en cuenta aspectos críticos que definieron características de estos, tales como su área máxima y volumen máximo, todos los modelos son menor a 23cm x 23 cm en un plano X, Y dado que la impresora utilizada tiene un área máxima de impresión de 529cm<sup>2</sup> equivalente a 23cm x 23cm, además dada la naturaleza de la impresora 3D esta se ve forzada en impresiones con un ángulo de inclinación en las piezas superior a los 50°, por lo que todas las piezas descritas cumplen con estas consideraciones.



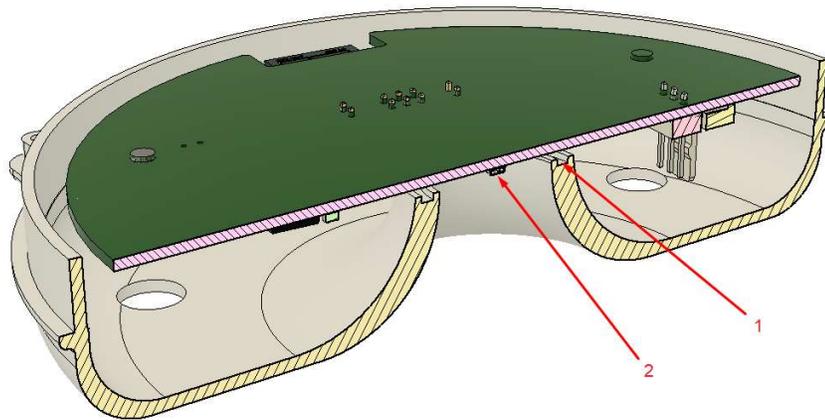
*Ilustración 80 Modelo 3D del contenedor de la PCB*

En la Ilustración 80 Modelo 3D del contenedor de la PCB se pueden observar flechas rojas, las cuales denotan consideraciones que se tuvieron en cuenta al momento de modelar la carcasa del prototipo, para ello a continuación se procederá con la explicación de cada una de ellas.

- A. Este orificio se hace presente dado que el panel solar representado con el rotulo S tiene sus cables de energía que se conectan a la PCB denotada como E en el

esquema, por lo que debe atravesar la base donde está siendo soportado denominada B.

- B. Base donde el panel solar descansa una vez instalado.
- C. Orificio por el cual inciden los rayos de Luz sobre los sensores VEML6030 y VEML6075, cabe resaltar que este orificio tiene un cristal que permite el paso de luz aislando el circuito del ambiente.
- D. Cobertura o Lamina de pagoda, esta lamina se diseñó para evitar que el agua llegue directamente dentro del sistema, evitando algún tipo de corto por algún tipo de filtración que esta pueda tener.
- E. Modelo 3D de la PCB
- F. Este orificio está diseñado con el fin de brindarle contacto directo al sensor BME680 (2 en la Ilustración 81) con el ambiente, esta característica del modelo se define en las consideraciones hechas sobre el circuito impreso, cabe resaltar que este orificio tiene un canal circunscrito en su grosor (1 en Ilustración 81), permitiendo el uso de un empaque que permite aislar polvo y humedad de los componentes críticos.

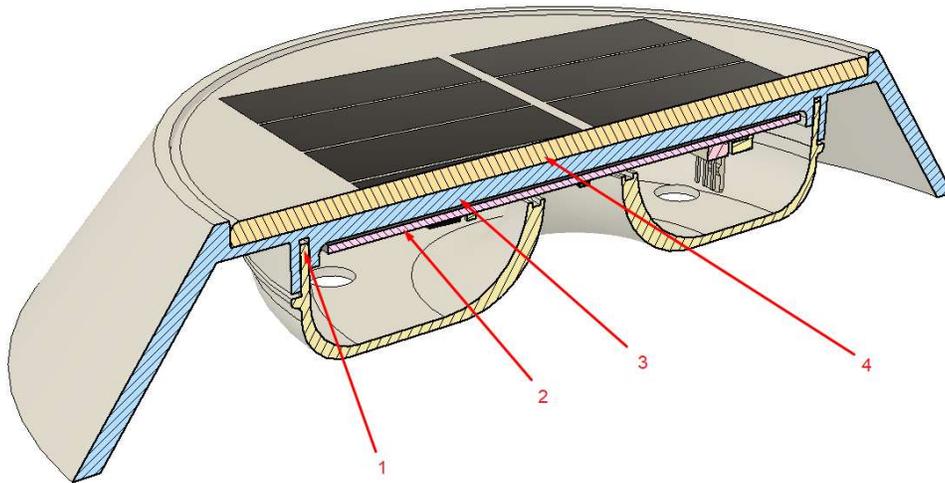


*Ilustración 81 Corte de Análisis de Sección de la consideración F*

- G. Base para los tornillos que aseguran la cubierta superior con la cubierta inferior
- H. Orificios diseñados para recibir la varilla que compactará todo el sistema desde la base en la Ilustración 85 hasta la cubierta superior de la Ilustración 80
- I. Esta consideración permite acceder a las conexiones físicas de los sensores YL-85 y DS18B20 en la PCB
- J. Complemento del rótulo D explicado anteriormente.
- K. Batería 18650

- L. Esta consideración de diseño de la PCB incide sobre el modelo 3D, el rótulo P permite fijar la PCB a la cubierta superior sin ningún tipo de tornillo.
- M. Componente de la PCB donde se monta la batería.
- N. Pilates de acoplamiento de la cubierta superior con los demás componentes del modelo 3D
- O. Espacio definido para que la consideración denotada con el rótulo G encaje y permita la unión a través de los tornillos de la cubierta superior con la cubierta inferior.
- P. Pilar diseñado para fijar la PCB al modelo 3D, evitando así una de las recomendaciones hechas por Sparkfun en su hoja de datos referenciada en el apartado de las consideraciones del diseño de la PCB sobre el sensor BME680 donde este debe estar en lo posible fuera de las zonas de estrés generadas por lo tornillos.
- Q. Panel solar.

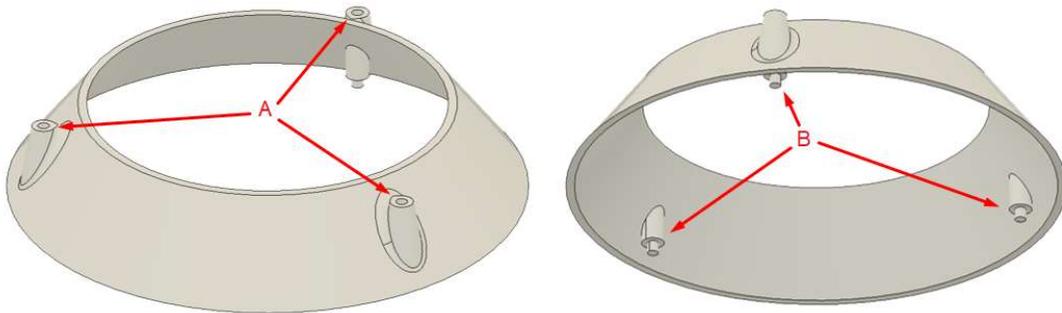
La Ilustración 82 muestra algunas características que no se mencionaron anteriormente dado que las imágenes presentadas eran demasiado pequeñas y no se podía ilustrar correctamente. La representación a través del corte de análisis se puede visualizar cómo interactúan las piezas una vez modelado todo el sistema.



*Ilustración 82 Corte de Análisis de Sección del sistema ensamblado*

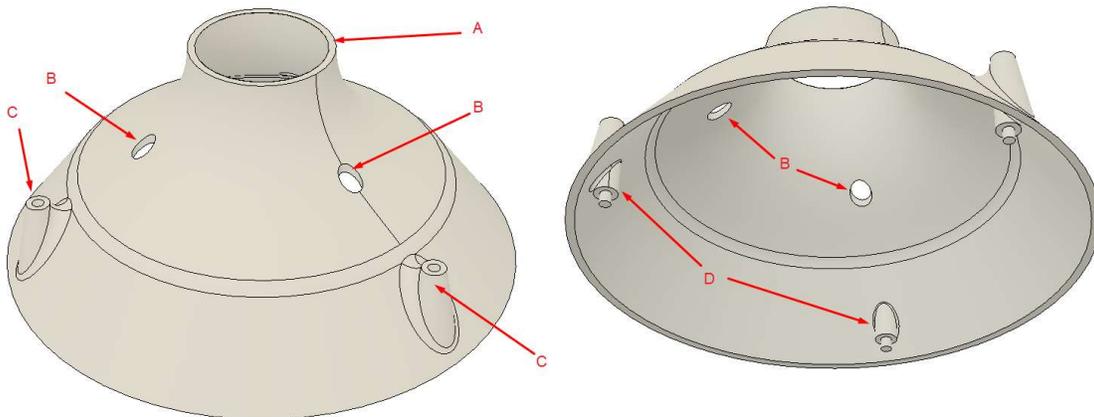
En la Ilustración 82 el rotulo 1 determina la cubierta inferior, este componente fue diseñado con un margen de tolerancia debido al margen de error de impresión de la impresora

3D que se utilizó, esto garantiza que una vez impresa las piezas estas no necesiten ser pulidas. El rotulo 2 denota la PCB, el rotulo 3 la cubierta superior y el rotulo 4 el panel solar.



*Ilustración 83 Modelo 3D de lámina de pagoda intermedia.*

La Ilustración 83 muestra una lámina la cual se encarga de generar espacios para garantizar la circulación de aire en el ensamble final. En esta se ve un rotulo A el cual representa los pilares machos y el rotulo B representa los pilares hembra, estos encajan uno sobre el otro para brindar estabilidad al modelo final.

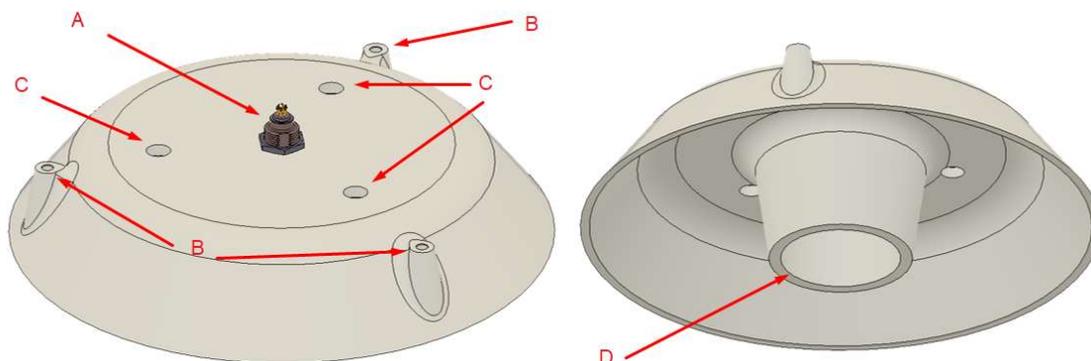


*Ilustración 84 Modelo 3D Lamina de Pagoda de concentracion.*

Dado que la circulación de aire dentro del modelo 3D es crucial para desarrollar lecturas correctas a través del sensor, se diseñó una estructura (Ilustración 84) que permita el flujo de aire de abajo hacia arriba de modo que la cavidad en la que se encuentra el sensor BME680 siempre permanezca con circulación de aire dada las consideraciones descritas por Sparkfun en la Ilustración 75.

La Ilustración 74 denota en el rotulo A el cual representa la cavidad por la que el aire sube hacia el sensor BME680, el rotulo B los orificios por los cuales pasa la varilla que

compacta el sistema final, y finalmente los rótulos C y D definen los pilares que brindan la estabilidad a los modelos 3D.



*Ilustración 85 Modelo 3D de la base del modelo*

Los sensores de Humedad de Suelo y Temperatura de Suelo deben conectarse a la PCB desde el suelo, el rótulo A denota un componente que permite el acoplamiento de estos, este conector tiene la característica de sellar completamente la conexión ante el polvo o agua.

Las varillas que le dan la firmeza al modelo, encajan en los orificios denotados con el rótulo C, en la parte inferior se enrosca una tuerca que garantizara que la varilla usada no se salga de su posición. Y la base que garantiza la estabilidad de la estructura reside sobre los pilares denotados con el rótulo B.

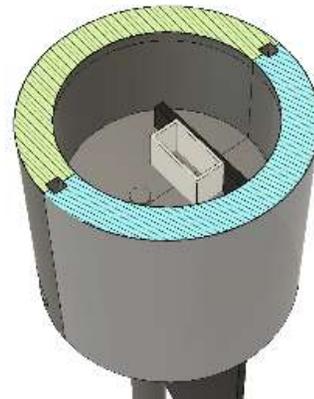
Finalmente, el rótulo D muestra un agujero el cual está diseñado para un tubo de PVC de 2 pulgadas de diámetro, este tubo será el encargado de darle la altura a todo el sistema y la firmeza en el suelo para que este aguante las inclemencias del ambiente.



*Ilustración 86 Modelo 3D del contenedor de los sensores de suelo*

Para evitar que los sensores expongan sus componentes críticos al ambiente, se les fue diseñado un compartimento donde estos se resguardan y solo exponen aquellas partes que deben estar en contacto con el ambiente. En la Ilustración 86 se denotan ciertas características del modelo que permiten a este cumplir su funcionalidad principal:

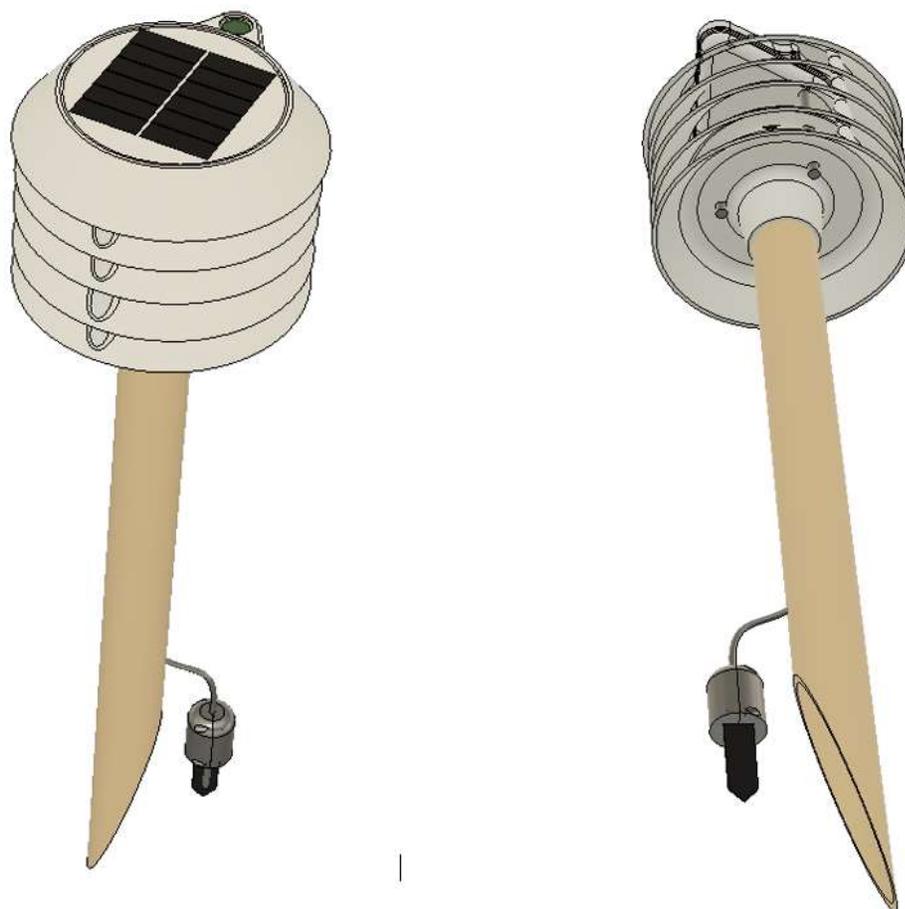
- A. Identifica lo que se conoce como pasa cable, desde este orificio todos los cables que se conectan a cada uno de los sensores saldrán juntos hacia la PCB.
- B. Este orificio es para permitir al tornillo que ingresa por la sección denotada con el rótulo G se fije correctamente y permita que ambas caras del modelo sellen los componentes críticos.
- C. Esta característica del modelo permite ingresar un empaque, el cual garantizaría que ambas caras del modelo queden selladas cuando se aplique fuerza sobre este, en la Ilustración 87 se puede evidenciar el espacio que existe entre las caras.
- D. Espacio destinado para efectuar las conexiones de los sensores.
- E. Cavidad específicamente diseñada para asegurar el DS18B20 al modelo 3D.
- F. Cavidad específicamente diseñada para asegurar el sensor de suelo.



*Ilustración 87 Análisis de Corte de sección del modelo 3D de los sensores de suelo*



*Ilustración 88 Parte superior del Sistema ensamblado*



*Ilustración 89 Modelo 3D de todo el Sistema ensamblado*

Finalizado el diseño de los modelos 3D, se prosiguió con la impresión de estos para determinar si las dimensiones eran las correctas. El tiempo de impresión total fue de 43 horas, se usaron las instalaciones de la universidad de Cartagena y las impresoras de la cual esta dispone. Las siguientes imágenes son las piezas impresas:



*Ilustración 90 Impresión 3D de la Base de la Pagoda*



*Ilustración 91 Impresión 3D de la Base Vista trasera*



*Ilustración 92 Impresión 3D de la base del Panel Solar y la PCB*



*Ilustración 93 Impresión 3D de la Base del Panel y la PCB vista trasera*



*Ilustración 94 Impresión 3D de la cubierta de la PCB.*



*Ilustración 95 Pagoda Parcialmente ensamblada*



*Ilustración 96 Pagoda totalmente ensamblada*



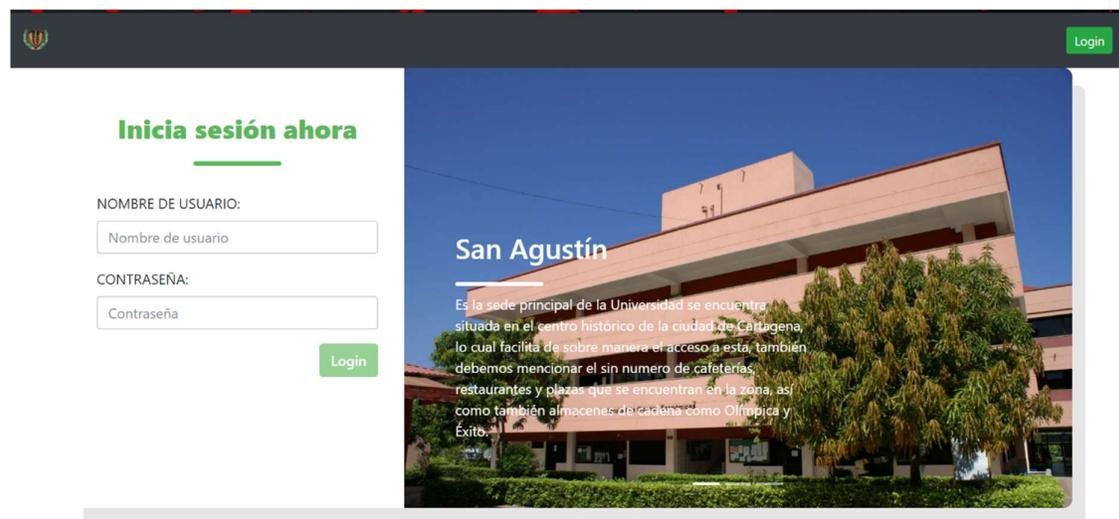
*Ilustración 97 Pagoda con el Tubo insertado*

El proceso de instalación de la pagoda mencionada en la Ilustración 97 se debe dar de la siguiente forma para garantizar su correcto posicionamiento, inicialmente el suelo debe ser arado para garantizar el deslizamiento del tubo dentro de la tierra y evitar que este se rompa, una vez este llegue al punto superior del corte se debe compactar la tierra alrededor para

garantizar su estabilidad, el largo del tubo va a depender del tipo de cultivo, debido a que los dispositivos deben estar por encima del cultivo para garantizar la correcta transmisión de datos.

#### 4.3.2. Software

Las siguientes vistas software se realizaron bajo la tutoría, consideraciones y correcciones, realizadas en reuniones iterativas con los docentes M. Sc Amaury Cabarcas Álvarez Y Ph. D. Javier Antonio Montoya Martínez.



*Ilustración 98 Aplicativo web – Página de inicio de sesión*

En la Ilustración 98 Aplicativo web – Página de inicio de sesión, se presenta la vista del Login, en esta vista se realizan las operaciones de autenticación de usuario, se usa JWT para el manejo de sesión. Si el usuario se autentica correctamente recibe un TOKEN de autenticación que le permite navegar en la página y es redireccionado por medio del componente “Router” ofrecido en el directorio raíz de Angular @angular/router, este último permite redireccionar al usuario a donde se desee. Si la autenticación falla, se le notifica al usuario con un mensaje de error y permanece en ella hasta que sea satisfactorio el proceso.

Dependiendo del tipo de usuario que se autentique se tendrán diferentes opciones, como ejemplo, el usuario administrador posee vistas relacionadas a la configuración de datos (Creación de usuarios, creación de zonas, modificar usuarios, etc.).

Con el objetivo de exponer de forma clara y sencilla el comportamiento de las diferentes interfaces de la aplicación, se desplegarán en un principio las vistas propuestas para el usuario

estándar o que en otras palabras es creado por el usuario administrador, el cual será presentado posteriormente.

### 4.3.2.1. Vistas para usuario estándar

Prosiguiendo con el párrafo anterior, al conectarse a la aplicación como usuario estándar, se tendrá acceso a gráficas, mapas, historial de errores, entre otros.



Ilustración 99 Vista de gráficas para usuario estándar 1

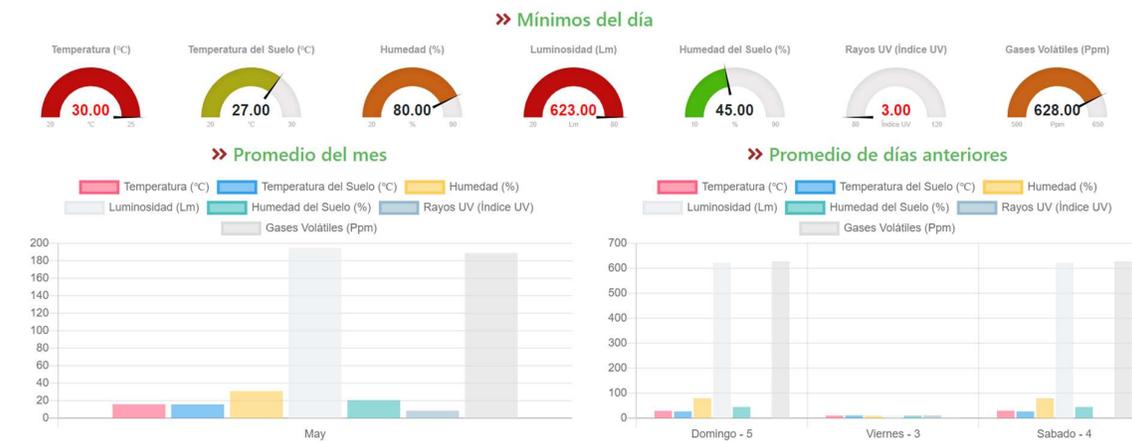


Ilustración 100 Vista de gráficas para usuario estándar 2

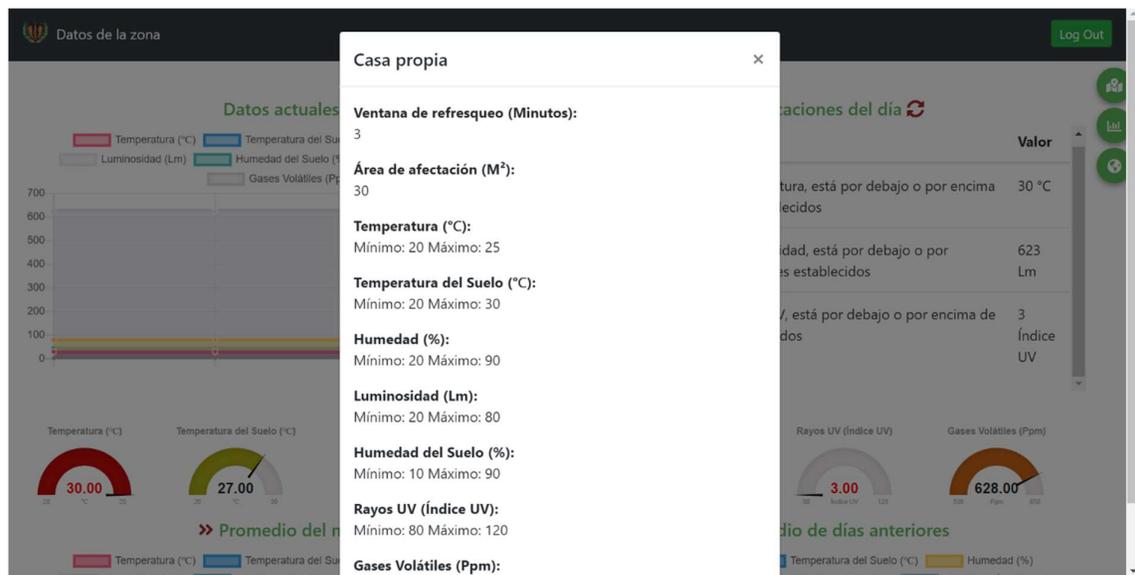
Las Ilustración 99 Vista de gráficas para usuario estándar 1 y Ilustración 100 Vista de gráficas para usuario estándar 2, corresponden a la primera vista que el usuario estándar tiene acceso al ser redireccionado una vez se ha autenticado.

Esta vista está compuesta por diferentes gráficas, barras de medida, un historial de errores y datos en tiempo real. Estos elementos serán descritos uno por uno a continuación.

## Casa propia ?

*Ilustración 101 Vista de gráficas para usuario estándar*

Al principio de la vista de Gráficas para el usuario estándar se tiene el nombre de la zona, dado que un usuario tiene múltiples zonas, se escoge la primera zona del usuario después de que son organizadas por nombre alfabéticamente. Se establece su nombre al inicio y cuanta con el icono de “?” a su lado, al ser presionado este icono se despliega la Ilustración 102 Vista de gráficas para usuario estándar - Datos de la zona, en la cual se muestran los datos configurados por el administrador para la zona que monitoreara el usuario estándar. La configuración de la zona será explicada más adelante en las vistas del administrador.

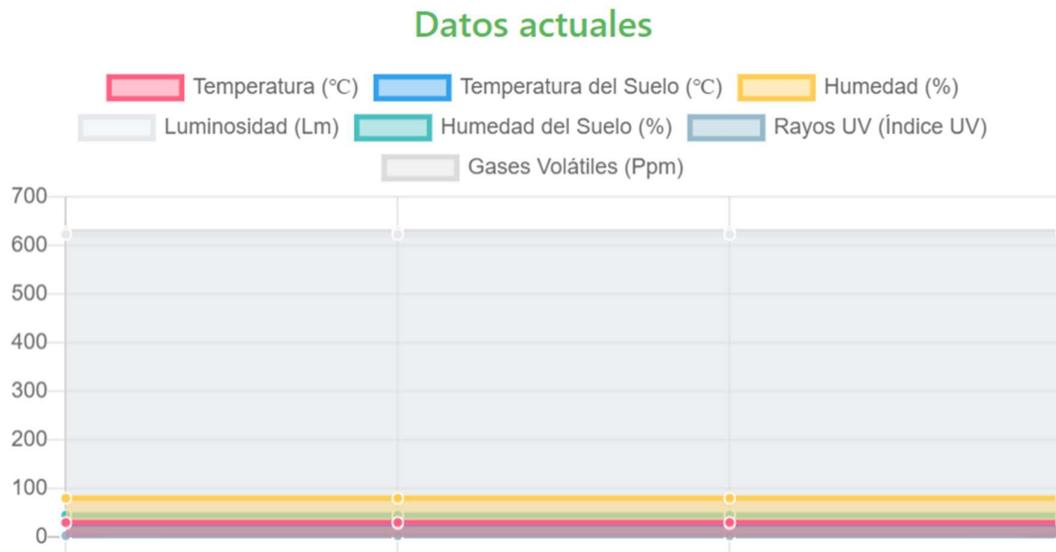


*Ilustración 102 Vista de gráficas para usuario estándar - Datos de la zona*

Posicionado un poco más abajo del nombre de la zona, se tiene la Ilustración 103 Vista de gráficas para usuario estándar - Gráfica de datos actuales, este elemento y otros similares están contruidos con ng2-charts, el cual ofrece bellas gráficas para Angular2 y posteriores, basadas en Chart.js (valor-software, 2015). Ng2-charts es una directiva de Angular que permite la creación de Gráficas únicamente estableciendo el tipo de grafico que se quiere desplegar y los datos del mismo.

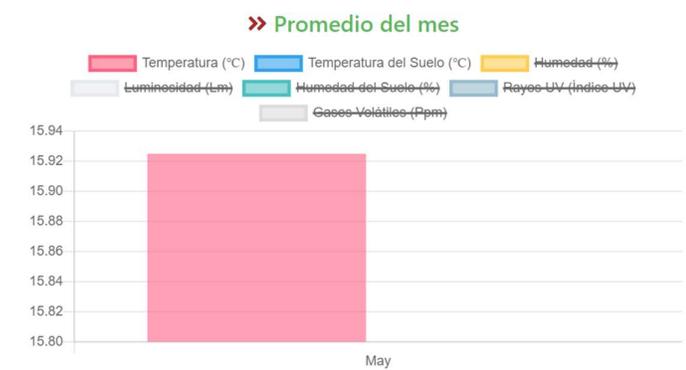
Esta Gráfica usa ngx-mqtt, el cual es una biblioteca que no solo representa una envoltura alrededor de MQTT.js para Angular. Utiliza observables y se encarga de la gestión de suscripciones y el enrutamiento de mensajes (Clausen, s.f.). Tal como su nombre lo indica usa el protocolo MQTT para Angular, los datos de los nodos son escuchados por Angular y son

inmediatamente representados en la página en forma de Gráfica de línea. Usando MQTT se disminuyen las peticiones a la base de datos y resulta más funcional a la hora de mostrar datos actuales.

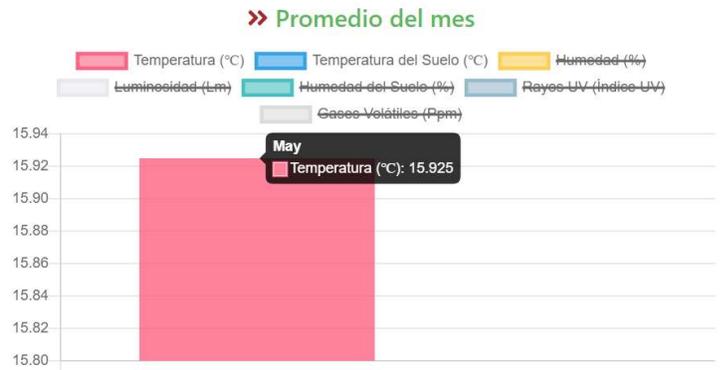


*Ilustración 103 Vista de gráficas para usuario estándar - Gráfica de datos actuales*

Los comportamientos de las gráficas son dispuestos por la directiva de Ng2-charts, en ellas se pueden ocultar las series (Ilustración 104 Ocultar datos de la gráfica), que en la aplicación representan las variables seleccionadas en el proyecto, se pueden observar el valor de los datos en un punto específico (Ilustración 105 Visualizar datos en un punto único de la gráfica) y al lado izquierdo del título de algunas Gráficas se sitio el icono «», con el propósito de cambiar los valores de las gráficas a promedio de los datos, mínimos y máximos de estos.



*Ilustración 104 Ocultar datos de la gráfica*



*Ilustración 105 Visualizar datos en un punto único de la gráfica*

Posicionado al lado de datos actuales, se encuentra las notificaciones (Ilustración 106 Vista de gráficas para usuario estándar - Notificaciones del día), que no es más que una tabla con las alertas que se registran al monitorear periódicamente los datos del campo. Las notificaciones se actualizan según la ventana de refresco de la zona (Periodo de tiempo en el cual se actualizan los datos), o presionando el icono de. La tabla tiene la hora en que se realizó la notificación, el mensaje con el nombre de la variable que ocasiono la alarma y el valor de esta.

### Notificaciones del día

Hora	Mensaje	Valor
23:03:42	La variable Temperatura, está por debajo o por encima de los valores establecidos	30 °C
23:03:42	La variable Luminosidad, está por debajo o por encima de los valores establecidos	623 Lm
23:03:42	La variable Rayos UV, está por debajo o por encima de los valores establecidos	3 Índice UV

*Ilustración 106 Vista de gráficas para usuario estándar - Notificaciones del día*

El proceso de para determinar si una notificación debe ser enviada o no, es realizado por el servidor. El servidor dada la ventana de refresco de cada zona, busca los datos tomados en ese tiempo periodo de tiempo y los promedia, si el promedio esta fuera de los márgenes se lanza la notificación al usuario y se almacenan los datos antes mencionados en base de datos.

Por otro lado, se pueden visualizar el promedio del día, los datos máximos del día y los datos mínimos del día de cada variable por medio de Justgages. JustGage es un útil complemento de JavaScript para generar y animar indicadores agradables y limpios. Es completamente independiente de la resolución y se ajusta automáticamente (Djuricic, s.f.).



*Ilustración 107 Vista de gráficas para usuario estándar - Datos del día con Justgage*

Los datos se cargan por medio de peticiones a la base de datos y dado que los datos del día cambian en un periodo de tiempo, la gráfica se actualiza al igual que lo hace la tabla de notificaciones. Si el valor de la variable sobrepasa o es inferior a los parámetros establecidos por el usuario, estos se pintan de color rojo.

Al final de la página se tienen gráficos de barra para los datos del mes y los datos de días anteriores (Ilustración 108 Vista de gráficas para usuario estándar - Datos del mes y días anteriores). Se puede visualizar los promedios, los valores máximos y los valores mínimos de las variables. Para el mes se muestra como etiqueta el nombre del mes y para días anteriores, se muestran los 6 días anteriores del día actual, se tiene como etiqueta el día de la semana y el número del mes.

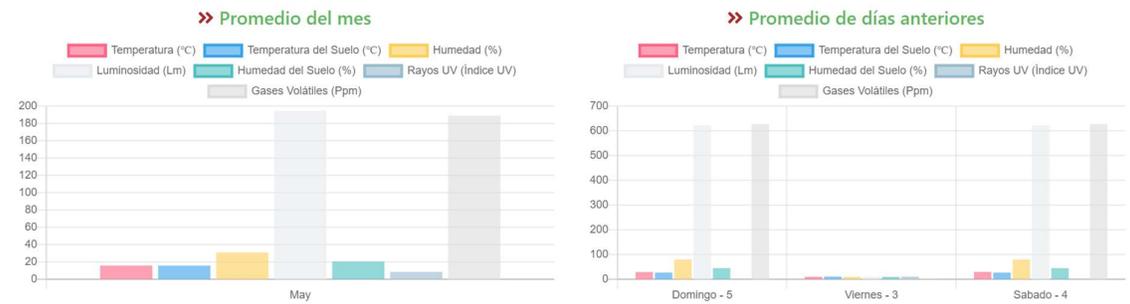


Ilustración 108 Vista de gráficas para usuario estándar - Datos del mes y días anteriores

El usuario estándar siempre tendrá disponible ciertos botones de navegación, los cual le permitirán cambiar a la opción de mapas, a la opción de gráficas y cambiar de zona respectivamente (Ilustración 109 Botones de navegación). Cuando se presiona la opción de cambiar de zona se despliegan las zonas establecidas para el usuario en una lista que se despliega de izquierda a derecha (Ilustración 110

Ilustración 109 Botones de navegación Vista de gráficas para usuario - Seleccionar zonas). La anterior opción se despliega de igual forma en la opción de mapas y Gráficas.

Mientras que, al presionar el botón de mapas, que es el primero de arriba abajo en la ilustración ya mencionada, se ocultan las gráficas presentadas anteriormente y se despliega un nuevo componente para el usuario estándar.

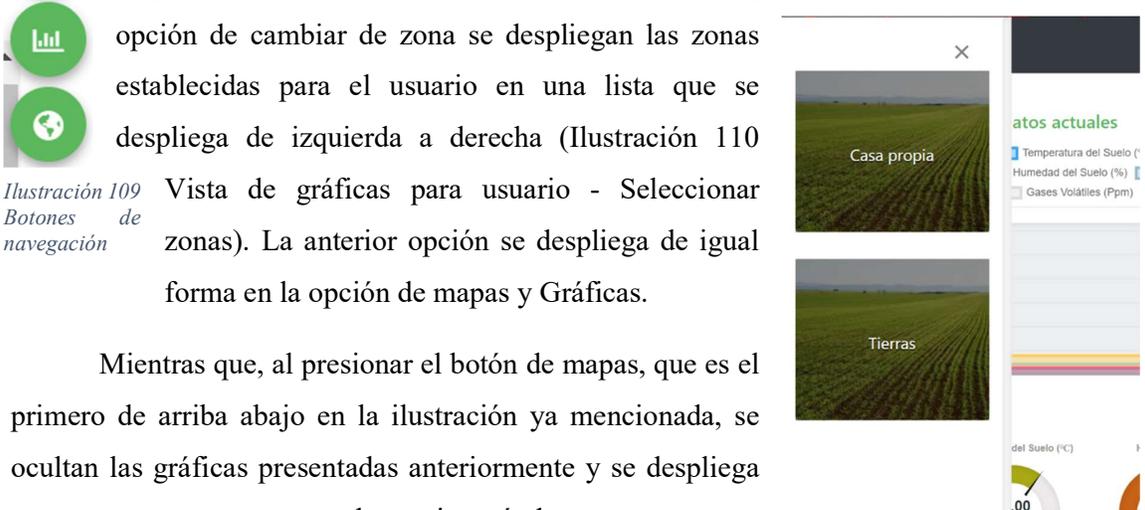
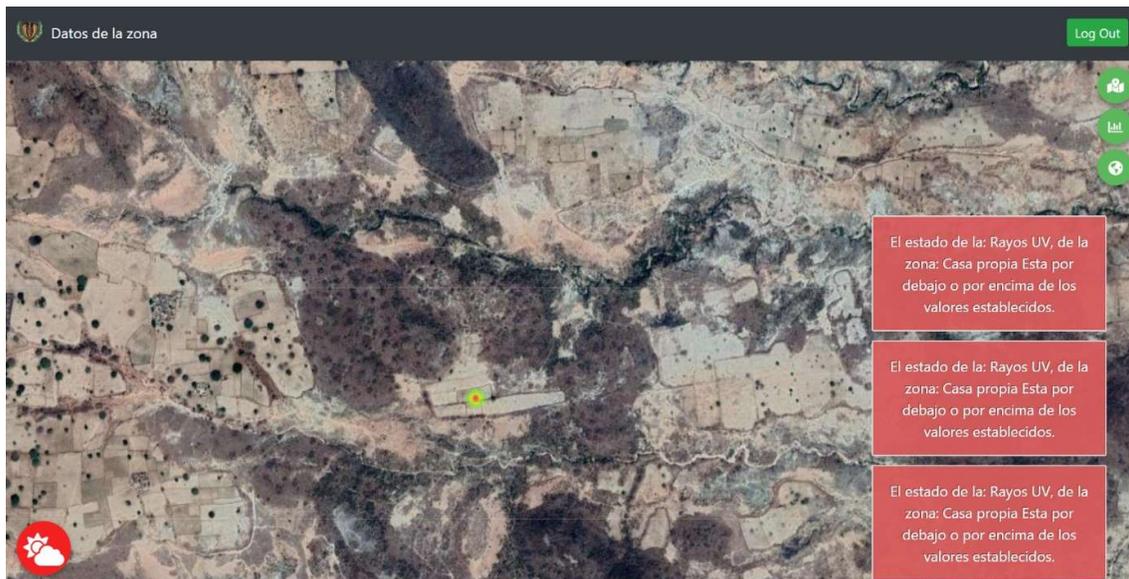


Ilustración 110 Vista de gráficas para usuario - Seleccionar zonas

En la Ilustración 111 Vista de mapas para usuario estándar – Mapa de calor, se puede observar la vista que se obtiene al acceder al mapa de calor. Dicho componente funciona por medio del API de JavaScript de Google Maps que es implementado en el FRONT-END de la aplicación. Los datos ilustrados en el mapa provienen de peticiones usando el HttpClientModule de Angular, el cual usa una URI implementada en el servidor y este por medio de modelos busca la información de los nodos en la base de datos.

Un mapa de calor es una visualización que se utiliza para representar la intensidad de los datos en puntos geográficos. Cuando la Capa de mapa de calor está habilitada, aparecerá una superposición de color en la parte superior del mapa. Por defecto, las áreas de mayor intensidad se colorearán en rojo, y las áreas de menor intensidad aparecerán en verde (Google, s.f.).



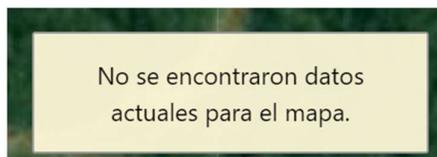
*Ilustración 111 Vista de mapas para usuario estándar – Mapa de calor*



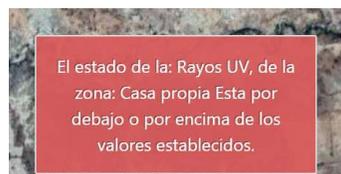
*Ilustración 112 Botones de variables*

Dado que existen variedad de variables en la aplicación, se creó un botón que despliega otros botones, para seleccionar la variable que se quiere visualizar en el mapa (Ilustración 112 Botones de variables). Estos botones representan las variables seleccionadas para la aplicación, la primera de arriba abajo es Gases volátiles, la segunda es luminosidad, la tercera humedad, la cuarta índice UV, la quinta humedad del suelo, la sexta temperatura de la tierra y la séptima temperatura. El octavo

botón se torna del color de la variable seleccionada, cada botón cuenta con un mensaje de ayuda, con el significado del botón, al sostener el ratón de navegación sobre ellos.



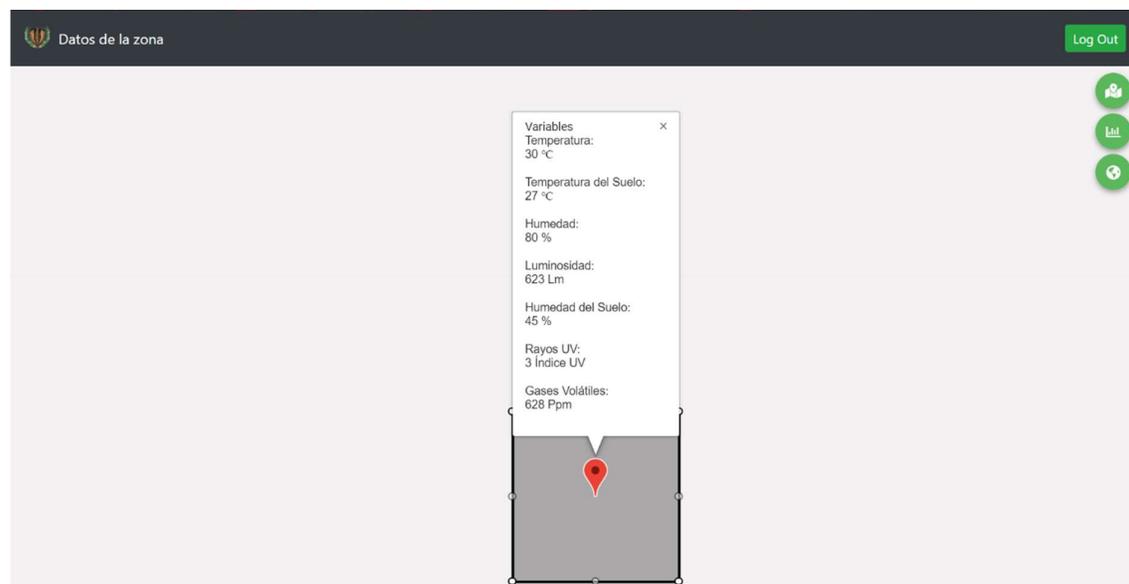
*Ilustración 113 Notificación de alerta*



*Ilustración 114 Notificación de error*

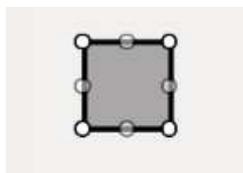
La aplicación cuenta con dos mapas, el mapa de calor y mapa general, ambos se actualizan según el periodo de refresco de la zona. Adicionalmente a todo lo mencionado anteriormente, cuando una notificación de error es lanzada desde el servidor, este se sitúa en la pantalla como un mensaje de error (ilustración 99) y si la aplicación se encuentra cerrada se visualiza como un mensaje del navegador. En caso de no haber datos para mostrar en el mapa, en ambos mapas se lanza una notificación que lo indica (ilustración 98) y el botón del mapa se torna de color rojo .

Es importante recalcar que tanto el mapa de calor, como el mapa genérico no toman datos en tiempo real, puesto que se actualizan dependiendo de los datos de la zona, como ya se ha mencionado anteriormente. La lógica implementada anteriormente, se realizó con el objetivo de mostrar cambios significativos en el mapa y facilitar la sincronización de los datos que son enviados desde MQTT con los datos reales, a consecuencia de que no es informativo para el usuario ver como los datos llegan y no conforman en su totalidad el área.



*Ilustración 115 Vista de mapas para usuario estándar – Mapa general*

Al igual que en el mapa de calor, para el mapa general se usaron las librerías de Google para generar este mapa. El mapa general permite visualizar los datos de los nodos que se encuentran en el área de un polígono (Ilustración 115 Vista de mapas para usuario estándar – Mapa general), construido de igual forma con herramientas de Google, este polígono se centra automáticamente en uno de los nodos que envió información. Y, dado que los nodos deben estar cerca para poder transmitir datos entre ellos, se le hace fácil al usuario la búsqueda de los mismos.



*Ilustración 117 Polígono sin datos*



*Ilustración 116 Polígono con datos*

Cada vez que se cambie de tamaño el polígono o se mueva, se buscarán los nodos que se encuentren en su área. Los nodos son representados como marcadores de Google maps (Ilustración 116 Polígono con datos), en caso de que no haya nodos en el polígono estos no se visualizarán, en caso contrario se mostrarán sin sus datos ilustrados y al momento de dar clic en ellos se podrán ver (Ilustración 117 Polígono sin datos).

#### **4.3.2.2. Vistas para usuario administrador**

A diferencia del usuario estándar, el administrador debe gestionar la parametrización de los usuarios y sus zonas. Por eso, al ingresar como administrador lo primero que puede observar es el formulario de creación de usuario estándar, que para el recibe el nombre de creación usuario (Ilustración 118 Vista de administrador - Creación de usuario).

*Ilustración 118 Vista de administrador - Creación de usuario*

Para la creación de usuarios, se usó un formulario para digitar su información, se implementó NGFORM, el cual es una directiva de Angular para validar datos de un formulario en HTML5. El formulario actual y los formularios presentados a continuación presentan las mismas bases, además, esperan que los campos sean llenados y en caso de no estar completo o no cumplir con el formato esperado (Ejemplo: Correo electrónico bien digitado), se lanzará un mensaje diciendo que el campo es requerido o que no cumple con lo solicitado. Solo si todos los campos están correctos se permitirá guardar los cambios al presionar “Guardar”.

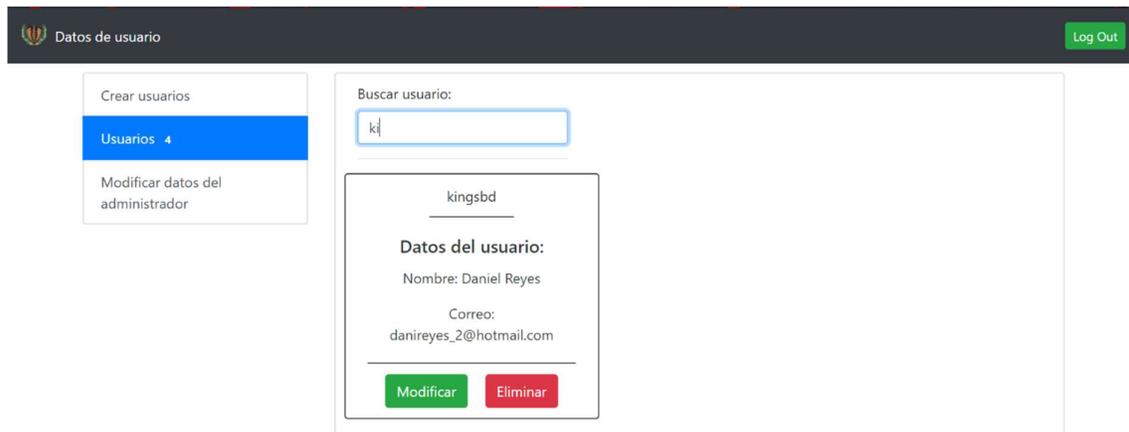
Los datos que se solicitan en el formulario son los descritos en el documento de usuario en el objetivo 2, el cual especifica que se debe introducir su nombre, apellido, correo, nombre de usuario y su contraseña. Todos los campos son obligatorios.

Tal como se muestra en la imagen anterior, el administrador cuenta con un pequeño panel que tiene las opciones de navegación, en ese panel se encuentran las opciones de crear usuarios, usuarios y modificar datos del administrador.

Con el propósito de no solo crear usuarios, sino también modificarlos o borrarlos, se puede navegar al apartado de usuarios al darle clic a la opción del panel que lleva ese mismo nombre. Seguidamente desplegará una vista como la exhibida en la Ilustración 119 Vista de administrador – Usuarios, en ella se podrá seleccionar un usuario a la vez para modificar sus datos, crear, modificar y eliminar las zonas del mismo.

Los usuarios creados con anterioridad se despliegan por medio de Cards o lo que en otras palabras representa CSS pre construido por BOOTSTRAP para páginas web. Se puede buscar un usuario específico digitando su nombre de usuario en la parte superior del panel derecho al panel de opciones.

La Card que contiene los datos del usuario, en su parte superior tiene el nombre de usuario, en el centro tiene el nombre y el correo del mismo y en la parte inferior cuenta con los botones de modificar y eliminar.



*Ilustración 119 Vista de administrador – Usuarios*

Para gestionar la información de los usuarios, se debe presionar el botón de modificar y esto permite ingresar a la página de la Ilustración 119 Vista de administrador – Usuarios, en la cual se pueden agregar, eliminar y modificar las zonas designadas para el usuario.

Si se desea modificar los datos de usuario simplemente se deben agregar los nuevos datos en los campos correspondientes y presionar el botón guardar. Adicionalmente, los datos ya configurados son precargados en la aplicación.

#	Zona	Descripción	Actualizar	Borrar
1	Prueba	Prueba	Actualizar	Borrar

*Ilustración 120 Vista de administrador – Modificar datos de usuario*

Si se presiona el botón +, que se sitúa a la derecha del título de la tabla “Zonas de usuario”, se despliega el formulario de creación de zona (Ilustración 121 Vista de administrador – Crear zona). De igual forma si se presiona el botón de actualizar en una zona listada en la tabla, se mostrará un formulario similar para gestionar los datos de la zona y los datos ya configurados se cargarán nuevamente (Ilustración 122 Vista de administrador – Modificar datos de la zona). Los datos de la zona son descritos en el documento de zona en el objetivo dos, para el formulario el único campo no requerido es la descripción de la zona.

Datos de usuario Log Out

Crear usuarios

Usuarios 4

Modificar datos de administrador

### Crear zona

Nombre de la zona:

Descripción:

Ventana de refresqueo (Minutos):

Área de afectación (M<sup>2</sup>):

Temperatura minima (°C):

Temperatura maxima (°C):

Temperatura del Suelo minima (°C):

Temperatura del Suelo maxima (°C):

*Ilustración 121 Vista de administrador – Crear zona*

Datos de usuario Log Out

Crear usuarios

Usuarios 4

Modificar datos de administrador

### Actualizar zona

Nombre de la zona:

Descripción:

Ventana de refresqueo (Minutos):

Área de afectación (M<sup>2</sup>):

Temperatura minima (°C):

Temperatura maxima (°C):

Temperatura del Suelo minima (°C):

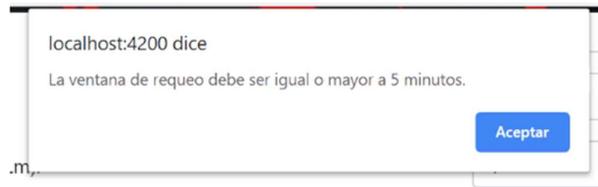
Temperatura del Suelo maxima (°C):

*Ilustración 122 Vista de administrador – Modificar datos de la zona*

Para los formularios referentes a la zona, se tienen validaciones como:

- Los datos mínimos no pueden ser iguales o mayores a los datos máximos.
- La ventana de resfresqueo no puede ser menor a 5 minutos.
- El área de afectación de los nodos no puede ser igual o menor a 0.

En caso de que se cumpla alguna de las anteriores validaciones, se lanzará una alerta en el navegador, tal como se muestra en la Ilustración 123 Alerta en formulario de zona.



*Ilustración 123 Alerta en formulario de zona*

La última opción disponible para el administrador, vendría siendo el poder modificar sus propios datos. El formulario de la Ilustración 124 Vista de administrador – Modificar datos de administrador, tiene el mismo comportamiento descrito para el formulario de modificación de datos de usuario, con la diferencia que los datos precargados son los del administrador.

Una captura de pantalla de una interfaz de usuario. En la parte superior hay una barra de navegación con "Datos de usuario" a la izquierda y "Log Out" a la derecha. A la izquierda del contenido principal hay un menú con tres opciones: "Crear usuarios", "Usuarios 4" (con un ícono de usuario) y "Modificar datos del administrador" (destacado en azul). El contenido principal muestra un formulario para "Daniel Reyes Betancourt" con los siguientes campos: "Nombre:" con el valor "Daniel", "Apellido:" con "Reyes Betancourt", "Correo:" con "danireyes\_2@hotmail.com", "Nombre de usuario:" con "juan4" y "Contraseña:" con "\*\*\*\*". Hay un botón "Guardar" al final del formulario.

*Ilustración 124 Vista de administrador – Modificar datos de administrador*

## **4.4. Evaluación de los resultados obtenidos del prototipo a través de una prueba piloto**

### **4.4.1. Prueba Piloto**

La prueba piloto tuvo lugar en El Barrio las Delicias Cra 66 #30 - 96, el día 26/05/19, se usaron 3 nodos, los instrumentos de medición implementados son los sensores descritos con anterioridad y el tiempo de prueba fue alrededor de media hora.

La prueba consiste en comprobar el funcionamiento del software, esto implica como tal que se efectúe una medición de las variables de los sensores, que el firmware ejecute el algoritmo definido en el diagrama de actividades y que la plataforma Web responda de manera concreta al recibimiento de información por parte de los dispositivos.

La plataforma se encuentra corriendo en un servidor local ubicado en Cali, específicamente en el computador personal de Daniel Reyes, y los dispositivos embebidos se encuentran ubicados en Cartagena en la casa de Cristian Arrieta.

Para el propósito de la prueba se facilitó el acceso a un servidor virtual corriendo el sistema operativo Ubuntu 18.04 donde se hizo el montaje del bróker privado con credenciales específicas para el proyecto.

A continuación, se hará la descripción de la creación de los usuarios hasta la toma de datos y para ello se procede a la descripción de cada uno de los pasos de esta prueba:

#### ***4.4.1.1. Creación de usuario***

Con el objetivo de iniciar la prueba se deben configurar los datos básicos que obtendrá el servidor GPS para configurar la red de nodos. La información como el topic, al que deben publicar los datos y el periodo de muestreo se establecen al crear una zona desde la aplicación web. Este proceso será explicado a continuación de manera breve y se entiende que ocurre antes de encender el servidor GPS.

Primeramente, se inició la aplicación de Angular y node.js desarrolladas en la presente propuesta. Se prosiguió iniciando sesión como administrador y se creó un usuario para la prueba y dos zonas para este último. Las siguientes ilustraciones expresan el proceso que se siguió:

Datos de usuario Log Out

Crear usuarios

Usuarios **4**

Modificar datos del administrador

### Crear usuario

Nombre:

Apellido:

Correo:

Nombre de usuario:

Contraseña:

*Ilustración 125 Creación de usuario de prueba*

#### 4.4.1.2. Creación de Zona

Datos de usuario Log Out

Crear usuarios

Usuarios **5**

Modificar datos del administrador

### Daniel Reyes ✖

Nombre:

Apellido:

Correo:

Nombre de usuario:

Contraseña:

#### Zonas del usuario +

#	Zona	Descripción	Actualizar	Borrar
1	Smava_test_zone1	Zona de prueba.	<input type="button" value="Actualizar"/>	<input type="button" value="Borrar"/>

*Ilustración 126 Zona de prueba*

Cuando se crea una zona desde la aplicación se hace una petición al servidor a la ruta /CreateZone, seguidamente se lanza otra petición para obtener todas las zonas del usuario por medio de la ruta /getZones y tal como se muestra en la siguiente imagen. Seguidamente, se lanza la alerta “Se crean las subscripciones...” (Ilustración 127 Solicitudes al servidor para la creación de una zona) con el objetivo de anunciar que se creó el topic de MQTT donde se escucharán los mensajes que enviarán los nodos, además se establece un objeto que analizará los datos enviados por los nodos según la ventana de refresqueo de la zona, con el propósito de determinar si los datos están en los rangos adecuados (Ilustración 128 Búsqueda de datos almacenados en BD desde el servidor para envío de alertas).

```
[grunt-develop] > POST /CreateZone?token=eyJhbGciOiJIUzI1NiIsInR5cCI6IkpXVCJ9.eyJkYXRhIjp7I19pZCI6IjVhYjAyODM5N2V1Mjc0MzhjYzIxMzZmZmYsInVzZXJ1eWw1IjoianVhbG99yZCI6IjEyMzQ1Y2x1IjoiaUk9MRV9BRE1JTlIsIm5hbWUiOiJFYW5pZWwgIiwibGFzdG5hbWUiOiJSZ11cyBCXRhbmNvdXJ0IiwiaWwiOiJkYW5pcmlV5ZXRmKBob3RtYwlsLmNvbSI9fDI6MmwidG9rZW4iOiJmQk80Z094YUo3VTpBUeE5MwJFVjF0emNXdlJ5c11KVFBGeXpRS1BnTzdNVk1xLTFFcUJaak9INTHneS1WbjFvYnFyb2tDYTg4bUtJN0RsdzIzSkRlUGFhZDNI1RU11NWl2YVhTSmRMbExsdWhIRnQ3NE1ELU1NcUNSRzA2UEF0dVw0WpTa3Z4VWg5UWJ5MEktREZtTnY2TyJ9LCJpYXQ1OjE1NTg4MjQ0OTYsImV4cCI6MTU1ODg2MDg5Nn0.Fneh00sCoqDhC6jTwDtB3GpaWfJv1cWxH-GzX-szAMc 200 5.479 ms - 15

[grunt-develop] > POST /getZones?token=eyJhbGciOiJIUzI1NiIsInR5cCI6IkpXVCJ9.eyJkYXRhIjp7I19pZCI6IjVhYjAyODM5N2V1Mjc0MzhjYzIxMzZmZmYsInVzZXJ1eWw1IjoianVhbG99yZCI6IjEyMzQ1Y2x1IjoiaUk9MRV9BRE1JTlIsIm5hbWUiOiJFYW5pZWwgIiwibGFzdG5hbWUiOiJSZ11cyBCXRhbmNvdXJ0IiwiaWwiOiJkYW5pcmlV5ZXRmKBob3RtYwlsLmNvbSI9fDI6MmwidG9rZW4iOiJmQk80Z094YUo3VTpBUeE5MwJFVjF0emNXdlJ5c11KVFBGeXpRS1BnTzdNVk1xLTFFcUJaak9INTHneS1WbjFvYnFyb2tDYTg4bUtJN0RsdzIzSkRlUGFhZDNI1RU11NWl2YVhTSmRMbExsdWhIRnQ3NE1ELU1NcUNSRzA2UEF0dVw0WpTa3Z4VWg5UWJ5MEktREZtTnY2TyJ9LCJpYXQ1OjE1NTg4MjQ0OTYsImV4cCI6MTU1ODg2MDg5Nn0.Fneh00sCoqDhC6jTwDtB3GpaWfJv1cWxH-GzX-szAMc 200 6.614 ms - 983

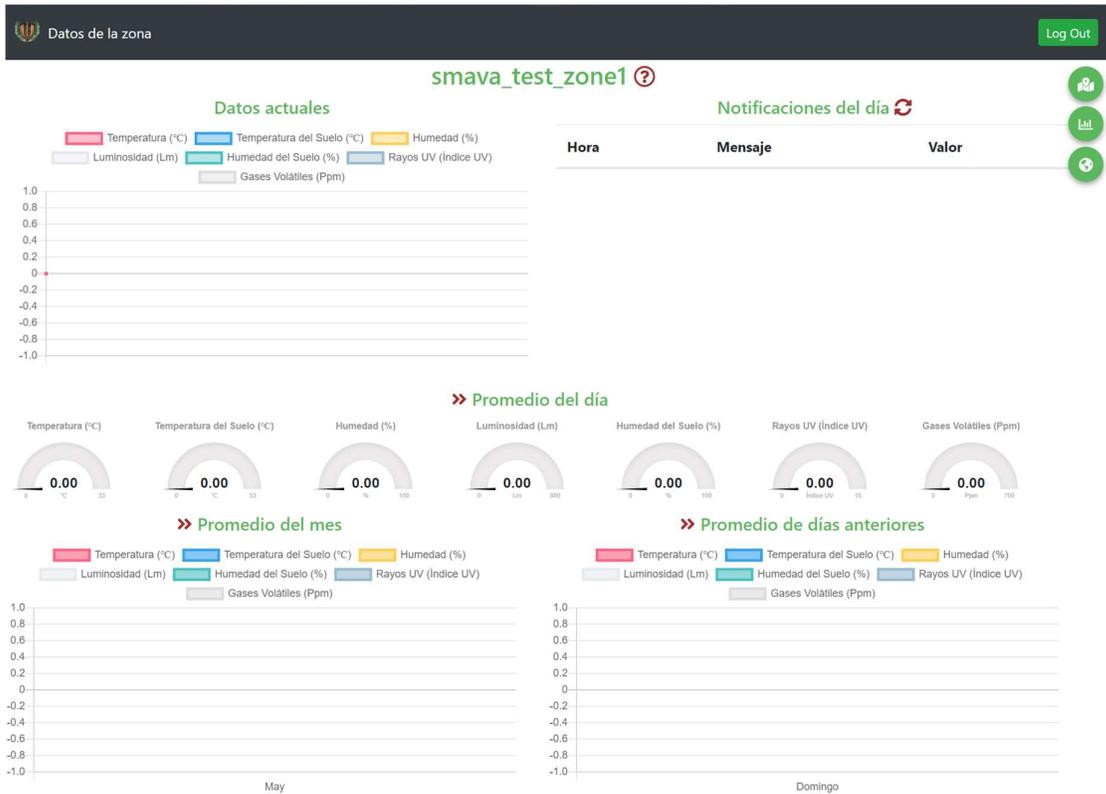
[grunt-develop] > Se crean las subscripciones...
```

*Ilustración 127 Solicitudes al servidor para la creación de una zona*

```
[grunt-develop] > Se estan buscando datos cada:5 en la zona: smava_test_zone1
```

*Ilustración 128 Búsqueda de datos almacenados en BD desde el servidor para envío de alertas*

Ya habiendo creado el usuario, se inició sesión con este, permitiendo visualizar los datos que serían enviados por los nodos en la prueba piloto. Inicialmente la zona se encontraría sin datos para mostrar, tal como se ilustra en la siguiente imagen:



*Ilustración 129 Zona sin datos*

#### 4.4.1.3. Configuración de zona

La configuración realizada desde el usuario administrador para la zona es la siguiente:



*Ilustración 130 Configuración de la zona*

Nota: Los rangos fueron pensados para ser coherentes con los variables ambientales que usualmente se tienen en la ciudad de Cartagena.

Dado que los nodos se comunican con la plataforma y el servidor por medio de MQTT, se cuenta con la posibilidad de visualizar y almacenar los datos en tiempo real. Con esa idea en mente se propuso probar las diferentes vistas del software mientras se tomaban datos de la zona en cuestión.

#### 4.4.1.4. Inicialización del Servidor GPS

Para la toma de datos se debe encender el Servidor GPS, este debe tener los datos básicos pre-configurados del usuario para poder suministrar de manera rápida y precisa la configuración que correrán cada uno de los nodos.

```
--- Miniterm on COM12 115200,8,N,1 ---
--- Quit: Ctrl+C | Menu: Ctrl+T | Help: Ctrl+T followed by Ctrl+H ---
ets Jun  8 2016 00:22:57

rst:0x1 (POWERON_RESET),boot:0x33 (SPI_FAST_FLASH_BOOT)
configsip: 0, SPIWP:0xee
clk_drv:0x00,q_drv:0x00,d_drv:0x00,cs0_drv:0x00,hd_drv:0x00,wp_drv:0x00
mode:DIO, clock div:2
load:0x3fff0018,len:4
load:0x3fff001c,len:1100
load:0x40078000,len:9232
load:0x40080400,len:6412
entry 0x400806a8

=====
                                GPS SERVER
=====
DEBUG -> Creating Hotspot ←
SSID: smavagpserver
PSW: smava1234
DEBUG -> Configuring Server
Gateway IP: 192.168.1.1
Subnet: 255.255.255.0
local IP: 192.168.1.1
DEBUG -> HTTP server started
```

Ilustración 131 Visualización de inicialización del Servidor GPS

Una vez el Servidor GPS inicia, este crea un punto de acceso, en la Ilustración 131 Visualización de inicialización del Servidor GPS se puede verificar las credenciales del punto de acceso señalado con la flecha de color rojo, posterior a esto se inicia un servicio web en el puerto 80, así mismo abre un servicio en la ruta <http://192.168.1.1/smava> la cual provee los datos de configuración inicial tales como latitud, longitud, fecha en formato EPOCH, tópico para publicar datos por MQTT y tasa de refresco de la malla.



```

JSON:
{
  "zoneId": "notConfigured",
  "epoch": 1546300800,
  "longitud": -1,
  "latitud": -1,
  "refreshWindow": 5
}
CONFIG MANAGER -> The JSON file has the default configuration

CONFIG MANAGER -> Connecting to GPS Server to Get then new configuration
CONFIG MANAGER -> 1215: connectToGPSServer.
CONFIG MANAGER -> WiFi parameters:
CONFIG MANAGER -> SSID: Apto402
CONFIG MANAGER -> PWD : makairaapartamento402
CONFIG MANAGER -> 5114: connectCheck.
CONFIG MANAGER -> 5308: connectCheck.
CONFIG MANAGER -> 6308: connectCheck.
CONFIG MANAGER -> 6308: Connected to GPS Server. Local ip: 192.168.1.2
CONFIG MANAGER -> Requesting data from GPS Server
CONFIG MANAGER -> GPS request status: 200
CONFIG MANAGER -> Task succesfully executed
CONFIG MANAGER -> Processing response
CONFIG MANAGER -> Response:

{
  "zoneId": "5cea22324a6035725cf48a2b",
  "epoch": 1558916846,
  "longitud": -75.4881,
  "latitud": -10.3917,
  "refreshWindow": 5
}

CONFIG MANAGER -> Saving new configuration
{
  "zoneId": "5cea22324a6035725cf48a2b",
  "epoch": 1558916846,
  "longitud": -75.4881,
  "latitud": -10.3917,
  "refreshWindow": 5
}

CONNECTION MANAGER -> Creating MESH Object
CONNECTION MANAGER -> Setting up Debug Messages

setLogLevel: ERROR | MESH_STATUS | CONNECTION | MSG_TYPES | REMOTE | DEBUG |
CONNECTION MANAGER -> Init MESH
DEBUG: Setting up stations scan with: smava
CONNECTION MANAGER -> Setting Up OnReceive Callback
CONNECTION MANAGER -> Conectcting to Internet
CONNECTION MANAGER -> Setting up Hostname
CONNECTION: stationScan(): Apto402
CONNECTION: scanComplete():-- > scan finished @ 19626972 < --
CONNECTION: scanComplete():-- > Cleared old APs.
CONNECTION: scanComplete(): num = 8
CONNECTION:      found : Apto402, -66dBm
CONNECTION:      Found 1 nodes
CONNECTION: connectToAP(): Best AP is 1799270068<---
CONNECTION: connectToAP(): Trying to connect, scan rate set to 4*normal
CONNECTION: Event: Station Mode Connected
CONNECTION: Event: Station Mode Got IP (IP: 192.168.0.148 Mask: 255.255.255.0 Gateway: 192.168.0.1)
My IP is 192.168.0.148
CONNECTION MANAGER -> Connected to Broker
CONNECTION MANAGER -> MQTT Connection Status: 0

```

*Ilustración 133 Visualización de la consola del Gateway Pt:2*

El Gateway es el dispositivo que se coloca lo más cerca a la red WiFi que tiene acceso a internet, este Gateway implementa un algoritmo diferente a los nodos que recolectan la información del cultivo, además de actuar como nodo recolector de información enruta la

información fuera de la malla, es decir permite conexiones entrantes de la malla y envía la información recolectada al bróker en internet.

En la Ilustración 132 Visualización de la consola del Gateway Pt:1 se muestra el inicio del proceso de configuración del Gateway, este crea todos los componentes software en la memoria Heap del dispositivo para ser utilizados posteriormente.

Una vez creados todos los componentes software, este verifica el archivo de configuración y de no existir lo crea, reinicia el proceso de configuración y verifica si el archivo que existe tanto si es el por defecto o uno diferente, de ser el por defecto se conecta al servidor GPS (Ilustración 134 Visualización de la prueba del servidor GPS) y extrae la información, una vez extraída, enciende la malla para permitir conectar a los nodos.

#### 4.4.1.6. Prueba del Servidor GPS

```
--- Miniterm on COM12 115200,8,N,1 ---
--- Quit: Ctrl+C | Menu: Ctrl+T | Help: Ctrl+T followed by Ctrl+H ---
ets Jun  8 2016 00:22:57

rst:0x1 (POWERON_RESET),boot:0x33 (SPI_FAST_FLASH_BOOT)
configsip: 0, SPIWP:0xee
clk_drv:0x00,q_drv:0x00,d_drv:0x00,cs0_drv:0x00,hd_drv:0x00,wp_drv:0x00
mode:DIO, clock div:2
load:0x3fff0018,len:4
load:0x3fff001c,len:1100
load:0x40078000,len:9232
load:0x40080400,len:6412
entry 0x400806a8

=====
                        GPS SERVER
=====
DEBUG -> Creating Hotspot
SSID: smavagpserver
PSW: smava1234
DEBUG -> Configuring Server
Gateway IP: 192.168.1.1
Subnet: 255.255.255.0
local IP: 192.168.1.1
DEBUG -> HTTP server started

REQUEST RECEIVED! -> Sending RESPONSE ←
```

Ilustración 134 Visualización de la prueba del servidor GPS

En la Ilustración 134 Visualización de la prueba del servidor GPS, se puede observar la respuesta del servidor una vez es realizada la petición a la ruta preestablecida por el Gateway.

#### 4.4.1.7. Inicialización del Nodo

Una vez habiendo configurado el Gateway se procede a encender los nodos, estos están constituidos bajo el diseño del prototipo inicial presentado en el apartado 4.3.1.1, puesto que no se cuenta aún con los recursos para la implementación de la PCB. Se espera establecer conexiones con empresas que se especialicen en la impresión de placas electrónicas para probar el dispositivo final, pero en igual o en menor medida los resultados de la prueba con el prototipo inicial o final deben ser parecidos.

```
--- Miniterm on COM4 115200,8,N,1 ---
--- Quit: Ctrl+C | Menu: Ctrl+T | Help: Ctrl+T followed by Ctrl+H ---
i?%a@#@@...I      a@...a@#@@i?%!!!!!!
=====
                          NODO SLAVE
=====

MAIN -> Checking GPIO's to reset the SPIFF from the SLAVE
D5 1 D6 1 D7 1

CONFIG MANAGER -> Creating Config task
CONFIG MANAGER -> Creating Connection task
CONFIG MANAGER -> Creating HTTP Client

CONNECTION MANAGER -> Creating MESH task
CONNECTION MANAGER -> Creating message Task

DATA MANAGER -> Starting Factory Manager
DATA MANAGER -> Setting to NOT_SET all the Variables
DATA MANAGER -> Setting the matrix of Raw Values to NOT_SET
DATA MANAGER -> Copying Scheduler
DATA MANAGER -> Creating Task (AMBIENT_HUMIDITY)
DATA MANAGER -> Creating Task (AMBIENT_TEMPERATURE)
DATA MANAGER -> Creating Task (AMBIENT_PRESSURE)
DATA MANAGER -> Creating Task (SOIL_TEMP)
DATA MANAGER -> Creating Task (SOIL_HUMIDITY)
DATA MANAGER -> Creating Task (BATT_VOLTAJE)
DATA MANAGER -> Creating Task (BATT_TEMPERATURE)
DATA MANAGER -> Creating Task (PANEL_VOLTAJE)
DATA MANAGER -> Creating Task (ULTRAVIOLE_INDEX)
DATA MANAGER -> Creating Task (BRIGHTNESS)
DATA MANAGER -> Creating Task (VOLATILE_ORGANIC_COMPUNDS)

CONFIG MANAGER -> Success on mounting the File system

CONFIG MANAGER -> File parsing status: Ok
JSON:
{
  "zoneId": "notConfigured",
  "epoch": 1546300800,
  "longitud": -1,
  "latitud": -1,
  "refreshWindow": 5
}

CONFIG MANAGER -> The JSON file has the default configuration

CONFIG MANAGER -> Connecting to GPS Server to Get then new configuration
CONFIG MANAGER -> 184: connectToGPSServer.
CONFIG MANAGER -> WiFi parameters:
CONFIG MANAGER -> SSID: Apto402
CONFIG MANAGER -> PWD : makairn Apartamento402
CONFIG MANAGER -> 198: connectCheck.
CONFIG MANAGER -> 1198: connectCheck.
CONFIG MANAGER -> 2198: connectCheck.
CONFIG MANAGER -> 4001: connectCheck.
CONFIG MANAGER -> 4198: connectCheck.
CONFIG MANAGER -> 5199: connectCheck.
CONFIG MANAGER -> 5199: Connected to GPS Server. Local ip: 192.168.1.2
CONFIG MANAGER -> Requesting data from GPS Server
CONFIG MANAGER -> GPS request status: 200
CONFIG MANAGER -> Task succesfully executed
CONFIG MANAGER -> Processing response
```

Ilustración 135 Visualización de la consola del Nodo Pt:1

```

CONFIG MANAGER -> Processing response
CONFIG MANAGER -> Response:
{
  "zoneId": "5cea22324a6035725cf48a2b",
  "epoch": 1558916846,
  "longitud": -75.4881,
  "latitud": -10.3917,
  "refreshWindow": 5
}
CONFIG MANAGER -> Saving new configuration
{
  "zoneId": "5cea22324a6035725cf48a2b",
  "epoch": 1558916846,
  "longitud": -75.4881,
  "latitud": -10.3917,
  "refreshWindow": 5
}
CONNECTION MANAGER -> Creating MESH Object
CONNECTION MANAGER -> Setting up Debug Messages

setLogLevel: ERROR | MESH_STATUS | CONNECTION | COMMUNICATION | MSG_TYPES | REMOTE | DEBUG |
CONNECTION MANAGER -> Init MESH

DEBUG: Setting up stations scan with: smava
CONNECTION MANAGER -> Setting Up OnReceive Callback
CONNECTION MANAGER -> Enabling Send JSON Task
CONNECTION MANAGER -> Disabling Init Mesh Task

CONNECTION: stationScan(): smava
CONNECTION: scanComplete():-- > scan finished @ 8515972 < --
CONNECTION: scanComplete():-- > Cleared old APs.
CONNECTION: scanComplete(): num = 2
CONNECTION:      Found 0 nodes
CONNECTION: connectToAP(): No unknown nodes found scan rate set to normal
CONNECTION: stationScan(): smava
CONNECTION: scanComplete():-- > scan finished @ 20710202 < --
CONNECTION: scanComplete():-- > Cleared old APs.
CONNECTION: scanComplete(): num = 3
CONNECTION:      Found 0 nodes
CONNECTION: connectToAP(): No unknown nodes found scan rate set to normal

```

*Ilustración 136 Visualización de la consola del Nodo Pt:2*

En la Ilustración 135 Visualización de la consola del Nodo Pt:1 se puede ver como el nodo inicia su proceso de configuración, este a diferencia del Gateway ya tenía el archivo de la configuración por defecto creado internamente, esto con el propósito de mostrar el comportamiento cuando un nodo ya se encuentra parcialmente configurado, después de crear todos los componentes software y establecer conexión con el servidor GPS ( Ilustración 136 Visualización de la consola del Nodo Pt:2 ), extrae la información e inicia la red para conectarse con el Gateway.

#### 4.4.1.8. Captura de Información

```
DATA MANAGER -> Gettin Value from (AMBIENT_HUMIDITY) -> (83.0)
DATA MANAGER -> Gettin Value from (AMBIENT_HUMIDITY) -> (83.1)
DATA MANAGER -> Gettin Value from (AMBIENT_HUMIDITY) -> (83.0)
DATA MANAGER -> Gettin Value from (AMBIENT_HUMIDITY) -> (83.0)
DATA MANAGER -> Gettin Value from (AMBIENT_HUMIDITY) -> (83.0)
DATA MANAGER -> Gettin Value from (AMBIENT_HUMIDITY) -> (83.0)
DATA MANAGER -> Gettin Value from (AMBIENT_HUMIDITY) -> (83.0)
DATA MANAGER -> Gettin Value from (AMBIENT_HUMIDITY) -> (83.1)
DATA MANAGER -> Gettin Value from (AMBIENT_HUMIDITY) -> (83.0)
DATA MANAGER -> Gettin Value from (AMBIENT_HUMIDITY) -> (83.0)

DATA MANAGER -> Disabling task (AMBIENT_HUMIDITY)

DATA MANAGER -> Updating average value for (AMBIENT_HUMIDITY) (83.0)

DATA MANAGER -> Generating JSON
{
  "t": 30,
  "h": 83,
  "sH": 1,
  "p": 1009,
  "u": 0,
  "b": 464,
  "sT": 30,
  "v": 640,
  "pV": 1.0,
  "ti": 1558931657,
  "la": -75.4881,
  "lo": -10.3917,
  "bV": 4.2,
  "bT": 30,
  "bS": true
}
```

*Ilustración 137 Visualización de la consola del Nodo una vez recoleta los datos de los sensores*

La Ilustración 137 representa la obtención de los datos de los sensores, para efectos de entendimiento se habilitó el debug de una sola variable para visualizar el proceso, debido a que cada variable tiene unos tiempos de muestreo diferente lo que genera procesos asíncronos que por consecuencia generan un debug en la consola demasiado extenso para colocarlo en el documento.

En la anterior ilustración se evidencia la toma de 10 muestras las cuales después de ser tomadas son promediadas, y una vez finalizado el proceso de censado se genera el JSON correspondiente que posteriormente será enviado al servidor MQTT

Las vistas mostradas a continuación fueron generadas a partir de los datos obtenidos durante la prueba.

#### 4.4.1.9. Respuesta de la plataforma

Primeramente, al no tener datos almacenados para la zona, las gráficas se encuentran vacías y los mapas sin datos que mostrar, pero cuando se empezó la transmisión de información de los nodos, los datos se empezaron a visualizar en la gráfica de datos actuales:

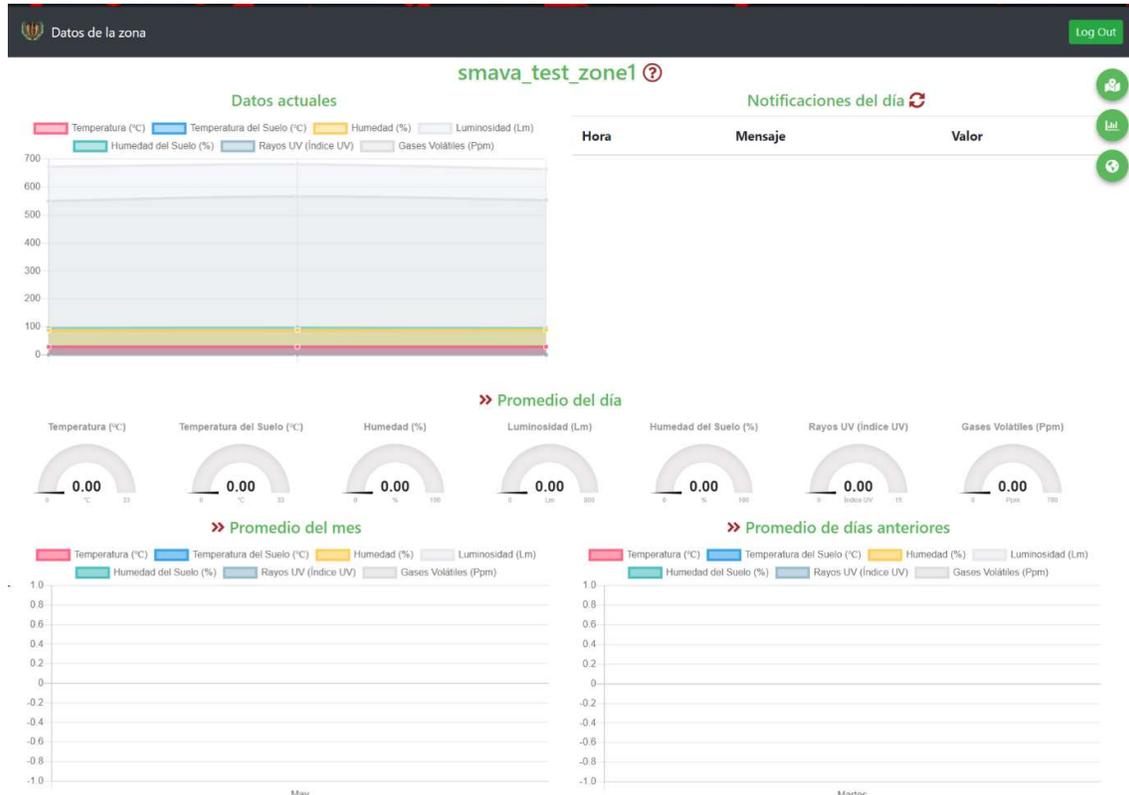


Ilustración 138 Gráfica de datos actuales en tiempo de ejecución

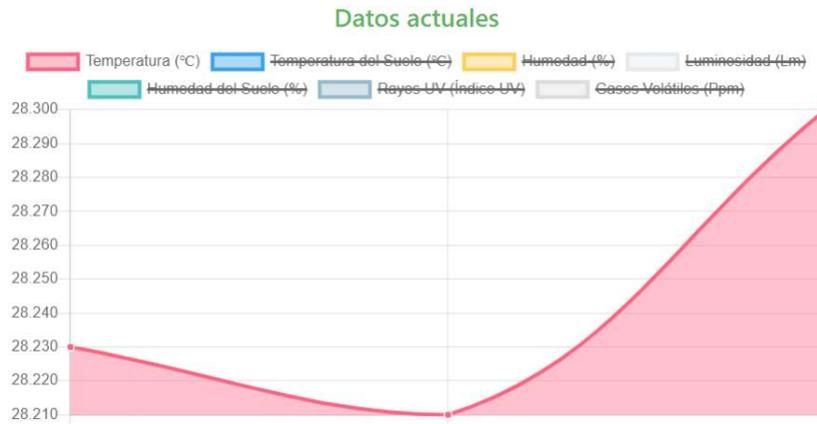


Ilustración 139 Datos actuales - Variable de temperatura

Pasado el tiempo de refresqueo los medidores que representan los datos del día se actualizaron con los valores obtenidos anteriormente (Ilustración 141 Gráfica del mes y medidores del día con promedios iguales). Adicionalmente, la gráfica de datos del mes se actualizo de igual forma que los medidores, debido a que no se habían tomado más datos a lo largo del mes. Lo anterior sugiere que el comportamiento de la aplicación era el esperado.

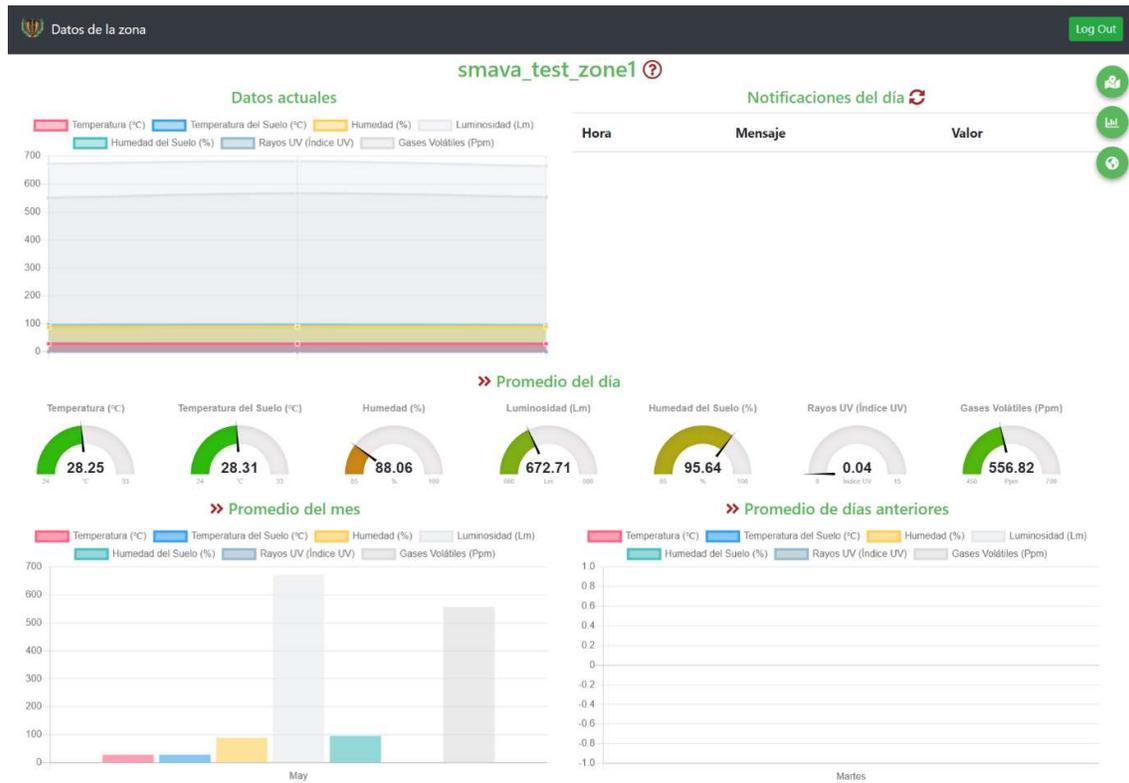


Ilustración 140 Gráfica del mes y medidores del día con valores iguales

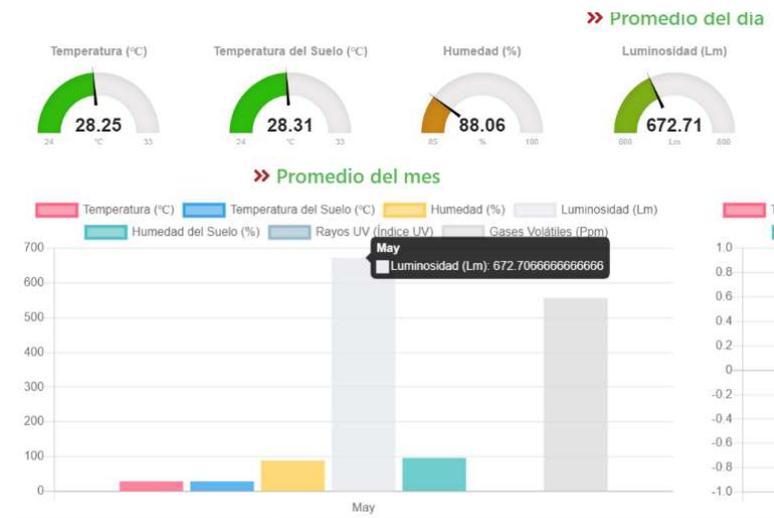
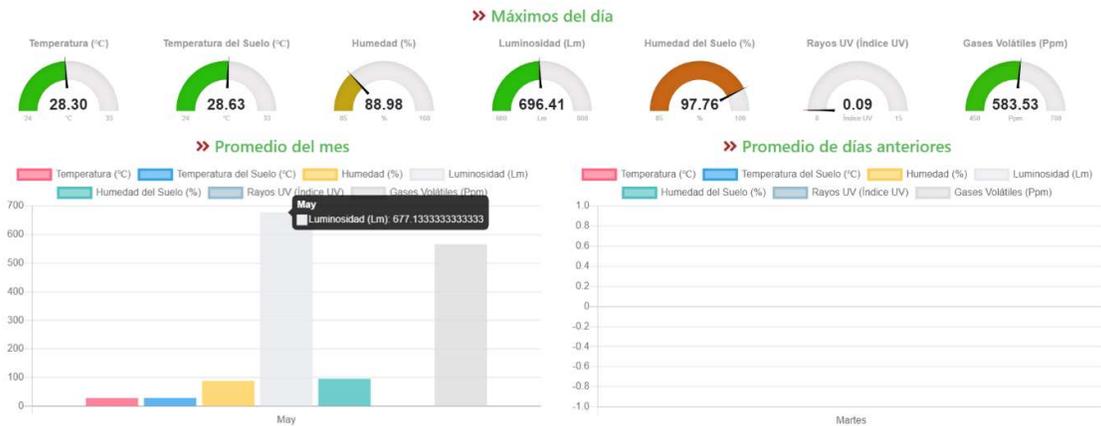


Ilustración 141 Gráfica del mes y medidores del día con promedios iguales

La tabla de notificaciones permaneció vacía al igual que la gráfica de datos de días anteriores, ya que no se disponían de información de días pasados. Pasado 15 minutos desde la toma inicial de los datos, los valores de la gráfica y los mediadores cambiaron debido a la variedad de las mediciones y se visualizaron de la siguiente manera:



*Ilustración 142 Cambio en las gráficas por toma de datos*

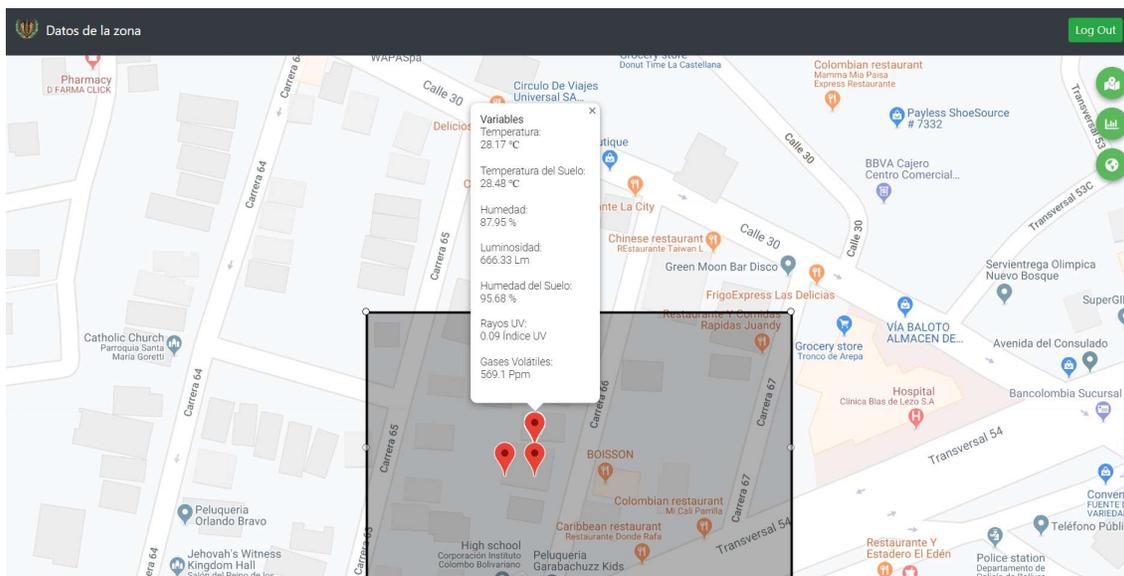
Mientras se realizaba la toma de datos, se puso a prueba el mapa de calor (Ilustración 143 Mapa de calor en tiempo de ejecución), con la variable temperatura como dato seleccionado. Se recuerda que en esta opción solo se puede seleccionar una variable a la vez, con el objetivo de visualizar en el mapa las zonas que son afectadas con menor y mayor intensidad.

Más tarde, se puso a prueba la vista Mapa general (Ilustración 144 Mapa general en tiempo de ejecución) y se desplego los datos de todas las variables captadas por un nodo en punto en el mapa. Para certificar que los datos ilustrados eran los correctos se realizó una búsqueda en base de datos y se miraron los valores que captaba el nodo en la aplicación.

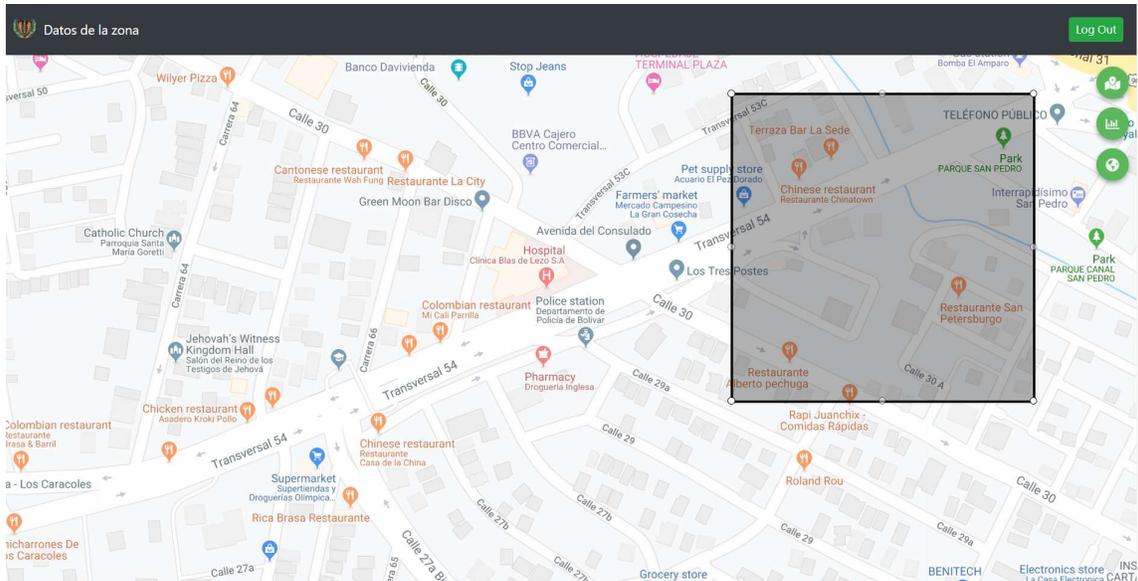
Tal como se explicó con anterioridad, si el polígono que se despliega en el mapa general no contiene nodos, este no ilustrará marcadores para visualizar datos (Ilustración 145 Mapa general sin datos en el área en tiempo de ejecución).



*Ilustración 143 Mapa de calor en tiempo de ejecución*



*Ilustración 144 Mapa general en tiempo de ejecución*



*Ilustración 145 Mapa general sin datos en el área en tiempo de ejecución*

Entre tanto, se seleccionaron las diferentes gráficas que contempla el prototipo, sobre todo la vista en tiempo real, e igual que en pruebas anteriores, se corroboró que los datos ilustrados eran correctos, calculando de manera manual el promedio generado por el aplicativo.

Durante el proceso de prueba, se determinó que es necesario inicializar la gráfica de datos actuales con la información que se ha obtenido hasta el momento en ese día, dado que la gráfica comienza con valores básicos y espera a que lleguen datos para comenzar a graficar y dicha interacción no es agradable para el usuario y no se puede apreciar totalmente el estado del cultivo.

Por último, al finalizar la prueba se revisó que todos los datos fueron almacenados en base de datos y para dar constancia de ellos se exportaron en formato CSV:

_id	lat	lng	temperatur	soilTemperatur	humidit	brightnes	soilHumidit	volatlieGase	uv	zoneld	date	_v
Objectid("5ceccadc58796031381de0ca")	10.3918	-75.4881	28.23	28.38	87.17	672.85	95.21	550.33	0.07	Scea22324a6035725cf48a2b	2019-05-26T00:13:22.000Z"	0
Objectid("5ceccae258796031381de0cb")	10.3917	-75.4882	28.21	28.26	88.04	681.28	97.12	566.87	0.04	Scea22324a6035725cf48a2b	2019-05-26T00:13:23.000Z"	0
Objectid("5ceccae758796031381de0cc")	10.3917	-75.4881	28.3	28.3	88.98	663.99	94.6	553.26	0	Scea22324a6035725cf48a2b	2019-05-26T00:13:21.000Z"	0
Objectid("5ceccc4f58796031381de0cd")	10.3918	-75.4881	28.23	28.38	87.17	672.85	95.21	550.33	0.07	Scea22324a6035725cf48a2b	2019-05-26T00:18:27.000Z"	0
Objectid("5ceccc4f58796031381de0ce")	10.3917	-75.4882	28.21	28.26	88.04	681.28	97.12	566.87	0.04	Scea22324a6035725cf48a2b	2019-05-26T00:18:28.000Z"	0
Objectid("5ceccc5658796031381de0cf")	10.3917	-75.4881	28.3	28.3	88.98	663.99	94.6	553.26	0	Scea22324a6035725cf48a2b	2019-05-26T00:18:26.000Z"	0
Objectid("5ceccdb58796031381de0d0")	10.3918	-75.4881	28.27	28.34	87.94	696.41	93.15	583.53	0.08	Scea22324a6035725cf48a2b	2019-05-26T00:23:32.000Z"	0
Objectid("5ceccdb9358796031381de0d1")	10.3917	-75.4882	28.3	28.61	87.57	675.15	95.57	558.07	0.02	Scea22324a6035725cf48a2b	2019-05-26T00:23:33.000Z"	0
Objectid("5ceccdb9b58796031381de0d2")	10.3917	-75.4881	28.05	28.56	88.03	674.2	96.15	576.74	0.02	Scea22324a6035725cf48a2b	2019-05-26T00:23:31.000Z"	0
Objectid("5ceccdb758796031381de0d3")	10.3918	-75.4881	28.19	28.08	88.01	670.92	94.96	582.72	0	Scea22324a6035725cf48a2b	2019-05-26T00:28:37.000Z"	0
Objectid("5ceccdb758796031381de0d4")	10.3917	-75.4882	28.11	28.63	88.24	678.25	96	571.94	0.09	Scea22324a6035725cf48a2b	2019-05-26T00:28:23.000Z"	0
Objectid("5ceccdb458796031381de0d5")	10.3917	-75.4881	28.27	28.47	88.52	694.57	96.02	555.9	0.08	Scea22324a6035725cf48a2b	2019-05-26T00:28:21.000Z"	0
Objectid("5ceccdb358796031381de0d6")	10.3918	-75.4881	28.3	28.5	87.36	668.01	93.78	577.99	0.04	Scea22324a6035725cf48a2b	2019-05-26T00:33:22.000Z"	0
Objectid("5ceccdb3a58796031381de0d7")	10.3917	-75.4882	28.23	28.05	88.47	677.31	93.56	562.47	0.02	Scea22324a6035725cf48a2b	2019-05-26T00:33:23.000Z"	0
Objectid("5ceccdb5658796031381de0d8")	10.3917	-75.4881	28.1	28.51	87.06	685.94	97.76	580.29	0.09	Scea22324a6035725cf48a2b	2019-05-26T00:33:21.000Z"	0
Objectid("5cecd14858796031381de0d9")	10.3918	-75.4881	28.17	28.48	87.95	666.33	95.68	569.1	0.09	Scea22324a6035725cf48a2b	2019-05-26T00:48:22.000Z"	0
Objectid("5cecd15458796031381de0da")	10.3917	-75.4882	28.14	28.36	88.64	657.31	95.15	562.99	0.03	Scea22324a6035725cf48a2b	2019-05-26T00:48:23.000Z"	0
Objectid("5cecd16058796031381de0db")	10.3917	-75.4881	28.07	28.19	88.45	676.72	93.99	552.85	0.07	Scea22324a6035725cf48a2b	2019-05-26T00:48:21.000Z"	0

*Tabla 17 Datos de la prueba desde la BD*

Terminada la prueba los valores obtenidos se pueden resumir en la siguiente tabla:

Variable	Mínimo	Máximo	Promedio
Temperatura (°C)	28.05	28.30	28.20
Temperatura del Suelo (°C)	28.05	28.63	28.37
Humedad (%)	87.06	88.98	88.03
Humedad Del Suelo (%)	93.15	97.76	95.31
Luminosidad (Lm)	657.31	696.41	675.41
Rayos UV (IUV)	0.00	0.09	0.05
Gases Volátiles (Ppm)	550.33	583.53	565.31

*Tabla 18 Resultados finales*

Para determinar la confiabilidad de las medidas, se comparó la temperatura y la humedad relativa promedio obtenida en una página del clima contra las obtenidas en la prueba. La página contenía datos climáticos para el día 26/05/19 a las 6 de la tarde, tiempo en el cual se realizaba la prueba (timeanddate.com, 2019):

#### Cartagena Weather History for 26 May 2019

Show weather for:

Time	Conditions			Comfort			Barometer	Visibility
	Temp	Weather		Wind	Humidity			
18:00		26 °C	Drizzle. Broken clouds.	6 km/h	↓ 94%		1009 mbar	N/A

*Tabla 19 Clima de Cartagena (timeanddate)*

Se puede resaltar que las mediciones realizadas dentro del lugar de la prueba fueron dentro de un sitio cerrado, por lo cual la humedad y la temperatura pueden distanciarse a las del promedio de la ciudad de Cartagena, pero aun teniendo en cuenta estas consideraciones los datos obtenidos por el dispositivo y por la página no se distancia en gran medida, demostrando que los sensores funcionan correctamente.

## 5. CONCLUSIONES

Cabe resaltar que el presente trabajo de grado se basa en el proyecto investigación seleccionado para ser financiado por medio de la octava convocatoria de vicerrectoría de investigación con el nombre de “Medición automatizada de variables ambientales para agricultura de precisión con tecnología Open Source.”, evidenciando aspectos positivos como el nivel de profundidad en la aplicación del conocimiento. Investigaciones como esta dan un paso más allá en contraste con otros proyectos de grado que no cuentan con fuentes de financiación externa o interna, para acceder a materiales y recursos especializados que permiten una mejor labor investigativa, que al final motivan al estudiante a desarrollar soluciones reales que promuevan el impacto a la comunidad en general.

A medida que se realizaba la investigación, se comprendió poco a poco el proceso necesario para efectuar la medición de variables ambientales que inciden en el cultivo. Hoy en día existen una gran variedad de sensores y lenguajes de programación capaces de soportar grandes volúmenes de datos a muy bajo costo y sus aplicaciones varían dependiendo el ámbito de investigación y enfoque. Ejemplos de esto pueden ser apreciados en los proyectos citados como “Ultrafast graphene oxide humidity sensors, Real-time monitoring of critical care analytes in the bloodstream with chemical sensors: progress and challenges” (Frost and Meyerhof, 2015) , “Estudio de la irradiación global en Galicia basado en medidas recogidas en estaciones meteorológicas” (Rodríguez, 2010) y un poco más centrado en el tema central de la investigación la agricultura de precisión “Precision Farming Technologies for Weed Control in the Mississippi Delta” (Hanks, J., & Bryson, 2004).

En otro aspecto, la implementación del presente proyecto puede ayudar a reducir los recursos invertidos para el mantenimiento de las tierras, tal como sucedió con la investigación en la provincia de Xin-jiang, China, con la red de sensores inalámbricos para monitorear la humedad del suelo en un cultivo, cuyos resultados ayudaron a reducir considerablemente el consumo de agua y aumentando el crecimiento de la raíz de la planta.

Es importante resaltar que no todas las variables influyen de igual manera en diferentes cultivos, las condiciones de cada terreno pueden ser totalmente diferentes y por consiguiente los sensores elegidos no siempre serán los adecuados. El cambio de sensores implica que los costos de implementación del proyecto pueden variar, adicionalmente se impactaría la precisión y el área de afectación en el que puede incidir el dispositivo.

Para concluir, se da respuesta al interrogante de investigación y se explica de qué forma fueron cumplidos los objetivos del proyecto bajo las siguientes premisas y análisis:

- ¿Cómo realizar la medición de las variables ambientales que inciden en los cultivos, aplicando tecnologías de bajo coste y software libre?

Dentro del proceso de especificación de requerimientos, enmarcado en el objetivo 1, se determinó que el proceso de medición de variables ambientales se debe realizar por medio de sensores, dichos sensores fueron seleccionados al momento de cumplir con el objetivo 2, basándose en sus costes y las tecnologías que implican su uso. Adicionalmente, se definieron componentes como microcontrolador, paneles, baterías, cables, etc. Que al final constituyen un dispositivo, que a lo largo del documento se especifica no solo como se realiza el proceso de medición, sino también, los costes involucrados hasta cierta medida. Por último, la medición parte desde el dispositivo, el cual toma datos del campo por medio de sensores, envía la información tomada a la red de nodos a la cual hace parte el dispositivo, los datos son enviados a un servidor y son almacenados por el mismo.

- OBJETIVO 1 “Especificar los requerimientos que involucra la creación de un sistema de monitoreo de variables ambientales a nivel de software y hardware que permita elaborar el diseño de un Backlog completo del sistema.”

Se realizó una búsqueda de información centralizada en la labor que realizan los ingenieros agrónomos, con el objetivo de visualizar de manera acertada que aspectos de un sistema de medición de variables ambientales puede llegar a ser realmente útil. Esta búsqueda dio como resultado el documento “Cuestionario de requerimientos.doc” y fue la base para la arquitectura del sistema, los requisitos funcionales y no funcionales.

- OBJETIVO 2 “Diseñar un modelo basado en etapas que se desarrollaran en el transcurso de la investigación para la selección y aplicación de los componentes a nivel de software y hardware.”

El modelo propuesto para la selección y aplicación de los componentes a nivel de software y hardware utilizó la metodología de codiseño, la cual de acuerdo al Autor A. Perez, se estructuró a través del modelo en V permitiendo una adecuada descripción del firmware y software a utilizar y sus componentes.

- OBJETIVO 3 “Desarrollar un prototipo funcional de un sistema de medición automatizada de variables ambientales para agricultura de precisión.”

Se diseñó un prototipo funcional que comprende un apartado hardware y software que permite la recolección, almacenado y visualización de los datos obtenidos en un terreno.

- OBJETIVO 4 “Evaluar los resultados obtenidos del prototipo a través de una prueba piloto que permita realizar el control de calidad pertinente para el mejoramiento del sistema.”

Se realizó una prueba de implementación del prototipo, de tal forma que se pudo corroborar su correcto funcionamiento. Los resultados demuestran que los valores obtenidos por el sistema están dentro de un margen esperados, a medida que se estudien los factores que pueden incidir en estos.

## 6. RECOMENDACIONES

1. La cantidad de datos censados es escalar según el número de nodos, por lo tanto, se estima que a largo plazo la cantidad de información almacenada será considerable dependiendo de los nodos desplegados. Se recomienda realizar un proceso de migración de datos a otros sistemas cada cierto tiempo para aligerar la carga de almacenamiento del sistema, así mismo, esto mejora la velocidad de respuesta del servidor para realizar consultas a la base de datos.
2. El sistema actualmente no soporta más variables ambientales que las descritas a lo largo del documento para su almacenamiento, pero al implementar mongo y no estar estrictamente relacionado a un esquema de base de datos, se es posible el desarrollo de un JSON dinámico que contenga las variables analizadas en el campo y que el sistema sea capaz de almacenarlo, procesar y graficar sin inconveniente. Todo lo anterior permite soportar todo tipo de campos al adaptarse a sus necesidades.
3. La calidad de los materiales implementados en el proyecto es de gama media, por lo tanto, la durabilidad de los componentes se estima que será de 1 a 2 años. Se recomienda invertir en componentes de alta calidad en la medida que sea posible o solo en casos de estricta necesidad.
4. El modelo de base de datos implementado en el presente proyecto fue diseñado para que un usuario tenga zonas, pero no se cuenta con la posibilidad de compartir el monitoreo de las zonas de un usuario con otro, si se modifica este aspecto del proyecto se le permitiría al usuario final una mayor flexibilidad.
5. Se podría emplear un mejor esquema de rutas con el bróker brindando mejoras en la identificación de nodos, esto permitiría reducir el procesamiento que tendría el servidor a lo largo de su funcionamiento mientras analiza la información de los nodos dado que estos momentos el servidor no sabe que nodo le está mandando información por lo que no se puede definir cuando un nodo deja de funcionar.
6. El dispositivo catalogado como servidor GPS puede verse mejorado creando una interfaz que le permita dinámicamente obtener la información correspondiente a la zona que se va a configurar en los nodos.

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- A. Perez, O. B. (2006). UNA METODOLOGÍA PARA EL DESARROLLO DE HARDWARE Y SOFTWARE EMBEBIDOS EN SISTEMAS CRÍTICOS DE SEGURIDAD. aliexpress. (14 de 8 de 2018). aliexpress. Obtenido de [https://es.aliexpress.com/store/product/NodeMCU-Development-Board-for-ESP-12E-From-ESP8266-Esp-12E-Lua-IoT-Programable-Diy-Rc-Toy/1552478\\_32587639930.html?spm=a219c.search0204.3.132.488c6c11dcpA0k&ws\\_ab\\_test=searchweb0\\_0,searchweb201602\\_3\\_10065\\_10068\\_1054](https://es.aliexpress.com/store/product/NodeMCU-Development-Board-for-ESP-12E-From-ESP8266-Esp-12E-Lua-IoT-Programable-Diy-Rc-Toy/1552478_32587639930.html?spm=a219c.search0204.3.132.488c6c11dcpA0k&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_3_10065_10068_1054)
- aliexpress. (14 de 07 de 2018). aliexpress. Obtenido de [https://es.aliexpress.com/store/product/Env-o-gratuito-MEGA-2560-R3-ATmega2560-R3-AVR-USB-board-Cable-USB-para-arduino-2560/1948124\\_32561798310.html?spm=a219c.search0204.3.1.6c2b3330YJE8kv&sp&ws\\_ab\\_test=searchweb0\\_0,searchweb201602\\_3\\_10065\\_10068\\_10547\\_31](https://es.aliexpress.com/store/product/Env-o-gratuito-MEGA-2560-R3-ATmega2560-R3-AVR-USB-board-Cable-USB-para-arduino-2560/1948124_32561798310.html?spm=a219c.search0204.3.1.6c2b3330YJE8kv&sp&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_3_10065_10068_10547_31)
- alldatasheet. (s.f.). *alldatasheet.com*. Obtenido de <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/2>
- Annual Reviews, I. (Ed.). (2015). Real-Time Monitoring of Critical Care Analytes in the Bloodstream with Chemical Sensors: Progress and Challenges. *Annual Review of Analytical Chemistry*, 8.
- Aparicio. (2013). Redes de Sensores Inalambricos Aplicadas a Optimizacion en Agricultura de Precision para Cultivos en Colombia. *Revista Journal de Ciencia e ingenieria*, Vol. 5, No. 1. ( Pp. 46-52).
- Aparicio urbano-Molano , F. (1 de 8 de 2013). Redes de Sensores Inalámbricos Aplicadas a Optimización en Agricultura de Precisión para Cultivos de Café en Colombia. *Journal de Ciencia e Ingeniería* , 5(1).
- Aristegui, J. L. (12 de Abril de 2010). TEST CASES IN SOFTWARE TEST. 34. Obtenido de <http://www.funlam.edu.co/revistas/index.php/lampsakos/article/viewFile/785/754>
- Aristegui, O. J. (2010). *LOS CASOS DE PRUEBA EN LA PRUEBA DEL SOFTWARE*. Recuperado el 4 de agosto de 2017, de <http://www.funlam.edu.co/revistas/index.php/lampsakos/article/viewFile/785/754>
- Bhuvaneswari, N. S., Vasudevan, A., & Ajith Kumar, D. (2016). Precision farming using unmanned aerial and ground vehicles. *Technological Innovations in ICT for Agriculture and Rural Development (TIAR), 2016 IEEE*.

- BID. (2011). *www.iadb.org/es/*. Obtenido de <http://www.iadb.org/es/temas/agricultura/estadisticas-de-la-agricultura-en-america-latina,2342.html>
- Borini, S., White, R., Wei, D., Astley, M., Haque, S., Spigone, E., & Ryhänen, T. (9 de 11 de 2013). Ultrafast Graphene Oxide Humidity Sensors. *ACS Nano*.
- Bosch. (2018). *Bosch Sensortec*. Obtenido de [https://www.bosch-sensortec.com/bst/products/all\\_products/bme680](https://www.bosch-sensortec.com/bst/products/all_products/bme680)
- Campbell. (4 de 5 de 2001). *ftp.campbellsci.com*. Obtenido de [ftp://ftp.campbellsci.com/pub/csl/outgoing/es/leaflets/estaciones\\_meteo\\_campbell\\_high\\_res.pdf](ftp://ftp.campbellsci.com/pub/csl/outgoing/es/leaflets/estaciones_meteo_campbell_high_res.pdf)
- CEPAL. (30 de 09 de 2015). *Cepal.org/es*. Obtenido de <http://www.cepal.org/es/noticias/mayor-productividad-agricola-valor-anadido-seran-claves-que-america-latina-caribe-enfrente>
- Clausen, S. (s.f.). <https://github.com/sclausen>. Obtenido de <https://github.com/sclausen/ngx-mqtt>
- COLCIENCIAS. (15 de 10 de 2015). <http://www.colciencias.gov.co/>. Obtenido de [http://www.colciencias.gov.co/sites/default/files/ckeditor\\_files/presentacionlanzamientoconv.pdf](http://www.colciencias.gov.co/sites/default/files/ckeditor_files/presentacionlanzamientoconv.pdf)
- Corp., N. T. (2016). *NanJing Top Power ASIC Corp*. Obtenido de <https://dlnmh9ip6v2uc.cloudfront.net/datasheets/Prototyping/TP4056.pdf>
- CORPOICA. (4 de 2015). *colaboracion.dnp.gov.co*. Obtenido de <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Agriculturapecuarioforestal%20y%20pesca/Diagn%C3%B3stico%20de%20la%20Ciencia,%20Tecnolog%C3%ADa%20e%20Innovaci%C3%B3n%20en%20el%20Sector%20Agropecuario-CORPOICA.pdf>
- DANE. (1 de 4 de 2016). *www.dane.gov.co*. Obtenido de <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/tecnologia-e-innovacion/tecnologias-de-la-informacion-y-las-comunicaciones-tic/indicadores-basicos-de-tic-en-empresas>
- DANE. (s.f.). *dane.gov.co*. Obtenido de <http://www.dane.gov.co/index.php/138-espanol/853-dane-celebra-dia-mundial-de-la-poblacion>
- DANE. (s.f.). *www.dane.gov.co*. Obtenido de <http://www.dane.gov.co/index.php/138-espanol/853-dane-celebra-dia-mundial-de-la-poblacion>
- DINERO. (29 de September de 2016). Colombia puede convertirse en una de las grandes despensas del mundo. Colombia. Obtenido de

- <https://www.dinero.com/pais/articulo/como-va-a-ser-el-futuro-agropecuario-de-colombia/232363>
- Dinero. (2017). *Dinero.com*. Obtenido de <http://www.dinero.com/edicion-impresa/pais/articulo/sociedad-de-agricultores-busca-empresarizar-el-campo/244551>
- Dinero. (2017). *Dinero.com*. Obtenido de <http://www.dinero.com/economia/articulo/agricultura-en-america-latina-segun-foro-de-alianza-del-pacifico/244481>
- Djuricic, B. (s.f.). *justgage.com*. Obtenido de <http://justgage.com/>
- Dorji, U., Pobkrut, T., & Kerdcharoen, T. (2017). Electronic nose based wireless sensor network for soil monitoring in precision farming system. *Knowledge and Smart Technology (KST), 2017 9th International Conference on*.
- ebay. (14 de 8 de 2018). Obtenido de <https://www.ebay.com/itm/Original-Raspberry-Pi-3-Model-B-Quad-Core-1-2GHz-64-bit-CPU-wifi-bluetooth/192099353359?epid=24019970648&hash=item2cba03830f:g:C~wAAOSw0ABankhY:rk:4:pf:0>
- El tiempo. (24 de 5 de 2016). El 65,8 % de la tierra apta para sembrar en Colombia no se aprovecha. Obtenido de <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-16601436>
- El tiempo. (24 de 5 de 2016). *eltiempo.com*. Obtenido de <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-16601438>
- Elika. (16 de Enero de 2014). *www.elika.eus*. Obtenido de <http://www.elika.eus/datos/articulos/Archivo1388/Berezi%2035%20drones%20y%20sus%20usos%20en%20agricultura.pdf>
- espressif. (Julio de 2016). *espressif.com*. Obtenido de [https://espressif.com/sites/default/files/documentation/esp-now\\_user\\_guide\\_en.pdf](https://espressif.com/sites/default/files/documentation/esp-now_user_guide_en.pdf)
- farnell. (Diciembre de 2011). *farnell.com*. Obtenido de <http://www.farnell.com/datasheets/1780639.pdf>
- Fokina, A. (2016). Scrum Methodology and Sales Force in the tourism sector: a project developed at Ubiwhere ; Metodologia Scrum e Força de Vendas no setor do Turismo: um projeto desenvolvido na Ubiwhere. *Universidade de Aveiro: PROA-UA (Plataforma de Revistas em Open Access da Universidade de Aveiro)*.
- González, M., & Alonso, A. M. (2016). Tecnologías para ahorrar agua en el cultivo de arroz. Colombia. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/nova/v14n26/v14n26a07.pdf>
- Google. (s.f.). *google.com*. Obtenido de <https://developers.google.com/maps/documentation/javascript/heatmaplayer>

Google. (s.f.). <https://firebase.google.com>. Obtenido de <https://firebase.google.com/docs/cloud-messaging?hl=es-419>

Infoagro. (s.f.). *Control Climatico en Invernaderos*. Obtenido de [http://www.infoagro.com/industria\\_auxiliar/control\\_climatico.htm](http://www.infoagro.com/industria_auxiliar/control_climatico.htm)

*Infoipc*. (2012). Obtenido de <http://infoipc2012.blogspot.com.co/2012/09/importancia-de-las-bases-de-datos.html>

J. Carletti, E. (2017). *robots-argentina*. Obtenido de [http://robots-argentina.com.ar/Comunicacion\\_busI2C.htm](http://robots-argentina.com.ar/Comunicacion_busI2C.htm)

JIMÉNEZ, E. S. (2014). EMISIONES DE GASES EN EL CULTIVO DEL ARROZ. Valencia, España. Obtenido de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/47780/01-Memoria.pdf?sequence=1>

La Nacion . (10 de 9 de 2016). Los beneficios del monitoreo de cultivos. (D. Igarzábal, Ed.) Obtenido de <http://www.lanacion.com.ar/1936055-los-beneficios-del-monitoreo-de-cultivos>

Lasomsri, P., Yanbuaban, P., Kerdpoca, O., & Ouypornkochagorn, T. (18 de July de 2018). A Development of Low-Cost Devices for Monitoring Indoor Air Quality in a Large-Scale Hospital. Thailand: IEEE.

Lizarazo Salcedo, I., & Carvajal, O. (2011). Aplicaciones de la agricultura de precisión en palma de aceite "Elaeis Guineensis" e híbrido O x G.

López, R. M. (1 de 12 de 2015). *SAC.org.co*. Obtenido de SAC: <http://www.sac.org.co/es/estudios-economicos/balance-sector-agropecuario-colombiano/290-balance-y-perspectivas-del-sector-agropecuario-2012-2013.html>

Martínez Cantón, C. (2016). Diseño y construcción de un detector de metales basado en un microcontrolador.

Maxim. (2016). *Maxim Integrated*. Obtenido de <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS3231.pdf>

*mikrocontroller*. (23 de 08 de 2015). Obtenido de [mikrocontroller.net](http://mikrocontroller.net): [https://www.mikrocontroller.net/attachment/286085/ESP8266-12F\\_Tronixlabs\\_Australia.pdf](https://www.mikrocontroller.net/attachment/286085/ESP8266-12F_Tronixlabs_Australia.pdf)

*mikrocontroller*. (23 de Agosto de 2015). [www.mikrocontroller.net](http://www.mikrocontroller.net). Obtenido de [www.mikrocontroller.net](http://www.mikrocontroller.net): [https://www.mikrocontroller.net/attachment/286085/ESP8266-12F\\_Tronixlabs\\_Australia.pdf](https://www.mikrocontroller.net/attachment/286085/ESP8266-12F_Tronixlabs_Australia.pdf)

MongoDB. (2017). [www.mongodb.com](http://www.mongodb.com). Obtenido de <https://www.mongodb.com/es>

mongoose.js. (2011 ). [mongoosejs.com](http://mongoosejs.com). Obtenido de <https://mongoosejs.com/>

- Montoya, E. A., Colorado, S. F., Muñoz, W. Y., & Golondrino, G. E. (2017). Propuesta de una Arquitectura para Agricultura de Precisión Soportada en IoT. Colombia, Quindío. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6673698>
- Nemoto, T., & Beglar, D. (2013). Developing. *JALT2013 CONFERENCE PROCEEDINGS*, (pág. 8). Japan. Obtenido de [https://jalt-publications.org/files/pdf-article/jalt2013\\_001.pdf](https://jalt-publications.org/files/pdf-article/jalt2013_001.pdf)
- Node.js. (2017). *nodejs.org/es/*. Obtenido de <https://nodejs.org/es/>
- Panasonic. (2016). *Panasonic*. Obtenido de <http://www.omnitron.cz/download/datasheet/NCR-18650PF.pdf>
- Pflaum, F., Weigel, R., & Koelpin, A. (2018 de January de 14). Ultra-low-power sensor node with wake-up-functionality for smart-sensor-applications. Anaheim , California, United States of America.
- PhracturedBlue. (s.f.). *github.com*. Obtenido de <https://github.com/PhracturedBlue/ESP8266MQTTMesh/blob/master/docs/MeshTopology.md>
- Richtech. (2011). *Richtech*. Obtenido de <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS3231.pdf>
- Ríos, L. C. (Diciembre de 2009). EFECTO DE LA RADIACIÓN ULTRAVIOLETA-B EN PLANTAS. Arica, Chile.
- Rodríguez Gómez, B. (2016). Estudio De La Irradiación Global En Galicia Basado En Medidas Recogidas En Estaciones Meteorológicas [e-book].
- Rosas, G., & Andre , J. (2016). Arquitectura de nodo inteligente para redes de sensores inalámbricas y escalables: aplicaciones en monitorización ambiental. *Tesis doctoral inédita*. España.
- Rubio, J., Stein-Carrillo , M. J., Hernández-Aguilar , A. J., Ávila-Camacho , J. F., & Meléndez-Ramírez, A. (2016). Sistema sensor para el monitoreo ambiental basado en redes Neuronales. *Ingeniería, Investigación Y Tecnología*.
- Rudd, A., Collina, M., Agor, M., & Buntsevich, S. (s.f.). *MQTT.js*. Obtenido de <https://github.com/mqttjs/MQTT.js>
- Salcedo, M., & Cendros, J. (2016). Uso del minicomputador de bajo costo 'Raspberry Pi' en estaciones meteorologicas. *Revista Telematique*, 5, 23-62.
- Sánchez, M., Barrera, M., Bustos, P., Campillo, C. M., & García, P. (September de 2016). Arquitectura Software Basada en Tecnologías Smart para Agricultura de Precisión. Colombia, Santander. Obtenido de

[https://www.researchgate.net/publication/306041668\\_Arquitectura\\_Software\\_Basada\\_en\\_Tecnologias\\_Smart\\_para\\_Agricultura\\_de\\_Precision](https://www.researchgate.net/publication/306041668_Arquitectura_Software_Basada_en_Tecnologias_Smart_para_Agricultura_de_Precision)  
Sensirion. (12 de 2011). *staging1.unep.org*. Obtenido de [http://staging1.unep.org/uneplive/media/docs/air\\_quality/aqm\\_document\\_v1/Blue%20Print/Components/Microcomputer%20and%20sensors/D.%20Supporting%20Sensors/D.1%20Temp%20&%20Humidity/Datasheet%20SHT21.pdf](http://staging1.unep.org/uneplive/media/docs/air_quality/aqm_document_v1/Blue%20Print/Components/Microcomputer%20and%20sensors/D.%20Supporting%20Sensors/D.1%20Temp%20&%20Humidity/Datasheet%20SHT21.pdf)

Shao, L., & Wang, X. (2007). Variable Rate Fertilizer Distributor in Precision Farming Based on PLC Technology (FSKD 2007). *Fuzzy Systems and Knowledge Discovery*.

Suárez Barón, J., & Suárez Barón, M. (2014). Monitoreo de variables ambientales en invernaderos usando tecnología Zigbee. *Revista Ingenieria al Dia*.

taloselectronics. (s.f.). *taloselectronics.com*. Obtenido de <https://www.taloselectronics.com/producto/sensor-de-humedad-del-suelo/>

taloselectronics. (s.f.). *taloselectronics.com*. Obtenido de <https://www.taloselectronics.com/products/sensor-de-humedad-del-suelo-yl38-y-yl69>

TAOS. (s.f.). *alldatasheet*. Obtenido de <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/203054/TAOS/TSL2561.html>

timeanddate.com. (26 de 05 de 2019). *www.timeanddate.com*. Obtenido de <https://www.timeanddate.com/weather/colombia/cartagena/historic>

Toivonen, & M.A, P. (s.f.). Importancia de manejar la humedad y la temperatura desde la cosecha hasta el almacén. Canada, [publicaciones.poscosecha.com](http://publicaciones.poscosecha.com). Obtenido de [https://issuu.com/horticulturaposcosecha/docs/importancia\\_de\\_manejar\\_la\\_humedad\\_y?e=8490508/3206865](https://issuu.com/horticulturaposcosecha/docs/importancia_de_manejar_la_humedad_y?e=8490508/3206865)

Turin, G. D. (2014). *Reporte Técnico: Lecciones aprendidas en el Desarrollo*. Colombia. [valor-software](http://valor-software.com). (23 de Agosto de 2015). <https://valor-software.com>. Obtenido de <https://valor-software.com/ng2-charts>

Viani, F., Bertoli, M., & Polo, A. (2017). Low-Cost Wireless System for Agrochemical Dosage Reduction in Precision Farming. *IEEE Sensors Journal*, 5-6.

Vishay. (2016). *Vishay*. Obtenido de <https://www.vishay.com/docs/84277/veml6070.pdf>

Wikipedia. (2013). Obtenido de [https://es.wikipedia.org/wiki/Microsoft\\_Access](https://es.wikipedia.org/wiki/Microsoft_Access)

Wikipedia. (2016). Obtenido de [https://es.wikipedia.org/wiki/Base\\_de\\_datos](https://es.wikipedia.org/wiki/Base_de_datos)

xkremator. (2018). *thingiverse*. Obtenido de <https://www.thingiverse.com/xkremator/about>

Yeoman. (11 de 3 de 2014). *yeoman.io*. Obtenido de <https://yeoman.io/>

Zhang, C. (s.f.). *GrabCad*. Obtenido de <https://blog.grabcad.com/blog/2017/09/18/yes-lean-agile-methods-can-be-applied-to-hardware-development-too/>

Díaz García-Cervigón, Juan José (junio 2015), Estudio de Índices de vegetación a partir de imágenes aéreas tomadas desde UAS/RPAS y aplicaciones de estos a la agricultura de precisión. UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

James E. Hanks 1 and Charles T. Bryson 2, 1 Application and Production Technology Research Unit, Agricultural Research Service, U.S. Department of Agriculture, Stoneville, MS 38776, 2 Southern Weed Science Research Unit, Agricultural Research Service, U.S. Department of Agriculture, Stoneville, MS 38776 (July 23, 2009).

Precision Farming Technologies for Weed Control in the Mississippi Delta

Franklin R. Hall, Laboratory for Pest Control Application Technology, The Ohio State University, Wooster, OH 44691, (July 23, 2009) Precision Farming: Technologies and Information as Risk-Reduction Tools.

Departamento de Agronomía, Universidad Nacional del sur, (octubre 18, 2001), Bienvenidos a la Cátedra de Agro meteorología, <http://agrometeorologia.criba.edu.ar/>.

Srie Vidhya Janani, E.; Ganesh Kumar, P. (December 1, 2015), Evaluating the Technical Barriers of Large Scale Sustainable Wireless Sensor Network: A Resources Approach.

Stefano Borini\*, Richard White, Di Wei, Michael Astley, Samiul Haque, Elisabetta Spigone, Nadine Harris, Jani Kivioja, and Tapani Ryhänen,( November 09, 2013), Ultrafast Graphene Oxide Humidity Sensors

Megan C. Frost, and Mark E. Meyerhoff, (July 2015), Real-Time Monitoring of Critical Care Analytes in the Bloodstream with Chemical Sensors: Progress and Challenges

Perfetti. (2013). Políticas para el desarrollo de la agricultura en Colombia. Centro de Investigación Económica y social de Fedesarrollo.

Frost, M. C., & Meyerhoff, M. E. (2015). Real-time monitoring of critical care analytes in the bloodstream with chemical sensors: Progress and challenges. *Annual Review of Analytical Chemistry*, 8, 171-192.

Rodríguez Gómez, B. A. (2010). Estudio de la irradiación global en Galicia basado en medidas recogidas en estaciones meteorológicas.

Hanks, J., & Bryson, C. (2004). PRECISION FARMING TECHNOLOGIES FOR WEED CONTROL IN THE MISSISSIPPI DELTA MANAGEMENT SYSTEMS EVALUATION AREA. *American Chemical Society Monograph Series*, 877, 150-163.