

**Sistema de sensores de IoT para el control de variables en un cultivo de fresa en la Sabana  
de Bogotá**

**Luzmila Rojas Estrada**

**Universidad Nacional Abierta Y A Distancia**

**Escuela de ciencias básicas, tecnología e ingeniería**

**Maestría en tecnología de información**

**Bogotá**

**2020**

**Sistema de sensores de IoT para el control de variables en un cultivo de fresa en la Sabana  
de Bogotá**

**Luzmila Rojas Estrada**

**Tesis presentada para obtener el título de  
Magister en gestión de tecnología de información**

**Director Phd. Sixto Enrique Campaña Bastidas**

**Universidad Nacional Abierta Y A Distancia**

**Escuela de ciencias básicas, tecnología e ingeniería**

**Maestría en tecnología de información**

**Bogotá**

**2020**

## Dedicatoria

Dedico este Proyecto de Grado a:

*A mis padres Eneida Estrada y Luis  
Rojas.*

*A mis hijas Dina Luz y Catalina*

*A Giovanni Álvarez por su apoyo  
incondicional en todo este tiempo*

## **Agradecimientos**

Agradezco a Dios por permitirme vivir el logro de graduarme de la maestría en Gestión de Tecnológicas de la Información. Gracias a mi familia por su paciencia al no poder compartir con ellos por temas de estudio. Gracias al director de mi tesis Sixto Enrique Campaña por su seguimiento y buena disposición profesional para dirigir este trabajo de grado.

## Contenido

<b>DEDICATORIA</b>	<b>III</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	<b>IV</b>
<b>GLOSARIO</b>	<b>XV</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>XVII</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>XIX</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>XXI</b>
<b>OBJETIVOS</b>	<b>25</b>
<b>OBJETIVO GENERAL</b>	<b>25</b>
<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b>	<b>25</b>
<b>CAPÍTULO 1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	<b>26</b>
<b>1.1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA</b>	<b>26</b>
<b>1.2. JUSTIFICACIÓN</b>	<b>27</b>
<i>1.2.1 DELIMITACIÓN</i>	<b>30</b>
<b>CAPÍTULO 2 MARCO REFERENCIAL</b>	<b>33</b>
<b>2.1. MARCO TEÓRICO</b>	<b>33</b>
<b>2.2. MARCO CONCEPTUAL</b>	<b>40</b>
<i>2.2.1 CONCEPTOS RELACIONADOS CON LA PRODUCCIÓN DE FRESAS</i>	<b>40</b>
<i>2.2.2 CARACTERIZACIÓN GENERAL DE LA FRESA EN FACATATIVÁ</i>	<b>51</b>
<b>2.3. VARIABLES AMBIENTALES A TENER EN CUENTA PARA EL CULTIVO DE FRESA</b>	<b>53</b>
<i>2.3.1 VARIABLES FÍSICAS</i>	<b>53</b>
<b>2.4. CONCEPTOS RELACIONADOS CON TECNOLOGÍA Y PRODUCCIÓN DE CULTIVOS</b>	<b>57</b>
<i>2.4.1 AGRICULTURA DE PRECISIÓN</i>	<b>57</b>
<i>2.4.2 ARQUITECTURA IoT</i>	<b>57</b>
<i>2.4.3 APLICACIONES DE REDES DE SENSORES Y IoT PARA LA AGRICULTURA</i>	<b>59</b>

## **CAPÍTULO 3 DISEÑO METODOLÓGICO** **61**

---

<b>3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN</b>	<b>61</b>
<b>3.2. METODOLOGÍA</b>	<b>62</b>
3.2.1 <i>DISEÑO METODOLÓGICO</i>	62
3.2.2 <i>RUTA METODOLÓGICA</i>	63
<b>3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA</b>	<b>64</b>
3.3.1 <i>POBLACIÓN</i>	64
3.3.2 <i>MUESTRA</i>	65
<b>3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE MUESTRAS</b>	<b>65</b>
3.4.1 <i>INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS</i>	65
<b>3.5. PRESUPUESTO</b>	<b>69</b>

## **CAPÍTULO 4 ANÁLISIS DE RESULTADOS** **71**

---

<b>4.1. RESULTADOS</b>	<b>71</b>
4.1.1 <i>RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN</i>	71
4.1.2 <i>INSTRUMENTO APLICADO A LA MUESTRA</i>	71
4.1.3 <i>ANÁLISIS A PARTIR DE LOS RESULTADOS EN LA ENCUESTA REALIZADA EN LA VEREDA MANCILLA</i>	87
<b>4.2. ANÁLISIS DE LAS VARIABLES DEL PROBLEMA</b>	<b>88</b>
4.2.1 <i>VARIABLE TEMPERATURA EN EL CULTIVO DE FRESA</i>	89
4.2.2 <i>VARIABLE HUMEDAD EN EL CULTIVO DE FRESA</i>	92
4.2.3 <i>MEDICIÓN DEL AGUA EN EL SUELO CON EL SENSOR</i>	97
4.2.4 <i>VARIABLE DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA EN EL CULTIVO DE FRESA</i>	99
4.2.5 <i>VARIABLE PH EN EL CULTIVO DE FRESA</i>	103

## **CAPÍTULO 5 DISEÑO DE LA SOLUCIÓN** **108**

---

<b>5.1. DESCRIPCIÓN DE LA APLICACIÓN PROPUESTA</b>	<b>108</b>
5.1.1 <i>EXPLICACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO Y RELACIÓN DE LAS VARIABLES A CONTROLAR</i>	108
5.1.2 <i>IDENTIFICACIÓN DE LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA A DISEÑAR</i>	110
5.1.3 <i>ARQUITECTURA DE RED Y DISEÑO DE TOPOLOGÍA</i>	111
<b>5.2. ELEMENTOS DE LA SOLUCIÓN</b>	<b>114</b>
5.2.1 <i>ACTORES DEL PROCESO</i>	114
5.2.2 <i>DISEÑO DEL SISTEMA: HARDWARE Y SOFTWARE</i>	115
<b>5.3. DESARROLLO DEL SISTEMA IOT</b>	<b>115</b>
5.3.1 <i>IDENTIFICACIÓN DEL HARDWARE</i>	115
5.3.2 <i>SENSOR DE CONDUCTIVIDAD</i>	118
<b>5.4. IDENTIFICACIÓN DEL SOFTWARE</b>	<b>119</b>

5.4.1	<i>PLATAFORMAS QUE EXISTEN EN EL MERCADO PARA EL CONTROL DE VARIABLES EN PROYECTOS IoT</i>	119
5.4.2	<i>UBIDOTS</i>	120

---

**CAPÍTULO 6 DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN** **125**

<b>6.1.</b>	<b>SELECCIÓN FINAL DE LOS ELEMENTOS IDENTIFICADOS</b>	<b>125</b>
6.1.1	<i>NODOS INALÁMBRICOS</i>	125
6.1.2	<i>GATEWAY</i>	125
6.1.3	<i>ESTACIÓN BASE:</i>	125
6.1.4	<i>PROTOCOLO ZIGBEE</i>	126
6.1.5	<i>VARIABLES DEFINIDAS EN EL ESTUDIO</i>	127
6.1.6	<i>PARÁMETROS PARA CONTROLAR VARIABLES</i>	127
6.1.7	<i>DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS DE CAPTURA DE DATOS</i>	128
<b>6.2.</b>	<b>DESARROLLO DEL PROTOTIPO</b>	<b>130</b>
6.2.1	<i>IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA</i>	132
<b>6.3.</b>	<b>RESULTADOS Y PRUEBAS REALIZADAS</b>	<b>139</b>
6.3.1	<i>DATOS TEMPERATURA AMBIENTE</i>	140

---

**CONCLUSIONES** **143**

---

**RECOMENDACIONES** **147**

---

**BIBLIOGRAFÍA** **149**

---

**ANEXOS** **157**

## Lista De Tablas

Tabla 1- Nutrientes por hectáreas .....	43
Tabla 2–Administración de fertilizantes .....	43
Tabla 3 – Necesidades nutricionales de la fresa por hectárea.....	44
Tabla 4–Concentración de nutrientes.....	44
Tabla 5 – Tipos de plagas y su relación con las variables que le afectan .....	49
Tabla 6 – Tipos de enfermedades y su relación con las variables que le afectan .....	50
Tabla 7 – Condiciones climáticas de Facatativá.....	54
Tabla 8 - Gastos iniciales del prototipo .....	69
Tabla 9 - Gastos de funcionamiento del prototipo.....	70
Tabla 10 – Puntuaciones originales método Cronbach.....	72
Tabla 11 – Evaluación de los niveles de confiabilidad.....	74
Tabla 12 – Variedad de fresa que se cultiva en la vereda Mancilla.....	75
Tabla 13 – Tipo de cultivo en la vereda Mancilla .....	76
Tabla 14 – Tipos de plagas en la vereda Mancilla.....	78
Tabla 15 – Afectación de las fresas en el proceso de siembra.....	79
Tabla 16 – Afectación en la planta .....	80
Tabla 17 – Afectación de cultivos por plagas y enfermedades.....	82
Tabla 18 – Afectación por cambios bruscos de temperaturas.....	83
Tabla 19 – Control de variables para mejorar la calidad de la fresa.....	84
Tabla 20 – Monitoreo y control de CE .....	85
Tabla 21 – Herramienta monitoreo CE y pH control plagas y enfermedades .....	86



Tabla 22 – Escala de salinidad.....	99
Tabla 23 – Niveles de alcalinidad.....	103
Tabla 24 – Características del sistema IoT .....	114
Tabla 25 – Requerimientos del sistema IoT .....	115
Tabla 26 – Características sensor.....	117
Tabla 27 – Requerimientos del hardware .....	129
Tabla 28 – Software utilizados .....	130
Tabla 29 – Datos recolectados en el suelo de la vereda Mancilla .....	139
Tabla 30 – Variables encontradas al iniciar las pruebas con los sensores .....	140
Tabla 31 – Resumen de variables por meses .....	140

## Lista De Figuras

<i>Figura 1</i> → Ubicación de la vereda Mancilla.....	31
<i>Figura 2</i> → Raíz afectada por la conductividad y el pH del suelo.....	42
<i>Figura 3</i> → Fotografía finca en Facatativá.....	45
<i>Figura 4</i> → Ciclo en días y cosecha de fresa .....	46
<i>Figura. 5</i> → Características de la planta de fresa .....	47
<i>Figura 6</i> → Variedad de Albión sembrada en Facatativá .....	55
<i>Figura 7</i> → Humedad física del suelo .....	55
<i>Figura 8</i> → Ruta metodológica sistema de sensores.....	64
<i>Figura 9</i> → Fórmula coeficiente de Alfa Cronbach.....	72
<i>Figura 10</i> → Fórmula coeficiente de Alfa Cronbach resuelta .....	73
<i>Figura 11</i> → Variedad cultivada en la vereda Mancilla.....	76
<i>Figura 12</i> → Tipo de cultivo en la vereda Mancilla.....	77
<i>Figura 13</i> → Tipo de plagas en la vereda Mancilla .....	78
<i>Figura. 14</i> → Afectaciones en la siembra .....	79
<i>Figura. 15</i> → Afectaciones de las plantas .....	81
<i>Figura. 16</i> → Afectaciones de cultivos por plagas y enfermedades .....	82
<i>Figura. 17</i> → Afectaciones por cambios de temperaturas.....	83
<i>Figura 18</i> → Control de variables para mejorar la calidad de la fresa.....	84
<i>Figura 19</i> → Monitoreo de CE antes y después de aplicación de nutrientes .....	85
<i>Figura 20</i> → Herramienta monitoreo CE y pH control plagas y enfermedades .....	86
<i>Figura 21</i> → Variación de la temperatura del sensor DHT11 .....	89

<i>Figura 22</i> → Variación de la temperatura del sensor DHT11 Vr 2d .....	90
<i>Figura 23</i> → Variación temperatura (°C) sensorDHT11 – Muestra superpuesta –.....	90
<i>Figura 24</i> → Variación temperatura (°C) en diferentes días .....	91
<i>Figura 25</i> → Variación temperatura (°C) picos por horario.....	91
<i>Figura 26</i> → Humedad relativa sensor DHT11.....	93
<i>Figura 27</i> → Humedad relativa sensor DHT11 vs. Temperatura.....	94
<i>Figura 28</i> → Humedad relativa en diferente niveles y horas del día .....	94
<i>Figura 29</i> → Humedad relativa en diferente horas del día y los picos más altos .....	95
<i>Figura 30</i> → Humedad relativa secuencia en valores %–muestra superpuesta – .....	95
<i>Figura 31</i> → Humedad del suelo diferentes profundidades – Muestra superpuesta – .....	96
<i>Figura 32</i> → Características del suelo para sembrar fresa, arenoso y arcilloso .....	97
<i>Figura 33</i> →Contenido del agua en el suelo .....	98
<i>Figura 34</i> → Conductividad lugar alberca .....	100
<i>Figura 35</i> → Conductividad lugar mangueras .....	101
<i>Figura 36</i> → Conductividad lugar riego.....	102
<i>Figura 37</i> →pH alcalinidad lugar alberca .....	104
<i>Figura 38</i> →pH alcalinidad lugar mangueras.....	105
<i>Figura 39</i> →pH alcalinidad lugar de riego .....	106
<i>Figura 40</i> → Análisis general toma de muestra suelo –vereda Mancilla–.....	107
<i>Figura 41</i> →Diseño de la arquitectura para el cultivo de fresa en la vereda Mancilla .....	109
<i>Figura 42</i> → Topologías ZigBee – estrella – malla – árbol .....	111
<i>Figura 43</i> → Modelo red jerárquica .....	112
<i>Figura 44</i> →MotherBoard Intel Galileo.....	116

<i>Figura 45</i> → Sensor Temperatura / Humedad Ref. DHT11 .....	116
<i>Figura 46</i> → Conexión DHT11 en MainBoard Intel .....	117
<i>Figura 47</i> → Fotos temperatura humedad conductividad y pH en display LCD a Intel Galileo	118
<i>Figura 48</i> → Sensor pH probando la alcalinidad del agua.....	119
<i>Figura 49</i> → Panel sistema de sensores software Wyliodrin .....	121
<i>Figura 50</i> → Logo oficial de Wyliodrin.....	122
<i>Figura 51</i> → Entorno de programación Wyliodrin .....	123
<i>Figura 52</i> → Programación de los sensores en Wyliodrin.....	123
<i>Figura 53</i> → Entorno grafico Wyliodrin.....	123
<i>Figura 54</i> → Configuración de sensores .....	124
<i>Figura 55</i> → Esquema de instalación de sensores .....	126
<i>Figura 56</i> → Instalación de Sensores en un cultivo de fresa en la finca San José, vereda Mancilla, Facatativá .....	128
<i>Figura 57</i> → Instalación de Sensores en la vereda Mancilla, Facatativá.....	129
<i>Figura 58</i> → Hardware estación base – sensores comunicación –.....	131
<i>Figura 59</i> → Estación base – Nodos remotos – Sistema de transmisión .....	132
<i>Figura 60</i> → Sistema implementado cultivo de fresa .....	133
<i>Figura 61</i> → Código programación sensor DTH11 .....	135
<i>Figura 62</i> → Configuración del LCD.....	135
<i>Figura 63</i> → Configuración sensor pH y CE .....	136
<i>Figura 64</i> → Configuración sistema embebido Intel Galileo en Wyliodrin .....	136
<i>Figura 65</i> → Configuración conexión sistema embebido Intel Galileo Com1 .....	137
<i>Figura 66</i> → Creación y configuración del proyecto en Wyliodrin.....	137

<i>Figura 67</i> → Configuración de las variables del proyecto en Wylidrin.....	138
<i>Figura 68</i> → Configuración del tablero de control en Wylidrin. ....	138
<i>Figura 69</i> → Valores sensores instalados en Wylidrin .....	139
<i>Figura. 70</i> → Variables del proyecto instalados en Wylidrin .....	141
<i>Figura. 71</i> → Tablas de datos temperatura 25/09/2017 .....	159
<i>Figura. 72</i> → Tablas de datos temperatura 14/10/2017 .....	160
<i>Figura 73</i> → Tablas de datos temperatura 11/11//2017 .....	161
<i>Figura 74</i> → Tablas de datos humedad relativa 25/09/2017.....	162
<i>Figura 75</i> → Tablas de datos humedad relativa 14/10/2017.....	163
<i>Figura 76</i> → Tablas de datos humedad relativa 11/11/2017.....	164
<i>Figura 77</i> → Tablas de datos humedad en el suelo 14/10/2017.....	165
<i>Figura 78</i> → Tablas de datos conductividad y pH del 14/10/2017 .....	166
<i>Figura 79</i> → Tablas de datos conductividad y pH del 14/10/2017 .....	166
<i>Figura 80</i> → Tablas de datos conductividad y pH –Análisis general– .....	166

## Lista De Anexos

Anexo 1 → Modelo de encuesta realizada a agricultores de la vereda Mancilla .....	157
Anexo 2 → Tablas de datos tomados de temperaturas del 25 de sept de 2017 .....	159
Anexo 3 → Tablas de datos tomados de temperaturas del 14 de oct de 2017 .....	160
Anexo 4 → Tablas de datos tomados de temperaturas del 11 de nov de 2017 .....	161
Anexo 5 → Tablas de datos tomados de humedad relativa del 25 de sept de 2017 .....	162
Anexo 6 → Tablas de datos tomados de humedad relativa del 14 de oct de 2017 .....	163
Anexo 7 → Tablas de datos tomados de humedad relativa del 11 de nov de 2017 .....	164
Anexo 8 → Tablas de datos tomados de humedad en el suelo del 14 de oct de 2017 .....	165
Anexo 9 → Tablas de datos tomados de conductividad y pH .....	166
Anexo 10 → – Poster Uniagraria 2017 .....	167
Anexo 11 → Poster y foto Evento Expotech, 2016 – UNAD .....	168
Anexo 12 → Artículo Publicado Revista Procedia Computer Science -Nivel Q2 .....	169
Anexo 13 → Capacitación Colegio Facatativá. Red de sensores con tecnología IoT .....	170
Anexo 14 → Productos relacionados con el Sistema de Sensores Tecnología IoT .....	171
Anexo 15 → Concurso Ventures Finalista .....	173

## Glosario

**CAR:** Corporaciones Autónomas y Regionales.

**CONDUCTIVIDAD:** Propiedad natural del cuerpo que permite el paso a través de sí del calor o la electricidad.

**HUMEDAD:** Cantidad de agua, vapor de agua que está presente en la superficie o en el aire.

**ICA:** Instituto Colombiano Agropecuario.

**IDEAM:** Instituto de Hidrología, Meteorológica y Estudios Ambientales.

**IGAC:** Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

**IoT:** Internet Of Things. Traducido al español, “Internet de las Cosas”, la cual es una red de objetos cotidianos interconectados.

**pH:** Potencial de Hidrógeno. Medida aplicable para determinar el grado de alcalinidad o acidez de una disolución.

**TEMPERATURA:** Magnitud física que refleja la cantidad de calor del ambiente.

**WSN:** Wireless Sensor Network. – Red de Sensor Inalámbrico.

**WYLIODRIN:** Portal que entrega un entorno de programación visual, directamente sobre el navegador.

**ZIGBEE:** Protocolo propietario de comunicaciones inalámbricas basado en IEEE 802.15.4, el cual proporciona velocidades entre 40Kbps y 250Kpbs, sus dispositivos son de bajo costo.



## Resumen

La presente investigación proyecta el establecimiento de un cultivo de fresa, mediante el diseño de un sistema de medición en tiempo real basado en una red de sensores con la tecnología IoT (*Internet of Things*), para obtener información relevante que permita el control de variables físicas para disminuir la incertidumbre frente a la calidad final de la producción de las plantas de fresas.

El proyecto se desarrolló en la finca San José de la zona rural Mancilla, ubicado en Facatativá Cundinamarca, municipio cercano a la capital de Colombia, donde se hizo la toma de datos de variables físicas, tales como: temperatura, humedad, conductividad y pH (*Potencial de Hidrógeno*) del suelo, que permitieron analizar las variaciones y su incidencia en el desarrollo de la calidad de la fruta.

En el estudio técnico, indica que el uso de una red de sensores inalámbricos WSN (*Wireless Sensor Networks*), permite analizar datos generando la caracterización de plántulas y enfermedades, y la observación de los detalles del cultivo y sus características. Se partió de determinar el diseño de una red de sensores con base en la arquitectura de Internet de las Cosas.

Se estableció el grado de aplicación y las características necesarias para la implementación de las TIC en el campo, de forma que sirva para el desarrollo y tecnificación del campesino agrícola como consecuencia de cambios climáticos y la resiliencia ante grandes variaciones climatológicas.

**PALABRAS CLAVE:** Internet de las cosas (IoT), Sensores Inalámbricos (WSN) de control, monitoreo de variables físicas, agricultura de precisión, cultivo de fresa.

## Abstract

This research projects the establishment of a strawberry crop, by designing a real-time measurement system based on a network of sensors with IoT (Internet of Things) technology, to obtain relevant information that allows control of to reduce uncertainty against the final quality of strawberry plant production.

The project was developed on the San José estate in rural Mancilla, located in Facatativá Cundinamarca, a municipality near the capital of Colombia, where data was taken from physical variables, such as: temperature, humidity, conductivity and pH (Potential of Hydrogen) of the soil, which allowed to analyze the variations and their impact on the development of the quality of the fruit.

In the technical study, it indicates that the use of a network of Wireless Sensor Networks (WSN) allows to analyze data generating the characterization of seedlings and diseases, and the observation of the details of the crop and its characteristics. It was based on determining the design of a network of sensors based on the architecture of the Internet of Things.

The degree of implementation and the characteristics necessary for the implementation of ICTs in the field was established, so as to serve the development and technicalization of agricultural farmers as a result of climate change and the resilience to major climatological variations.

**KEYWORDS:** Internet of Things (IoT), Wireless Sensors (WSN) control, monitoring of physical variables, precision agriculture, strawberry culture

## Introducción

Actualmente los dispositivos interconectados a Internet (*Internet de las cosas: IoT*) y la proliferación de sistemas embebidos han aumentado significativamente, así como también el desarrollo de sistemas y redes de sensores inalámbricas WSN (Wireless Sensor Network) que permiten monitorear diferentes variables relacionadas con las personas como la salud, la agricultura, el clima, el tráfico vehicular y los sistemas industriales, entre otros, permitiendo en la captura de información para el posterior análisis de datos. Esto con el fin de prever situaciones y generar ideas para la toma de decisiones en diferentes ámbitos de la vida cotidiana del ser humano como los controles de acceso e identificación en edificios, actividades de automatización en el sector industrial, vigilancia permanente de servicios públicos, soluciones domóticas avanzadas, sistemas de movilidad, estados climáticos y soluciones en agricultura, entre otras (Aparicio, 2013).

En lo relacionado con los avances de WSN (*Wireless Sensor Networks*), para la agricultura, temática principal de esta investigación, se puede señalar que son tecnologías que ayudan al desarrollo de este sector, brindando principalmente herramientas para monitorear en tiempo real diferentes variables clave en los procesos de producción agrícola y el control de las condiciones de los cultivos al igual que las del suelo, cambios en las plantas y la detección de anomalías. De acuerdo a esto, las variables que se han identificado como prioritarias para una buena producción agrícola y un buen desarrollo de los cultivos son las relacionadas con la temperatura ambiental, los niveles de humedad del suelo, conductividad y (*Potencial de Hidrógeno: pH*) (Rakshit y Hate, 2014).

Con respecto a la ubicación física de la investigación, se ha tomado como punto de referencia la sabana de Bogotá, donde las condiciones meteorológicas existentes han cambiado. Por ejemplo, antes era relativamente fácil identificar y predecir, en fechas específicas del año, los periodos de lluvias prolongadas y veranos cortos, pero con el cambio climático, ligado a múltiples factores naturales y artificiales, se han generado cambios ambientales que afectan los cultivos y, por ende, su seguimiento. Esto ha hecho necesario el uso de herramientas tecnológicas como las mencionadas WSN (*Wireless Sensor Networks*) que permiten mejorar los procesos productivos y, en consecuencia, la productividad de los suelos.

Este proyecto se desarrolló en la vereda Mancilla del municipio de Facatativá, perteneciente a la zona de la sabana de Bogotá, donde se ha logrado identificar que la variación del clima de los últimos años ha afectado los cultivos de dicha región, siendo un problema estimar las fechas óptimas de siembra y cosecha pues los suelos reciben exceso de lluvia en algunas temporadas y, en otras, se presentan sequías que imposibilitan la regeneración del suelo para otro tipo de cultivo, o para continuar con la producción de los productos comunes en la región.

Por lo tanto, en esta investigación se estimó que era necesario transformar la asistencia técnica a los cultivadores de la vereda Mancilla, haciendo uso de la tecnología, principalmente mediante redes de sensores inalámbricas WSN (*Wireless Sensor Networks*), apoyadas con tecnología de Internet de las cosas (IoT). Sin embargo, dado que sería complejo dirigir toda la investigación a la gran cantidad de productos que se dan en la región elegida, se delimitó el proceso investigativo al monitoreo del cultivo de la fresa, producto muy común en la vereda Mancilla. Así, el estudio se dirigió específicamente al análisis de las variables temperatura,

humedad, conductividad y *Potencial de Hidrógeno*: (pH) que afectan el desarrollo de este cultivo, propendiendo por una mejor producción y disminución del riesgo en la pérdida del mismo por condiciones ambientales.

La propuesta de un sistema WSN (*Wireless Sensor Networks*) con base en una arquitectura IoT para los agricultores del cultivo de fresa en la sabana de Bogotá, vereda Mancilla del municipio de Facatativá, ofrece una solución de análisis de variables y caracterización del cultivo mencionado en esta región, permitiendo la revisión de situaciones críticas que deben ser tenidas en cuenta en el proceso de la siembra. Además, la herramienta propende por la tecnificación y mejora del cultivo de fresa.

El uso de una solución IoT en el desarrollo de esta investigación permitió la recolección de información con la WSN (*Wireless Sensor Networks*), que luego fue analizada y sirvió como referencia para el desarrollo del cultivo de fresa en esta región, generando información que fue comparada con datos provenientes de otras instituciones del orden nacional, departamental y local, como la Aeronáutica Civil, el IGAG, el IDEAM, la CAR y datos climáticos suministrados por la Alcaldía de Facatativá, entre otros. Lo anterior permitió validar la herramienta y determinar su viabilidad en el objeto investigativo propuesto con el fin de ofrecer al agricultor tradicional, en este caso del cultivo de fresa, herramientas de tecnificación agrícola, soportado por tecnologías actuales, que le pueden ayudar a mejorar la rentabilidad de su cultivo, la optimización de recursos y la obtención de productos de mayor calidad, con la probabilidad de poder anticiparse o prever problemas que se pueden convertir en pérdidas de cosechas por falta de supervisión, control y reacción oportuna.

Con respecto al contenido del documento que se describe en esta investigación se incluyeron varias secciones: en el capítulo uno se encuentra la descripción del problema, la justificación y los objetivos; en el capítulo dos está el marco teórico que expone los conceptos, características y variables relacionadas con el cultivo de fresa; en el capítulo tres se describe la metodología aplicada en la investigación, que comprende la recolección, el análisis de los datos y la propuesta de solución; en el capítulo cuatro se incluye el análisis y el diseño tecnológico, donde específicamente se mencionan las características del hardware y software de la solución propuesta; en el capítulo cinco se encuentra el desarrollo de sistema tecnológico y los resultados de las pruebas realizadas; y finalmente se encuentran las conclusiones, las recomendaciones, los referentes bibliográficos utilizados en la investigación y los anexos que apoyan el proceso realizado.



## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Diseñar una solución tecnológica que, mediante el uso de redes de sensores (WSN) y tecnologías de Internet de las cosas (IoT), permita el monitoreo de las variables medioambientales que afectan el cultivo de fresa en la vereda Mancilla del municipio de Facatativá de la sabana de Bogotá, facilitando la toma de decisiones en el control de las mismas con el fin de generar un producto de calidad

### **Objetivos Específicos**

Realizar un estado del arte con respecto al control de las variables medioambientales del cultivo de fresa con tecnologías de redes de sensores e Internet de las cosas.

Identificar las variables medioambientales a monitorear para la toma de decisiones y control en el cultivo de fresa en el lugar seleccionado para el estudio.

Diseñar la solución tecnológica, a nivel de hardware y software, teniendo en cuenta las variables medioambientales seleccionadas para el cultivo de fresa.

Diseñar un prototipo de pruebas para la evaluación de la solución tecnológica diseñada, acorde con las variables medioambientales identificadas y aplicado en el lugar seleccionado para el estudio.

Presentar los resultados obtenidos en la investigación y hacer las recomendaciones pertinentes.

## Capítulo 1 Planteamiento Del Problema

### 1.1. Definición Del Problema

La fresa es una fruta que, de acuerdo con las condiciones físicas a las cuales se exponga como temperatura, humedad, conductividad y pH del suelo, permite determinar su tamaño, color, calidad, olor y sabor, en el proceso de cultivo y posterior cosecha. Por esto, es **importante** para el productor que la planta se encuentre en las mejores condiciones posibles durante todo el proceso de crecimiento, aspecto que se lleva a cabo en los procesos de siembra y cultivo.

El problema se centra en el hecho de que los productores de la fruta deben adoptar opciones para mejorar la calidad y disminuir la incertidumbre debido al cambio de las condiciones ambientales que actualmente se experimentan en el mundo y que afectan todo tipo de cultivos.

Haciendo referencia al cambio climático, atribuido directa o indirectamente a la actividad humana y que altera la composición de la atmósfera mundial, implica una discusión sobre los patrones culturales vigentes, de uso, manejo y apropiación de los diferentes ecosistemas.

Lo anterior, se evidencia para los cultivadores de fresa en el municipio de Facatativá, en la vereda Mancilla, más exactamente en la finca San José, donde el cambio climático acarrea nuevos riesgos siendo una amenaza para la sobrevivencia de las prácticas cotidianas de cultivos, permitiendo generar nuevos conocimientos agrícolas de las comunidades sobre sus territorios.

Muchos de esos problemas están relacionados con la falta de tecnificación de los cultivos, situación a la cual los agricultores de fincas en las veredas de la sabana de Bogotá, donde se realizó el estudio, no pueden acceder por diferentes razones como son dificultades en el acceso a las nuevas tecnologías, falta de recursos y falta de información, entre otros.

De manera específica, y como aspecto de delimitación geográfica, la investigación se desarrolló en la finca San José, vereda Mancilla del municipio de Facatativá, donde debido a las variaciones climáticas se presentan cambios inesperados en las condiciones físicas del cultivo de fresa, provocando incrementos en los costos del proceso de producción o una baja calidad de la fruta para competir en los mercados locales, nacionales o internacionales.

### Pregunta de Investigación

¿De qué manera se puede hacer un control de las variables climáticas ambientales que afectan al cultivo de fresa en la sabana de Bogotá, para disminuir la incertidumbre que afecta la productividad y calidad del producto en su comercialización?

## **1.2. Justificación**

El presente trabajo de grado se realiza para identificar las necesidades que tienen los agricultores de conocer las variables climáticas que más afectan el cultivo de fresa, tomando como muestra la vereda mancilla del municipio de Facatativá, con el fin de conocer los datos relacionados con una producción saludable y el propósito de disminuir la incertidumbre, superar las expectativas de la calidad frente al proceso de siembra y la comercialización.

Teniendo en cuenta que la Organización de Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura (FAO) advierte, en el informe escrito por (Viñas, 2012), que en este siglo XXI la agricultura, como todos los procesos que tienen relación con el humano, debe ajustarse a la

tecnología para ser más competitivos, eficaces y sostenibles, y así producir más y mejores alimentos en proporción a la población creciente, donde la inversión en mano de obra y materias primas disminuya frente a una mayor producción agrícola que enfrenta adversidades con los cambios climáticos.

Es así, como las tecnologías de la información, tales como la aplicación IoT, son un elemento transformador de las diferentes áreas donde se mueve el ser humano y la agricultura no es la excepción, Esta viene cambiando y generando nuevas opciones, oportunidades de evolucionar al ser aplicada en los procesos tales como el control, monitoreo como herramientas claves para anticiparse a los diferentes eventos para mejorar la producción de fresa, brindando beneficios económicos para el agricultor.

Identificada las variables climáticas que más afectan el cultivo aplicando la tecnologías del Internet de las cosas (IoT) se propuso el diseño de un sistema de red de sensores para el monitoreo y control de variables climáticas en un cultivo de fresa, como una solución para los agricultores a la problemática que deben afrontar que es la incertidumbre en la calidad de la producción y costos elevados para el agricultor en insumos, mano de obra para la siembra y cosecha y posterior comercialización.

Los avances en tecnologías y la aplicación en todas las áreas donde existe interacción con el ser humano son herramientas para anticiparse a los diferentes eventos. Con el desarrollo de una solución de Internet de las cosas (IoT), realizado el análisis del estado actual del cultivo de fresa, se determina la importancia de tener un control y monitoreo constante de las variables climáticas que afectan y tienen estrecha relación con el resultado óptimo de la cosecha, por lo cual permitiría conocer los rangos adecuados de las variables ambientales en

los que se deben mantener los valores, como temperatura, humedad, conductividad y el Potencial de Hidrógeno (pH), se puede garantizar un suelo óptimo para la producción de las fresas.

Con el análisis de los datos recolectados en diferentes fechas a través de los nodos instalados en el cultivo se puede obtener un archivo histórico (base de consulta) para que los productores puedan predecir eventos y tomar decisiones en cuanto al desarrollo de actividades como la aplicación de fertilizantes en los momentos necesarios, al igual que el riego, los suplementos orgánicos y los plaguicidas.

Tener los datos de las variables climáticas permite escoger la mejor zona para la siembra, el mejor tiempo y los niveles de agua adecuado; visto de otra forma, el agricultor puede decidir a partir del conocimiento de las variables que obtiene a través de la red de sensores inalámbrico *Wireless Sensor Network* (WSN) instalados.

Las soluciones agrícolas en colaboración con la tecnología buscan estar orientadas al desarrollo sostenible, integrando todos los componentes necesarios a solucionar los conflictos y deficiencias a través del control de los ambientes de producción, el suelo, aire, agua, mediante el mantenimiento constante con herramientas de control y automatización de procesos repetitivos en el cultivo para obtener cultivos más saludables.

El uso de las herramientas IoT facilitan al agricultor el monitoreo constante de forma remota, reduciendo costos en mano de obra, ahorro de energía y recursos.

Estas herramientas tecnológicas son el cambio de un sistema tradicional con base al conocimiento empírico que no brinda seguridad por los diferentes cambios climáticos que enfrenta la humanidad en este siglo.

Al ser el agricultor más estratégico puede obtener un aumento en la calidad de la fresa y disminuir la incertidumbre en los procesos de producción, lo que se traduce en ahorros significativos, menos cargas operativas y mayores ganancias.

El diseño de una solución basado en IoT que le permita controlar y monitorear variables durante las diferentes etapas que se dan en un cultivo de fresa y de esta forma verificar los datos relevantes, el estado del suelo, la planta y el ambiente propio mediante el uso de los sensores inalámbricos, puede generar confianza entre el productor y el consumidor.

### ***1.2.1 Delimitación***

**Espacial:** Este estudio se desarrolló en la sabana de Bogotá, departamento de Cundinamarca, específicamente en el municipio de Facatativá, en la vereda Mancilla, finca San José

**Temporal:** La investigación se llevó a cabo en un periodo de doce (12) meses.

**Ubicación geográfica:** El municipio de Facatativá se divide territorialmente en catorce (14) veredas, dieciséis (16) centros poblados y ciento nueve (109) barrios, de los cuales la vereda Mancilla tiene una extensión aproximada de 1,4 millones de hectáreas, lo que la hace una de las principales veredas de mayor extensión en el municipio (figura 1).



Figura 1 → Ubicación de la vereda Mancilla  
Fuente: Google Map

**Alcance de la investigación:** La investigación buscó contribuir con la mejora de los procesos y procedimientos aplicados a la siembra y cosecha de la fresa, específicamente en la sabana de Bogotá, municipio de Facatativá, diseñando un prototipo que pueda mejorar el control y monitoreo de las variables físicas que afectan el cultivo de fresa, aportando al campesino herramientas que le permitan alcanzar las metas de los estándares de calidad solicitados para la fresa como alimento importante en la canasta familiar y, de esta manera, cumplir con una serie de especificaciones en riego, uso de insumos, agua, abonos orgánicos que se le exige al productor, de acuerdo con las exigencias del Ministerio de Agricultura (Castañeda, 2017).

De acuerdo con esto, se formuló el diseño de un sistema de sensores IoT en base a una red de sensores (WSN) adoptando tecnologías de control y monitoreo para proyectar al agricultor como productor integral, que puede organizar y monitorear el proceso de siembra y cosecha de la fresa para ser competitivo a nivel nacional e internacional, y dar cumplimiento a

los estándares de calidad, como NTC 410, norma de aceptación de fresa para Colombia, certificado fitosanitario emitido por el ICA en el que se declara que el producto está libre de algún tipo de plaga que pueda poner en peligro la salud de especies como la vegetal, la humana y la animal.

Se espera implementar un sistema de sensores inalámbricos bajo la tecnología IoT, con la finalidad de almacenar y analizar variables climáticas de temperaturas, humedad, conductividad y pH, con varios nodos instalados, recolectando datos y siendo analizados en una escala que determina la factibilidad de producción.

Esta es una oportunidad de investigación aplicando metodologías para el diseño de soluciones que puedan diagnosticar los estados ideales de un cultivo de fresa con la caracterización de los procesos, datos y los cambios en las variables climáticas para el correcto funcionamiento y producción en el cultivo de fresa, en la sabana de Bogotá, municipio de Facatativá, vereda Mancilla.



## Capítulo 2 Marco Referencial

### 2.1. Marco Teórico

Las fresas son un alimento importante para millones de personas, es una fruta muy apetecida por su delicioso sabor, color rojo brillante y su valor nutricional. Son una importante fuente de vitamina C y aminoácidos, su contenido varía de 26-120 mg/100 g de pulpa y, en promedio, contiene 60 mg/100 g de pulpa (Wright y Kader, 1997). Se considera uno de los antioxidantes naturales más potentes que ayuda en la formación del colágeno y evita los altos niveles de colesterol en la sangre. De esta forma, ayuda en la protección contra las cinco enfermedades relacionadas con el estrés oxidativo<sup>1</sup> reduciendo el riesgo de la arteriosclerosis, de enfermedades cardiovasculares y de algunos tipos de cáncer (Lee y Kader, 2000).

El cultivo de fresa en Colombia se consolidó en una cifra importante, alcanzada en el año 2017, de 1.350 hectáreas cultivadas, con una participación del 1% en los mercados de todos los frutales transitorios del país. Además, el 90 % de la producción total del país se encuentra en Cundinamarca (71%), Antioquia (16%) y Cauca (5,2%) (Bayer, 2019).

Con respecto a Facatativá existen diferentes cultivos, unos a cielo abierto en fincas pequeñas, y otros en invernaderos que se encuentran en fincas más industrializadas, siendo el componente hidropónico lo que garantiza mejor calidad, sabor, tamaño de la fruta y mayor producción. Además, lo relevante de esta forma de cultivo es que el campesino puede cultivar

---

<sup>1</sup>Es causado por un desequilibrio entre la producción de especies reactivas del oxígeno y la capacidad de un sistema biológico de decodificar rápidamente los reactivos intermedios o reparar el daño resultante.

todo el año, hacer mejor utilización de los espacios, usar más tecnología, y reducir la cantidad de agua y mano de obra.

Según los informes del Instituto Colombiano Agrícola (ICA), las variedades de fresa aceptadas para ser cultivadas en Colombia provienen de California y Florida, en Estados Unidos, y de Chile (Asohofrucol, 2013).

En Colombia, los cultivos de fresa (*Fragaria x ananassa D*) que existen son sembrados, en su mayoría, en tierra y a campo abierto, lo que hace más costoso el manejo agronómico por el alto costo de las tierras, la cantidad de mano de obra y de agroquímicos requeridos y por el manejo de pos cosecha que se debe utilizar para llevar el producto al consumidor, pues es más arduo y requiere mayor cuidado y atención de acuerdo con la distancia con respecto al consumidor final. (Torrente y Pérez, 2012).

Los esquemas relacionados con variables ambientales que debe poseer la fresa para sus óptimos resultados son los siguientes:

- ✓ Temperatura fructificación 15-20°C
- ✓ Temperatura vegetativa de acuerdo con la variedad 2°C, y máxima de 40°C
- ✓ Temperatura de fecundación 12°C y 25°C
- ✓ Temperatura: día entre 18 y 25 °C, noche entre 8 y 13 °C
- ✓ Humedad relativa en torno al 60-80%
- ✓ Altura sobre el nivel del mar: 0 a los 3.000 m.s.n.m.
- ✓ Requerimiento hídrico: 400-600 mm/año
- ✓ Tipo de suelo: arenoso y arcilloso con contenido de arena superior a 50%.
- ✓ pH: moderadamente ácido, valores entre 5,7 y 6,5

- ✓ Luminosidad: Las variedades de día corto requieren entre 8 y 12 horas de luz. (Cámara de Comercio de Bogotá, 2015).

En cultivos de estructura de invernadero, donde adoptan buenas prácticas agrícolas, se rigen a la normatividad asociada ISO 9001 y 14001 del 2000 (Rodríguez, 2018), utilizando materiales como fibra de coco, lana de roca, en un sistema de cultivo sin suelo NFT, NGS, y con pantallas térmicas, ventilación forzada por aire caliente y sistemas de riego de hidroponía automatizado. En cuanto a la agricultura de precisión son muchas las aplicaciones que se ofertan en el mercado con relación a soluciones IoT, que se pueden controlar a través de una red de sensores inalámbricos (WSN), e implementar en cultivos de diferentes productos de la canasta familiar; cada uno con características esenciales que hacen de estos una alternativa para el control y monitorización de los procesos en un cultivo.

Una red de sensores inalámbricos se define como una agrupación de varios sensores que se ubican aleatoriamente en un espacio determinado y tienen la característica de ser de bajo costo y bajo consumo de energía (Akyildiz, Sankarasubramaniam y Cayirci, 2002).

Como referencia de estas soluciones tecnológicas en la agricultura, este documento se decanta por el estudio de soluciones IoT que permiten que la red de sensores inalámbricos WSN garanticen el envío de datos en tiempo real. Cabe mencionar que este tema tiene muchos trabajos relacionados con la literatura científica pues las tecnologías cambian constantemente, pero el problema sigue abierto a nuevas soluciones y mejoras que ayuden a disminuir la incertidumbre en materia de cambios climáticos. Así, se ha realizado una revisión bibliográfica de algunos trabajos relacionados con el tema de Implementación de Sensores en

Cultivos, identificando las soluciones que, por sus características, se asemejan a la solución planteada o que, por sus resultados, han servido como referentes (Medina, 2017).

Según Díaz *et al.* (2011), el proyecto Grape Monitoring es una plataforma para el uso de sensores para el monitoreo de variables en la agricultura, específicamente en cultivo de uva donde se experimenta con sensores y una aplicación de WSN como apoyo de investigaciones alrededor de todos los temas derivados de la agricultura de precisión.

#### Estudio relacionado directamente con un sistema de monitoreo en cultivos

Salinas (2018) propone una plataforma de bajo costo para el control electrónico y monitoreo de las heladas que afectan un cultivo de fresa, específicamente supervisando variables medioambientales como la humedad y temperatura, recogidas en el cultivo de fresa para prevenir este flagelo a través de comparación en la validación de los datos y generar alertas para la toma de decisiones en el tiempo real del suceso. Saavedra (2014) presenta un proyecto que explica el diseño de una WSN (*Wireless Sensor Networks*) para la lectura de la temperatura en un espacio físico, con el uso específico en el área ambiental.

Otro estudio importante fue el realizado por la Universidad Distrital donde elaboraron el diseño y la implementación de un sistema modular de bajo costo que permite la supervisión de variables ambientales en un invernadero, y que fue probado en el norte de Santander. El sistema funciona con el protocolo *ZigBee* y emplea una red inalámbrica de sensores para recolectar información acerca de la humedad, la temperatura y la luminosidad que permite revisar en tiempo real estas variables y analizar reportes históricos (Monroy, Rolón y Sepúlveda, 2017).

John (2016) presenta otro proyecto de red de sensores inalámbricos de bajo costo para agricultura de precisión donde explica cómo las redes inalámbricas (WSN) de sensores se pueden implementar con un bajo costo y ser asequibles para los agricultores, utilizando protocolos de enrutamiento de origen modificado (MSR), con una técnica de localización simple validada por el despliegue del hardware con un programa de simulación basada en fuentes sin rangos.

Otros trabajos relacionados con soluciones tecnológicas IoT basados en red de sensores inalámbricos WSN (Zeng *et al.*, 2011) explica el uso de una aplicación de WSN que permite la transmisión de datos en tiempo real para la prevención de incendios, tomando como base los datos de temperaturas para crear alertas en el sistema. En este siglo se pueden encontrar en internet mucha bibliografía de trabajos en temas relacionados que muestran, de diferentes maneras, los usos de estas tecnologías en base al IoT, donde se puede ver que todos los entornos del ser humano, en un futuro próximo, serán objeto de monitoreo y control a través de herramientas inalámbricas para solucionar cualquier tipo de problema.

Todas estas referencias de redes de sensores inalámbricos WSN (*Wireless Sensor Networks*) hacen parte de un sinnúmero de soluciones y aplicaciones que se han desarrollado desde la aparición de las herramientas de control y automatización tecnológica aplicadas a la agricultura, tema central de esta investigación y relacionado con el análisis de variables ambientales en los cultivos de fresa de la vereda Mancilla del municipio de Facatativá.

Estos trabajos se toman como ejemplo, o referencia, en el proceso de realizar el diseño de una red de sensores con tecnología IoT aplicado a los cultivos de fresa; tecnología que mucha importancia para el agricultor ubicado en la sabana de Bogotá, específicamente en el

municipio de Facatativá, porque a través de ella puede proyectar una mejor forma de controlar las condiciones microclimáticas y de bienestar de las plantas y el fruto, garantizando una reducción de costos en agua, mano de obra y fertilizantes, y obteniendo un producto óptimo y competitivo a nivel nacional e internacional, de acuerdo a su tamaño, sabor y precio de la fresa, objeto de este estudio.

En la práctica, los productores de fresa en la sabana de Bogotá se enfrentan a mercados internacionales con requerimientos muy específicos para la compra. Estos requerimientos exigen una fruta bien desarrollada y formada, firme, limpia, fresca, sana, sin olores diferentes, sin manchas, lesiones o heridas, de aspecto brillante y jugosa, con el rojo característico de la fresa sin punta verde. Aunque el campesino en Facatativá se esfuerza de manera manual por conseguir los estándares solicitados, muchas veces no lo logra y debe acudir a los mercados locales para distribuir su producto.

De esta forma, se afirma que la adopción de las tecnologías de control, como los sensores de variables medioambientales, puede garantizar al campesino las posibilidades de alcanzar los estándares de calidad en la fresa solicitados por los compradores nacionales e internacionales. En los registros de la FAO, los estudios indican una tendencia de aumento de la población y un crecimiento en el consumo de frutas por el cambio de ingresos económicos y el mayor conocimiento, a través de los medios de comunicación, de las propiedades nutricionales y funcionales de las frutas (FAO, 2003).

Uno de los mayores problemas a los que se enfrenta el campesino es el uso de los recursos tecnológicos y la interpretación de los resultados en bases históricas encaminados a

mejorar los procesos y procedimientos en la agricultura, lo que se conoce como agricultura de precisión que está muy relacionada con los términos utilizados en el desarrollo de este trabajo.

En esta investigación se determinaron de manera minuciosa las variables de uso metodológico para aplicarlas al proyecto de investigación. Se hizo un recorrido conceptual sobre los temas de innovación tecnológica, agricultura de precisión e investigación, junto con la revisión de los planteamientos de algunos autores que lideran estos temas.

Para el desarrollo de esta investigación se tomaron como referencia otras investigaciones y tesis de maestría que muestran soluciones relacionadas para disminuir la incertidumbre del agricultor de la sabana de Bogotá sobre la calidad de la fresa para mejorar su productividad y, por ende, mejorar la comercialización del producto a nivel nacional e internacional.

Este trabajo se basó en una análisis de la siembra, cosecha y manipulación de las variables medioambientales que se alteran por el cambio climático y que afectan el desarrollo de la planta como temperatura, humedad, pH y conductividad, que están estrechamente ligadas al crecimiento y al desarrollo del cultivo de fresa y que evitan que el producto sea rechazado en los procesos de comercialización en los diferentes mercados, construyendo un modelo predictivo con los datos recogidos gracias a los sensores inalámbricos (WSN) instalados en los cultivos de la vereda Mancilla de la sabana de Bogotá, municipio de Facatativá.

## 2.2. Marco Conceptual

### 2.2.1 *Conceptos relacionados con la producción de fresas*

**Proceso de la siembra de la fresa:** Este proceso, en particular, es muy importante porque de acuerdo con el material y la variedad que se escoja, será la calidad de la fruta y sus características resultantes en cuanto a color, tamaño, firmeza, resistencia, tolerancia a las plagas y enfermedades.

De acuerdo con la experiencia de los agricultores para Facatativá las mejores opciones en variedad son Sabrina, Albión y Monterrey, siendo Albión la de mayor preferencia porque cumple con los requisitos, se adapta muy bien a las condiciones y produce un fruto muy atractivo para los diferentes mercados (Cámara de Comercio de Bogotá, 2015).

Las plantas de fresa se desarrollan, en gran medida, en razón a las condiciones de luz y temperatura. Los cambios bruscos de temperatura le afectan en gran proporción si son éstas son muy altas, y también en los días de mayor duración de la luz solar hay un desmesurado crecimiento vegetativo. Si, por el contrario, se baja mucho la temperatura y los días son cortos la fresa florece muy rápido por sus características termo y fotoperiódicas. Se suma estos inconvenientes la luminosidad en la fresa donde los rangos deben estar entre ocho (8) y doce (12) horas de luz. En Colombia la duración de los días es muy similar todo el año, y esto favorece el desarrollo de los cultivos (Bayer, 2019).

**Condiciones de clima y suelo:** El cultivo de fresa tiene un rango amplio de adaptabilidad a los pisos térmicos, pero para su desarrollo óptimo debe estar entre los 1700 y los 3000 msnm, en atmósferas con humedad relativa baja. La temperatura adecuada en el día



debe estar entre los 15-18°C y la nocturna de 8-10°C; el proceso de maduración se ve favorecido con temperaturas diarias entre los 18-25°C y en la noche entre 10-13°C (Bayer, 2019).

A pesar de que la fresa es de clima frío, los climas extremos en algunas épocas del año, como las heladas que se presentan en la sabana de Bogotá, afectan la planta en los procesos de floración, las coronas, los tallos y la raíz.

Si hay noches con temperaturas de 0 °C se pierden las flores, hay polinización y, por ende, frutos deformes. Si la temperatura dura varios días entre 8 a 12 °C, se produce daños graves que pueden hasta causar la muerte de la planta; lo ideal es que los días sean de 12 horas exactas y con una temperatura entre 14 °C y 20 °C durante el día.

En el caso del Potencial de Hidrógeno (pH), la fresa se desarrolla perfectamente en suelos que tienen un valor de 5.7 a 6.5, que se encuentren aireados, drenados, de textura arenosa y con una conductividad eléctrica inferior al 1ds/m (decisiemens por metro).

Si el suelo se encuentra muy pesado se pueden dañar la raíz por el alto grado desalinidad y, por ende, se pierde la planta (figura 2).



*Figura 2*→Raíz afectada por la conductividad y el pH del suelo

Fuente:<https://www.intagri.com/articulos/suelos/la-conductividad-electrica-del-suelo-en-el-desarrollo-de-los-cultivos>.

Con sistemas tradicionales de producción de fresa se obtienen de 10 a 20 t/ha, con sistemas semitecnificados se obtienen de 30 a 40 t/ha, y con sistemas tecnificados se obtienen entre 70 y 80 t/ha (López, 2014).

El manejo de fresa en sustratos como turba<sup>2</sup> incrementa la oxigenación del sistema radicular y el rendimiento, siendo la productividad lograda en Cundinamarca de 36 t/ha (Agronet, 2009). Los sistemas hidropónicos también se asocian a mayores rendimientos.

**Fertilización y riego de la fresa:** El sistema de goteo por planta es a través de mangueras instaladas en cada hilera del cultivo de fresa, con una distancia de 35 cm entre cada planta; el suministro de agua y de fertilizantes corresponde al 90% del éxito de la producción.

---

<sup>2</sup> Turba es el sustrato que más se utiliza en los cultivos para mantener la humedad, contiene minerales y oxígeno que permiten el crecimiento de las plantas.

En cuanto a la demanda hídrica por hectárea sembrada, muchos de los estudios realizados a cultivos de fresa determinaron que el volumen óptimo es de 4000 a 6000 m<sup>3</sup> agua/año por hectárea sembrada, adsorbida de 15 a 30 cm de profundidad desde la raíz; la capacidad óptima de humedad relativa se da en un rango entre el 70% y el 80 % en el suelo.

Con un sistema tradicional de producción se pueden obtener treinta y seis (36) toneladas (t) de fresa con la siguiente extracción de nutrientes de acuerdo con la tabla 1:

Tabla 1- Nutrientes por hectáreas

Nutrientes	Medidas
Nitrógeno	250-300 kg /hectárea
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> óxido de fósforo	150-180 kg/hectárea
K <sub>2</sub> O óxido de potasio	250-400 kg/hectárea

Fuente: Elaboración propia

Otro elemento a tener en cuenta y, no menos importante, es el calcio y el boro que le aportan color, sabor y peso, y se deben incluir en los programas de fertilización a los cultivos de fresa.

La aplicación de fertilizante de forma manual depende de la etapa en que se encuentra el cultivo como se muestra en la tabla 2. Para esto también se requiere un análisis de los datos del suelo para programar las dosis adecuadas.

Tabla 2–Administración de fertilizantes

Etapas	Tiempo / Semana
Desarrollo	0 - 12
Floración	13 - 18
Producción	19 - 30

Fuente: elaboración propia

Tabla 3 – Necesidades nutricionales de la fresa por hectárea

<b>Necesidades nutricionales de la fresa para una hectárea</b>												
											<b>Densidad de siembra/ Ha 72.000 plantas</b>	
<b>Consumo total en kilos de fórmulas fertilizantes en 18 meses</b>												
Hidro complex	Nitrato de calcio	Nitrato de amonio	Nitrato de potasio	Nitrato de magnesio	MAP 12-60-0	Fosfato Monopotásico	Sulfato de zinc	Ácido bórico	Sulfato de magnesio	Cloruro de potasio	Alcaplant	<b>Total</b>
54	76	318	101	101	40	104	32	32	145	126	95	<b>1223</b>
<b>Consumo total kilos de nutriente puro</b>												
<b>NUTRIENTE PURO</b>			<b>N</b>	<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	<b>K<sub>2</sub>O</b>	<b>CaO</b>	<b>MgO</b>	<b>B</b>	<b>Zn</b>	<b>S</b>		
			155	93	161	51	33	2	7	25	526	

Fuente: <http://repositorio.iica.int/bitstream/11324/2932/1/BVE17058869e.pdf>

Como se observa en la tabla 3, estas son las necesidades nutricionales por hectáreas, medida en kilos.

A continuación, se observa en la tabla 4, la concentración de nutrientes requeridas en un lapso de 18 a 23 semanas, periodo estipulado para la producción.

Tabla 4–Concentración de nutrientes

Días	Semanas	Concentración
70		N, K, CA, Mg
		Mg y S
	18	P, Fe
	23	Z
	18 - 23	Producción de la fresa

Fuente: elaboración propia

**Características físicas del cultivo de fresa:** Como se observa en la figura 3 la planta de fresa se siembra con la corona al nivel del suelo en pro de su rápido crecimiento y preservación de la raíz. El espacio es muy importante, las camas son de 80 cm de ancho, las calles de 40 cm, la distancia entre hileras de 35 cm, la distancia entre plantas de 35 cm, y se manejan 2 hileras por camas; la altura también es de 40 cm. Todo debe ser muy ordenado para

que se puedan adaptar 42.000 plantas por hectárea. El riego se debe adaptar para cada planta con dos mangueras por cama, con orificios también de 35 cm, como están las plantas (Bayer, 2019).



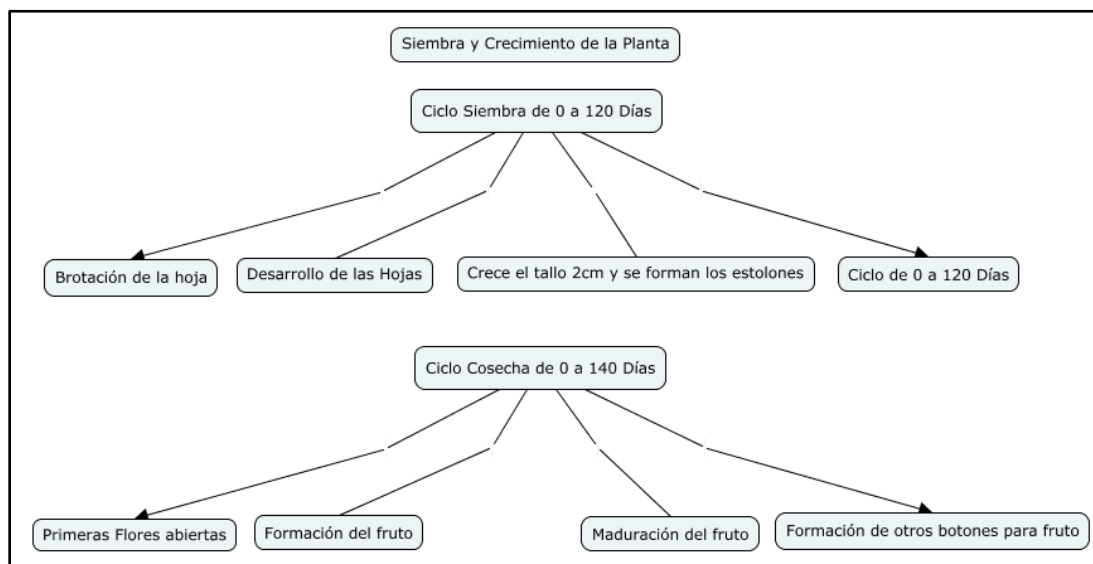
*Figura 3*→ Fotografía finca en Facatativá

Fuente:

[https://www.fincaraiz.com.co/finca-en-venta/facatativa/sector\\_prado\\_noruega\\_cuatro\\_esquinas-det-4524247.aspx](https://www.fincaraiz.com.co/finca-en-venta/facatativa/sector_prado_noruega_cuatro_esquinas-det-4524247.aspx).

Por su parte, los ciclos de siembra y cosecha de fresas, en días, se describen en la figura

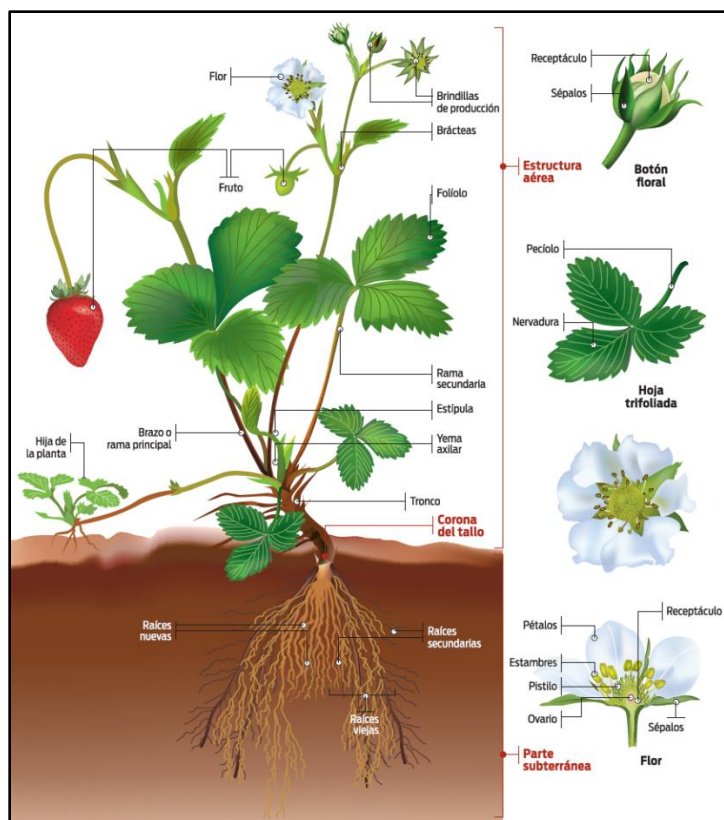
4.



*Figura 4*→Ciclo en días y cosecha de fresa

Fuente: elaboración propia

**Características de la planta de fresa:** Las características físicas de la planta de fresa y sus partes se muestran en la figura 5.



*Figura. 5* → Características de la planta de fresa  
Fuente: Cámara de Comercio de Bogotá (2015).

**Proceso de poda de la planta:** Durante el crecimiento de la planta se realizan tres podas al cultivo de fresa:

1. **Poda formación:** consiste en eliminar las primeras flores para dar más vigor a la planta y, de esta manera, estimular la producción de las raíces.
2. **Poda de producción:** se eliminan los brotes productivos que dieron frutos para dar paso a brotes vegetativos y reproductivos que estimularán nuevas inflorescencias y estolones secundarios.
3. **Poda de mantenimiento:** consiste en eliminar hojas secas o enfermas. Esta poda aumenta la aireación y estimula nuevas flores y frutos (Bayer, 2019).

**Manejo de plagas y enfermedades de la fresa:** Las plantas de fresa pueden ser desinfectadas realizando un *drench*<sup>3</sup> en la plántula sembrada. Esta desinfección ejerce control sobre las enfermedades de suelo como *Rhizoctonia* y *Phytophthora*, enfermedades que pueden causar la muerte de la plántula (Cano, 2013).

El cultivo de fresa es atacado por una gran variedad de plagas y enfermedades entre las cuales las más importantes son: Antracnosis, Mildeo Polvoso, *Phytophthora Fragarie*, *Verticillium*, *Rhizoctonia*, *Mycosphaerella*. Una de gran relevancia es *Botrytis cinerea*.

Tipos de plagas:






A nivel de plagas, entre las más comunes en esta zona de Facatativá de la sabana de Bogotá se encuentran: araña roja, mosca blanca (pulgón), trips, chizas, rosquilla negra cogolleros, babosas, trozadores, moluscos y ácaros; siendo estos últimos la plaga que más puede afectar el rendimiento del cultivo (ver tabla 5) (Aguilera, 2017).

---

<sup>3</sup>Aplicar un *drench* en la plántula, se conoce como aguateo o inyección por planta al suelo.



Tabla 5 – Tipos de plagas y su relación con las variables que le afectan





Tipo	Nombre	Variable relacionada	Imagen
Plaga de la fresa	<i>Araña roja (Tetranychusurticae )</i>	Falta de humedad, época de sequía o exceso de calor	
	<i>Pulgón (Aphysgossypii y Myzuspersicae )</i>	Cuando sube la temperatura. Aparece en primavera	
	<i>Trips (Frankliniellaoccidentalis)</i>	Cuando sube la temperatura, en climas más secos	
	<i>Rosquilla negra (SpodopteralittoralisBoisduva )</i>	Temperatura y humedad. Aparece en primavera.	
	<i>Babosas y caracoles</i>	Se dan por salinidad y alcalinidad (pH y conductividad)	

Fuente: <https://www.lahuertinadetoni.es/plagas-y-enfermedades-de-la-fresa-o-frutilla/>

Tipos de enfermedades

**Enfermedades abióticas:** aparecen por la falta de adsorción de nutrientes que atraen parásitos y, de acuerdo con el manejo de la humedad, atacan más a ciertas variedades que no tienen resistencia y no son compatibles con las propiedades del suelo donde están sembradas (tabla 6) (Díaz *et al.*, 2017).

Tabla 6 – Tipos de enfermedades y su relación con las variables que le afectan

Tipo	Nombre	Variable relacionada	Imagen
Enfermedades de la fresa	<i>Oídio (Sphaerotecassp.)</i>	Alta temperatura, alta humedad o por continuas lluvias.	
	<i>Podredumbre Gris (BotrytiscinereaPers.)</i>	Ambientes frescos y húmedos, dependen de los cambios de temperaturas.	
	<i>Mancha Purpura o Viruela del fresa (Mycosphaerellafragarie (Tul) Ldan)</i>	Alta humedad relativa y temperaturas suaves (15 – 20°C).	
	<i>Podredumbre del Cuello o fitoftora (Phytophoracactorum L. C. Schroet))</i>	Se dan por salinidad y alcalinidad (pH y conductividad) que afecta las raíces.	

Fuente: <https://www.lahuertinadetoni.es/plagas-y-enfermedades-de-la-fresa-o-frutilla/>

### 2.2.2 Caracterización general de la fresa en Facatativá

La fresa *Fragaria x ananassa D.*, es una fruta apreciada mundialmente por su aroma, su color rojo brillante y su textura jugosa. Es una fuente importante de compuestos bioactivos como vitamina C, K, filoquinona, folato y constituyentes fenólicos con capacidad antioxidante, siendo consumida tanto en fresco como procesada.

En Colombia actualmente los cultivos de fresa (*Fragaria x ananassa D*) que existen son sembrados en tierra a campo abierto, lo que hace más costoso su manejo agronómico por el alto costo de las tierras, la cantidad de mano de obra y los agroquímicos que se deben utilizar para obtener las cosechas. Además, el manejo pos cosecha que se debe utilizar para llevar el producto al consumidor es más arduo y requiere mayor cuidado y atención por las distancias entre el productor y el consumidor final (Torrente, 2012).

El cultivo de fresa en Facatativá es la fresa *Fragaria x ananassa D.*, la cual es un producto hortícola que se cultiva ampliamente en Cundinamarca. Los municipios donde más se cultiva son Facatativá, Sibaté, Subachoque, Chocontá, Funza, Mosquera y Cajicá (Cosmoagro, 2012). “En Facatativá se cultiva fresa (*Fragaria x ananassa D*) en algunas fincas de las veredas de Moyano, Pueblo Viejo, La Selva, El Prado, Cuatro Esquinas, Los Manzanos, La Tribuna, Mancilla, Tierra Grata y el Corzo” (Alcaldía de Facatativá, 2016).

La variedad de fresa que más siembran (*Fragaria x ananassa D*) es la Albión porque es la que mejor se adapta a la zona, y su productividad y sabor son muy buenos. Los estolones son adquiridos en viveros, inicialmente, y después los agricultores se encargan de producir los estolones y así, cada dos años, poder renovar el cultivo.

En las pruebas realizadas a los cultivos de fresa (*Fragaria x ananassa D*) del municipio de Facatativá, los agricultores contaron cómo son sus actividades diarias para el mantenimiento y función de los cultivos.

En la vereda Mancilla se observó que la mayoría de los cultivos realizan la siembra en el suelo a campo abierto; las plantas de fresas las colocan en camas de 1,20 m de ancho y 15 cm de altura, y son cubiertas con plástico de color negro para proteger el suelo y a las fresas al momento de su crecimiento; esto ayuda a su calidad y a reducir los problemas fitosanitarios del cultivo. Aproximadamente son unas 42.000 a 60.000 plantas por hectárea.

De acuerdo con la tesis de Cadena (2017), los cultivos analizados y revisados son, en su mayoría, convencionales. Estos cuentan con poco acceso a la tecnología, utilizan de manera desmesurada los agroquímicos, y abusan de recursos como el suelo y el agua pues no tienen buenas prácticas agrícolas (BPA) (ICA, 2017). Además, tienen riego por goteo y esto lo hacen porque reduce el agua utilizada, no contamina los frutos, no moja el follaje, y disminuye el riesgo por plagas y enfermedades.

En la sabana de Bogotá las plagas más reconocidas en los cultivos de fresa son los caracoles, babosa y trip, y la enfermedad más grave es la Botrytis cinerea (Cámara de Comercio de Bogotá, 2015). El control de los cultivos se realiza con fumigación de agroquímicos sin ningún protocolo conocido, ni monitoreo de variables, y se realiza de forma habitual cada 3 o 5 días, dependiendo de la decisión de productor.

Según (Cadena, 2017), la fresa (*Fragaria x ananassa D*) presenta varias etapas en su desarrollo las cuales se deben tener en cuenta para realizar las proyecciones de cosecha y comercialización. En la etapa vegetativa ocurre la brotación y el desarrollo de las partes

vegetativas cosechables de la planta. Empieza la formación de estolón (de 2 cm de longitud); en la etapa reproductiva la planta comienza a formarse la flor (primeras yemas florales); y en la etapa productiva comienza la formación, maduración y senescencia del fruto, y empieza el reposo vegetativo. El tiempo que tarda desde la siembra a la floración son 120 días, y el tiempo desde la floración a la formación del fruto es de 20 días; para completar 140 días según la teoría de Meier *et al.* (1994).

Por esto, se debe prestar atención y mucho cuidado de los detalles y fases de la planta en el desarrollo del cultivo de fresa que requieren un tiempo de 140 días para cumplir con los requerimientos del ICA, entidad reguladora, para llevar el producto al consumidor final, ya sea nacional o internacional.

### **2.3. Variables Ambientales A Tener En Cuenta Para El Cultivo De Fresa**

#### **2.3.1 Variables físicas**

Son las que se escogieron porque tienen relación directa con el funcionamiento de las plantas, el suelo y la fruta. Su entorno es fundamental para el buen desarrollo del cultivo de fresa y se hace útil y necesario para realizar el control y monitoreo de los datos climáticos como temperatura, humedad, conductividad y pH, a través de la red de sensores inalámbricos (WSN).

**Temperatura:** La temperatura es una variable que influye significativamente en el desarrollo de un cultivo pues determina la aparición del brote o germinación de la semilla y el crecimiento de las plantas. Los agricultores de forma empírica conocen los datos de temperaturas por los estados del clima (si hay lluvia o si el tiempo es muy seco), y con base

en esto predicen cuando puede ser prudente sembrar los diferentes cultivos en la sabana de Bogotá. Comprender cómo se calienta o se enfría el suelo es necesario para hacer el seguimiento al crecimiento de las plantas. Otro factor importante, y que tiene mucha relación, es la humedad del suelo y la velocidad con que éste se enfría o se calienta. Los sensores de temperatura son dispositivos que miden todos esos cambios significativos.

Tabla 7 – Condiciones climáticas de Facatativá

<b>RANGO</b>	<b>MEDIDA</b>
Temperatura máxima	14°C
Temperatura mínima	6°C
Altitud	2.586 msnm
Precipitación	Entre 200 y 300 mm/mensual
Amanece	Promedio 5:50 a.m. hora local
Oscurece	Promedio 17:42 p.m.
Velocidad del viento	5.4 Km/hora
Humedad relativa	De 60% a 90%
Clima	Frio
Presión atmosférica	750mmHg hPa
Latitud	0452 N X=1027480
Longitud	7425 W Y=E=964155

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM (2012).

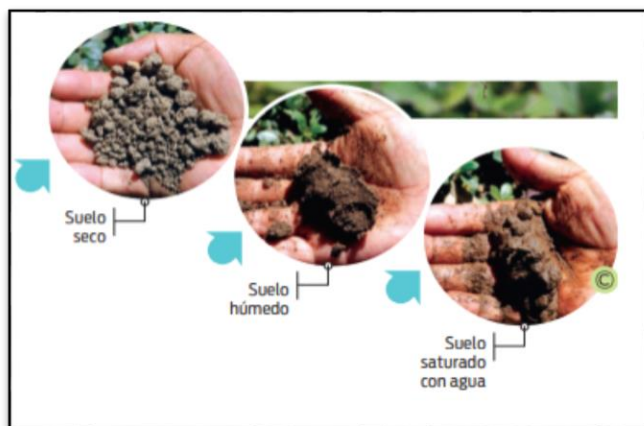
Facatativá tiene una altitud aproximada de 2.600 m.s.n.m. y un clima frio, donde existen dos tipos de sistemas productivos: los de subsistencia, que cultivan papa, hortalizas y frutales, y los empresariales, que se dedican a la producción de fresas y a la ganadería.

La variedad de fresa que más se cultiva en todas las fincas analizadas en esta investigación es el Albión (figura 6), por sus características de conservación y resistencia a plagas y a enfermedades (Alcaldía de Facatativá, 2002).



*Figura 6* → Variedad de Albión sembrada en Facatativá  
Fuente: elaboración propia

**Humedad:** Existen muchos tipos de humedad, en este caso específico la humedad es la que posee el suelo, es decir la cantidad de agua por volumen de tierra que hay en un terreno (Infoclima, 2017). Su medición exacta se realiza gravimétricamente pesando una muestra de tierra antes y después del secado (figura 7).



*Figura 7* → Humedad física del suelo  
Fuente: Cámara de Comercio de Bogotá (2015).

El agua constituye un factor determinante en la formación, conservación, fertilidad y productividad de las plántulas, así como para la germinación, crecimiento y desarrollo de los cultivos de fresa.

**Conductividad:** Es la capacidad que tiene el suelo para conducir corriente eléctrica a las plantas y esto se realiza con las propiedades de las sales. Por tanto, la conductividad eléctrica (CE) se mide de acuerdo al grado de concentración y valor de las sales en el suelo, y se mide en decisiemens por metro (dS/m), esta medida es equivalente a la que anteriormente se utilizaba: mmhos/cm. Si CE es menor de 1.5 dS/mno existen problemas en el suelo, pero si el valor supera los 2 o 3 dS/m se encuentra saturado, lo que, comúnmente, se llama como pasta saturada o un suelo con problemas. Esto pueden dañar las raíces por la absorción del agua que viene con muchas sales y la planta solo quiere el agua para poder desarrollar el cultivo. Las fresas pueden mantenerse en un umbral de CE del suelo entre 1.2 a 1.8 dS/m. (Intacri, 2017).

**pH del suelo:** Potencial del Hidrógeno (pH) es una de las variables más importantes para el desarrollo de un cultivo, se trata de una medida de la acidez o alcalinidad en el suelo, de donde se toman y absorben los nutrientes para pasarlos a la planta. Estos valores deben permanecer entre 6.5 y 7.0 para poder estar acordes a los rendimientos y a la productividad de los procesos agrícolas. (Agropal, 2016)



## **2.4. Conceptos Relacionados Con Tecnología Y Producción De Cultivos**

### **2.4.1 Agricultura de precisión**

La “agricultura de precisión” (AP) es la consecuencia de la disrupción de las TIC en la agricultura, es decir, la aplicación de la era digital a la producción agraria. Es la familiarización de las herramientas tecnológicas al servicio de la industria alimentaria, en función de la evolución actual, donde hay que alimentar una población mundial de siete mil millones de personas, y en crecimiento, con las restricciones que la seguridad en la sanidad alimentaria, la conservación de los recursos naturales y las leyes de la economía de mercado imponen (Agüera y Pérez, 2013).

### **2.4.2 Arquitectura IoT**

La utilización de arquitecturas para la IoT es una tendencia que aún está en proceso de desarrollo. Las soluciones están basadas en dos problemas fundamentales: buscar una forma estándar de acceso al medio y a los dispositivos, y la integración de los dispositivos a la Internet. La idea fundamental para que la aplicación pueda clasificarse como IoT (Internet de las Cosas) es la forma como se capturan los datos de sensores y como se pueden enviar a la nube (servidor dedicado), mediante una arquitectura cliente-servidor, a través de una tarjeta galileo de Intel. El envío de datos se presenta mediante la adquisición de datos de la tarjeta y su posterior envío mediante un protocolo TCP-IP.

La arquitectura y las capas del modelo TCP-IP, así como el modelo cliente servidor, están implementadas en el sistema operativo de la tarjeta, mediante librerías específicas, ya preestablecidas, dentro de su Kernell Linux. En particular, para el presente proyecto

disruptivo se usará el sistema embebido bajo arquitectura de 32 bits debido a que se utiliza como puente a la nube. Otro protocolo a tener en cuenta es el de la capa de red que permite trabajar también con dispositivos de recursos limitados, el 6LoWPAN (IPv6 Over Low Power Wireless Personal Area Networks), que actualmente es un grupo de trabajo independiente enfocado en el protocolo 802.15.4, permite la comunicación con bajas tasas de transmisión para poder trabajar con dispositivos de bajo costo y con recursos limitados. (González, 2013).

**Internet de las cosas en cultivos:** El internet de las cosas se ha integrado al sector agro. La interconexión digital de muchos objetos es un pilar del mundo moderno que aporta soluciones eficaces para todos los procesos y usos de recursos. La agricultura en particular se favorece al ganar precisión con los datos detallados de las variables que afectan los cultivos, el suelo, los datos meteorológicos, el análisis de plagas y las enfermedades. En fin, todo lo que se puede analizar, controlar, medir, corregir con la intervención de las tecnologías inteligentes.

La Internet de las cosas está definido como la interconexión digital de objetos cotidianos que abarcan la comunicación entre máquinas remotas, la conexión y la toma de decisiones en casos donde no necesariamente el humano interactúa con dichos dispositivos. Utilizar la red de sensores para el caso agrícola se refiere a la forma de interactuar entre máquinas o humanos con el fin de optimizar los procesos dentro de los cultivos, donde la red de internet esté involucrada como canal de comunicación en estructuras cliente-servidor.

### 2.4.3 Aplicaciones de redes de sensores y IoT para la agricultura

**IoT en aplicaciones de agricultura de precisión utilizando una red inalámbrica para sensores de humedad:** Es una aplicación del internet de las cosas (IoT) que utiliza una red de sensores con conectividad para realizar el sistema de riego en terrenos agrícolas. En este proyecto se usa una red de sensores inalámbricos (WSN) y la red inalámbrica de sensores de humedad (WMSN) como componentes de IoT para uno de los procesos más importantes en la agricultura: el riego.

En la implementación de un sistema de “Precision Agriculture” (PA) es donde se hace uso de WMSN para permitir un riego eficiente; un riego inadecuado ocasionaría desperdicio de agua. Las aplicaciones de supervisión y control se han mejorado enormemente mediante el uso de la tecnología WSN permitiendo la comunicación eficiente con muchos sensores.

**Desarrollo de dispositivos inteligentes de seguridad y monitoreo basados en IoT para la agricultura:** Es una aplicación que permite tener seguridad y protección contra los ataques de roedores u otros insectos; se basa en cuidar la economía en la agricultura al aplicar tecnología de seguridad. Esta aplicación envía notificaciones en tiempo real después de detectar los problemas, utilizando la Internet de las cosas y redes de sensores inalámbricos en campos agrícolas y almacenes de granos e identificando las amenazas de insectos sin la intervención humana (John, 2016).

**Automatización remota para agricultura con conexión inalámbrica e infraestructura de puerta de enlace IoT:** Esta aplicación es un sistema de automatización de procesos de agricultura remota, que incluye sensores y actuadores conectados al Gateway IoT, que ejecuta el servidor OPC UA.

El procesamiento de datos adquiridos y los algoritmos de control que producen estímulos de control se ejecutan en la pasarela. Los sensores y actuadores son muy generales y no necesitan ninguna inteligencia relacionada con el proceso. Bajo control, este enfoque ofrece la ventaja de posibilidades convenientes para cambiar las reglas de control de los servicios en la nube (instalación o configuración del controlador de proceso) sin actualizar el firmware de los sensores/actuadores remotos. El rendimiento del canal de recolección de datos (radio de largo alcance) y el rendimiento de la pasarela IOT son factores limitantes para el control en tiempo real o la observación de los procesos agrícolas (Nakutis *et al.*, 2016).

## Capítulo 3 Diseño Metodológico

### 3.1. Tipo De Investigación

Con el fin de dar respuesta a la pregunta: ¿De qué manera se puede hacer un control de las variables climáticas ambientales que afectan al cultivo de fresa en la sabana de Bogotá, para disminuir la incertidumbre que afecta la productividad y calidad del producto en su comercialización?, el proyecto fue abordado con un enfoque de investigación cuantitativo de carácter descriptivo y con un diseño de investigación no experimental y longitudinal de análisis evolutivo.

En este trabajo de grado, se propone una investigación descriptiva que busca medir el nivel de aceptación de la implementación de un sistema sensores de IoT para el control de variables en un cultivo de fresa. Se pretende conocer las variables que más afectan el cultivo para priorizar las alternativas y posibles soluciones, en tiempo real, de las incidencias encontradas con los datos recolectados por medio de la implementación de una red de sensores instalados como herramienta tecnológica. Esto para predecir acontecimientos importantes que afecten el buen desempeño del cultivo y la calidad en el producto esperado.

Conocer la descripción exacta de las variables ambientales, sus características, propiedades y rasgos es importante para analizar las herramientas utilizadas que se involucran en el proceso de siembra y cosecha de la fresa y, de esta forma, lograr disminuir la incertidumbre acostumbrada en los cultivos tradicionales.

El método para la recolección de la información fue una encuesta, aplicada mediante un cuestionario con preguntas dirigidas a los agricultores sobre la afectación de los factores

externos del cultivo de la fresa; la medición fue de forma numérica y luego se analizaron estos resultados para determinar los patrones de comportamiento de la población de la vereda Mancilla, en el municipio de Facatativá.

Por otro lado, esta investigación es de tipo *no experimental* porque los datos recolectados son tomados desde los sensores para ser analizados, y en ningún momento son manipulados pues los datos deben ser exactos. También es de tipo *longitudinal* debido a que los datos fueron recolectados en diferentes tiempos con el fin de revisar las variaciones en fechas diferentes para evidenciar los cambios climáticos y su evolución.

## **3.2. Metodología**

### **3.2.1 Diseño metodológico**

Este diseño metodológico descriptivo sirve para identificar, a través de fuentes primarias y secundarias, la información más relevante que permita analizar las problemáticas y las opciones tecnológicas que le pueden servir al agricultor, y ser usado como herramienta para mejorar las condiciones del cultivo de fresa en la vereda Mancilla, objeto de este estudio.

Para esto, se establecen las siguientes etapas:

- ✓ Se examinan las características del problema escogido,
- ✓ Se eligen los temas y fuentes que sustentan la investigación,
- ✓ Se elaboran las técnicas de recolección de información,
- ✓ Se verifica la validez de las técnicas de recolección de información,
- ✓ Se realizan observaciones objetivas y exactas,

- ✓ Se hace el análisis de recolección de información y se sustenta la solución propuesta,
- ✓ Se describe la solución diseñada y los resultados obtenidos.

### **3.2.2 Ruta metodológica**

El sistema de sensores IoT, para el monitoreo de las variables medio ambientales que afectan el cultivo de fresa, se conecta a una red de sensores inalámbricos (WSN), instalados para monitorizar y controlar en tiempo real los parámetros de interés en el proceso de siembra y cosecha. Esto permite obtener datos con el propósito de mejorar la calidad y el rendimiento en la producción.

De esta forma la ruta metodológica se plantea de la siguiente manera (figura 8):

- ✓ Análisis y recolección de la información
- ✓ Selección el sistema de agricultura de precisión para el control de variables físicas en un cultivo de fresa.
- ✓ Definición de las variables medioambientales y su impacto en la calidad de la fresa.
- ✓ Diseño y construcción del prototipo
- ✓ Ensayo de un prototipo para la toma de variables físicas planteadas.
- ✓ Exposición de los resultados y recomendaciones



Figura 8→ Ruta metodológica sistema de sensores

Fuente: elaboración propia

### 3.3. Población Y Muestra

#### 3.3.1 Población

La población seleccionada fue la vereda de Mancilla, pues en esta zona se encuentra la finca San José, lugar donde se realizó la toma de datos con el Sistema de Sensores IoT para el control de las variables medioambientales. Se realizó una encuesta por medio de un cuestionario a dieciocho (18) agricultores que estaban trabajando en seis (6) fincas cercanas, en su mayoría fincas con cultivos a cielo abierto, no tecnificadas y con un pozo de agua que alimentaba las mangueras que sostenían el sistema de riego por goteo a cada planta (ver anexo 1).

La información obtenida con relación a la población fue dada por los agricultores de la vereda Mancilla, municipio de Facatativá.



### 3.3.2 *Muestra*

Debido a que la cantidad de personas que conforman la población seleccionada es pequeña, se decidió aplicar los instrumentos a todos y, por ende, la muestra es toda la población.

## 3.4. **Técnicas E Instrumentos De Recolección De Muestras**

### 3.4.1 *Instrumento de recolección de datos*

Las técnicas de recolección de información que se emplearon fueron, por un lado, la observación directa y, por otro, la encuesta aplicada. Estos instrumentos satisfacen el objetivo para la obtención de los datos necesarios para esta investigación.

#### **Aplicación de instrumentos**

- ✓ Entrevista aplicada en el área de la vereda Mancilla, donde se encuentra la mayor concentración de cultivos de fresa de la sabana de Bogotá.
- ✓ La entrevista se orientó a conocer la problemática presentada en el proceso de siembra y cosecha de la fresa.
- ✓ Las preguntas del cuestionario se diseñaron con el fin de conocer más detalles sobre la infraestructura instalada, la experiencia, los materiales, la materia prima, las variables ambientales y los métodos empíricos. Todo esto con el objetivo de conocer los procesos que se vienen llevando, sin la intervención de herramientas tecnológicas, de control y monitoreo.

- ✓ Visita a los cultivos para observar y conocer los detalles de todo el ciclo de vida del cultivo de fresa y las características del suelo, de las semillas, de las plántulas, de los frutos y las condiciones climáticas del sector.

### Fuentes

**Primarias:** se tomaron como fuentes de información primaria a los agricultores, cultivadores de fresa de las zonas cercanas.

**Secundarias:** como fuentes de información secundarias se destacan los organismos públicos y privados que aportaron datos importantes sobre la producción histórica de la fresa, el manual de la fresa desarrollado por la Cámara de Comercio de Bogotá, revistas de buenas prácticas agrícolas, informes del SENA y del Ministerio de Agricultura, la FAO como otra fuente de consulta secundaria y la Internet donde se consultaron páginas que abordan el tema a desarrollar.

**Actividades para alcanzar los objetivos específicos:** Dentro de la búsqueda de información para documentarse sobre la realización de este estudio, y desarrollar el estado del arte con respecto al control de las variables medioambientales del cultivo de fresa con tecnologías de redes de sensores e Internet de las cosas, se consultaron bases de datos científicas en *Google Académico* para evidenciar que los cultivos de fresa en la sabana de Bogotá son en su mayoría a cielo abierto, y que las tecnologías utilizadas son escasas por esta zona del país. Los cultivos aún son monitoreados y controlados manualmente, pero existen muchos proyectos de universidades de pruebas de redes de sensores WSN y aplicaciones en la agricultura con este tipo de tecnologías IoT, que buscan mejorar los sistemas de riego y la

aplicación de sustratos en las plantas; pero los agricultores aún no lo aplican por falta de recursos económicos.

Luego de conocer los ciclos de vida que tienen los cultivos de fresa, se procedió a identificar las variables medioambientales que se deben monitorear para el control del cultivo de fresa y para la toma de decisiones en el lugar seleccionado para el estudio. Se destaca como actividad importante la supervisión y el control de los procesos que buscan mejorar el uso eficiente de los recursos como el agua, la mano de obra, los sustratos y los fertilizantes. Con base en la observación y en la encuesta aplicada a los agricultores de la vereda Mancilla, quienes aportaron, desde su experiencia tradicional, información relevante de la variabilidad de los cambios climáticos que más afectan a la fresa, las variables que se destacan en este estudio son la temperatura, la humedad, la conductividad y el pH.

Analizada la variabilidad de los factores climáticos que afectan los cultivos de fresa, se diseñó la solución tecnológica a nivel de *hardware* y *software*, teniendo en cuenta las variables medioambientales seleccionadas para el sistema de sensores IoT que puedan monitorear de forma inalámbrica la temperatura, la humedad, la conductividad y el pH, a través de nodos sensores instalados con una topología tipo árbol y conectados a una estación base. Los datos son transmitidos con el protocolo de comunicación para luego ser analizados de acuerdo con los rangos preestablecidos como óptimos para el buen desarrollo del proceso de siembra y cosecha de la fresa. Estos datos sirven para predecir eventos futuros y crear alertas tempranas. La información es almacenada en tablas de Excel, luego es graficada con el Software libre Wylidrin, que muestra cómo es el comportamiento de los sensores, y luego se realiza el análisis histórico de los datos con el visor de Matlab.

El sistema de sensores IoT, que permite controlar y monitorear las variables climáticas, y luego acceder a la información, en tiempo real, para la toma de decisiones, se realizó con el desarrollo de un prototipo de pruebas para la evaluación de la solución tecnológica diseñada, acorde con las variables medioambientales identificadas, y aplicado en el lugar seleccionado para el estudio: vereda Mancilla del municipio de Facatativá. Este sistema se compuso de cuatro nodos con sensores inalámbricos, conectados a una estación base, con un sistema embebido de control Intel Galileo. Cada estación corresponde a las variables que se configuraron para enviar datos de temperatura, humedad, conductividad y pH, identificadas en este estudio como indispensables para el buen funcionamiento del cultivo de fresa.

El sistema de sensores IoT, propuesto en este estudio, fue con base en un sistema embebido Intel Galileo, como nodo central programado, para recibir los datos de los nodos instalados con cada uno de los sensores (temperatura, humedad, conductividad y pH) y ver, en el LCD, estos valores como lo muestra la figura 65. Estos datos son almacenados en tablas de Excel y analizados de acuerdo con los rangos establecidos como normales, que determinan si se deben realizar más o menos riegos a las plántulas de acuerdo con la humedad en la raíz y en el ambiente, los niveles de salinidad que mide el sensor de conductividad y la alcalinidad medida con el sensor de pH. Todo esto con el fin de presentar los resultados obtenidos en la investigación y hacer las recomendaciones pertinentes para que el agricultor tome las mejores decisiones en tiempo real y disminuya la incertidumbre frente a la calidad del fruto para comercializar.

### 3.5. Presupuesto

Para la creación de un prototipo de red de sensores para cultivos de fresa con tecnología IoT se debe contar con algunos recursos y materiales que generan gastos. Estos gastos se componen de gastos iniciales y gastos de funcionamiento:

- ✓ **Iniciales:** costos de creación, adquisición, instalación, de pruebas y de documentación.
- ✓ **Funcionamiento:** técnico de configuración, mantenimiento, transmisión de datos, reparaciones, eventualmente sustitución de partes y consumo de electricidad.

Estos gastos iniciales son una solución de bajo costo para un sistema de Sensores IoT.

Tabla 8 - Gastos iniciales del prototipo

<b>Componente</b>	<b>Tipo de gasto</b>	<b>Valor</b>
Tarjeta Intel Galileo	Inicial	\$ 380.000
MCP3008 (convertidor de señales analógicas a digitales)	inicial	\$ 55.000
Sensor DHT11 digital de temperatura y humedad.	Inicial	\$ 30.000
Sensor Conductividad	Inicial	\$ 50.000
Sensor pH.	Inicial	\$ 95.000
Display 2".	Inicial	\$ 40.000
Cables, Sd	Inicial	\$ 30.000
<b>TOTAL</b>		<b>\$ 680.000</b>

Fuente: elaboración propia

Tabla 9 - Gastos de funcionamiento del prototipo

<b>Componente</b>	<b>Tipo de gasto</b>	<b>Valor</b>
<b>Simcard con datos</b>	Funcionamiento	\$ 30.000
<b>Gastos de energía</b>	Funcionamiento	\$ 50.000
<b>TOTAL</b>		<b>\$ 80.000</b>

Fuente: elaboración propia

Los costos descritos en las tablas 8 y 9 son en pesos colombianos de 2017.

## Capítulo 4 Análisis De Resultados

### 4.1. Resultados

#### 4.1.1 *Recolección de información*

Se realizó la recolección de datos con el objetivo de dar respuesta a la pregunta planteada para esta investigación: ¿De qué manera se puede hacer un control de las variables climáticas ambientales que afectan al cultivo de fresa en la sabana de Bogotá, para disminuir la incertidumbre que afecta la productividad y calidad del producto en su comercialización?

#### 4.1.2 *Instrumento aplicado a la muestra*

El instrumento aplicado a la muestra para la recolección y análisis de la información, y medir la pertinencia de realizar un sistema de sensores IoT para el control de variables en un cultivo de fresa en la sabana de Bogotá fue la encuesta aplicada a los agricultores de la vereda Mancilla del municipio de Facatativá.

***Validación del instrumento aplicado a la muestra:*** El instrumento de recolección de información en esta investigación se realiza de acuerdo con los preceptos de confiabilidad y validez, especificados por (Hernández *et al.*, 2007), con el propósito de que los resultados sean consistentes y que las variables se puedan medir objetivamente, evitando intereses particulares de quienes aplican los instrumentos.

Con el fin de confirmar la validez y la confiabilidad para interpretar la información recolectada, y cumplir con una investigación objetiva que logre lo planeado, se utilizó el

método de “*Medidas de consistencia Interna*” donde se calcula el coeficiente de Alfa Cronbach, que requiere de una sola aplicación del instrumento. Se basa en la medición de la respuesta del sujeto con respecto al ítem aplicado en el instrumento de recolección que, para este caso, es el cuestionario. Se aplica la siguiente fórmula:

$$\alpha = \frac{K}{K - 1} \left[ 1 - \frac{\sum S_i^2}{S_T^2} \right]$$

Figura 9 → Fórmula coeficiente de Alfa Cronbach

Donde:

- K:** Cantidad de ítem del instrumento
- Sumatoria de varianzas de los
- Si<sup>2</sup> :** Ítems
- S<sub>T</sub><sup>2</sup> :** Varianza de la suma de los Ítems
- α:** Coeficiente de Alfa de Cronbach

A continuación, se realizarán las operaciones con respecto a los sujetos e ítems, que para este instrumento son de diez (10) ítems y cuatro (4) sujetos a evaluar.

Tabla 10 – Puntuaciones originales método Cronbach

Ítems	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
<b>Sujetos</b>										
S1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
S2	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0
S3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
S4	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0
<b>VARP</b>										
(Varianza de la población)	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,250</b>	<b>0,250</b>	<b>0,250</b>	<b>0,188</b>	<b>0,000</b>	<b>0,250</b>	<b>0,250</b>

Fuente: elaboración propia

Siendo: **Si<sup>2</sup> : 1,438**



La sumaria de los VARP el subíndice

La sumatoria de los ítems da el dato del sujeto 2

### Suma de Ítems

10

4

10

5

$S_T^2$  : 7,688

Aplicando la fórmula de coeficiente Alpha de Cronbach reemplazando los valores:

**K:** 10  
 $\sum S_i^2$  : 1,438  
 $\sum S_T^2$  : 7,688  
 $\alpha$  0,903

$$\alpha = \frac{10}{10 - 1} \left[ 1 - \frac{1,438}{7,688} \right] \rightarrow \alpha = \frac{10}{9} [1 - 0,187] \rightarrow \alpha = 1,1 [0,813] \rightarrow \alpha = 0,903$$

Figura 10 → Fórmula coeficiente de Alfa Cronbach resuelta

**Resultados de aplicación del instrumento:** Al reemplazar los valores en la fórmula, se obtiene como resultado 0.903, lo que se traduce en un valor de credibilidad con el uso de instrumento. El valor obtenido fue de 10% de las respuestas que dieron los agricultores encuestados de la vereda Mancilla.

En escala de valores de acuerdo con la siguiente tabla de confiabilidad.

Tabla 11 – Evaluación de los niveles de confiabilidad

<b>CONFIABILIDAD</b>				
Muy baja	Baja	Regular	Aceptable	Elevada
<b>0</b>				<b>1</b>
0% de confiabilidad en la medición (la medición está contaminada de error)				100% de confiabilidad en la medición (no hay error)

Fuente: elaboración propia

De la aplicación del instrumento se deduce:

Entre más cerca está de 1, más alto es el grado de confiabilidad. Para este caso se consideran consistentes los resultados obtenidos. La aplicación del instrumento al sujeto y el objeto produce los resultados esperados.

El cuestionario aplicado (anexo 1) fue revisado y validado por el director de la tesis de maestría en Gestión de Tecnologías de la Información. Las preguntas fueron todas cerradas, algunas con opciones de sí o no, y otras de selección entre 2, 3 y 4 respuestas, y el cuestionario se aplicó a 18 agricultores de 6 fincas en la vereda Mancilla del municipio de Facatativá. Las preguntas aplicadas por cuestionario fueron en total diez (10), diseñadas para ampliar la información obtenida a través de la observación.

Con los datos se organizó una tabla con fórmulas en Excel, como lo muestra la Tabla 11, la cual permitió generar los informes, el análisis de los datos obtenidos, y las conclusiones sobre la validez de los cuestionarios aplicados a la investigación.

**Análisis del test aplicado por grupos de interés:** Se revisará el test aplicado a los agricultores de la vereda Mancilla para conocer los procesos que se llevan de forma tradicional y que pueden ser objeto de monitorización y control. Se estructuró en tres (3) niveles para analizar y jerarquizar su aplicabilidad de acuerdo con las características e implicación de cada una de las variables, y su posible orientación hacia el uso de las herramientas tecnológicas como opción de mejoramiento de los procesos y procedimientos que permitan la posibilidad de tener éxito en el cultivo y la calidad del fruto.

*Nivel 1. Conocimiento de las características y tratamiento tradicional de las fresas*

¿Qué variedad de Fresa se cultiva (Fragaria \* Ananassa)?

Tabla 12 – Variedad de fresa que se cultiva en la vereda Mancilla

<b>Tipo de Variedad</b>	<b>Alternativa</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Albión	18	100
Monterrey	0	0
Sabrina	0	0
Dulce Ana	0	0

Fuente: elaboración propia



Figura 11 → Variedad cultivada en la vereda Mancilla  
Fuente: elaboración propia

Una de las variedades que más se cultivan en la vereda Mancilla es Albi3n (figura 11) debido a que tiene más resistencia a los cambios de temperatura y humedad, y lo cual previene la proliferaci3n de plagas y enfermedades que afectan la ra3z y la pl3ntula.

¿Cu3les son los tipos de cultivos aplicados?

Tabla 13 – Tipo de cultivo en la vereda Mancilla

<b>Tipos de cultivos</b>	<b>Alternativa</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
A cielo abierto	12	67
Invernadero	3	17
Hidrop3nico	3	16

Fuente: elaboraci3n propia

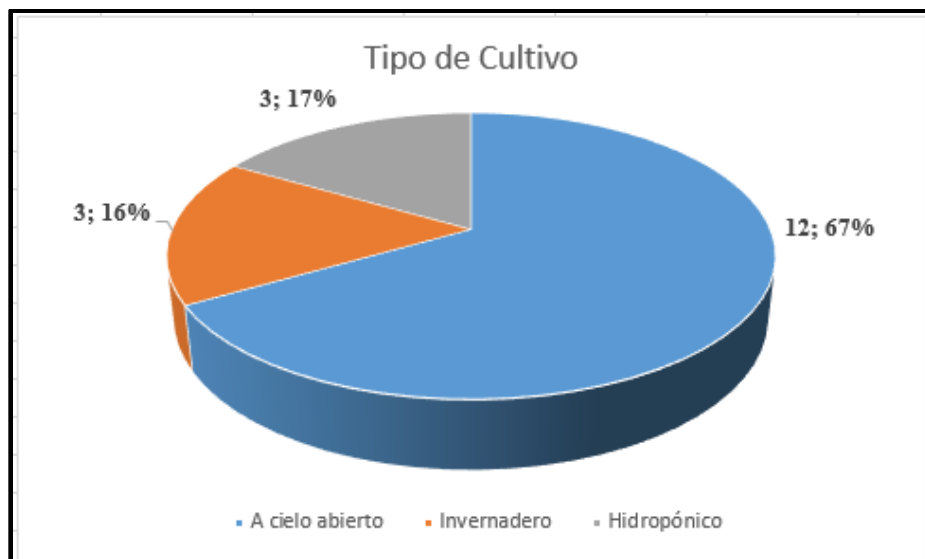


Figura 12 → Tipo de cultivo en la vereda Mancilla

Fuente: elaboración propia

Dado que la mayoría de las fincas son extensas, con muchas hectáreas de longitud, la mayoría de los cultivos son a cielo abierto (figura 12) y corresponden al 67%, el resto son hidropónicos (17%) e invernaderos (16%), lo que dificulta el control y monitoreo constante. Los sistemas de riego que predominan son mediante mangueras conectadas a albercas, y todo el tratamiento de manejo de suelo, temperaturas, plaguicidas y fertilización se realiza de forma tradicional, con base en conocimientos empíricos. Los cultivos hidropónicos e invernaderos son más tecnificados y pequeños, y permiten el control y monitoreo constante de las variables climáticas.

¿Cuál de las plagas es la más común en la vereda Mancilla?

Tabla 14 – Tipos de plagas en la vereda Mancilla

Tipo de plagas	Alternativa	Porcentaje (%)
Araña Roja	4	22
Trips	3	17
Babosas	10	56
Rosquilla Negra	1	5

Fuente: elaboración propia

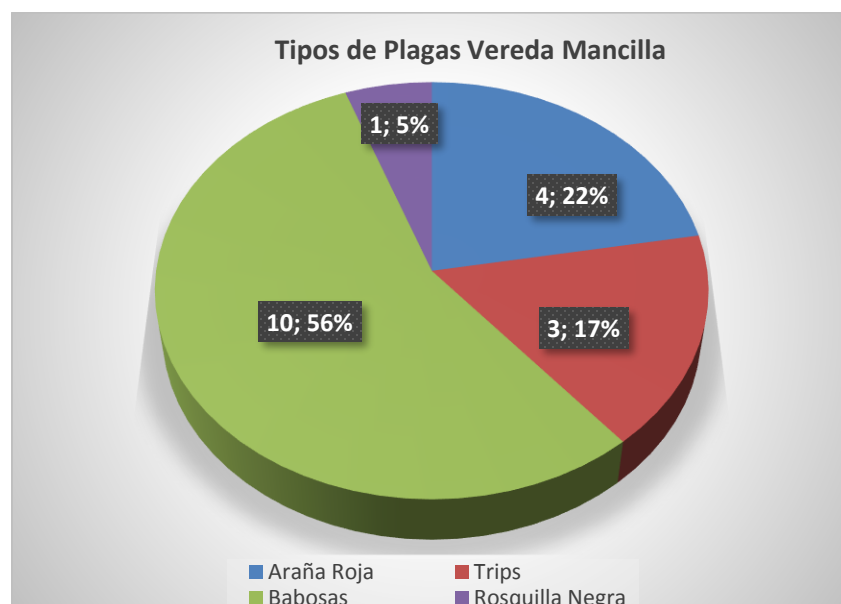


Figura 13 → Tipo de plagas en la vereda Mancilla

Fuente: elaboración propia

De acuerdo con las encuestas realizadas en la vereda Mancilla, la plaga más predominante, con el 56%, son las babosas (figura 13). Esto debido a que se reproducen muy fácilmente por la humedad en el suelo y por las constantes lluvias que se presentan, haciendo que la babosa tenga un hábitat ideal para su propagación.

*Nivel 2. Relación de las variables físicas que afectan en cultivo de fresa*

¿En el proceso de siembra que puede afectar el cultivo de la fresa?

Tabla 15 – Afectación de las fresas en el proceso de siembra

Tipo de Afectación	Alternativa	Porcentaje (%)
Calidad del Agua	6	34
Plaguicidas	0,2	1
Suelo	6	33
Temperatura	5,8	32

Fuente: elaboración propia

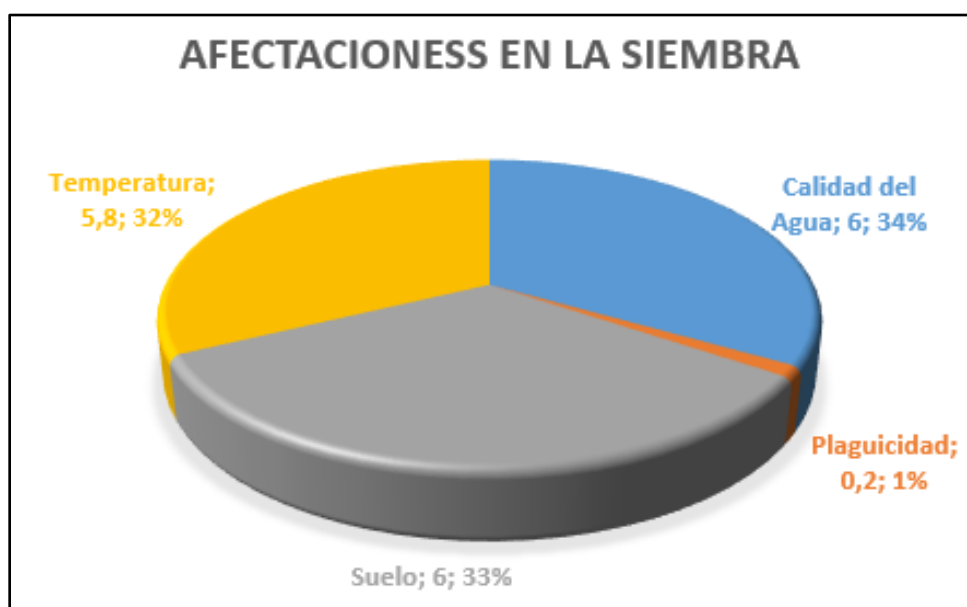


Figura. 14→ Afectaciones en la siembra

Fuente: elaboración propia

En la figura 14 se muestra que la calidad del agua, las condiciones del suelo y la temperatura son variables determinantes para el proceso de siembra. Los niveles de pH, que deben estar en rangos entre 5.8 y 6.8, son tomados desde los sistemas de riego; luego, pasan al suelo para generar la humedad a la plántula y para la evolución de los procesos de siembra. Asimismo, para la conservación de la nueva planta se deben conservar las temperaturas óptimas tanto en el día como en la noche.

Con base en los datos y resultados obtenidos se pueden determinar cuáles son las metodologías y las herramientas de monitoreo de las variables, del control y de la automatización usadas en los procedimientos probados en cultivos de fresa, permitiendo diseñar una adecuada metodología para la implementación de todas aquellas herramientas que no son utilizadas de forma correcta y que les permita a los agricultores desempeñarse mejor en el campo, apoyados de los recursos tecnológicos.

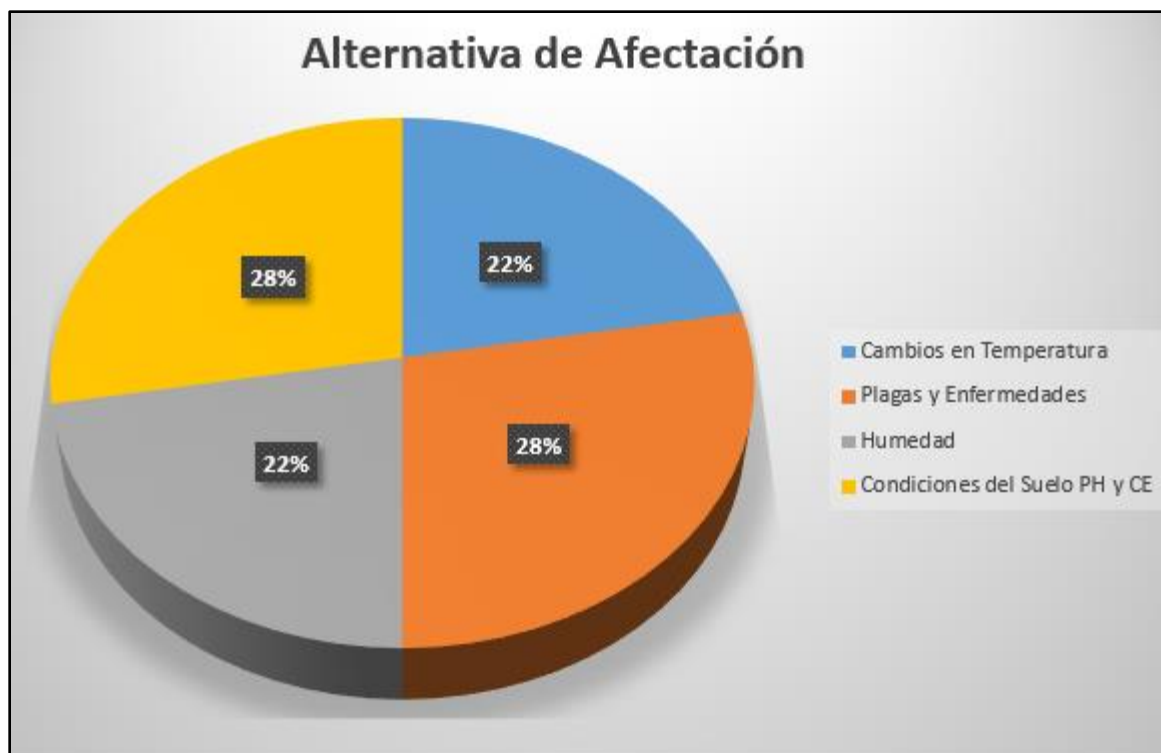
¿Cuáles son los factores que más afectan a la planta?

Tabla 16 – Afectación en la planta

<b>Afectación de la planta</b>	<b>Alternativa</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Cambios en temperatura	4	22
Plagas y Enfermedades	5	28
Humedad	4	22
Condiciones del suelo pH y CE	5	28

Fuente: elaboración propia





*Figura. 15* → Afectaciones de las plantas

Fuente: elaboración propia

La afectación en la plántula está estrechamente ligada a las variables ambientales objeto de este estudio. La temperatura debe estar en valores promedios de 12 a 20 °C., donde cambios bruscos pueden adelantar o atrasar el crecimiento de la planta y permitir la propagación de la plagas y enfermedades. Si la temperatura sube cambia los valores de humedad que, a su vez, cambian los factores del suelo (figura 15). Los valores tomados se encuentran entre el 22% y el 28% porque todas las variables afectan en la misma proporción el crecimiento y el buen desarrollo de la planta.

¿Las plagas y Enfermedades en la fresa se dan más por?

Tabla 17 – Afectación de cultivos por plagas y enfermedades

Afectación por plagas y enfermedades	Alternativa	Porcentaje (%)
Subidas de temperatura	6	33
Bajas de temperatura	3	17
Humedad	4	22
Tiempo seco	5	28

Fuente: elaboración propia

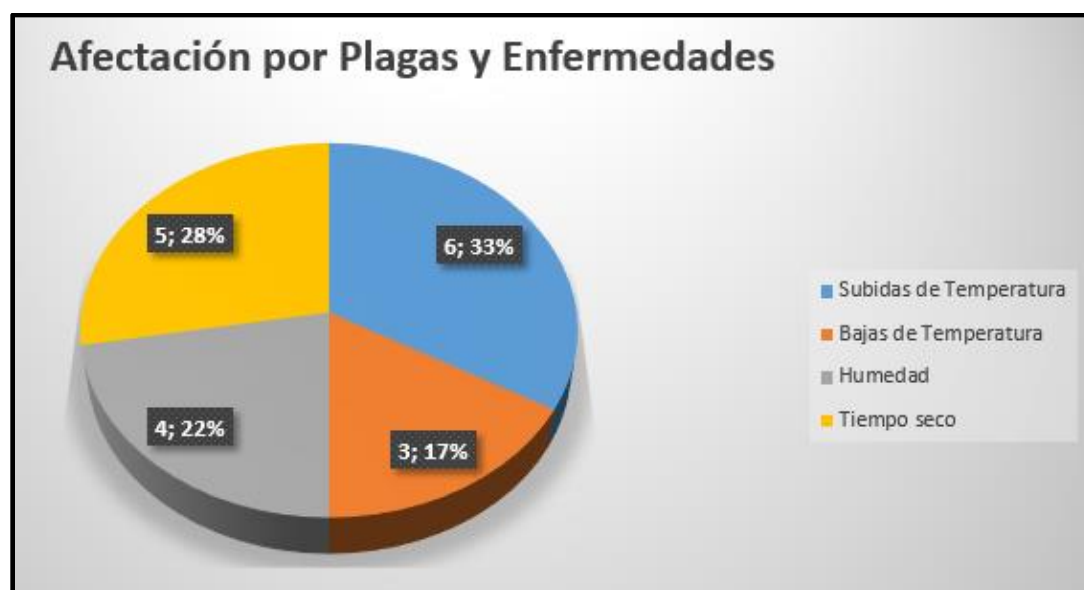


Figura. 16→ Afectaciones de cultivos por plagas y enfermedades

Fuente: IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales

El cambio en temperatura desencadena humedad relativa en esta zona de la vereda Mancilla, municipio de Facatativá, en los meses de septiembre y octubre. Por las tardes hay punto de rocío que cambia los valores de humedad, junto a las subidas de temperatura que se dan entre las 11 a. m. y las 2 p. m., lo que se convierte en un ambiente ideal para la propagación de plagas y enfermedades por hongos, producidos por la humedad del suelo y del ambiente. En la figura 16 se muestra el valor de la temperatura de 33%, siendo las variables más predominantes en estos meses cuando se tomó la muestra.

¿Afectan a la fresa los cambios bruscos de clima frecuentemente?

Tabla 18 – Afectación por cambios bruscos de temperaturas

Afectación por cambios bruscos de temperaturas	Alternativa	Porcentaje (%)
SI	16	89
NO	2	11

Fuente: elaboración propia

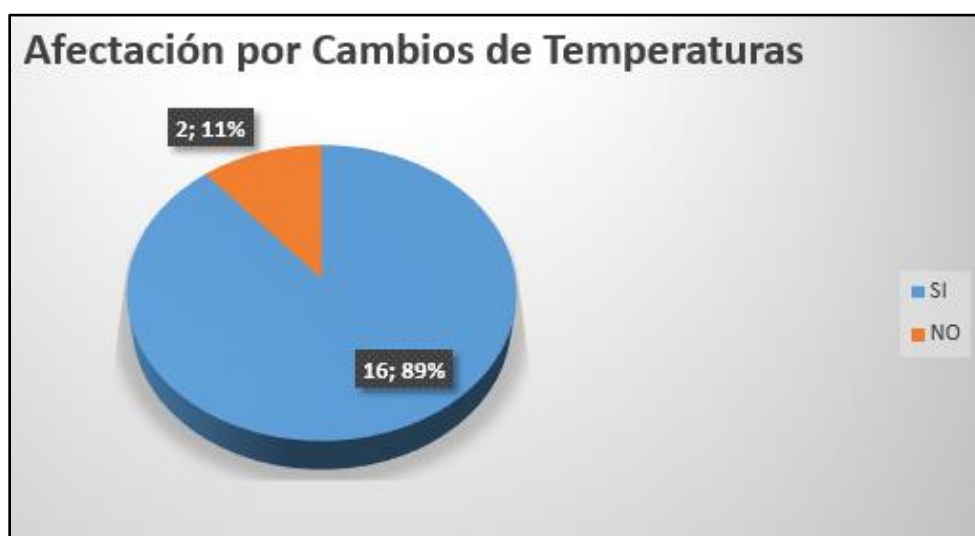


Figura. 17→ Afectaciones por cambios de temperaturas

Fuente: IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales

Los cambios en la temperatura afectan todas las variables climáticas objeto de este estudio. Un cambio brusco de temperatura, como se evidencia en la figura 17, con un valor de 89%, puede hacer que la planta muera si los valores son menores a los 10 °C o superan los 20 °C.

Nivel 3. Control y monitoreo a través de las herramientas tecnológicas IoT

¿Cree usted que un mecanismo de control de variables ambientales puede ayudar en la calidad del producto y en el buen desarrollo del cultivo de fresa?

Tabla 19 – Control de variables para mejorar la calidad de la fresa

Monitoreo y control de variables en el cultivo puede ayudar a mejorar la calidad	Alternativa	Porcentaje (%)
SI	15	83
NO	3	17

Fuente: elaboración propia

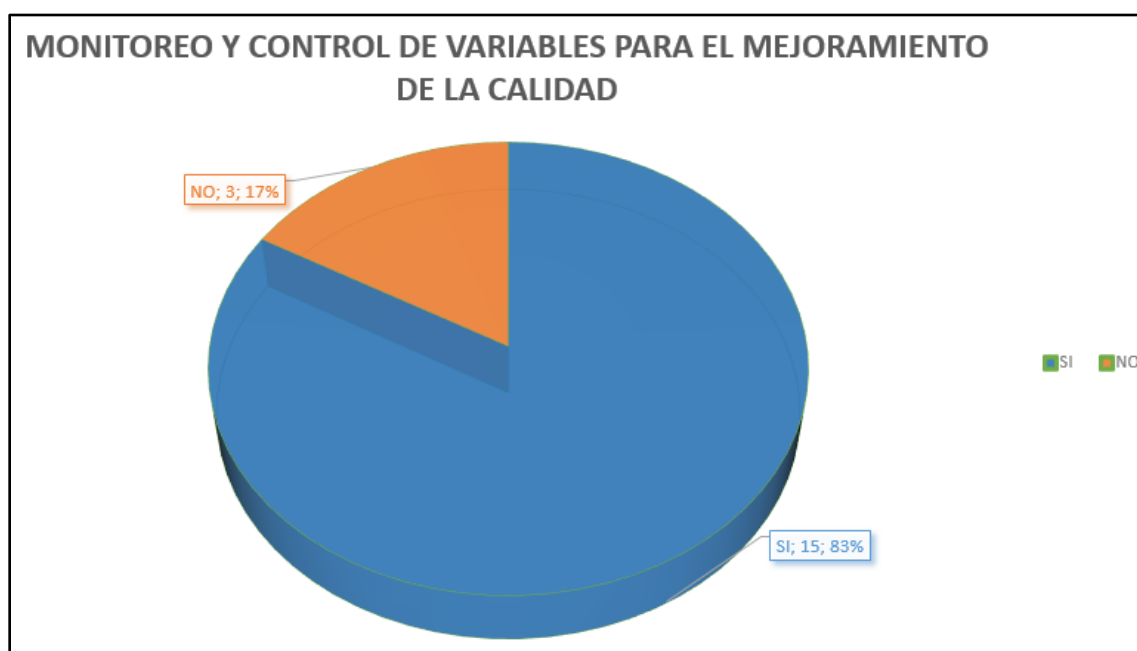


Figura 18→Control de variables para mejorar la calidad de la fresa

Fuente: elaboración propia

Se consultó a los agricultores de la vereda Mancilla si con la ayuda de una herramienta de control y monitoreo se puede controlar mejor el cultivo, y las respuestas, luego de conocer los datos recolectados, fueron del 83 % de aceptación, como se puede ver en la figura 18, y solo al 17% le es indiferente seguir con el método tradicional de agricultura.

Los niveles de salinidad cambian con la aplicación de los nutrientes o se debe realizar seguimiento de conductividad eléctrica.

Tabla 20 – Monitoreo y control de CE

<b>Es necesario monitorear la CE antes y después de la aplicación de nutrientes</b>	<b>Alternativa</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
<b>SI</b>	<b>17</b>	<b>94</b>
<b>NO</b>	<b>1</b>	<b>6</b>

Fuente: elaboración propia

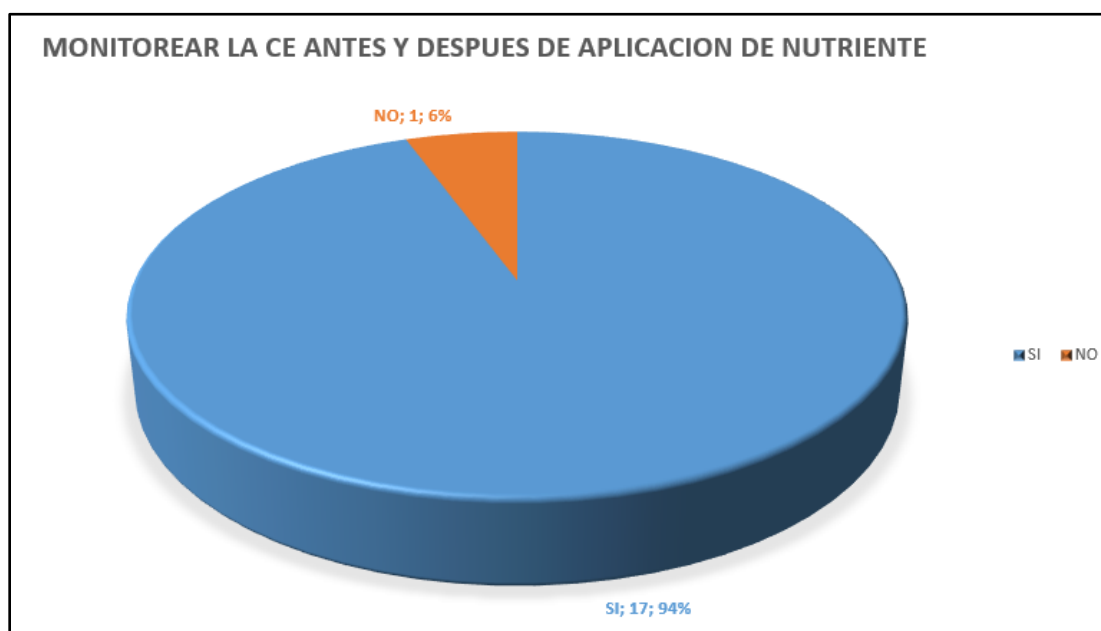


Figura 19→ Monitoreo de CE antes y después de aplicación de nutrientes

Fuente: IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales

Durante el proceso de investigación, las variables que más afectan al cultivo de fresa, son el pH y CE. La relación de estas dos variables es con la raíz de la planta, pues en caso de dañarse puede destruir la planta. Si el agua es muy acida o si los nutrientes no se administran en su tiempo puede afectar el desarrollo. Los agricultores piensan, en un 94%, que es importante monitorear estas variables por el peligro que representan (figura 19).

Si se cuenta con una herramienta tecnológica para monitorear el pH, la conductividad se puede controlar y, por ende, prevenir las enfermedades y la aparición de plagas en el cultivo de fresa.

Tabla 21 – Herramienta monitoreo CE y pH control plagas y enfermedades

Es necesario una herramienta tecnológica para monitorear el CE y pH, para el control de plagas y enfermedades	Alternativa	Porcentaje (%)
Sí	12	67
No	6	33

Fuente: elaboración propia



Figura 20→ Herramienta monitoreo CE y pH control plagas y enfermedades

Fuente: IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales

Según la encuesta a los agricultores, en la figura 20 se observa que el 67% respondió “Sí” a la herramienta de monitoreo para estas variables. A pesar de que los cultivos tienen un proceso de desinfección del terreno antes de iniciar el cultivo, las variables pueden ser afectadas por factores externos como los cambios de temperatura, que alteran los valores de la

humedad y las condiciones del suelo; condiciones de vital importancia para la supervivencia de las plantas.

#### ***4.1.3 Análisis a partir de los resultados en la encuesta realizada en la vereda Mancilla***

De acuerdo a la información recolectada a los campesinos que habitan en la Vereda Mancilla, permite realizar una serie de análisis en diferentes aspectos, de los cuales se obtuvo a partir de la validación de los resultados a través de la aplicación del instrumento de recolección de información, por lo cual se utilizó el cálculo del coeficiente de Alfa Cronbach, el cual se aplicó al instrumento utilizado para la encuesta obteniendo como resultado 0.903, lo cual se constituye como un valor válido y generó confiabilidad y validez en el uso del instrumento (ver figura 10).

Se observó que la mayoría de los agricultores de fresa entrevistados eran mayores de 40 años, con niveles de educación básica, en cada finca visitada hay familias que viven cerca de cultivo que están compuestas por más de 6 personas, casi todos los agricultores eran dueños de las finca pequeña o parcelas de 1 y 5 hectáreas, muchos de ellos tienen sembrado hortalizas y criaderos de gallinas.

En las preguntas realizadas a la población escogida la variedad que más se cultiva es la Albión en un 100% , la razón, porque es muy resistente a las plagas y enfermedades, la más común en la vereda mancilla, babosa en un 56%, producto de los cambios climáticos que enfrentan los cultivos a cielo abierto que son el 67%, determinando que lo que más afecta es la calidad del agua con 34%, condiciones del suelo 33%, cambios bruscos en temperaturas en un 32% generando humedad en el ambiente lo que propicia las plagas.

La encuesta reveló que el problema más relevante es la falta de tecnificación de los cultivos, la falta de monitoreo y control que dio un porcentaje de 83%. Los agricultores piensan en 94% que es importante monitorear el proceso antes y después para la aplicación de nutrientes, fertilizante y plaguicidas

Los problemas identificados fueron la falta de tecnificación de algunos cultivos de fresa que en su mayoría son cultivados a cielo abierto de forma tradicional y se enfrentan a los cambios climáticos inesperados porque no cuentan con sistemas de control ni monitoreo constante, otro factor son las plagas y enfermedades que se destacan por que en ocasiones son resistente a los plaguicidas que normalmente utilizan.

#### **4.2. Análisis De Las Variables Del Problema**

En el municipio de Facatativá, vereda Mancilla, finca San José, se observó una problemática en los cultivos que se analizaron. Se encontró que todo el proceso de siembra y cosecha de la fresa era a cielo abierto, con un porcentaje del 67%, lo cual se determinó que había falta de monitoreo y control en los cultivos, carencia de sistemas de ahorro para el agua, gran exposición a plagas y enfermedades, se encontraron malformaciones en la fruta, (ver tabla 5), incertidumbre con el resultado de la producción, y se acudía a una gran cantidad de mano de obra. Por esto, se hizo necesario un análisis más profundo que llevó a identificar las necesidades más relevantes en los cultivos y el diseño más apropiado del sistema de red de sensores con tecnología IoT para ese cultivo, en específico.



#### 4.2.1 Variable Temperatura en el cultivo de fresa

Para cada uno de los casos los sensores cumplen un papel importante a la hora de tomar decisiones.

En el caso de la temperatura el sensor debe adaptarse para tomar los datos ambientales utilizando los protocolos del sistema de sensores IoT. Estos sensores se controlan por el sistema embebido, conectado a través de la red WSN inalámbrica en tiempo real, y se analizan los promedios tomados en las diferentes fechas de recolección de datos.

El sensor de temperatura es el dispositivo que permite conocer los datos en tiempo real del ambiente en el cultivo de fresa. Los cambios se van registrando y la información es procesada por el sistema embebido Intel galileo en la estación central. El sensor utilizado es el DHT11 que puede medir humedad al tiempo (ver figura 21).

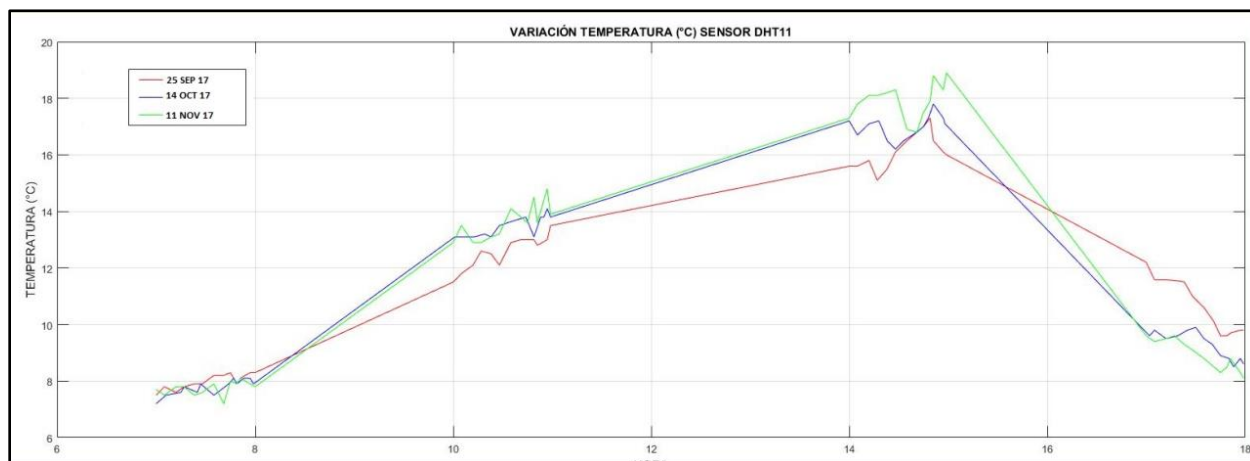


Figura 21 → Variación de la temperatura del sensor DHT11

Fuente: elaboración propia

Los datos recolectados se tomaron en tres (3) fechas distintas y a diferentes horas del día, para lo cual la escala de temperatura muestra las variaciones en cada mes.

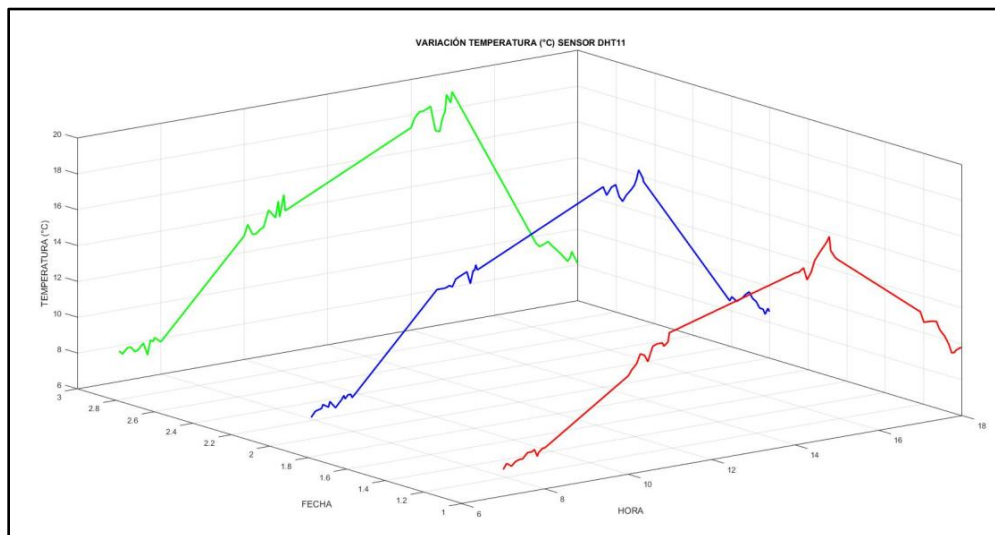


Figura 22 → Variación de la temperatura del sensor DHT11 Vr 2d  
Fuente: elaboración propia

En la figura 22 se puede apreciar que las temperaturas del mes de noviembre (color verde) evidencian un aumento debido a que los días son más soleados y a que la época de verano se va acercando.

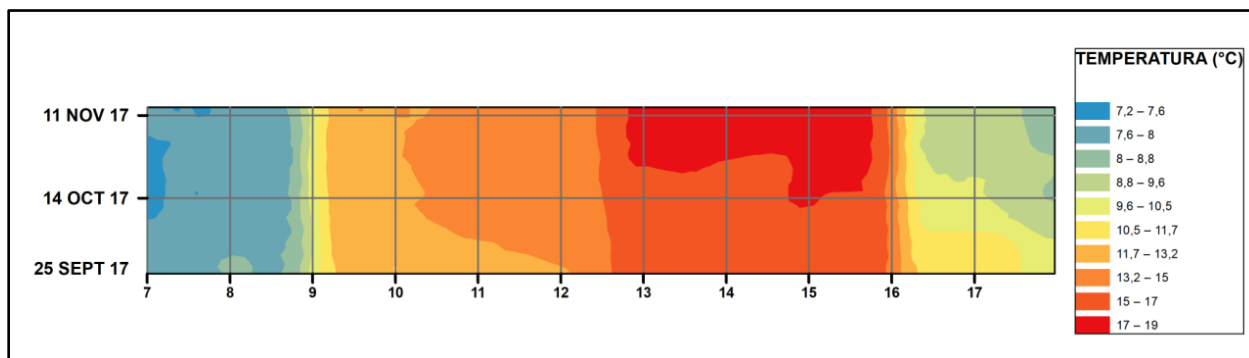


Figura 23 → Variación temperatura (°C) sensorDHT11 – Muestra superpuesta –  
Fuente: elaboración propia

En esta figura 23 se puede ver la variación de las temperaturas, en colores, de los días por horas, siendo el color rojo el que indica el pico de temperatura entre 17 °C y 19 °C.

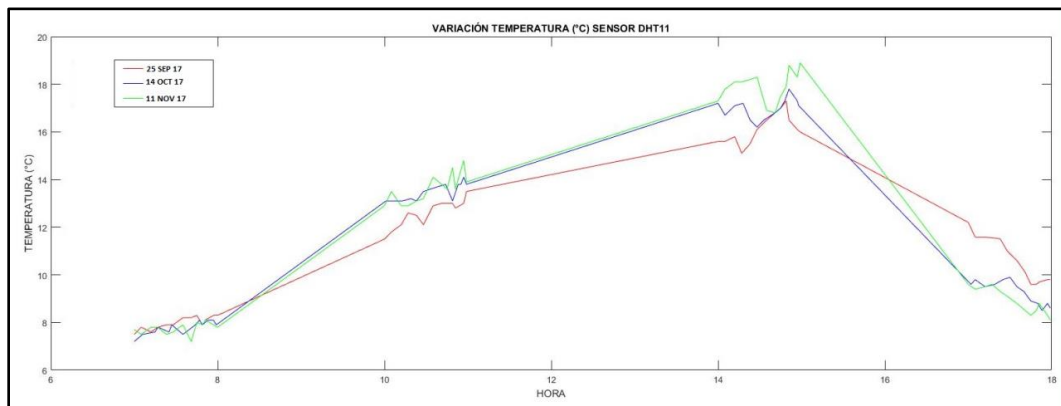


Figura 24→ Variación temperatura (°C) en diferentes días

Fuente: elaboración propia

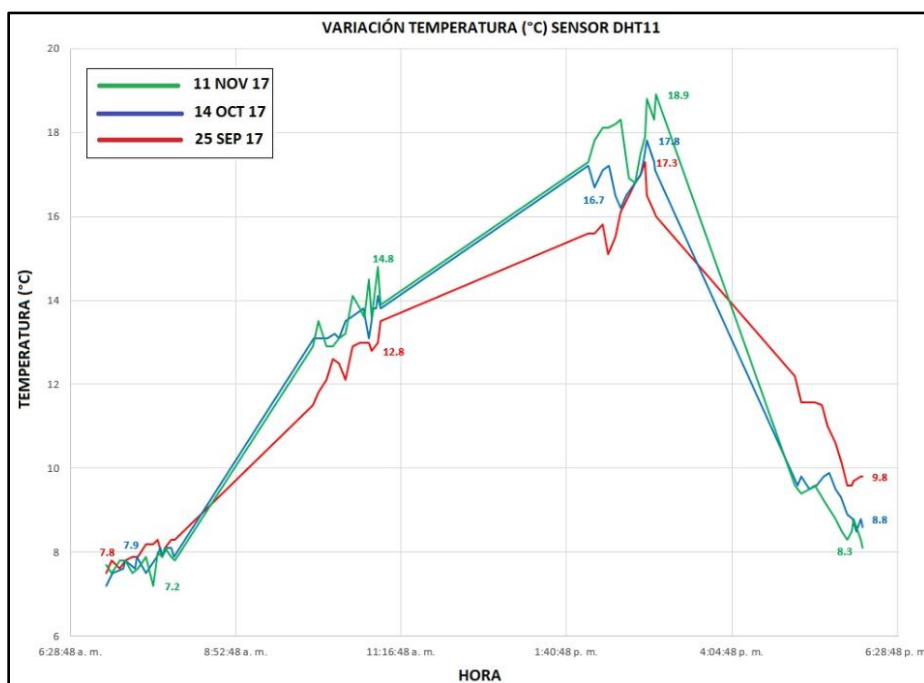


Figura 25→ Variación temperatura (°C) picos por horario

Fuente: elaboración propia

En esta figura 25 se pueden ver los valores picos para cada toma, por horas, correspondientes a las 7 a. m., 10 a. m., 2 p. m. y 5 p. m. La temperatura va aumentando, llega

al máximo y termina con una baja temperatura a las 5 p. m. Los valores corresponden a un ambiente ideal para la conservación de la fresa en el cultivo.

#### **4.2.2 Variable humedad en el cultivo de fresa**

Los datos analizados sobre humedad le permiten al agricultor revisar dónde se debe distribuir mejor el agua y qué cantidades requiere de acuerdo a las diferentes épocas del año. Con el sensor de humedad se puede revisar, por ejemplo, dónde llega la humedad en cada hilera, si llega y abastece a la raíz o si, por lo contrario, solo se queda en el lomo de cada canal, si la manguera requiere calibrar la cantidad de agua aumentando o disminuyendo para cada planta. Estos datos recogidos están estrechamente ligados a la actividad del riego, según Thompson *et al.*, (2009) los sensores son una excelente estrategia para realizar la programación de los riegos porque facilitan una lectura sencilla, precisa y de fácil inserción en el suelo.

Humedad relativa del ambiente tomadas al tiempo con la temperatura

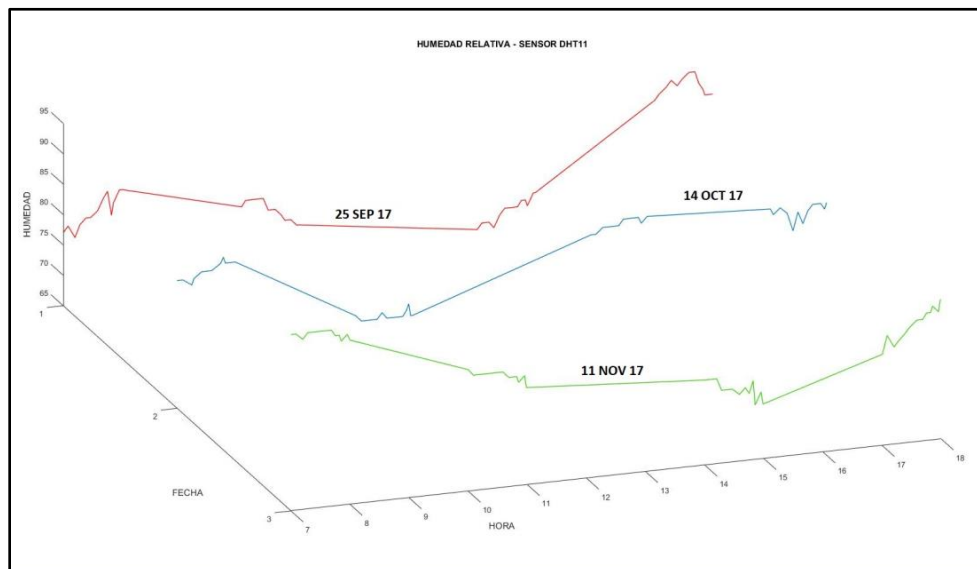


Figura 26→ Humedad relativa sensor DHT11

Fuente: elaboración propia

En la figura 26 se puede ver que el mes de septiembre se presentan los picos más altos en humedad relativa. Esto se debe a que se experimentó un tiempo muy lluvioso y a horas del mediodía, lo que concentraba más la humedad relativa y, además, el punto de rocío incrementaba estos valores.

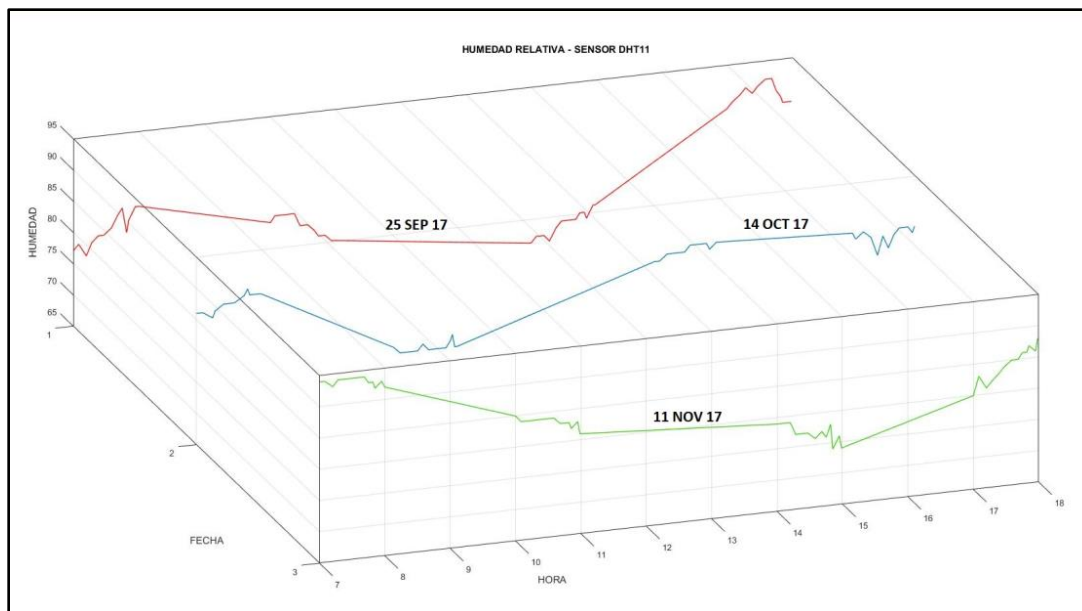


Figura 27 → Humedad relativa sensor DHT11 vs. Temperatura  
Fuente: elaboración propia

En la figura 27 se pueden apreciar mejor las diferencias entre las diferentes fechas que se tomaron los datos y las diferentes horas del día.

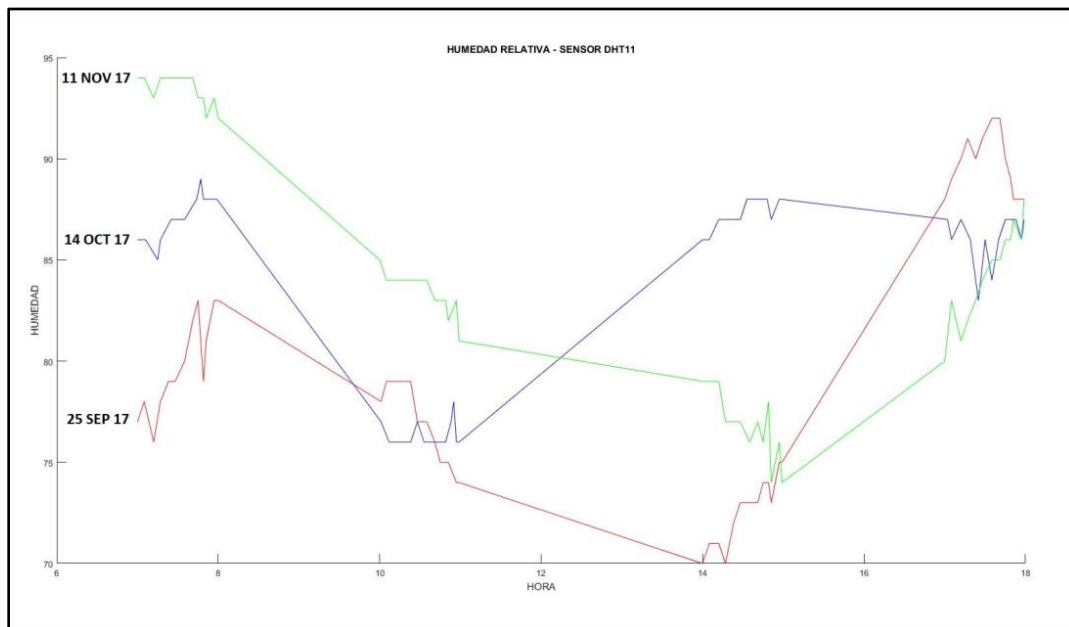


Figura 28 → Humedad relativa en diferente niveles y horas del día  
Fuente: elaboración propia

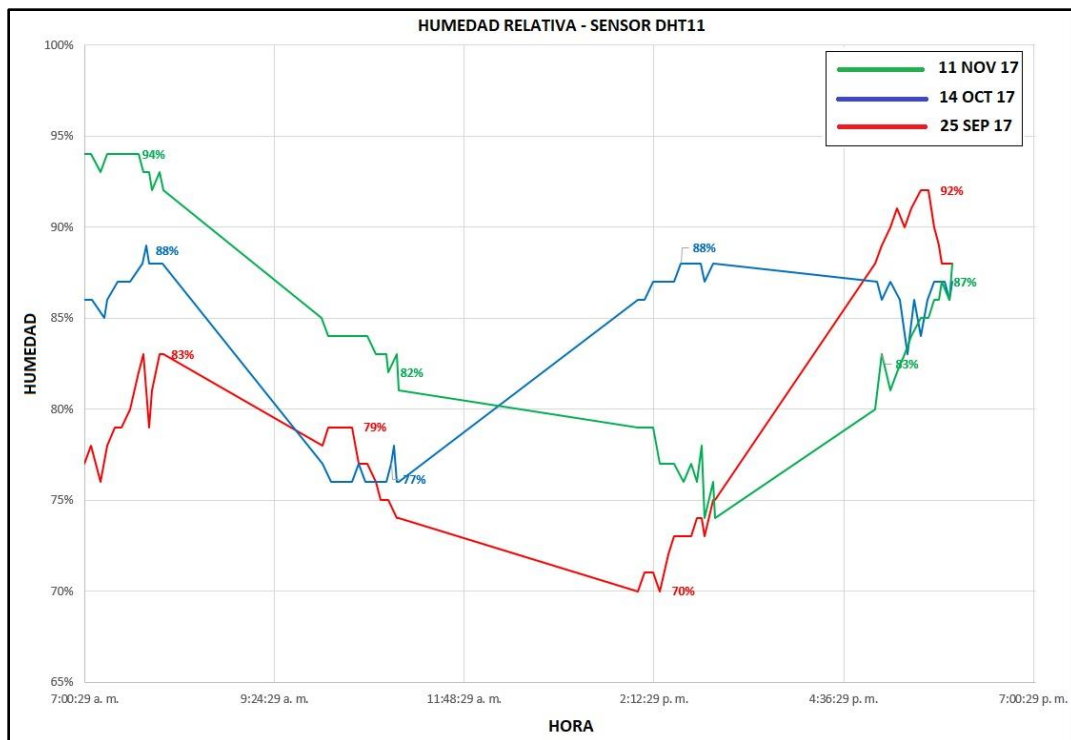


Figura 29→ Humedad relativa en diferente horas del día y los picos más altos  
Fuente: elaboración propia

En las figuras 28 y 29 se puede apreciar cómo en el mes de noviembre disminuye la humedad relativa porque aumenta la temperatura y, llegado el verano, se incrementa el tiempo seco.

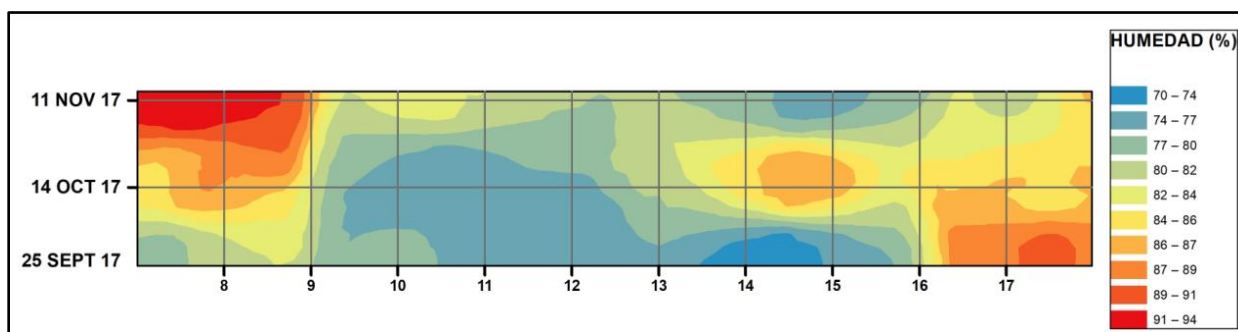


Figura 30→ Humedad relativa secuencia en valores %-muestra superpuesta –  
Fuente: elaboración propia

En la figura 30 se pueden ver las variaciones y las concentraciones de humedad relativa en %, y se pueden identificar sus concentraciones por colores.

Los sensores de humedad se instalan para conocer los datos de humedad a diferentes profundidades, con el propósito de controlar la distribución del agua dentro de cada domo, que recibe el agua por el sistema de riego por goteo. Si el suelo es arenoso la adsorción es más rápida. El sensor se ubica a una profundidad de 15 a 40 cm y, desde ahí, se van extrayendo los datos para determinar las cantidades de agua a administrar o quitar.

Datos de humedad tomada en las camas del cultivo de fresa

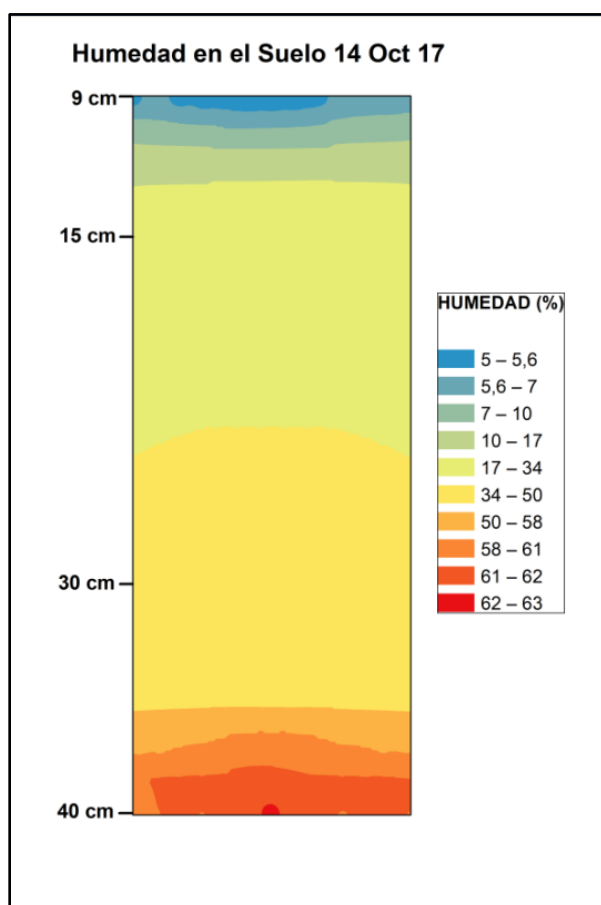


Figura 31 → Humedad del suelo diferentes profundidades – Muestra superpuesta –  
Fuente: elaboración propia



La figura 31 muestra los valores que se tomaron directamente en el suelo, a diferentes profundidades, para evaluar la humedad del suelo.

Para tomar los datos de humedad se deben analizar los componentes del suelo. En la figura 32 se puede ver cómo está compuesto el terreno, y la composición de las capas y tipo de suelo.

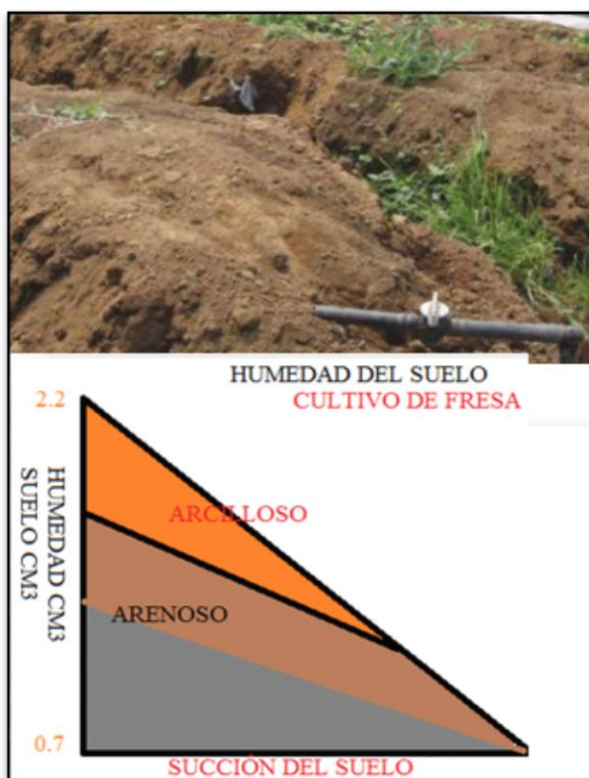


Figura 32→ Características del suelo para sembrar fresa, arenoso y arcilloso  
Fuente: elaboración propia

#### 4.2.3 Medición del agua en el suelo con el sensor

La medición del agua se realiza de forma directa, recolectado una muestra del suelo desde la distancia que se le va realizar el análisis. Se coloca en un recipiente, se toman los

datos y luego se grafica para el respectivo análisis de cada dato, de acuerdo a la distancia de profundidad, como se observa en la figura 33.



Figura 33→Contenido del agua en el suelo

Fuente: elaboración propia

En el análisis de la humedad se debe tener en cuenta la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo, y esto está estrechamente ligado a la textura del suelo, a la densidad aparente y a la estructura. Al iniciar el cultivo se debe esperar tres (3) días después del primer riego; si el suelo es arcilloso el valor es 03 mS/cm. La textura media es 0.1 mS/cm.

Los valores requeridos de agua en el suelo, en un cultivo de fresa, no se deben dejar bajar, o llegar al punto de marchitez, porque la plántula padece estrés por falta de agua y queda en peligro la producción.

#### 4.2.4 Variable de Conductividad eléctrica en el cultivo de fresa

En general, los suelos contienen algunas cantidades de sales solubles, dependiendo del drenaje o el sistema de riego que se utilice, el tipo de agua que se administre o el nivel de evaporación en tiempos de sequía. Si hay mucha solución salina ésta puede afectar la germinación normal de las semillas y el crecimiento de las plantas porque no pueden absorber el agua de manera correcta.

La CE está relacionada con las propiedades del suelo. Si el suelo es arenoso el valor de CE es bajo, si por el contrario es arcilloso el valor de CE es alto. Estos valores cambian frecuentemente dependiendo de los valores de humedad que presente el suelo.

La conductividad se mide en mS/cm. Se considera que de 3 a 4 mS/cm el cultivo puede sufrir daño. El daño ocurre en las raíces porque las sales deterioran los pelos absorbentes y se afecta su crecimiento y la función de absorción de agua y de nutrientes.

Tabla 22 – Escala de salinidad

Índice de salinidad	Valores de CE (mS/cm)	Riesgo
1	<0,75	Bajo
2	0,75 – 1,5	Medio
3	> 1,5 / 3,0	Alto
4	3,0	Muy alto

Fuente: Cámara de Comercio de Bogotá (2015).

Recuperado de: <http://repositorio.iica.int/bitstream/11324/2932/1/BVE17058869e.pdf>

Los índices de salinidad, y su riesgo descrito en la tabla 22, determinan los síntomas y daños por salinidad en los cultivos de fresa. Los valores cambian, la mayoría de veces, por falta de agua, más aún en la etapa inicial durante la germinación de la semilla.

Los datos generados por el sensor de conductividad pueden usarse de forma rápida por el agricultor, dándole confianza para administrar los sustratos o nutrientes que suministra a

través de sistema de riego. En el caso de la vereda Mancilla, el agua viene del acueducto, es almacenada en albercas o tanques y es suministrada a través de mangueras con sistema de goteo por plántula. El sensor de CE registra las variables del agua y se puede determinar cuándo el suelo puede estar estabilizado para continuar con los procesos en el cultivo, como se observa en la figura 34.

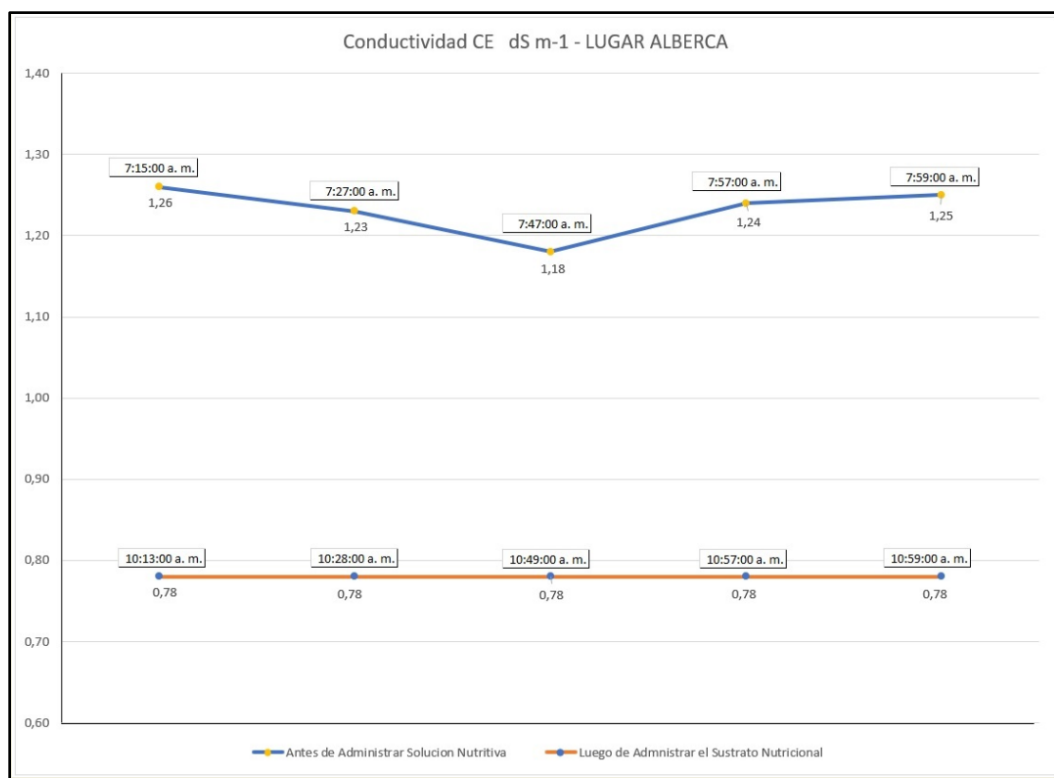


Figura 34→ Conductividad lugar alberca

Fuente: elaboración propia

De acuerdo con estos valores, tomados en diferentes espacios para medir la conductividad, se puede observar que el agua depositada en la alberca tiene unos valores que van de medio a alto (figura 34), lo que permite determinar un riesgo. Los valores normales deben estar alrededor de 0.78.

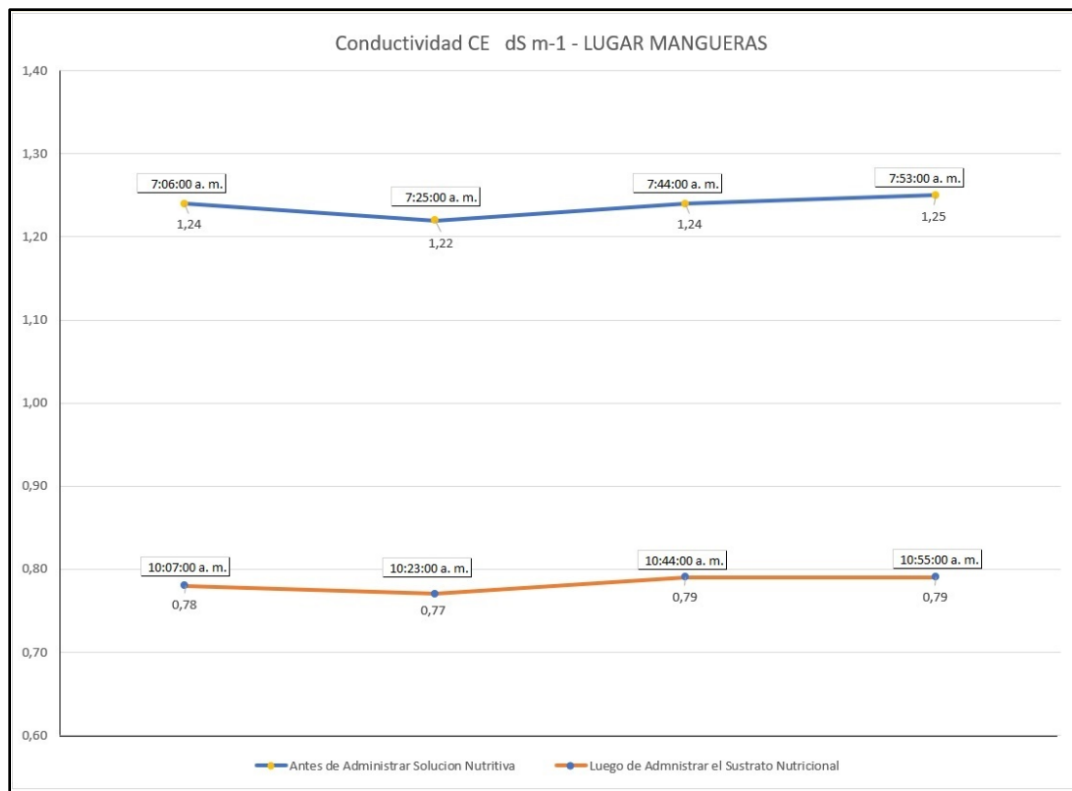


Figura 35→ Conductividad lugar mangueras

Fuente: elaboración propia

En el caso del agua en las mangueras, se puede evidenciar que predominan los mismos valores del agua depositada en alberca (figura 35). El agua para el riego se mantiene en alto riesgo de acuerdo con los niveles inadecuados de CE. Esto indica que se deben administrar, con urgencia, los sustratos en razón a los rangos especificados para nivelar los valores de la escala de salinidad.

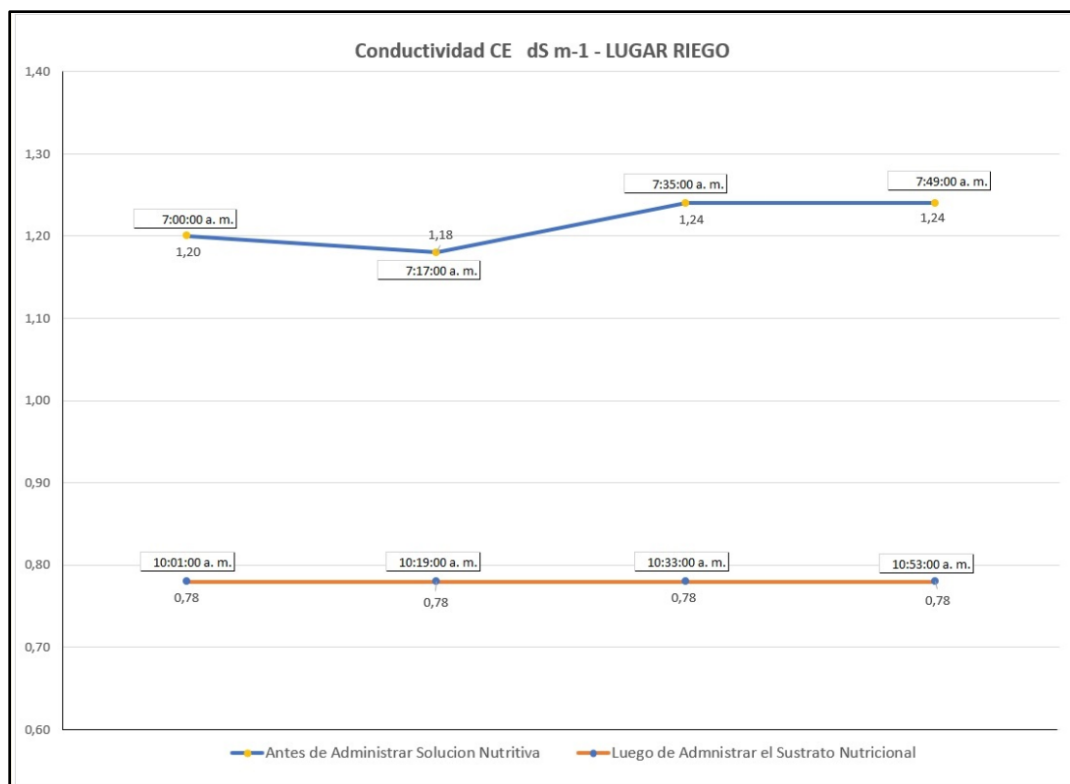


Figura 36→ Conductividad lugar riego

Fuente: elaboración propia

En las pruebas realizadas en el riego se nota una diferencia 1 punto por debajo de los valores anteriores (figura 36). Esto debido a que la prueba se realizó tomando tierra en un vaso con agua. Dado que el suelo había sido tratado con nutrientes que estabilizaban el pH, la conductividad tiende a bajar.

Conociendo los datos de CE, la solución saturada que no exceda los valores de 1,0-2,5 mS/cm indica que la conductividad del agua es baja. En este caso se hace necesario que el productor cuente con un sensor de CE todo el tiempo para el control y monitoreo de los valores del agua administrada en el riego.

Los datos de CE y pH, se toman luego de la fertilización, que se realiza con la técnica de fertirriego, con una fórmula de nutrientes que contiene, nitratos de calcio, potasio, fosfato,

magnesio, mono amónico, quelatos de hierro, magnesio, cobre, zinc, bórax y, por último, molibdato de amonio.

#### 4.2.5 Variable pH en el cultivo de fresa

Con los datos recogidos, con los sensores de pH, se puede tomar la decisión de aumentar o disminuir las dosis de cloruro de calcio y de potasio. La escala que proporciona el sensor de pH es un indicador del nivel de concentración de los iones de hidrogeno en el suelo. Cuando la concentración es alta se considera ácido y cuando es baja se considera básico; si está en la escala 7 es neutral. De esta manera, de acuerdo al grado de influencia de pH, como lo indica la tabla 23, será el desarrollo de las plantas que están relacionadas con el clima, la vegetación y el acceso al agua.

Tabla 23 – Niveles de alcalinidad

<b>Reacción</b>	<b>pH</b>
Fuertemente ácido	< 5
Moderadamente ácido	5,1 – 6,5
Neutro	6,6 – 7,3
Moderadamente alcalino	7,4 – 8,5
Fuertemente alcalino (suelos sódicos)	> 8,5

Fuente: elaboración propia

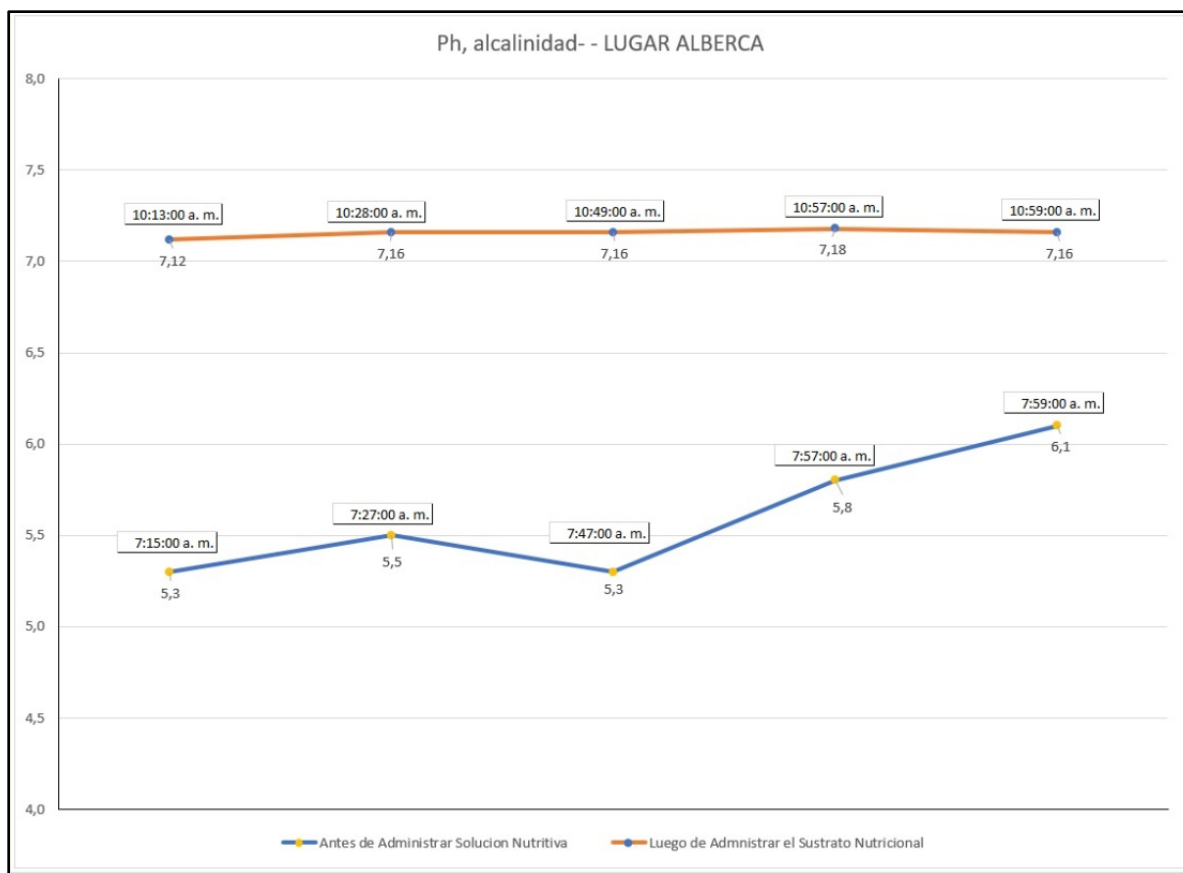


Figura 37→pH alcalinidad lugar alberca

Fuente: elaboración propia

En la figura 37, los valores encontrados en las pruebas de pH en el suelo tienden a ser neutros o moderadamente alcalinos, y están en los rangos para el buen desempeño del cultivo de fresa. La alberca que almacena el agua es referente para todo el recorrido pues debido a la oxigenación causada por la fricción esta cambia en valores hasta llegar al suelo.



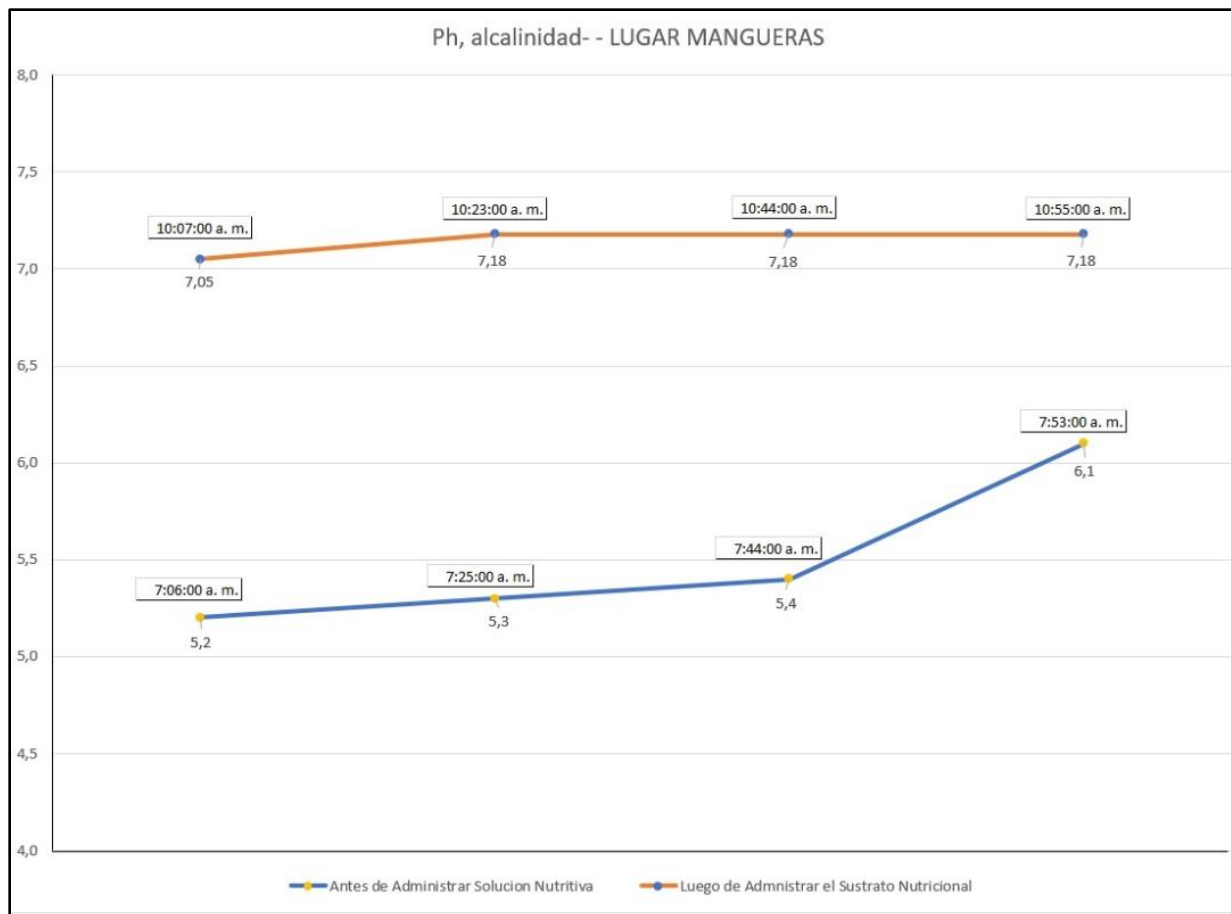


Figura 38 → pH alcalinidad lugar mangueras

Fuente: elaboración propia

Las mangueras presentan una variación con tendencia a mantener los valores, o niveles de alcalinidad, de la figura 38 con respecto a la figura 39, manteniendo la similitud en pH del agua.

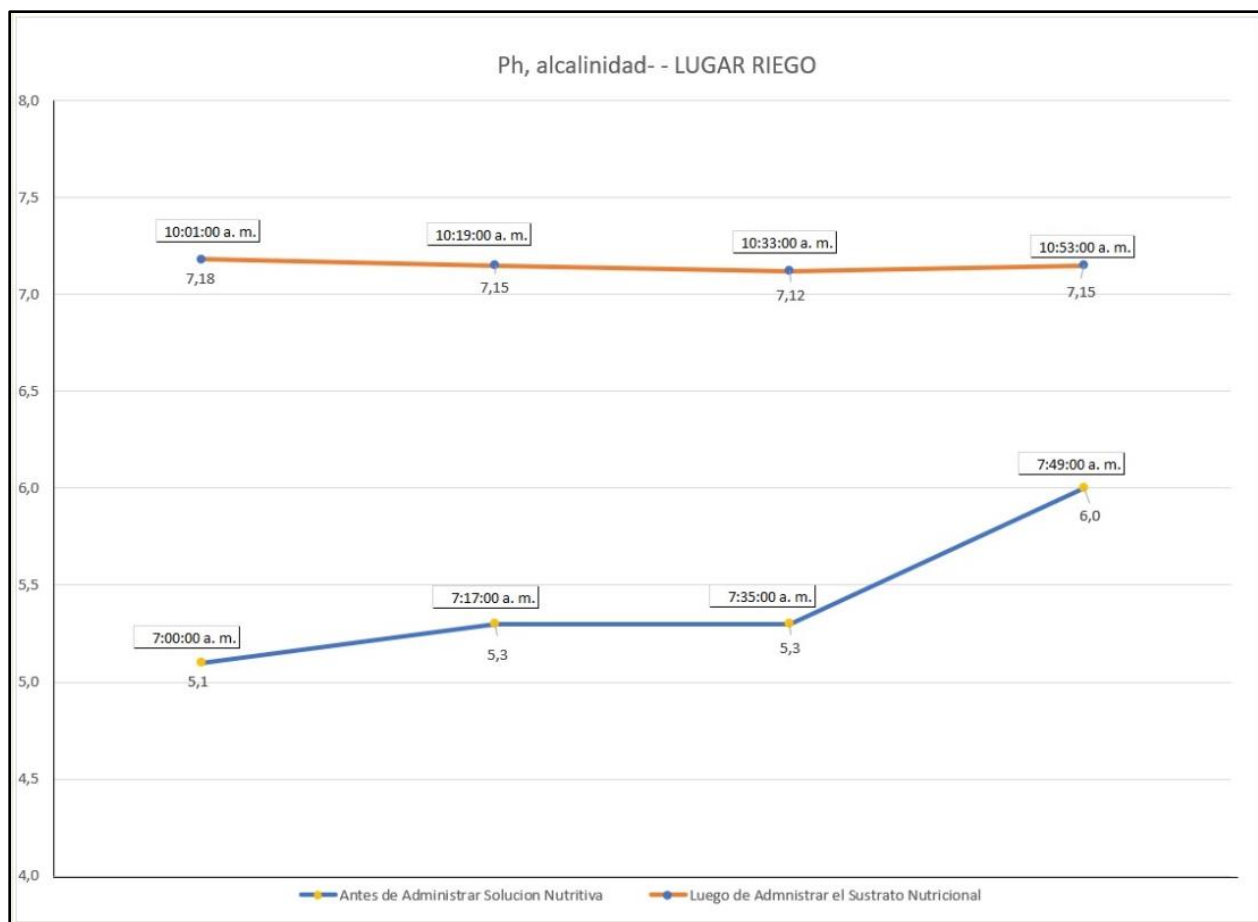
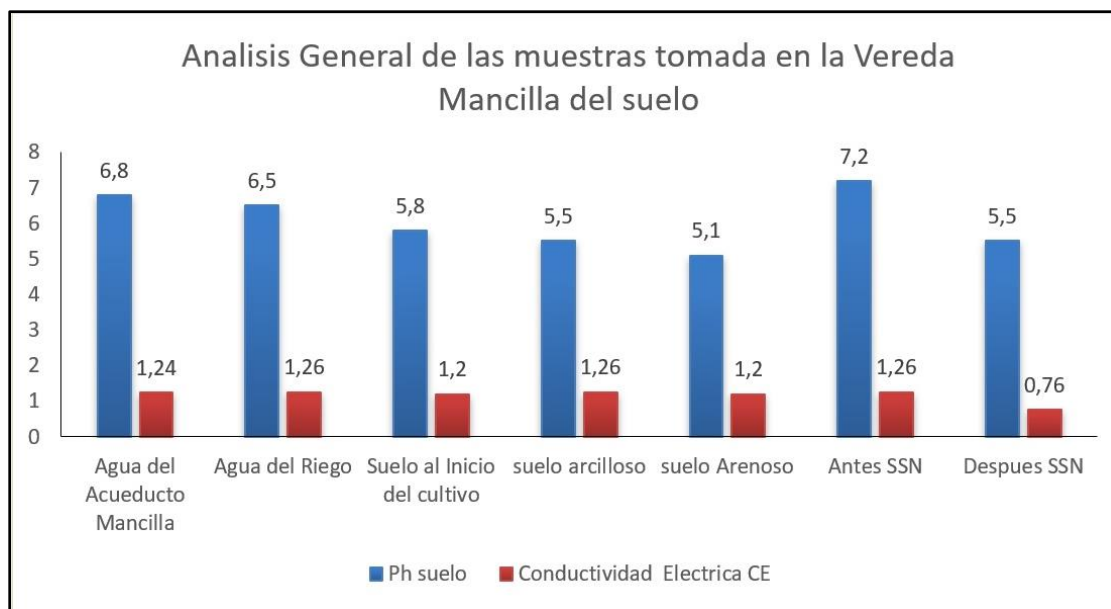


Figura 39→pH alcalinidad lugar de riego

Fuente: elaboración propia

En el análisis general de los datos de las variables, tomados del suelo en el cultivo de fresa, finca San José, vereda Mancilla, municipio de Facatativá, de acuerdo con la relación conductividad y pH, se observa que los valores dados del sistema de riego por goteo a cada planta, cambian con tendencia a mantener los niveles de alcalinidad, en los rangos óptimos para sostener la vida de la plántula (figura 39).



*Figura 40* → Análisis general toma de muestra suelo –vereda Mancilla–  
Fuente: elaboración propia

En el cultivo de la vereda Mancilla, municipio de Facatativá, objeto de este estudio, los valores de las variables pH vs. CE, están en los rangos para el desarrollo del proceso de siembra y cosecha de la fresa. El agricultor puede evidenciar estos valores de la figura 40 como referente para realizar el monitoreo y control, aplicar los correctivos en el tiempo, y así evaluar la pertinencia de adoptar la herramienta tecnológica, apoyada por el sistema de sensores IoT, que le ayuda en el análisis de datos para predecir y tomar decisiones en tiempo real.

## Capítulo 5 Diseño De La Solución

### 5.1. Descripción De La Aplicación Propuesta

Es una solución IoT, con elementos de monitorización de tele medida, de nodos de comunicación a través de una red de sensores Inalámbricos (WSN), para reconocer los parámetros o variables ambientales definidas en el estudio de la zona y cultivo de fresa, objeto de estudio. Las variables que más relación tienen con el ciclo de vida y el bienestar de la planta son temperatura, humedad, conductividad y pH. Monitorear estas variables y controlar sus rangos requeridos permite obtener un fruto de calidad y disminuir la incertidumbre.

#### 5.1.1 *Explicación del funcionamiento y relación de las variables a controlar*

Para el diseño de la solución propuesta se requieren sensores que puedan medir las variables definidas anteriormente (temperatura, humedad, conductividad y pH), un modelo de comunicación, conexión eléctrica, una plataforma, o base de datos.

En la figura 41 se muestra el diseño del hardware y software de la red de sensores, la arquitectura planteada, los elementos de los sensores para monitorear y controlar las variables climáticas, la plataforma propuesta para obtener los datos, y el sistema de comunicación inalámbrica con el que se comparten los datos.

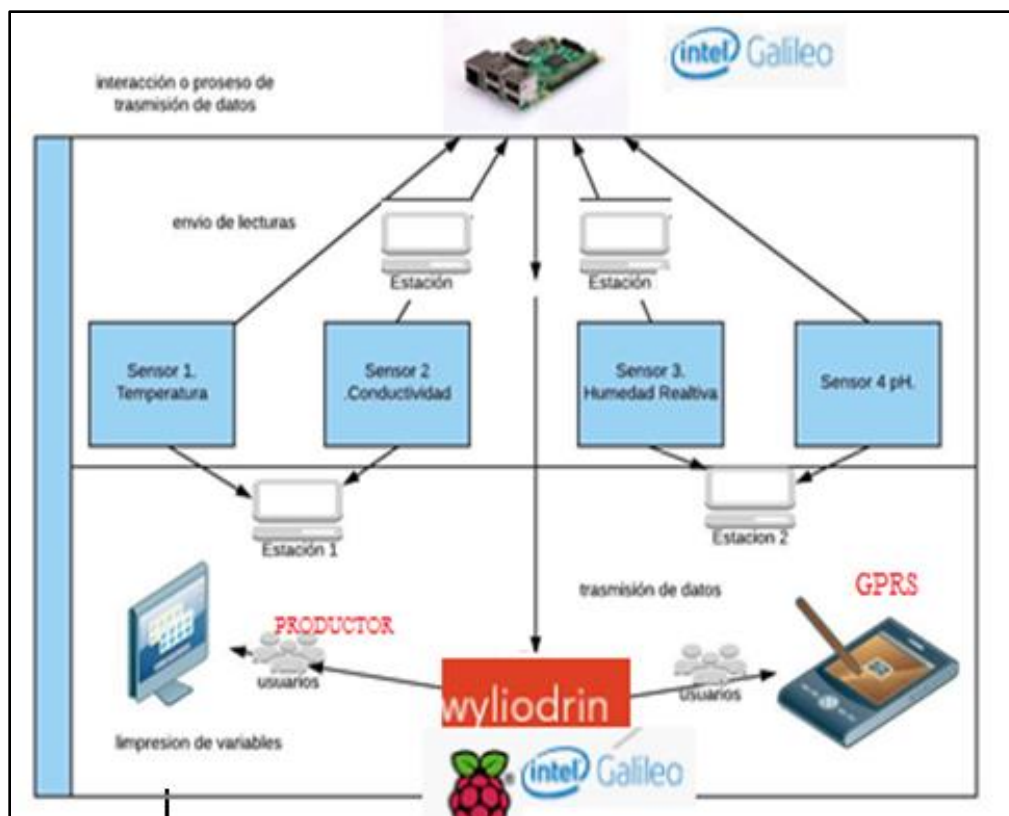


Figura 41 → Diseño de la arquitectura para el cultivo de fresa en la vereda Mancilla  
Fuente: elaboración propia

La solución está compuesta por sensores DHT11 para la temperatura y humedad, un sensor analógico de pH con sonda (compatible con Intel Galileo) y un sensor analógico de CE con sonda, los cuales están conectados a una placa Intel Galileo. El sensor DHT11 se encarga de realizar las mediciones de temperatura y humedad, ya sea del ambiente o del suelo. De igual forma, los sensores de pH y CE, tomada las mediciones del suelo, a través de la sonda. Estos datos son enviados al nodo controlador, a través del protocolo de comunicación inalámbrica. Para este caso la estándar IEEE 802.15.4 (ZigBee), encapsulada con una frecuencia del 2.4 GHz para la transmisión de datos en tramos y el envío de datos entre los sensores, y la estación base o nodo controlador se realiza con el módulo GPRS que contiene una simcard de Movistar por la cobertura en comunicación, haciendo uso del protocolo TCP;

estos datos recolectados son almacenados desde Wyliodrin donde se pueden ver en tablas de Excel.

El propósito del diseño de este sistema de red de sensores es medir las variables climáticas o variables físicas que afectan el buen desempeño de un cultivo de fresa. Este proceso se realiza por medio de la interconexión de diferentes dispositivos electrónicos, combinación de un trabajo con hardware y software. Los datos que se reciben de los sensores como señales, deben mostrarse en la aplicación para poder ser interpretados y darles el uso adecuado por parte del productor.

### ***5.1.2 Identificación de los elementos del sistema a diseñar***

**Red de sensores inalámbricos (WSN):** Está compuesta por nodos, una puerta de enlace, un servidor base y un canal de transmisión. La red de sensores (WSN) es un instrumento de comunicación que transmite datos entre nodos de acuerdo con la solución que se esté implementando.

**Nodo de sensor:** Dispositivo electrónico que va conectado y configurado para obtener información. Está relacionado con una aplicación que le administra los datos que obtiene desde donde se encuentre instalado. Existen nodos de sensores para la agricultura, el transporte, la medicina, y seguridad, entre otros. Dentro de sus funciones más importantes está la de identificar anomalías y emitir alertas tempranas que permiten analizar la situación o el comportamiento, y realizar una acertada toma de decisión por parte del usuario.

### 5.1.3 Arquitectura de red y diseño de topología

La red de sensores inalámbricos (WSN) funciona mejor si existe sincronía entre la arquitectura y la topología lógica de la red. Existen varias topologías: estrella, malla y árbol, donde cada una tiene características diferentes de acuerdo con la solución a implementar. La topología estrella es la más típica; tiene un nodo central y varios nodos conectados alrededor, y sirve para transmisiones en tiempo real. La topología malla tiene varios nodos interconectados a otros nodos, donde un coordinador organiza la configuración entre nodos finales; esta es muy útil para la medición de variables medioambientales. La topología árbol tiene algunos nodos se designan como nodos principales pues tienen la responsabilidad de controlar otros nodos miembros; su ventaja es que detectan muy rápido datos en tiempo real por la cercanía de los nodos agrupados. En esta última, el tráfico de datos es más rápido, aunque el volumen aumente, y las reacciones son más rápidas porque el nodo coordinador está muy cerca de los demás nodos.

La topología de árbol tiene por tanto una capacidad física superior porque está equipada de un módulo de transmisión con GPS, que manda los datos a través de unidad móvil de comunicación (ver figura 42).

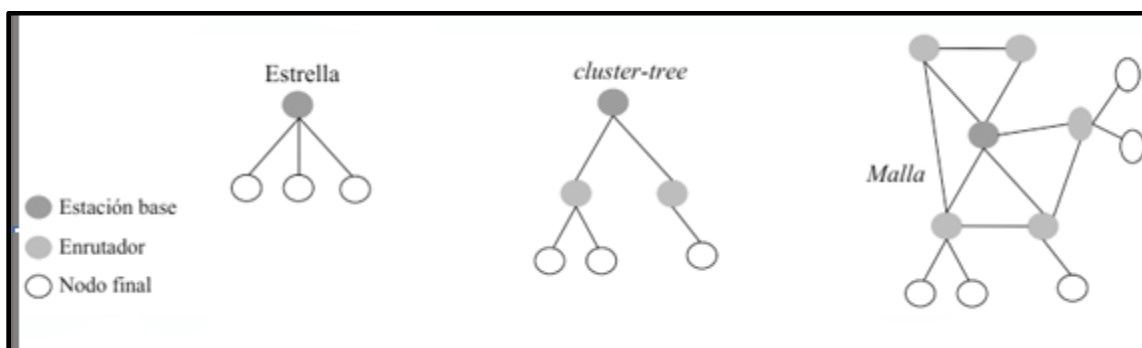


Figura 42→ Topologías ZigBee – estrella – malla – árbol

Fuente: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1815-59282018000100002](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59282018000100002)

**Red jerárquica:** Realizan una división en capas independientes. Cada capa cumple funciones específicas que definen su rol dentro de la red general. (Figura 43) La separación de las diferentes funciones existentes en una red hace que el diseño de la red se vuelva modular y esto facilita la escalabilidad y el rendimiento. El modelo de diseño jerárquico típico se separa en tres capas: capa de acceso, capa de distribución y capa núcleo. En comparación con otros diseños de redes, una red jerárquica se administra y se expande con más facilidad, y los problemas se resuelven con mayor rapidez. (Braojos, 2016).

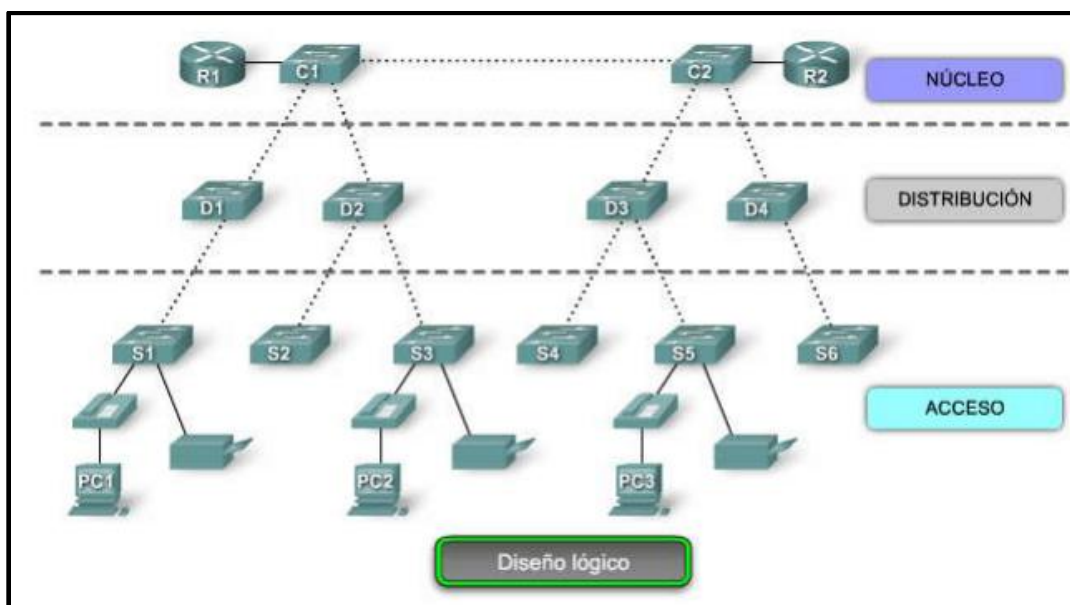


Figura 43→ Modelo red jerárquica

Fuente: <https://underc0de.org/foro/redes/t27861/>

**Envío de datos.** Se propone realizar mediante estaciones meteorológicas, instaladas en los cultivos de fresa, que tienen un sistema embebido, encargado de enviar las variables microclimáticas recolectadas de los sensores, del empaquetamiento de tramas y del enrutamiento de la información de todos los sensores hacia la nube. Para el empaquetamiento se debe armar la trama de datos siguiendo el protocolo de comunicación TCP/IP. El



dispositivo es el encargado de tomar las órdenes locales y atender las peticiones en el servidor.

**Trasmisión GPRS (*General Packet Radio Service*)** En su traducción hace referencia al *Servicio General de Paquetes vía Radio*, el cual se usan con los sistemas 3G y 4G en zonas donde la cobertura de otros servicios como WIFI aún no está en uso. El sistema GPRS hace parte del sistema GSM de trasmisión de voz móvil, sin cables, ni conexiones físicas.

GPRS es una tecnología de conmutación de paquetes que está relacionada con las velocidades entre el rango de 55 a 112 Bit/segundos.

En el diseño de propuesta de *hardware* específico para el envío de tramas se utilizó la tecnología de transmisión vía GPRS que utiliza la red celular, debido a que en los cultivos no se cuenta con ninguna infraestructura tecnológica de banda ancha.

La tecnología SMS de conexión celular funciona y depende de GPRS. Junto con GSM se aprovecha para la comunicación y trasmisión de datos, y el acceso a Internet. La biblioteca GSM permite al sistema, embebido de la Intel Galileo, configurarse como cliente o coordinador, usando la capa de aplicación HTTP para enviar y recibir Internet.

Se utilizaron dispositivos nodos que cumplen una topología jerárquica, denominados dispositivos maestros. Estos cumplen una función fundamental que es la de coordinar dos redes diferentes provenientes de la nube (servidores) y su red interna distribuida. Los protocolos de comunicación son diferentes debido a la cantidad de flujo de datos.

**Sistema de energía:** Una red de sensores inalámbrica puede optar por varias alternativas de conexión energética, las cuales pueden ser: baterías con un voltaje de 3.3 V y

consumo por potencia de 0.85 W, cableado con conexión eléctrica que puede tener un voltaje de 3.3 v a 5 V y consumo de 0.85 W, y un panel solar con un voltaje de 3.3V a 5 V con una potencia de 1.25W. En este caso de estudio se utilizó el cableado debido a que las fincas contaban con conexión eléctrica muy cerca de los cultivos y, a través de una extensión, se podía obtener la energía para las conexiones.

## 5.2. Elementos De La Solución

Tabla 24 – Características del sistema IoT

Características	Descripción
Población a quien va dirigida la solución	Agricultores, productores de fresa en la sabana de Bogotá.
Variables medioambientales (temperatura, humedad relativa, humedad del suelo, conductividad y pH	Sensores para capturar datos de niveles de temperatura ambiente, humedad ambiente, humedad del suelo, salinidad del suelo con el sensor de conductividad, nivel de alcalinidad del agua para el riego a través del pH.
Alertas información de las variables ambientales recolectadas con los sensores	Evaluación de los valores de acuerdo a los rangos establecidos para obtener el bienestar de las plantas.
Análisis y consulta de los valores	Los valores se pueden tomar de los display de la estación base. Estos son almacenados en archivos de Excel, observados con el software libre Wilyodrin y analizados con el visor estadístico de MatLab.
Reportes estadísticos y análisis de variables	Se generan los reportes y se emiten las alertas si se encuentran fuera de los rangos establecidos para el bienestar del cultivo de fresa.

Fuente: elaboración propia

### 5.2.1 Actores del proceso

**Agricultores:** son las personas, dueños de las fincas, que cultivan fresas y están ubicados en la vereda Mancilla del municipio de Facatativá. Para el objeto de este estudio fueron entrevistados 18 en 6 fincas como muestra de la población.

**Cultivos:** Los cultivos observados fueron a cielo abierto y algunos en invernaderos.

**Fincas:** Las fincas visitadas son las correspondientes a la vereda Mancilla. La finca San José fue donde se realizaron las pruebas con la red de sensores inalámbricos.

**Condiciones ambientales:** las condiciones ambientales se detallan en las tablas recogidas con datos de los sensores instalados para las fechas de septiembre, octubre y noviembre del 2017.

## 5.2.2 *Diseño del sistema: hardware y software*

### Requerimientos del sistema IoT

Tabla 25 – Requerimientos del sistema IoT

Requerimiento	Elemento	Descripción
Sistema Embebido	Hardware	Intel Galileo, equipo integrador de la red de sensores inalámbrico WSN.
Sensores	Hardware	DHT11, mide la temperatura y la Humedad. Sensor de pH, sensor conductividad.
GPRS	Hardware	Envío de datos desde los sensores a la base de datos que recolecta la información de las variables.
Gateway	Hardware	Permite realizar la transmisión de datos de la red de sensores Inalámbricos WSN a SMS de la estación base.
Wylidrin	Software	Software libre para visualizar los datos en gráficas.
Base de datos	Software	Se configura para almacenar los datos que se recolectan con los sensores instalados en el cultivo.
Análisis de datos.	Software	Matlab se utilizó para realizar los gráficos correspondientes al análisis estadístico de datos.
Conexión Eléctrica:	Hardware	Se realizó con cableado, voltaje de 3.3 v a 5 V y consumo de 0.85 W.

Fuente: elaboración propia

## 5.3. Desarrollo Del Sistema Iot

### 5.3.1 *Identificación del hardware*

**MotherBoard Intel Galileo:** Microcontrolador Intel Quark SoC X1000 que bien podría considerarse un sistema Pentium de 32 bits, compactado en un todo.

Las conexiones se realizan de forma sencilla a través de un puerto USB, compatible con la board Arduino. Cuenta con varios puertos de E/S de PC y funciones expansivas. Tiene

una ranura Mini PCI Express, ranura Micro SD, Puertos Host USB, Nor Flash de 8 MB y Ethernet de 100 Mb.



Figura 44→MotherBoard Intel Galileo

Fuente: <http://tdrobotica.co/intel-galileo/68.html>

**Sensor de temperatura y humedad DHT11:** Dispositivo que mide la temperatura y la humedad relativa, tiene una resolución de  $1^{\circ}\text{C}$  y un rango de trabajo de  $0^{\circ}\text{C}$  a  $50^{\circ}\text{C}$  para la temperatura, su resolución es de 1% y tiene un rango de trabajo desde el 20% hasta el 95% de humedad relativa. El sensor trabaja con una tensión de 3.3V a 5 V.



Figura 45→ Sensor Temperatura / Humedad Ref. DHT11

Fuente: <https://www.youtube.com/watch?v=XnLfa7tiCoc>

**Características del sensor DHT11:** Este sensor puede medir la temperatura y humedad con Intel Galileo, de la misma forma que lo realiza con Arduino. Su principal ventaja es su forma digital que lo diferencia del sensor LM35 y que no genera tanto ruido, por lo que no se presenta errores en la toma de las mediciones ambientales.

Tabla 26 – Características sensor

Model	DHT11		
Power supply	3-5.5V DC		
Output signal	digital signal via single-bus		
Sensing element	Polymer resistor		
Measuring range	humidity 20-90%RH; temperature 0-50 Celsius		
Accuracy	humidity +/-4%RH (Max +/-5%RH); temperature +/-2.0Celsius		
Resolution or sensitivity	humidity 1%RH;	temperature 0.1Celsius	
Repeatability	humidity +/-1%RH;	temperature +/-1Celsius	
Humidity hysteresis	+/-1%RH		
Long-term Stability	+/-0.5%RH/year		
Sensing period	Average: 2s		
Interchangeability	fully interchangeable		
Dimensions	size 12*15.5*5.5mm		

Fuente: <https://programarfacil.com/blog/arduino-blog/sensor-dht11-temperatura-humedad-arduino/>

Las características de este sensor son las de que permite enviar una señal digital calibrada, de alta calidad y fiabilidad a lo largo del tiempo, debido a que contiene un microcontrolador de ocho (8) bits integrado. En su interior tiene dos sensores resistivos (NTC y humedad), y cuenta con una excelente precisión y rápida respuesta en las medidas.

### Conexión dispositivo

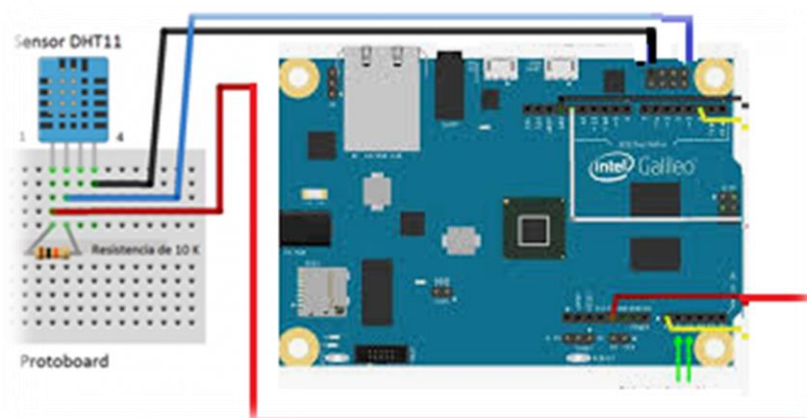


Figura 46 → Conexión DHT11 en MainBoard Intel

Fuente: elaboración propia

**Datos display LCD:** Los datos correspondientes a las variables recolectadas en el cultivo se visualizan en la pantalla LCD de cada nodo y de la estación base; luego eran almacenados en la base de datos de Excel, la cual se puede ver en los anexos de las tablas de humedad, temperatura, conductividad y pH, respectivamente.



Figura 47→ Fotos temperatura humedad conductividad y pH en display LCD a Intel Galileo

Fuente: elaboración propia

### 5.3.2 Sensor de conductividad

Un sensor de conductividad eléctrica mide la cantidad de corriente eléctrica que un material puede transportar. Por ejemplo, la salinidad de los suelos, los sistemas de agua de riego o las soluciones de fertilizantes son parámetros importantes que afectan el medio ambiente. Para estos casos, cualquiera de estos factores puede tener un efecto significativo en el crecimiento de una planta y su calidad. Asimismo, niveles bajos en sal podrían dar lugar a deficiencias nutricionales. La conductividad del agua puede reflejar el nivel de electrolitos

presentes en el agua, dependiendo de la concentración de dicho elemento. La conductividad de la solución acuosa es diferente, Machado (2009).

### Sensor de pH

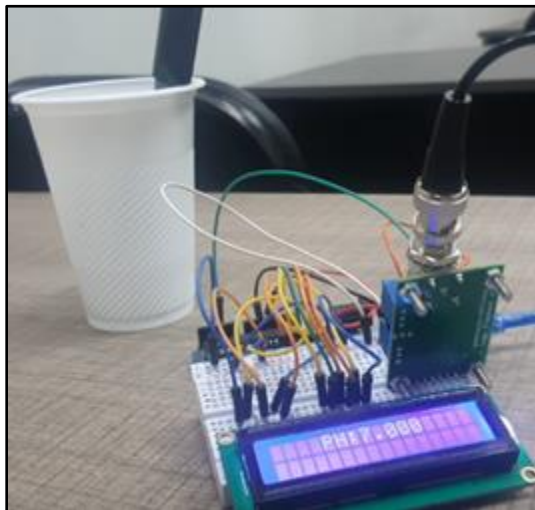


Figura 48→ Sensor pH probando la alcalinidad del agua  
Fuente: elaboración propia

## 5.4. Identificación Del Software

### 5.4.1 Plataformas que existen en el mercado para el control de variables en proyectos IoT

Las plataformas IoT permiten el registro de datos adquiridos por sensores, el enrutamiento de datos en tiempo real y el control remoto de dispositivos. Además, proveen una interfaz como punto de acceso a sus recursos, a través de protocolos de internet, que permite interactuar con lenguajes de alto nivel como LabView, Matlab y Python para realizar procesamiento de datos y accionar remotamente un dispositivo (Wong *et al.*, 2016).

**IDE de Arduino:** Plataforma electrónica abierta para la creación de prototipos basada en software y hardware flexibles y fáciles de usar. Se creó para artistas, diseñadores, aficionados y cualquier interesado en crear entornos u objetos interactivos” (Arduino, 2017).

Se programa mediante el uso de un lenguaje propio, basado en el lenguaje de programación de alto nivel Processing. Este software es utilizado para programar los sistemas embebidos Arduinos nano. El software es gratuito y puede descargarse directamente desde la plataforma.

### **Plataforma avanzada para el análisis y la gestión remota de dispositivos *Kunak***

**Cloud:** Es una plataforma web en la nube para la configuración y gestión remota de los dispositivos y para el análisis avanzado de sus datos. Permite almacenar, procesar, analizar y exportar los datos recogidos por cualquier dispositivo o sensor, ofreciendo información detallada, procesamiento avanzado, y aportando autonomía, movilidad y escalabilidad.

Recuperado de: <https://www.kunak.es/productos/data-management/open-data-server/>

#### Características

- ✓ Perfiles de usuario, permisos y acceso a dispositivos
- ✓ Datos geolocalizados
- ✓ Análisis en tiempo real mutidispositivo y multisensor
- ✓ Estadísticas avanzadas
- ✓ Trazabilidad de acciones
- ✓ Procesamiento estadístico avanzado
- ✓ Instalable On-Premises y en versión APP para Móvil KunakWatcher
- ✓ Configuración remota mutidispositivo y multisensor

#### **5.4.2 Ubidots**

Es una plataforma libre que provee una clave API a cada usuario que se utiliza como identificador de autenticación cuando se transmiten los datos de los sensores a la nube (Ubidots, 2014). Permite registrar hasta 30.000 datos de forma gratuita por mes; si se requiere



un registro mayor de más datos al mes, se puede optar por pagar uno de los planes de servicio que ofrece esta plataforma (Palomino *et al.*, 2015).

**Software escogido para utilizar:** Para el desarrollo de este proyecto se escogió el software libre Wylidrin que permite recolectar los datos procesados por el sistema embebido, como se ve en la figura49. Se estableció el envío en tramas de datos, a través del protocolo IEEE 802.15.4 y luego de verificar que la transmisión fuera efectiva de acuerdo con los porcentajes de error en las variables recolectadas. Se revisaron las medidas, el nombre del sensor y las medidas del tiempo empleado en transmisión, para luego verlo en forma de figura y en forma histórica. De esta forma se monitorea el comportamiento del cultivo de fresa para su posterior evaluación por parte del agricultor. Según se encuentran irregularidades, es posible tomar decisiones en base a la alerta temprana que se obtiene con los datos de los sensores instalados para el monitoreo, control y cuidado de la siembra y cosecha de la fresa.

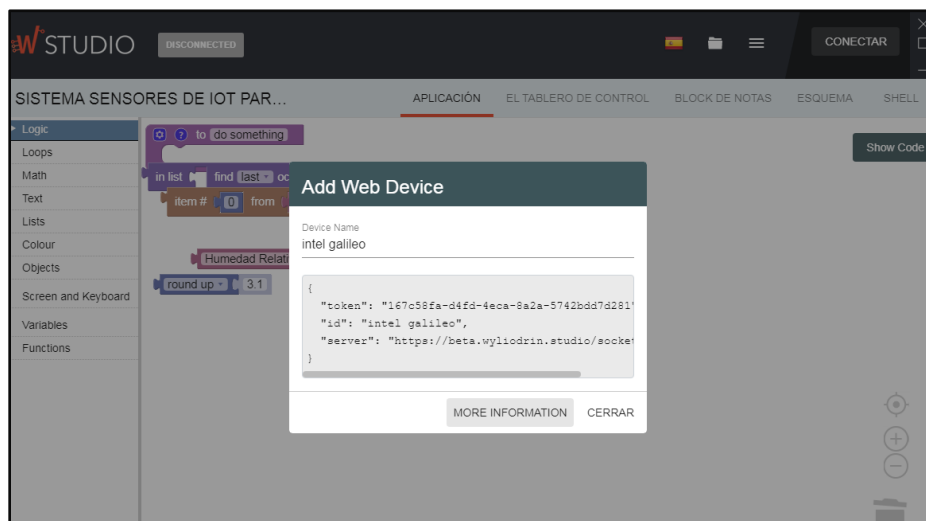


Figura 49 → Panel sistema de sensores software Wylidrin  
Fuente: elaboración propia

**Wylidrin:** Plataforma libre para la configuración que permite la programación y el control de dispositivos embebidos directamente desde un navegador. El usuario puede escribir, almacenar y ejecutar sus programas, y se pueden modificar y ver los parámetros de la placa en tiempo real, sin importar la ubicación de la placa.



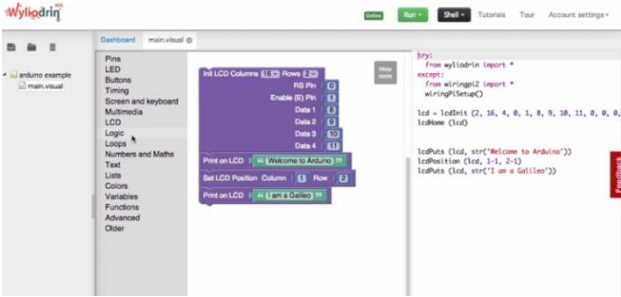

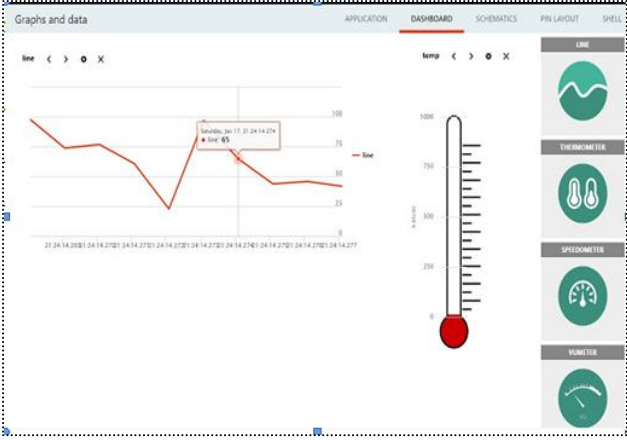
Figura 50→ Logo oficial de Wylidrin

Wylidrin es un entorno de programación visual en línea, inspirado en el lenguaje Scratch. Su programación es visual pues solo requiere arrastrar los bloques y pegarlos; los códigos ya vienen prediseñados.

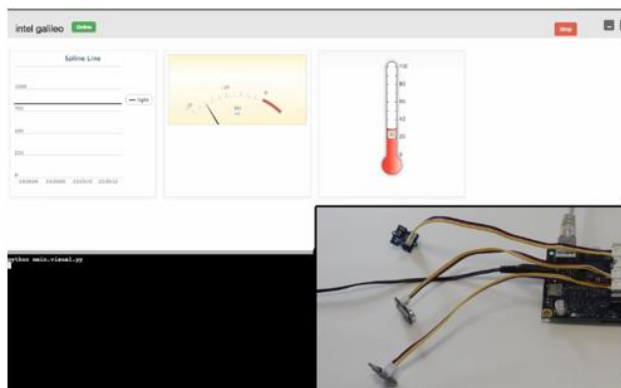
Es muy fácil e intuitivo de usar, solo se programan las placas y corre con cualquier ordenador públicos; es compatible con Intel galileo Arduino, raspberry Pi.

En general, durante una programación de dispositivos embebidos, estos tienen que estar conectados al ordenador. Con Wylidrin, el dispositivo sólo debe estar conectado a la Internet a través de un cable o WiFi. De esta manera, se puede construir programas de estaciones inalámbricas con sensores físicos, coches o robots, y se puede ir probando mientras se va programando.

Se escogió Wylidrin por la compatibilidad con la solución que se realizó con una placa base de Intel Galileo, y resultó fácil la programación de las estaciones o nodos de sensor, siendo muy sencillo de programar y ver las mediciones de las variables.

<p>Entorno de programación Wylidrin</p>	 <p>Figura 51 → Entorno de programación Wylidrin Fuente: elaboración propia</p>
<p>Programación de sensores</p>	 <p>Figura 52 → Programación de los sensores en Wylidrin Fuente: elaboración propia</p>
<p>Entorno gráfico Wylidrin</p>	 <p>Figura 53 → Entorno gráfico Wylidrin Fuente: <a href="https://chrome.google.com/webstore/detail/wylidrin-studio/eajalplbgimhaodcnnciojhbpogkan?hl=es">https://chrome.google.com/webstore/detail/wylidrin-studio/eajalplbgimhaodcnnciojhbpogkan?hl=es</a></p>

Configuración de  
sensores y vistas



*Figura 54* → Configuración de sensores  
Fuente: elaboración propia

## Capítulo 6 Desarrollo De La Solución

### 6.1. Selección Final De Los Elementos Identificados

#### 6.1.1 *Nodos inalámbricos*

Son dispositivos electrónicos capaces de captar información, proveniente del entorno en el que se encuentran, de procesarla y de transmitirla inalámbricamente hacia otro destinatario. El hardware de estos dispositivos está formado por: procesador, alimentación, comunicación inalámbrica (radio-transceptor RF), sensor y memoria.

#### 6.1.2 *Gateway*

Elementos para la interconexión entre la red de sensores y una red de datos (TCP/IP). Es un nodo especial sin elemento sensor, cuyo objetivo es actuar como puente entre dos redes de diferente tipo. A los dispositivos que realizan la función de interconectar dos redes de diferente naturaleza se les llama dispositivo puerta de enlace, pero el término más conocido en el ambiente de las redes es Gateway (McGrath y Scanaill, 2013).

#### 6.1.3 *Estación base:*

Se encarga de recolectar los datos basados en un ordenador común o sistema embebido. En una estructura normal, todos los datos son direccionado a un equipo servidor dentro de una base de datos desde donde los usuarios pueden acceder remotamente, observar y estudiar los datos.

### 6.1.4 Protocolo Zigbee

Son un conjunto de protocolos de alto nivel de comunicación inalámbrica para la radiodifusión digital de bajo consumo. Utiliza el estándar IEEE 802.15.4 para la WSN, y puede operar a 868 MHz, 915 MHz y 2.4 GHz, y transferir datos hasta 250 Kbps (Dignani, 2011, 5). Esto es muy bueno por la maximización de la vida útil de las baterías; además, su fácil integración permite fabricar nodos con muy poca electrónica.

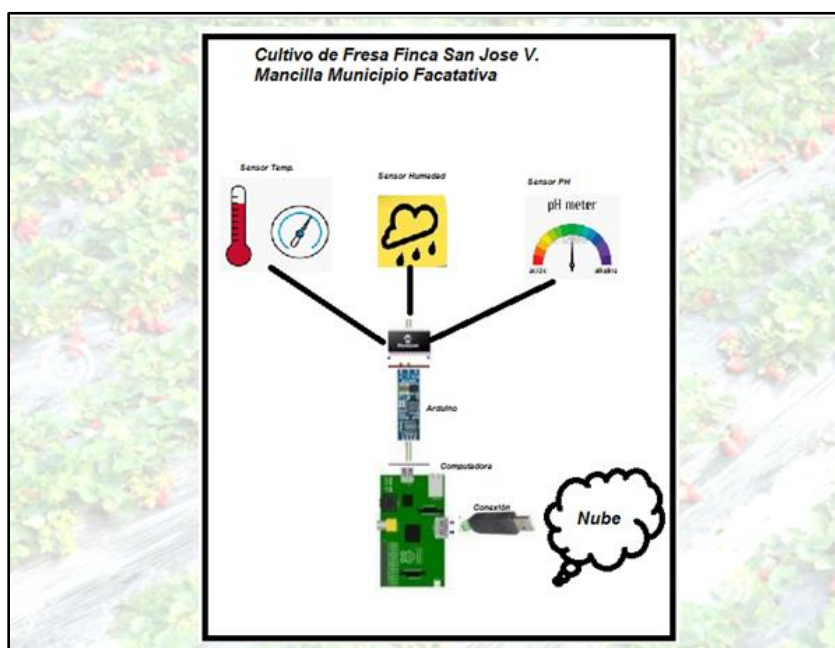


Figura 55→ Esquema de instalación de sensores  
Fuente: elaboración propia

**Fuentes de energía:** se realiza a través de un cableado de corriente instalado en los cultivos, con voltaje de 3.3 v a 5 V y consumo de 0.85 W.

**Envío de datos:** el envío de dato, desde los sensores a la base de datos que recolecta la información de las variables, se realiza con GPRS.

### **6.1.5 Variables definidas en el estudio**

Las variables relacionadas a continuación son las que los agricultores identifican como prioritarias para optimizar los recursos: consumos de agua, energía, nutrientes, fertilizantes y plaguicidas en los cultivos de fresa.

- ✓ *Temperatura*
- ✓ *Humedad relativa y humedad del suelo*
- ✓ *Conductividad eléctrica*
- ✓ *pH.*

### **6.1.6 Parámetros para controlar variables**

La red de sensores analiza muchos parámetros físicos que se relacionan con los indicadores de calidad que debe tener el suelo y el ambiente: temperatura, niveles de humedad, conductividad eléctrica y nivel de salinidad del suelo con el pH. Con estos valores el productor puede revisar los compuestos orgánicos que debe administrar: óxido de carbono, cal, fósforo. Las técnicas de administración dependen de los datos y rangos que sugieren especialistas como ingenieros agrónomos.

Las estaciones que se instalan en el cultivo, junto con cada sensor, toman las muestras en tiempo real y emiten alertas si los rangos programados no se ajustan, cuyos parámetros se encuentran estipulados entre los siguientes rangos:

- ✓ Temperatura: Día entre 14 y 24° C, noche entre 8 y 13°C,
- ✓ Humedad: entre el 60 y 75 %
- ✓ Rango de Ph: Moderadamente ácido, valores entre 5,7 y 6,7
- ✓ Conductividad Eléctrica: 0.4 a 1.5

### 6.1.7 Descripción de los sistemas de captura de datos



Figura 56 → Instalación de Sensores en un cultivo de fresa en la finca San José, vereda Mancilla, Facatativá

Fuente: elaboración propia.

El sistema se compone de cuatro nodos de sensores que están interconectados con una topología jerárquica o de árbol, junto a una estación base que hace de coordinador (figura 56). Cada nodo es una unidad de recepción de datos de las variables físicas climáticas de este estudio: temperatura, humedad del suelo, conductividad eléctrica y nivel de alcalinidad pH. Estos datos son enviados por el transmisor GPRS que funciona con el protocolo de comunicación Zigbee. La estación base es la unidad central del sistema que recibe los datos



de los sensores instalados en el cultivo para luego enviarlos al computador por medio de un cable USB. Estos pueden ser observados en la figura 69 con el Software libre Wylidrin.

En la figura 57 se muestra como quedó instalado el sistema de sensores IoT para la medición de variables medioambientales en el cultivo de fresa de la vereda Mancilla, municipio de Facatativá.

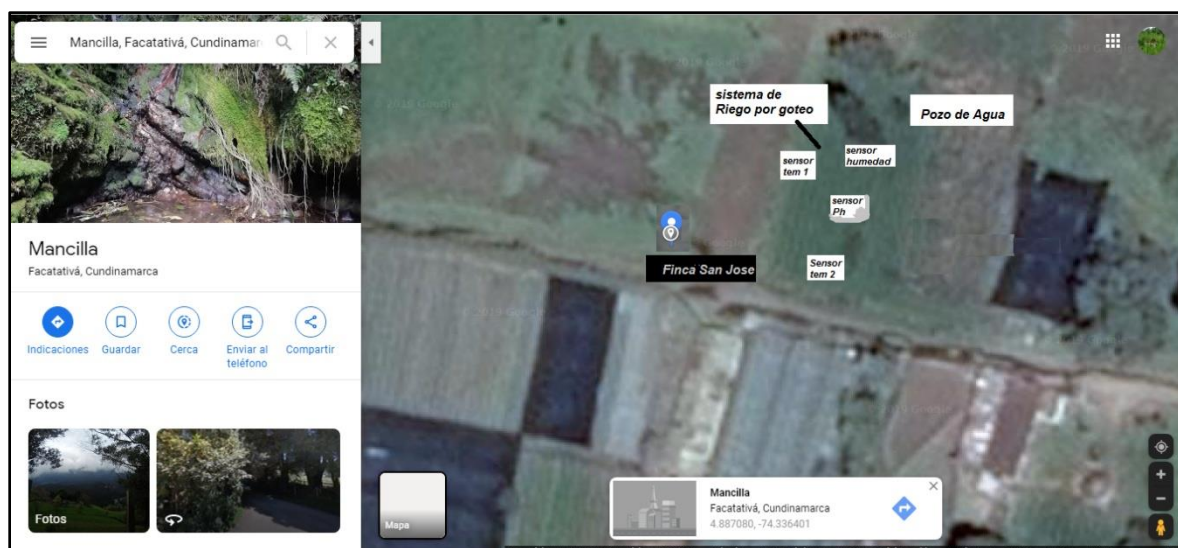


Figura 57→ Instalación de Sensores en la vereda Mancilla, Facatativá

Fuente: elaboración propia

Los equipos adquiridos de Hardware para el desarrollo se describen en la tabla 27

Tabla 27 – Requerimientos del hardware

Requerimiento	Elemento	Descripción
Sistema embebido	Hardware	Intel Galileo, equipo integrador de la red de sensores inalámbrico WSN.
Sensores	Hardware	DHT11, mide la temperatura y la humedad, sensor analógico de pH con sonda, Sensor analógico de conductividad eléctrica con sonda.
GPRS	Hardware	Envío de datos desde los sensores a la base de datos que recolecta la información de las variables.
Gateway	Hardware	Permite realizar la transmisión de datos de la red de sensores Inalámbricos WSN a SMS del Estación Base.
Protocolo de comunicación y frecuencia	Hardware	Estándar IEEE 802.15.4 para la WSN puede operar a 868 MHz, 915 MHz y 2.4 GHz y transferir datos hasta 250 Kbps.

Requerimiento	Elemento	Descripción
Topología	Hardware	Jerárquica de árbol
Conexión eléctrica:	Hardware	Se realizó con cableado, voltaje de 3.3 v a 5 V y consumo de 0.85 W.

Fuente: elaboración propia

Software utilizado para el monitoreo de las variables, se describen en la Tabla 28

Tabla 28 – Software utilizados

Requerimiento	Elemento	Descripción
Librerías para el control sistema embebido	Software	Intel Galileo, equipo integrador de la red de sensores inalámbrico WSN.
Librerías para la configuración del sensor	Software	DHT11, mide la temperatura y la humedad. Sensor de pH, Sensor conductividad.
Wylidrin	Software	Software libre para visualizar los datos en forma gráfica.
Tablas de datos en Excel	Software	Los datos recolectados son organizados en tablas de datos en Excel de Office.
Análisis de datos	Software	Matlab se utilizó para realizar los gráficos correspondientes al análisis estadístico de datos.
Informe de gestión de los sensores:	software	Word de Office para realizar los informes de gestión como datos históricos para ser analizados.

Fuente: elaboración propia

## 6.2. Desarrollo Del Prototipo

La representación del producto y el medio por el cual los agricultores que van a ser los usuarios pueden probar en tiempo real su uso. Este modelo se creó con los elementos para medir las variables más relevantes en el cultivo de fresa y se diseñó con el criterio de un bajo costo que permitiera la obtención inicial de ideas para, paulatinamente, mejorarlo; el prototipo permite observar datos para explorar y experimentar. Se espera, con el tiempo, ir construyendo versiones que mejoren su uso y la tecnología utilizada, en la medida en que cambie el tiempo y los requerimientos hasta tener un producto final muy bien definido para el uso en cultivos de fresa.



Figura 58→ Hardware estación base – sensores comunicación –  
Fuente: elaboración propia

La estación base donde está el sistema embebido Intel Galileo está conectado a la energía por un cable de alimentación eléctrica, y también conectado a cada uno de los nodos que contienen los sensores que son provistos de tres (3) cables: uno a la corriente, otro a tierra y otro a la estación central. Esto permite la comunicación pasando por el *router* o módulo de comunicación. Una vez ensamblado el sistema embebido Intel Galileo, se configura con el software IDE de programación predeterminado que viene instalado en la *mainboard* Intel. En este entorno se pueden crear programas a la medida del proyecto, y se pueden cargar directamente al microcontrolador de la placa base, mediante una conexión serial desde un computador.



Figura 59→ Estación base – Nodos remotos – Sistema de transmisión  
Fuente: elaboración propia

### 6.2.1 Implementación del sistema

El sistema de sensores IoT para el control de variables ambientales, compuesto por una red de sensores inalámbricos (WSN), fue implementado en un cultivo de fresa en la sabana de Bogotá, cumpliendo con los requerimientos identificados como prioritarios por los agricultores para optimizar los recursos y los procesos de una manera eficaz, mejorándolas prácticas agrícolas en el mediano y largo plazo. El sistema de sensores IoT, como se observa en la figura 59, ubica al agricultor como actor principal o responsable de la interpretación y lectura de los datos para que, con ese insumo, tome las mejores decisiones en torno a la mejor forma de desarrollar el cultivo con resultados eficientes y eficaces para la calidad del producto: fresa.

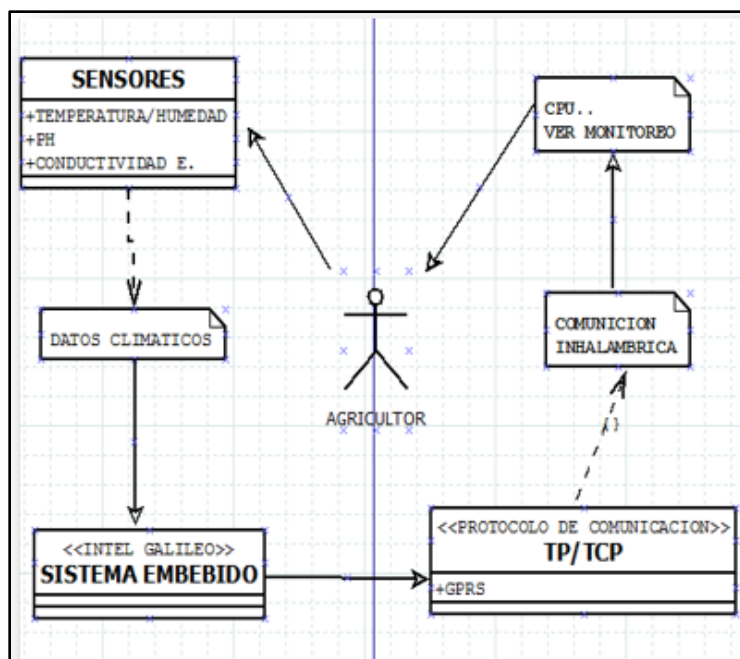


Figura 60→ Sistema implementado cultivo de fresa

Fuente: Elaboración propia

Para visualizar los resultados obtenidos de los sensores instalados en el cultivo de fresa y demostrar su funcionamiento al ser conectados al sistema embebido Intel Galileo, se instaló el software libre Wiliodrin donde se lograron revisar los resultados de las variables climáticas que tienden a afectar las mediciones de los niveles y la calidad del agua que se administra por el sistema de riego instalado en el área donde se encuentran sembradas las plántulas de fresa.

Con los datos analizados de humedad en el suelo, de humedad relativa de ambiente, temperatura, pH y conductividad, como se ve en el entorno de la figura 60, este software libre muy fácil de usar tiene una interfaz gráfica que viene integrada con su lenguaje de programación en forma scratch donde se puede realizar la codificación en bloques que se pueden arrastrar y soltar.

### Desarrollo a nivel de hardware configuraciones

Los nodos de sensores instalados en los cultivos de fresas son temperatura, humedad, conductividad y pH.

Se deben tener en cuenta los Sensores para cada variable:

- ✓ La unidad de procesamiento de la Estación base se conecta a una computadora para ver los datos, que a su vez son observados en el display, como lo muestra la figura. 47.
- ✓ La unidad de comunicación es un Router con radiofrecuencia de 2.4Mhtz.
- ✓ La unidad de conexión de energía que se utilizó en este caso es el cableado.

### Desarrollo a nivel de software configuraciones

**Configuración del sensor DTH11:** Lo primero a realizar es ubicar las librerías para temperatura y humedad. Se puede usar la misma para Arduino, Adafruit, que son compatibles con la mainboard Intel Galileo, luego se inicia la definición de variables como se puede ver en la figura 61, y se programa para ver el resultado en el display LCD.

```

Cap236
float TEMPERATURA;
float SUMA;

void setup() {
  lcd.begin(16,2)   I
  Serial.begin(9600);
  // entradas analógicas no requieren inicialización
}

void loop() {
  SUMA = 0;
  for (int i=0; i < 5; i++){
    SENSOR = analogRead(A0);
    TEMPERATURA = ((SENSOR * 5000.0) / 1023) / 10;
    SUMA = TEMPERATURA + SUMA;
    delay(500);
  }
  Serial.println(SUMA/5.0, 1);
}

```

Figura 61 → Código programación sensor DHT11

Fuente: [https://programarfacil.com/blog/arduino-blog/sensor-dht11-temperatura-humedad-arduino/#Conectando el DHT11 a Arduino](https://programarfacil.com/blog/arduino-blog/sensor-dht11-temperatura-humedad-arduino/#Conectando%20el%20DHT11%20a%20Arduino)

**Configuración de los LCD:** Se realiza importando la librería Liquid Crystal.h (con el código que se muestra en la figura 62 para la configuración de LCD donde se van a ver los datos de los sensores instalados en cada nodo.

```

1 // Incluimos la libreria externa para poder utilizarla
2 #include <LiquidCrystal.h> // Entre los simbolos <> buscará en la carpeta de librerías
3
4 // Definimos las constantes
5 #define COLS 16 // Columnas del LCD
6 #define ROWS 2 // Filas del LCD
7 #define VELOCIDAD 300 // Velocidad a la que se mueve el texto
8
9 // Lo primero es inicializar la libreria indicando los pins de la interfaz
10 LiquidCrystal lcd(12, 11, 5, 4, 3, 2);
11
12 // Textos
13 String texto_fila = "Programarfacil.com";
14
15 void setup() {
16   // Configuración monitor serie
17   Serial.begin(9600);
18
19   // Configuramos las filas y las columnas del LCD en este caso 16 columnas y 2 filas
20   lcd.begin(COLS, ROWS);
21 }
22
23 void loop() {
24   // Obtenemos el tamaño del texto
25   int tam_texto=texto_fila.length();
26
27   // Mostramos entrada texto por la izquierda
28   for(int i=tam_texto; i>0 ; i--)
29   {
30     String texto = texto_fila.substring(i-1);
31
32     // Limpiamos pantalla
33

```

Figura 62 → Configuración del LCD

Fuente: <https://programarfacil.com/tutoriales/fragmentos/arduino/texto-en-movimiento-en-un-lcd-con-arduino/>

### Configuración sensor de pH y CE análogo con sonda

La configuración Index del sistema embebido se configura de la siguiente forma como lo indica la figura 63.



```

sketch_apr14a
// pHRead.ino

// Constants:-
const byte pHpin = A0; // Connect the sensor's Po output to an

// Variables:-
float Po;

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

void loop()
{
  Po = (1023 - analogRead(pHpin)) / 73.07; // Read and reverse
  Serial.println(Po, 2); // Print the result
  delay(1000); // Take 1 reading pe
  
```

Figura 63→ Configuración sensor pH y CE

Fuente: <https://programarfacil.com/tutoriales/fragmentos/arduino/texto-en-movimiento-en-un-lcd-con-arduino/>

Configuración del Wyliodrin: Se instala en el PC, versión Wyliodrin studio, como se ve en la figura 64, la cual se configura con el sistema embebido Intel Galileo.

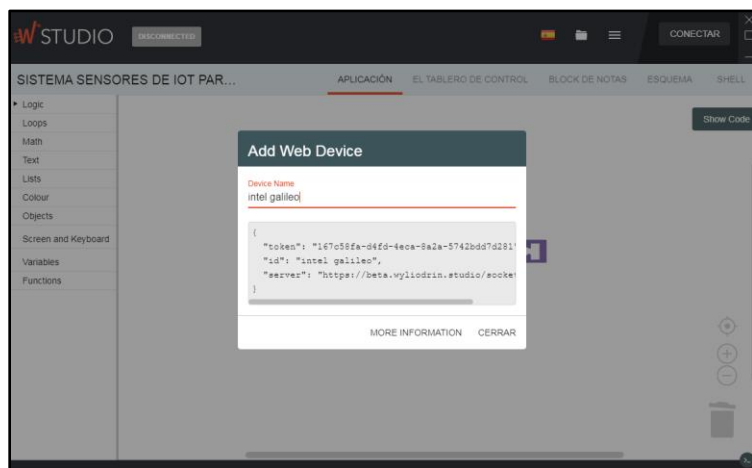


Figura 64→ Configuración sistema embebido Intel Galileo en Wyliodrin

Fuente: elaboración propia



En la siguiente figura 65 se muestra la manera de conectar COM1 el sistema embebido para este caso Intel Galileo.



Figura 65→Configuración conexión sistema embebido Intel Galileo Com1  
Fuente: elaboración propia

Luego se crea el proyecto en la plataforma, como se detalla en la figura 66.

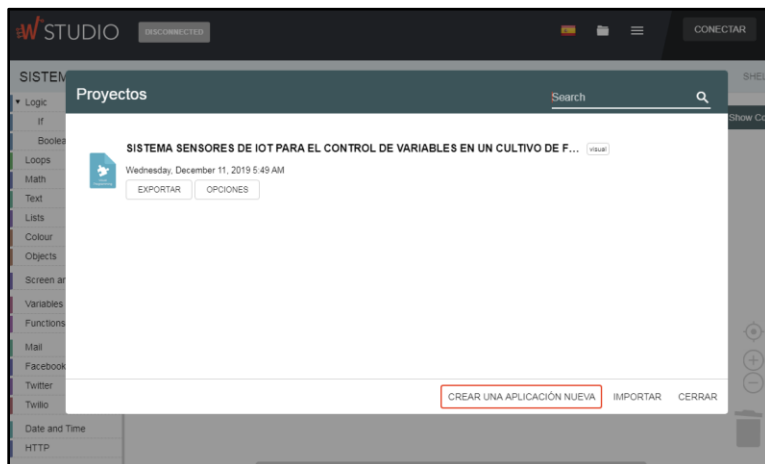


Figura 66→ Creación y configuración del proyecto en Wylidrin  
Fuente: elaboración propia

Una vez se crea el proyecto, se procede a realiza la configuración de las variables., la cual se detalla en la figura 67.

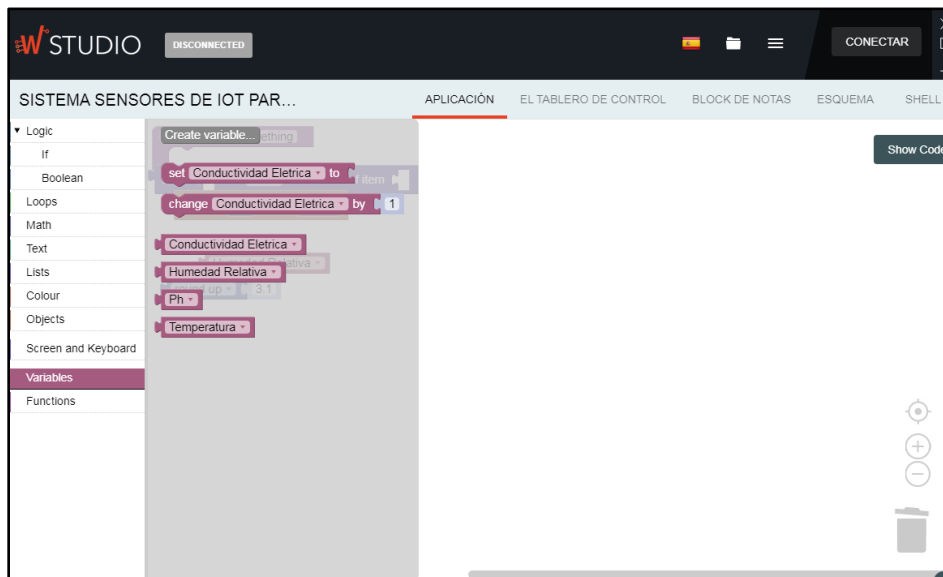


Figura 67→ Configuración de las variables del proyecto en Wylidrin.  
Fuente: elaboración propia

A continuación, en la figura 68 se procede con la configuración del tablero de control

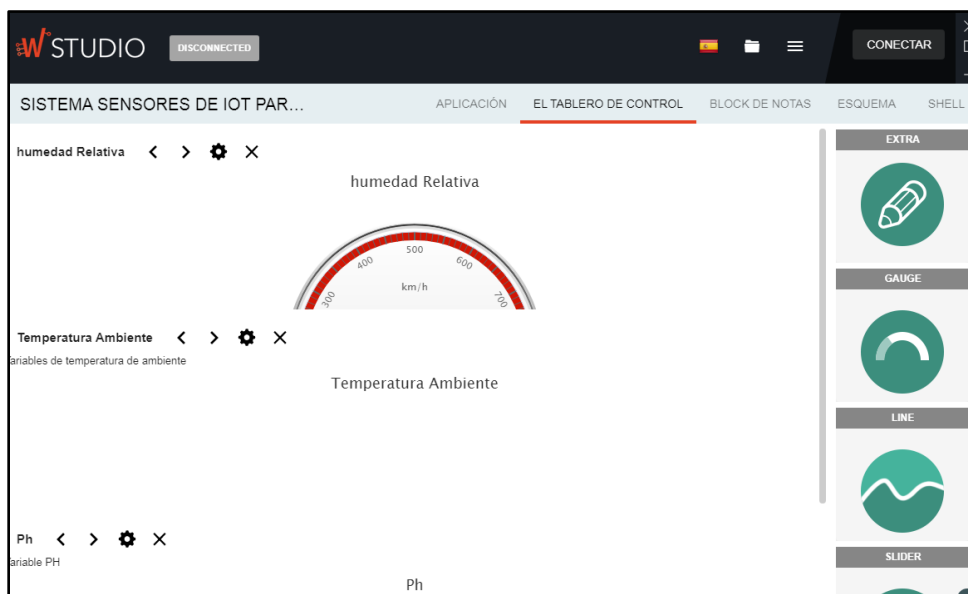


Figura 68→ Configuración del tablero de control en Wylidrin.  
Fuente: elaboración propia

Posteriormente, la figura 69 se revisa los valores de los sensores instalados.

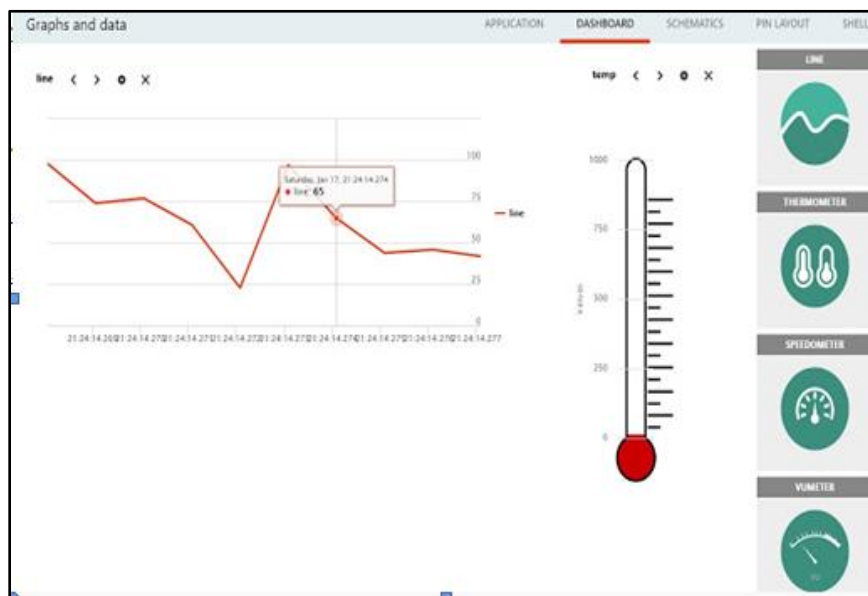


Figura 69 → Valores sensores instalados en Wylidodrin

Fuente: elaboración propia

### 6.3. Resultados Y Pruebas Realizadas

El sistema embebido utilizado para administrar los nodos sensores fueron programados para recibir los datos medidos, y luego ser procesados y enviados a la estación central. El análisis consiste en revisar si están en los rangos definidos, para el óptimo funcionamiento del cultivo de fresa; con estos valores el agricultor tiene herramientas para activar el sistema de riego, la ventilación, monitorear las variables ambientales en tiempo real y verlas de forma gráfica y visualizar su comportamiento a través del transcurso del día y en las diferentes épocas del año, como se muestra en la tabla 29.

Tabla 29 – Datos recolectados en el suelo de la vereda Mancilla  
**Análisis de variables encontradas en el suelo con los sensores de la vereda Mancilla, municipio de Facatativá**

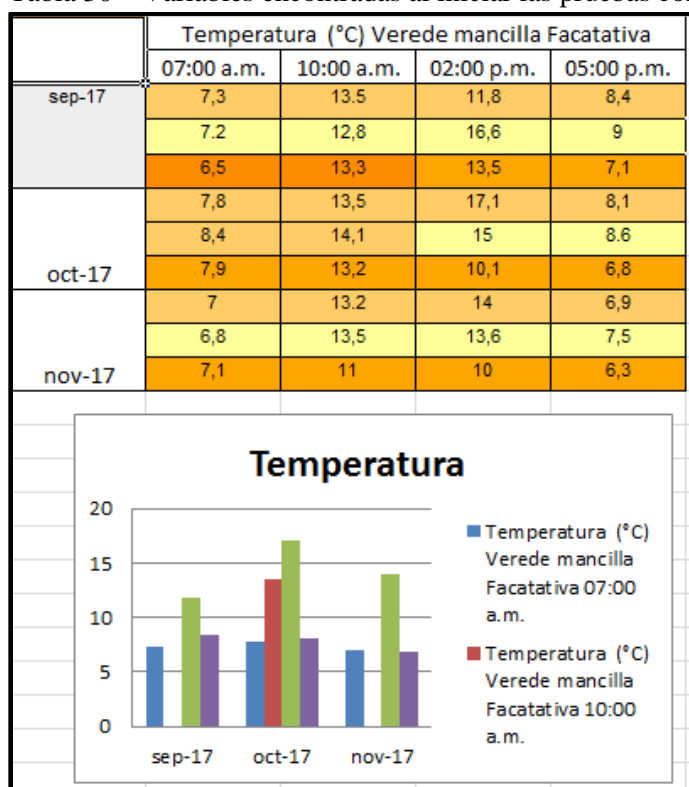
Variable	Unidad	Resultados	Horas del día
pH	Unidad	6,83%	12:00 a.m.
pH	Unidad	6,81%	05:00 p.m.
pH	Unidad	6,80%	07:00 a.m.
Temperatura	°C	19,20%	12:00 a.m.

**Análisis de variables encontradas en el suelo con los sensores de la vereda Mancilla, municipio de Facatativá**

Variable	Unidad	Resultados	Horas del día
Temperatura	°C	7,80%	05:00 p.m.
Temperatura	°C	11,90%	07:00 a.m.
Conductividad	dS/m	1:5	12:00 a.m.
Conductividad	dS/m	1:2	05:00 p.m.
Conductividad	dS/m	1:1	07:00 a.m.
Humedad R.	M3	78	12:00 a.m.
Humedad R.	M3	74	05:00 p.m.
Humedad R.	M3	80	07:00 a.m.

Fuente: elaboración propia

Tabla 30 – Variables encontradas al iniciar las pruebas con los sensores



Fuente: elaboración propia

### 6.3.1 Datos temperatura ambiente

Tabla 31 – Resumen de variables por meses

Variables	Septiembre			Octubre			Noviembre		
Temperatura	13,8	13,5	13,6	13,3	13,1	12,9	12,8	13,7	14
Humedad	80	79	78	81	80	79	80	82	80
conductividad	1,5	1,2	1,5	1,1	0,9	1,3	1,5	1,1	1,4
pH	5,5	5,7	6,1	6,3	5,7	5,5	6,5	6,2	5,8

Fuente: elaboración propia

Con los datos obtenidos se realizaron análisis con el propósito de mantener los niveles de agua en el sistema de riego adecuado y para que las plantas puedan absorber los nutrientes necesarios para su desarrollo diario y prevenir las diferentes plagas y enfermedades. Los sensores emiten alertas que le permiten al productor tomar las medidas correctas en el momento adecuado.

El uso de los medidores de pH y CE, permite obtener datos rápidos y confiables que ayudan al productor o técnico a tomar decisiones sobre el manejo del cultivo en cuanto a si es necesario aplicar más o menos cantidad de fertilizantes por cada etapa fenológica.

En la figura 70 se puede ver la interfaz Wylidrin donde el agricultor puede observar las lecturas de los sensores en tiempo real, para cada nodo de forma gráfica, y los cambios, minuto a minuto, o sea en tiempo real en cambio de las variables.

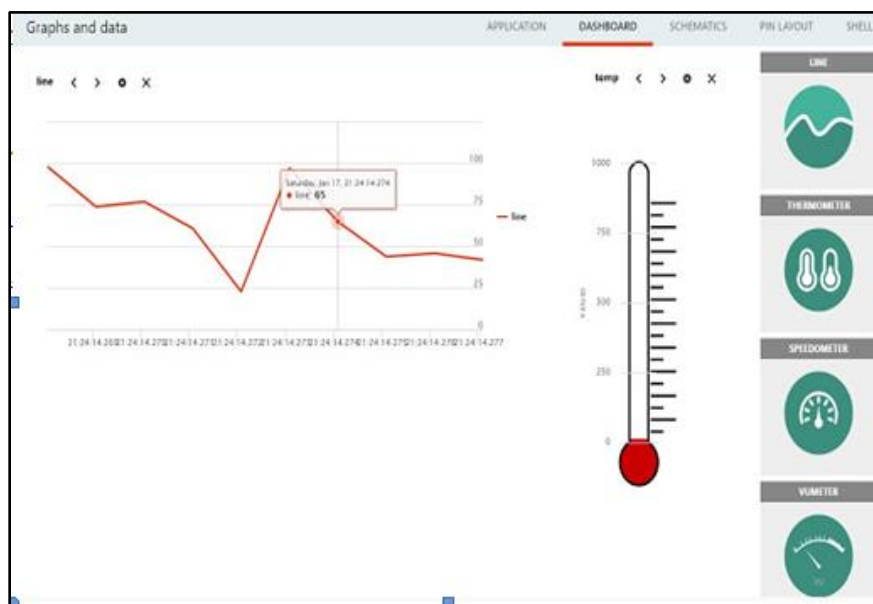


Figura. 70 → Variables del proyecto instalados en Wylidrin  
Fuente: elaboración propia

Los datos almacenados en las tablas de datos se pueden observar en diferentes horas del día y evidenciar los cambios de los valores en las variables; luego, para una mejor visualización, los datos son graficados con la herramienta estadística Matlab (ver anexos 2 al 9).

## Conclusiones

Con el desarrollo de la investigación es posible concluir que el uso e implementación de las tecnologías de la información y la comunicación en el proceso de adopción de buenas prácticas agrícolas en cuanto a la siembra, cosecha y recolección de la fresa, se constituye en un factor importante dentro de las competencias tecnológicas en el sector productivo, así como del componente de innovación y aplicación de las tecnologías en el área de la agricultura.

A través de la investigación realizada con el estudio de muchos proyectos que utilizan Tecnologías IoT para optimizar sus procesos y facilitar el control y monitoreo constante de las variables más relevante relacionadas con el objeto, tales como obtener datos que pueden servir en un momento dado para tomar decisiones de vital importancia en los procesos relacionados con la agricultura.

Se logró identificar las variables que más afectan el cultivo de fresa en esta zona y demostrar que es posible mejorar y controlar de forma eficiente los recursos utilizados como el agua, los fertilizantes, los nutrientes, y la mano de obra, dado que con el uso de los sensores en el suelo se puede detectar y evaluar el nivel adecuado para la evolución correcta de la planta y el crecimiento del fruto; el cual se ha venido realizando por experiencia e intuición del campesino. Ahora, con los sensores se tiene la seguridad de aplicar los valores correctos.

Con los datos obtenidos se logró automatizar la recolección de las variables ambientales relevantes en el cultivo de fresa, que se toman de manera manual, para realizar un análisis de los parámetros ideales de las condiciones del suelo, la calidad del agua para el

riego de las plántulas, y tener la disponibilidad de la información de las variables físicas ambientales en tiempo real en el cultivo.

La construcción de un sistema de monitoreo y control de variables climáticas a través del diseño de un prototipo con una red de sensores Inalámbrico controlados con tecnología IoT que afectan directamente el buen desarrollo del cultivo, donde el agricultor puede optimizar tiempo, costos y mejorar la calidad del producto.

Al realizar las pruebas con el prototipo en el cultivo de fresa, se recolecto información que, comparada con los parámetros, le permite al agricultor determinar que variable debe ajustar, así el uso de una red inalámbrica es apropiado por la cobertura que se obtiene con la red jerárquica, el protocolo de comunicación y la solución IoT que contiene varios dispositivos conectados.

Con todos estos datos recolectados se llega a la conclusión que hay diversas posibilidades para que el agricultor de fresa en esta zona, mejore los sistemas de riego de forma que pueda tener un mejor control y uso eficiente de los recursos, minimizando las pérdidas y ampliando los niveles de calidad en el producto.

Día tras día, las tecnologías de la información evolucionan en todas las áreas, y, cada vez, es más fácil llegar a más personas, permitiendo la interactividad en lugares lejanos donde antes no era posible. Es por esto que las herramientas de monitoreo de variables, control y automatización, o recursos tecnológicos, manejados y desarrollados adecuadamente por los expertos en agricultura de precisión, les permitirá tener una mayor fiabilidad del proceso productivo de cualquier cultivo que se desarrolle con la ayuda de estos recursos tecnológicos.



Igualmente, podrán innovar y realizar mejores prácticas para tener un total control de las variables, y confiar en la veracidad de los resultados en tiempo real.

El sistema de sensores IoT propuesto, en base a la Red de sensores Inalámbricos WSN, para el monitoreo de variables climáticas en tiempo real en el cultivo de fresa, que utiliza la tecnología IoT con un sistema embebido Intel Galileo para analizar los datos a través del software libre Wylidrin, permite monitorear y controlar el sistema de riego y las demás variables ambientales para prevenir los daños que afectan a la planta, a la raíz y al fruto, y así evitar su deterioro.

Con el desarrollo de la investigación es posible concluir que el uso e implementación de las tecnologías de la información y la comunicación en el proceso de adopción de buenas prácticas agrícolas en cuanto a la siembra, cosecha y recolección de la fresa, se constituye en un factor importante dentro de las competencias tecnológicas en el sector productivo, así como del componente de innovación y aplicación de las tecnologías en el área de la agricultura.

Con la metodología propuesta en este proyecto se logró demostrar que es posible mejorar y controlar de forma eficiente los recursos utilizados como el agua, los fertilizantes, los nutrientes, y la mano de obra, dado que con el uso de los sensores en el suelo se puede detectar y evaluar el nivel adecuado para la evolución correcta de la planta y el crecimiento del fruto; el cual se ha venido realizando por experiencia e intuición del campesino. Ahora, con los sensores se tiene la seguridad de aplicar los valores correctos.

Con todos estos datos recolectados se llega a la conclusión de que hay diversas posibilidades para que el agricultor de fresa mejore los sistemas de riego de forma que pueda

tener un mejor control y el uso eficiente de los recursos, minimizando las pérdidas y ampliando los niveles de calidad en el producto.

El sistema de sensores IoT propuesto, en base a la Red de sensores Inalámbricos WSN, para el monitoreo de variables climáticas en tiempo real en el cultivo de fresa, que utiliza la tecnología IoT con un sistema embebido Intel Galileo para analizar los datos a través del software libre Wylidrin, permite monitorear y controlar el sistema de riego y las demás variables ambientales para prevenir los daños que afectan a la planta, a la raíz y al fruto, y así evitar su deterioro.

Con los datos obtenidos se logró automatizar la recolección de las variables ambientales relevantes en el cultivo de fresa, que se toman de manera manual, para realizar un análisis de los parámetros ideales de las condiciones del suelo, la calidad del agua para el riego de las plántulas, y tener la disponibilidad de la información de las variables físicas ambientales en tiempo real en el cultivo.

## Recomendaciones

Tener los datos de conductividad eléctrica (CE) y pH en los cultivos de fresa constantemente para lograr un acercamiento a la calidad de la fresa esperada y evitar, hasta en un 90 %, los posibles problemas. Al controlar estas variables que determinan el estado de la raíz y el desarrollo nutricional de la planta se evita que se estresen por estos factores determinantes en la siembra y cosecha de la fresa.

Mantener el ambiente húmedo y fresco a la plántula de fresa para que pueda adsorber de mejor forma la salinidad. Un incremento en la temperatura y una baja humedad relativa pueden afectar significativamente a la planta por lo que se hace necesario controlar estas variables y observarlas constantemente, y de esta forma evitar la proliferación de plagas y enfermedades que afecten el cultivo.

Continuar el uso de los sensores de temperatura, humedad, pH y CE, pues permite obtener datos rápidos y confiables que ayudan al agricultor a tomar decisiones inmediatas para el manejo del cultivo, en cuanto al uso de fertilizantes y agua, en cada etapa fenológica.

Revisar los avances tecnológicos en el uso de sensores, de forma que cada vez sea más automática la recolección de datos y que permitan un mejor control y monitoreo de las propiedades del suelo.

Hacer una plataforma WEB que administre los datos, cree alarmas que puedan controlar y supervisar los sistemas de riego y administrarlas soluciones nutritivas o pesticidas, entre otros.

Plantear la solución de sensores para otros tipos de cultivos que requieran los sistemas diseñados de la red de sensores para control y monitoreo de variables climáticas.

## Bibliografía

Agronet. (2009). Informe. Recuperado

de:<https://www.agronet.gov.co/Paginas/ProduccionNacionalDpto.aspx>

Agüera Vega, J. y Pérez Ruiz, M. (2013). Agricultura de precisión hacia la integración de datos espaciales en la producción agraria. *Ambienta: La Revista del Ministerio de Medio Ambiente*,(105), 12-27.

Aguilar, L. J. (2016). *Big Data, análisis de grandes volúmenes de datos en organizaciones*. México: Alfaomega Grupo Editor.

Aguilera, D. K. (2017). *Análisis del comportamiento de persistencia en suelos de agroquímicos usados en cultivo de fresa en Facatativá Cundinamarca*. Recuperado de:  
<http://hdl.handle.net/10654/16946>.

Akyildiz, I. F., Su, W., Sankarasubramaniam, Y. y Cayirci. E. (2002). Wireless sensor networks: a survey. *Computer Networks*, 38 (4), 393-422. [https://doi.org/10.1016/S1389-1286\(01\)00302-4](https://doi.org/10.1016/S1389-1286(01)00302-4)

Alcaldía de Facatativá – Cundinamarca. Sitio oficial de Facatativá en Cundinamarca, Colombia. Consultado en: <http://www.facatativa-cundinamarca.gov.co/>

Aparicio, F. (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), 46-52.

Arduino. (2017). Plataforma de código abierto. ArduinoBoard Nano. Disponible en:  
<https://store.arduino.cc/usa/arduino-nano>

Asohofrucol. (2013). Administradora del Fondo Nacional de Fomento Hortofrutícola, Base de datos. Consultado en: <http://www.asohofrucol.com.co/>

Bayer Corp. (2019). Las 5 claves de éxito en el cultivo de la fresa. Recuperado de:

<https://www.cropscience.bayer.co/Centro-de-Noticias/Noticias/2018/08/5-Claves-Fresa.aspx>

Beneficios de la Tecnología a la Agricultura [Blog]. [Consultado el 22 de diciembre 2016].

Disponible en:

<http://tecnologiaactualidadpositivoynegativo.blogspot.com/2013/01/beneficio-de-latecnologia-la.html>.

Braojos, David A (2016) Diseño jerárquico de redes. Techclub (Artículo). Recuperado de:

<https://techclub.tajamar.es/descripcion-del-modelo-jerarquico-de-la-red/>

Cadena Ardila, M. P. (2017). Estudio de factibilidad para el cultivo hidropónico de fresa

(*Fragaria x ananassa d*), en Facatativá Cundinamarca (Tesis de grado). Universidad

Nacional Abierta y a Distancia – UNAD. Facatativa.

Caicedo Ortiz, J. G. (2015). Modelo de despliegue de una WSN para la medición de las variables climáticas que causan fuertes precipitaciones. *Prospectiva*, 13 (1), 106-115.

<https://doi.org/10.15665/rp.v13i1.365>

Cámara de Comercio de Bogotá. (2015). Manual fresa. Recuperado de

<http://hdl.handle.net/11520/14312>

Cano, M. A. (2013). Estrategias biológicas para el manejo de enfermedades en el cultivo de fresa

(*Fragaria spp.*). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 7 (2), 263-276.

<https://doi.org/10.17584/rcch.2013v7i2.2240>

Castañeda, J. S. (2017). Mercado de productos agrícolas ecológicos en Colombia. *Revista Suma*

*de Negocios*, 8, 18. <https://doi.org/10.1016/j.sumneg.2017.10.001>

- Catalan Salas, G (2016). El pH del suelo en la agricultura. *Nutricion y Salud Vegetal Agropal*.  
Extraido de: <http://www.agropal.com/es/el-ph-del-suelo/>
- Chen, F., Qin, L., Li, X., Wu, G. y Shi, C. (2017). Design and implementation of ZigBee wireless sensor and control network system in greenhouse. *36th Chinese Control Conference (CCC)* (pp. 8982-8986). IEEE.
- Cosmoagro. (2012). Fresa, un cultivo rentable y con proyección en el exterior. Recuperado de: <http://www.cosmoagro.com/site/avanzamos/fresa-un-cultivo-rentable-y-con-proyeccion-en-el-exterior>
- Díaz Espino, L. F., Dávalos González, P. A., Jofre y Garfias, A. E. y Martínez Martínez, T. O. (2017). Fresa, deficiencias y síntomas nutricionales “una guía visual para fertilizar”. México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias.
- Díaz, S. E., Pérez, J. C., Mateos, A. C., Marinescu, M. C. y Guerra, B. B. (2011). A novel methodology for the monitoring of the agricultural production process based on wireless sensor networks. *Computers and Electronics in Agriculture*, 76 (2), 252-265.  
<https://doi.org/10.1016/j.compag.2011.02.004>
- Dignani, J. P. (2011). Análisis del protocolo ZigBee (tesis de posgrado). Universidad Nacional de la Plata, Argentina. Consultado en: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/18349>
- Dubs de Moya, R. (2002). El proyecto factible: una modalidad de investigación. *Sapiens. Revista Universitaria de Investigación*, 3 (2).
- Evans, D. (2011). Internet de las cosas, Informe mundial Cisco. Recuperado de: [http://www.cisco.com/c/dam/global/es\\_mx/solutions/executive/assets/pdf/internet-of-things-iot-ibsg.pdf](http://www.cisco.com/c/dam/global/es_mx/solutions/executive/assets/pdf/internet-of-things-iot-ibsg.pdf)
- Faludi, R. (2010). *Building wireless sensor networks*. Beijing: O'Reilly.

- FAO. (2003). La Huerta Hidropónica Popular. Vídeo instructivo sobre la construcción de invernaderos tipo túnel. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=58v0KNbAiC0>
- Gonzalez Rodríguez, D. (2013). Arquitectura y Gestión de la IoT. Revista Telemática. Vol 12Nº 3. Disponible en: <http://revistatelematica.cujae.edu.cu/index.php/tele/article/download/119/115>
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2007). *Metodología de la investigación*. México: Editorial McGraw-Hill.
- ICA. (2017). Resolución 30021 de 2017. Diario Oficial 50.224 del 5 de mayo de 2017.
- Infoclima. (2017). Obtenido de [http://agro.infoclima.com/?page\\_id=506](http://agro.infoclima.com/?page_id=506)
- Intacri (2017). Obtenido de <https://www.intagri.com/articulos/suelos/la-conductividad-electrica-del-suelo-en-el-desarrollo-de-los-cultivos>
- John, G. E. (2016). A low cost wireless sensor network for precision agriculture. 2016 Sixth International Symposium on Embedded Computing and System Design (ISED). Patna-India, 15-17 de diciembre. <https://doi.org/10.1109/ISED.2016.7977048>
- Lee, S. y Kader, A. (2000). Preharvest and posharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. *Postharvest Biology and Technology*, 20 (3), 207-220. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(00\)00133-2](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(00)00133-2)
- León López, L., Guzmán-Ortíz, D. L. A., GarcíaBerumen, J. A., Chávez Marmolejo, C. G. y Peña-Cabriales, J. J. (2014). Consideraciones para mejorar la competitividad de la región “El Bajío” en la producción nacional de fresa. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5 (4), 673-686. <https://cienciasagricolas.inifap.gob.mx/editorial/index.php/agricolas/article/view/929>



- Li, S., Cui, J. y Li, Z. (2011). Wireless sensor network for precise agriculture monitoring. En *2011 ICICTA '11: Proceedings of the 2011 Fourth International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation*, vol. 1, pp. 307-310.  
<https://doi.org/10.1109/ICICTA.2011.87>
- Machado Siqueira, G. (2009). Medida de la conductividad eléctrica aparente del suelo por inducción electromagnética y variabilidad espacial de propiedades físicas y químicas del suelo (tesis de grado). Universidad Santiago de Compostela.
- McGrath, M. J. y Scanail, C. N. (2013). Sensor Network Topologies and Design Considerations. *Sensor Technologies*. Berkeley: Apress. [https://doi.org/10.1007/978-1-4302-6014-1\\_4](https://doi.org/10.1007/978-1-4302-6014-1_4)
- Medina Mondragón, C. A. (2017). Evaluación de desempeño de mecanismos de control de congestión en diferentes topologías en una WSN (tesis de grado). Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá.
- Meier, U., Graf, H., Hack, H., Hess, M., Kennel, W., Klose, R., Mappes, D., Seipp, D., Stauss, R., Streif, J. y Van Den Boom, T. (1994). Phenological growth stages of pome fruit (*Malus domestica* Borkh. and *Pyrus communis* L.), stone fruit (*Prunus* species), currants *Ribes* species and strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.). *Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd*, 46, 141-153.
- Méndez, D. (2015). *Principios de internet de las cosas IoT*. Bogotá: Mintic, Colciencias, Pontificia Universidad Javeriana e Intel Certificación Internacional.
- Mendiburu, H. (2003). Automatización medioambiental. Recuperado de:  
<http://www.liceus.com/cgi-bin/ac/pu/AutomatizacionMedioambiental.pdf>
- Michel, G. (1997). *Autómatas programables industriales. Arquitectura y aplicaciones*. Barcelona: Marcombo.

- Monroy-García, O. Y., Rolón-Quintero, D. C. y Sepúlveda-Mora, S. B. (2017). Sistema inalámbrico modular de bajo costo para supervisar variables ambientales en invernaderos: un respaldo al agricultor de pequeña escala. *Revista científica*, 2 (29), 164-179.  
<https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.RC.2017.29.a5>
- Nakutis, Z., Deksnys, V., Jaruevicius, I., Marcinkevicius, E., Ronkainen, A., Soumi, P., Andersen, B. (2016). Remote Agriculture Automation Using Wireless Link and IoT Gateway Infrastructure. Proceedings -International Workshop on Database and Expert Systems Applications, DEXA, 2016–Febru, 99-103.  
<https://doi.org/10.1109/DEXA.2015.37>
- Palomino, L. E. y Da Silva, G. (2015). Solar radiation monitoring using electronic embedded system Raspberry Pi database connection MySQL, Ubidots and TCS-230 sensor. En: 2015 *CHILEAN Conference on Electrical, Electronics Engineering, Information and Communication Technologies (CHILECON)*. Disponible en:  
<http://dx.doi.org/10.1109/chilecon.2015.7400420>
- Rakshit, S. M. y Hate, S. G. (2014). Range Free Localization using Expected Hop Progress in Wireless Sensor Network. *International Journal of Innovative Research in Advanced Engineering (IJIRAE)*, 1 (6), 172-179.
- Rodríguez, M., Chagolla, H. y López, M. (2014). Diseño Conceptual de Sistema para la Automatización del Invernadero uno de la Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato. En *Ciencias de la Ingeniería y Tecnología Handbook T-IV: Congreso Interdisciplinario de Cuerpos Académicos* (pp. 299-318). México: Editores Ecorfan.

- Saavedra, H., Aguirre, J., Mejía, A., Riaño, K., Romero, C., Sierra, C., Angulo, F. y Márquez, L. (2014). Diseño e implementación de un prototipo para automatización de vivienda (tesis de grado). Instituto Tecnológico de Soledad Atlántico.
- Salinas Arcos, R. M. (2018). Diseño de un prototipo de sistema automatizado con Arduino para riego en el cultivo de fresas (tesis de grado). Universidad de Guayaquil. Recuperado de. <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/40625/1/TESIS%20SALINAS%20ARCOS%20RICARDO%20MIGUEL.pdf>
- Thompson, R. B., Gallardo, M., Valdez, L. C. y Fernández, M. D. (2006). Using plant water status to define threshold values for irrigation management of vegetable crops using soil moisture sensors. *Agricultural Water Management*, 88 (1-3), 147-158. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2006.10.007>
- Torrente, R. y Pérez, J. C. (2012). Invernaderos, innovación para la productividad y el medioambiente. *Cuadernos de Estudios Agroalimentarios*, 3, 7-22.
- Vailliet, N. (2014). Intel Do-It-YourselfChallengeNetworking. Recuperado de: [https://software.intel.com/sites/default/files/IntelAcademic\\_IoT\\_03\\_Networking.pdf](https://software.intel.com/sites/default/files/IntelAcademic_IoT_03_Networking.pdf)
- Viñas, J. M. S. (2012). Los retos de la agricultura para alimentar al mundo en 2050. *Tiempo de Paz*, 106, 37-48.
- Wong, B. y Kerkez, B. (2016). Real-time environmental sensor data: An application to water quality using web services. *Environmental Modelling & Software*, 84: 505-517. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2016.07.020>
- Wright, K. P. y Kader, A. A. (1997). Effect of slicing and controlledatmosphere storage on the ascorbate content and quality of strawberries and persimmons. *Postharvest Biology and Technology*, 10, 1, 39-48. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(96\)00061-0](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(96)00061-0).

Zeng, Y, Sreenan, C, Sitanayah, L. y Xiong, N. (2011). “An emergency-adaptive routing scheme for wireless sensor networks for building fire hazard monitoring”. *Sensors*, 11, 2899-2919. <https://doi.org/doi:10.3390/s110302899>

## Anexos

### Anexo 1 → Modelo de encuesta realizada a agricultores de la vereda Mancilla

Nombre del encuestador: _____	Nº de encuestador: _____
Nombre del encuestado: _____	Nº de encuesta: _____
Fecha de encuesta: ____ : ____ : ____	Lugar de la encuesta: _____
Hora de comienzo: ____ : ____	Hora de finalización: ____ : ____

#### OBJETIVO

Identificar las variables medioambientales que afectan al cultivo de fresa y cómo es el procedimiento normal de control y monitoreo del cultivo de forma tradicional en la vereda Mancilla, municipio de Facatativá.

#### DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

1.- Que variedad de fresa se cultiva (Fragaria \* Ananassa)

- Albión
- Sabrina
- Monterrey

2.- Tipo de cultivo

- Invernadero
- A cielo abierto

3.- En su conocimiento que afecta al cultivo de Fresas en su proceso de siembra

- Calidad del agua
- Plaguicidas
- Suelo
- Temperaturas

4.- ¿Cree usted que los cambios bruscos de clima, afectan el cultivo de fresas?

- Sí
- No

5.- ¿Cuáles son los factores que más afectan a la planta?

- Cambios de temperaturas
- Plagas y enfermedades
- Humedad
- Condiciones del suelo

6.- ¿Cree usted que un mecanismo de control de variables ambientales puede ayudar en la calidad del producto y en el buen desarrollo del cultivo de fresa?

- Sí
- No

7.- ¿Los niveles de salinidad cambian con la aplicación de los nutrientes o se debe realizar seguimiento de conductividad eléctrica?

- Sí
- No

8.- Si se cuenta con una herramienta tecnológica para monitorear el pH, la conductividad, ¿se puede controlar mejor las enfermedades y la aparición de plagas en el cultivo de fresa?

- Sí
- No

9.- ¿Cuál de las plagas es la más común en la vereda Mancilla?

- Araña roja
- Trips
- Babosas
- Rosquilla negra
- Plugón

10.- Las plagas y enfermedades en la fresa se dan más por

- Altas temperaturas
- Bajas temperaturas
- Humedad
- Tiempo seco

**Muchas gracias por su amabilidad y por el tiempo dedicado a contestar esta encuesta**

Anexo 2 → Tablas de datos tomados de temperaturas del 25 de sept de 2017

FECHA	HORA	VAR TEM (°C) SENSOR DHT11	FECHA	HORA	SENSOR DHT11
25/09/2017	07:00:00 a.m.	7,5	25/09/2017	10:00:00 a.m.	11,5
25/09/2017	07:05:00 a.m.	7,8	25/09/2017	10:05:00 a.m.	11,8
25/09/2017	07:12:00 a.m.	7,6	25/09/2017	10:12:00 a.m.	12,1
25/09/2017	07:17:00 a.m.	7,8	25/09/2017	10:17:00 a.m.	12,6
25/09/2017	07:23:00 a.m.	7,9	25/09/2017	10:23:00 a.m.	12,5
25/09/2017	07:28:00 a.m.	7,9	25/09/2017	10:28:00 a.m.	12,1
25/09/2017	07:35:00 a.m.	8,2	25/09/2017	10:35:00 a.m.	12,9
25/09/2017	07:41:00 a.m.	8,2	25/09/2017	10:41:00 a.m.	13
25/09/2017	07:45:00 a.m.	8,3	25/09/2017	10:45:00 a.m.	13
25/09/2017	07:49:00 a.m.	7,9	25/09/2017	10:49:00 a.m.	13
25/09/2017	07:51:00 a.m.	8,1	25/09/2017	10:51:00 a.m.	12,8
25/09/2017	07:57:00 a.m.	8,3	25/09/2017	10:57:00 a.m.	13
25/09/2017	08:00:00 a.m.	8,3	25/09/2017	10:59:00 a.m.	13,5

FECHA	HORA	VAR TEM (°C) SENSOR DHT11	FECHA	HORA	SENSOR DHT11
25/09/2017	14:00:00 p.m.	15,6	25/09/2017	17:00:00 p.m.	12,2
25/09/2017	14:05:00 p.m.	15,6	25/09/2017	17:05:00 p.m.	11,58
25/09/2017	14:12:00 p.m.	15,8	25/09/2017	17:12:00 p.m.	11,58
25/09/2017	14:17:00 p.m.	15,1	25/09/2017	17:17:00 p.m.	11,56
25/09/2017	14:23:00 p.m.	15,5	25/09/2017	17:23:00 p.m.	11,51
25/09/2017	14:28:00 p.m.	16,1	25/09/2017	17:28:00 p.m.	11
25/09/2017	14:35:00 p.m.	16,5	25/09/2017	17:35:00 p.m.	10,6
25/09/2017	14:41:00 p.m.	16,8	25/09/2017	17:41:00 p.m.	10,1
25/09/2017	14:45:00 p.m.	17	25/09/2017	17:45:00 p.m.	9,6
25/09/2017	14:49:00 p.m.	17,3	25/09/2017	17:49:00 p.m.	9,6
25/09/2017	14:51:00 p.m.	16,5	25/09/2017	17:51:00 p.m.	9,7
25/09/2017	14:57:00 p.m.	16,1	25/09/2017	17:57:00 p.m.	9,8
25/09/2017	14:59:00 p.m.	16	25/09/2017	17:59:00 p.m.	9,8

Figura. 71 → Tablas de datos temperatura 25/09/2017

## Anexo 3 → Tablas de datos tomados de temperaturas del 14 de oct de 2017

FECHA	HORA	VAR TEM (°C) SENSOR DHT11
14/10/2017	07:00:00 a.m.	7,2
14/10/2017	07:06:00 a.m.	7,5
14/10/2017	07:15:00 a.m.	7,6
14/10/2017	07:17:00 a.m.	7,8
14/10/2017	07:25:00 a.m.	7,6
14/10/2017	07:27:00 a.m.	7,9
14/10/2017	07:35:00 a.m.	7,5
14/10/2017	07:44:00 a.m.	7,9
14/10/2017	07:47:00 a.m.	8,1
14/10/2017	07:49:00 a.m.	7,9
14/10/2017	07:53:00 a.m.	8,1
14/10/2017	07:57:00 a.m.	8,1
14/10/2017	07:59:00 a.m.	7,9

FECHA	HORA	VAR TEM (°C) SENSOR
14/10/2017	10:01:00 a.m.	13,1
14/10/2017	10:07:00 a.m.	13,1
14/10/2017	10:13:00 a.m.	13,1
14/10/2017	10:19:00 a.m.	13,2
14/10/2017	10:23:00 a.m.	13,1
14/10/2017	10:28:00 a.m.	13,5
14/10/2017	10:33:00 a.m.	13,6
14/10/2017	10:44:00 a.m.	13,8
14/10/2017	10:49:00 a.m.	13,1
14/10/2017	10:53:00 a.m.	13,8
14/10/2017	10:55:00 a.m.	13,8
14/10/2017	10:57:00 a.m.	14,1
14/10/2017	10:59:00 a.m.	13,8

FECHA	HORA	VAR TEM (°C) SENSOR DHT11
14/10/2017	14:00:00 p.m.	17,2
14/10/2017	14:05:00 p.m.	16,7
14/10/2017	14:12:00 p.m.	17,1
14/10/2017	14:18:00 p.m.	17,2
14/10/2017	14:23:00 p.m.	16,5
14/10/2017	14:28:00 p.m.	16,2
14/10/2017	14:33:00 p.m.	16,5
14/10/2017	14:41:00 p.m.	16,8
14/10/2017	14:45:00 p.m.	17
14/10/2017	14:48:00 p.m.	17,3
14/10/2017	14:51:00 p.m.	17,8
14/10/2017	14:57:00 p.m.	17,3
14/10/2017	14:58:00 p.m.	17,1

FECHA	HORA	VAR TEM (°C) SENSOR DHT11
14/10/2017	17:02:00 p.m.	9,6
14/10/2017	17:05:00 p.m.	9,8
14/10/2017	17:12:00 p.m.	9,5
14/10/2017	17:19:00 p.m.	9,6
14/10/2017	17:25:00 p.m.	9,8
14/10/2017	17:30:00 p.m.	9,9
14/10/2017	17:35:00 p.m.	9,5
14/10/2017	17:40:00 p.m.	9,3
14/10/2017	17:45:00 p.m.	8,9
14/10/2017	17:50:00 p.m.	8,8
14/10/2017	17:53:00 p.m.	8,5
14/10/2017	17:57:00 p.m.	8,8
14/10/2017	17:59:00 p.m.	8,6

Figura. 72 → Tablas de datos temperatura 14/10/2017



Anexo 4 → Tablas de datos tomados de temperaturas del 11 de nov de 2017

FECHA	HORA	VAR TEM (°C) SENSOR DHT11
11/11/2017	07:00:00 a.m.	7,7
11/11/2017	07:05:00 a.m.	7,5
11/11/2017	07:12:00 a.m.	7,8
11/11/2017	07:17:00 a.m.	7,8
11/11/2017	07:23:00 a.m.	7,5
11/11/2017	07:28:00 a.m.	7,6
11/11/2017	07:35:00 a.m.	7,9
11/11/2017	07:41:00 a.m.	7,2
11/11/2017	07:45:00 a.m.	8
11/11/2017	07:49:00 a.m.	7,9
11/11/2017	07:51:00 a.m.	8,1
11/11/2017	07:57:00 a.m.	7,9
11/11/2017	08:00:00 a.m.	7,8

FECHA	HORA	VAR TEM (°C) SENSOR DHT11
11/11/2017	10:00:00 a.m.	12,9
11/11/2017	10:05:00 a.m.	13,5
11/11/2017	10:12:00 a.m.	12,9
11/11/2017	10:17:00 a.m.	12,9
11/11/2017	10:23:00 a.m.	13,1
11/11/2017	10:28:00 a.m.	13,2
11/11/2017	10:35:00 a.m.	14,1
11/11/2017	10:41:00 a.m.	13,8
11/11/2017	10:45:00 a.m.	13,6
11/11/2017	10:49:00 a.m.	14,5
11/11/2017	10:51:00 a.m.	13,6
11/11/2017	10:57:00 a.m.	14,8
11/11/2017	10:59:00 a.m.	13,9

FECHA	HORA	VAR TEM (°C) SENSOR DHT11
11/11/2017	14:00:00 p.m.	17,3
11/11/2017	14:05:00 p.m.	17,8
11/11/2017	14:12:00 p.m.	18,1
11/11/2017	14:17:00 p.m.	18,1
11/11/2017	14:23:00 p.m.	18,2
11/11/2017	14:28:00 p.m.	18,3
11/11/2017	14:35:00 p.m.	16,9
11/11/2017	14:41:00 p.m.	16,8
11/11/2017	14:45:00 p.m.	17,5
11/11/2017	14:49:00 p.m.	17,9
11/11/2017	14:51:00 p.m.	18,8
11/11/2017	14:57:00 p.m.	18,3
11/11/2017	14:59:00 p.m.	18,9

FECHA	HORA	VAR TEM (°C) SENSOR DHT11
11/11/2017	17:00:00 p.m.	9,6
11/11/2017	17:05:00 p.m.	9,4
11/11/2017	17:12:00 p.m.	9,5
11/11/2017	17:17:00 p.m.	9,6
11/11/2017	17:23:00 p.m.	9,3
11/11/2017	17:28:00 p.m.	9,1
11/11/2017	17:35:00 p.m.	8,8
11/11/2017	17:41:00 p.m.	8,5
11/11/2017	17:45:00 p.m.	8,3
11/11/2017	17:49:00 p.m.	8,5
11/11/2017	17:51:00 p.m.	8,8
11/11/2017	17:57:00 p.m.	8,3
11/11/2017	17:59:00 p.m.	8,1

Figura 73 → Tablas de datos temperatura 11/11//2017

Anexo 5 → Tablas de datos tomados de humedad relativa del 25 de sept de 2017

HUMEDAD RELATIVA		
FECHA	HORA	VAR HUM % SENSOR DHT11
25/09/2017	07:00:00 a.m.	77%
25/09/2017	07:05:00 a.m.	78%
25/09/2017	07:12:00 a.m.	76%
25/09/2017	07:17:00 a.m.	78%
25/09/2017	07:23:00 a.m.	79%
25/09/2017	07:28:00 a.m.	79%
25/09/2017	07:35:00 a.m.	80%
25/09/2017	07:41:00 a.m.	82%
25/09/2017	07:45:00 a.m.	83%
25/09/2017	07:49:00 a.m.	79%
25/09/2017	07:51:00 a.m.	81%
25/09/2017	07:57:00 a.m.	83%
25/09/2017	08:00:00 a.m.	83%

HUMEDAD RELATIVA		
FECHA	HORA	VAR HUM % SENSOR DHT11
25/09/2017	10:01:00 a.m.	78%
25/09/2017	10:05:00 a.m.	79%
25/09/2017	10:12:00 a.m.	79%
25/09/2017	10:17:00 a.m.	79%
25/09/2017	10:23:00 a.m.	79%
25/09/2017	10:28:00 a.m.	77%
25/09/2017	10:35:00 a.m.	77%
25/09/2017	10:41:00 a.m.	76%
25/09/2017	10:45:00 a.m.	75%
25/09/2017	10:49:00 a.m.	75%
25/09/2017	10:51:00 a.m.	75%
25/09/2017	10:57:00 a.m.	74%
25/09/2017	10:59:00 a.m.	74%

HUMEDAD RELATIVA		
FECHA	HORA	VAR HUM % SENSOR DHT11
25/09/2017	14:00:00 p.m.	70%
25/09/2017	14:05:00 p.m.	71%
25/09/2017	14:12:00 p.m.	71%
25/09/2017	14:17:00 p.m.	70%
25/09/2017	14:23:00 p.m.	72%
25/09/2017	14:28:00 p.m.	73%
25/09/2017	14:35:00 p.m.	73%
25/09/2017	14:41:00 p.m.	73%
25/09/2017	14:45:00 p.m.	74%
25/09/2017	14:49:00 p.m.	74%
25/09/2017	14:51:00 p.m.	73%
25/09/2017	14:57:00 p.m.	75%
25/09/2017	14:59:00 p.m.	75%

HUMEDAD RELATIVA		
FECHA	HORA	VAR HUM % SENSOR DHT11
25/09/2017	17:00:00 p.m.	88%
25/09/2017	17:05:00 p.m.	89%
25/09/2017	17:12:00 p.m.	90%
25/09/2017	17:17:00 p.m.	91%
25/09/2017	17:23:00 p.m.	90%
25/09/2017	17:28:00 p.m.	91%
25/09/2017	17:35:00 p.m.	92%
25/09/2017	17:41:00 p.m.	92%
25/09/2017	17:45:00 p.m.	90%
25/09/2017	17:49:00 p.m.	89%
25/09/2017	17:51:00 p.m.	88%
25/09/2017	17:57:00 p.m.	88%
25/09/2017	17:59:00 p.m.	88%

Figura 74 → Tablas de datos humedad relativa 25/09/2017

## Anexo 6 → Tablas de datos tomados de humedad relativa del 14 de oct de 2017

HUMEDAD RELATIVA			HUMEDAD RELATIVA		
FECHA	HORA	VAR HUM % SENSOR DHT11	FECHA	HORA	VAR HUM % SENSOR DHT11
14/10/2017	07:00:00 a.m.	86%	14/10/2017	10:01:00 a.m.	77%
14/10/2017	07:06:00 a.m.	86%	14/10/2017	10:07:00 a.m.	76%
14/10/2017	07:15:00 a.m.	85%	14/10/2017	10:13:00 a.m.	76%
14/10/2017	07:17:00 a.m.	86%	14/10/2017	10:19:00 a.m.	76%
14/10/2017	07:25:00 a.m.	87%	14/10/2017	10:23:00 a.m.	76%
14/10/2017	07:27:00 a.m.	87%	14/10/2017	10:28:00 a.m.	77%
14/10/2017	07:35:00 a.m.	87%	14/10/2017	10:33:00 a.m.	76%
14/10/2017	07:44:00 a.m.	88%	14/10/2017	10:44:00 a.m.	76%
14/10/2017	07:47:00 a.m.	89%	14/10/2017	10:49:00 a.m.	76%
14/10/2017	07:49:00 a.m.	88%	14/10/2017	10:53:00 a.m.	77%
14/10/2017	07:53:00 a.m.	88%	14/10/2017	10:55:00 a.m.	78%
14/10/2017	07:57:00 a.m.	88%	14/10/2017	10:57:00 a.m.	76%
14/10/2017	07:59:00 a.m.	88%	14/10/2017	10:59:00 a.m.	76%

HUMEDAD RELATIVA			HUMEDAD RELATIVA		
FECHA	HORA	VAR HUM % SENSOR DHT11	FECHA	HORA	VAR HUM % SENSOR DHT11
14/10/2017	14:00:00 p.m.	86%	14/10/2017	17:02:00 p.m.	87%
14/10/2017	14:05:00 p.m.	86%	14/10/2017	17:05:00 p.m.	86%
14/10/2017	14:12:00 p.m.	87%	14/10/2017	17:12:00 p.m.	87%
14/10/2017	14:18:00 p.m.	87%	14/10/2017	17:19:00 p.m.	86%
14/10/2017	14:23:00 p.m.	87%	14/10/2017	17:25:00 p.m.	83%
14/10/2017	14:28:00 p.m.	87%	14/10/2017	17:30:00 p.m.	86%
14/10/2017	14:33:00 p.m.	88%	14/10/2017	17:35:00 p.m.	84%
14/10/2017	14:41:00 p.m.	88%	14/10/2017	17:40:00 p.m.	86%
14/10/2017	14:45:00 p.m.	88%	14/10/2017	17:45:00 p.m.	87%
14/10/2017	14:48:00 p.m.	88%	14/10/2017	17:50:00 p.m.	87%
14/10/2017	14:51:00 p.m.	87%	14/10/2017	17:53:00 p.m.	87%
14/10/2017	14:57:00 p.m.	88%	14/10/2017	17:57:00 p.m.	86%
14/10/2017	14:58:00 p.m.	88%	14/10/2017	17:59:00 p.m.	87%

Figura 75 → Tablas de datos humedad relativa 14/10/2017

## Anexo 7 → Tablas de datos tomados de humedad relativa del 11 de nov de 2017

HUMEDAD RELATIVA			HUMEDAD RELATIVA		
FECHA	HORA	VAR HUM AMBIENTE SENSOR DHT11	FECHA	HORA	AMBIENTE SENSOR DHT11
11/11/2017	07:00:00 a.m.	94%	11/11/2017	10:00:00 a.m.	85%
11/11/2017	07:05:00 a.m.	94%	11/11/2017	10:05:00 a.m.	84%
11/11/2017	07:12:00 a.m.	95%	11/11/2017	10:12:00 a.m.	84%
11/11/2017	07:17:00 a.m.	94%	11/11/2017	10:17:00 a.m.	84%
11/11/2017	07:23:00 a.m.	94%	11/11/2017	10:23:00 a.m.	84%
11/11/2017	07:28:00 a.m.	94%	11/11/2017	10:28:00 a.m.	84%
11/11/2017	07:35:00 a.m.	94%	11/11/2017	10:35:00 a.m.	84%
11/11/2017	07:41:00 a.m.	94%	11/11/2017	10:41:00 a.m.	83%
11/11/2017	07:45:00 a.m.	95%	11/11/2017	10:45:00 a.m.	83%
11/11/2017	07:49:00 a.m.	95%	11/11/2017	10:49:00 a.m.	83%
11/11/2017	07:51:00 a.m.	92%	11/11/2017	10:51:00 a.m.	82%
11/11/2017	07:57:00 a.m.	95%	11/11/2017	10:57:00 a.m.	83%
11/11/2017	08:00:00 a.m.	92%	11/11/2017	10:59:00 a.m.	81%

HUMEDAD RELATIVA			HUMEDAD RELATIVA		
FECHA	HORA	VAR HUM AMBIENTE SENSOR DHT11	FECHA	HORA	VAR HUM AMBIENTE SENSOR DHT11
11/11/2017	14:00:00 p.m.	79%	11/11/2017	17:00:00 p.m.	80%
11/11/2017	14:05:00 p.m.	79%	11/11/2017	17:05:00 p.m.	83%
11/11/2017	14:12:00 p.m.	79%	11/11/2017	17:12:00 p.m.	81%
11/11/2017	14:17:00 p.m.	77%	11/11/2017	17:17:00 p.m.	82%
11/11/2017	14:23:00 p.m.	77%	11/11/2017	17:23:00 p.m.	83%
11/11/2017	14:28:00 p.m.	77%	11/11/2017	17:28:00 p.m.	84%
11/11/2017	14:35:00 p.m.	76%	11/11/2017	17:35:00 p.m.	85%
11/11/2017	14:41:00 p.m.	77%	11/11/2017	17:41:00 p.m.	85%
11/11/2017	14:45:00 p.m.	76%	11/11/2017	17:45:00 p.m.	86%
11/11/2017	14:49:00 p.m.	78%	11/11/2017	17:49:00 p.m.	86%
11/11/2017	14:51:00 p.m.	74%	11/11/2017	17:51:00 p.m.	87%
11/11/2017	14:57:00 p.m.	76%	11/11/2017	17:57:00 p.m.	86%
11/11/2017	14:59:00 p.m.	74%	11/11/2017	17:59:00 p.m.	88%

Figura 76→ Tablas de datos humedad relativa 11/11/2017

## Anexo 8 → Tablas de datos tomados de humedad en el suelo del 14 de oct de 2017

Humedad en el Suelo			
FECHA	HORA	Profundidad	VAR HUM % SENSOR DHT11
14/10/2017	07:00:00 a.m.	9 Cm	5%
14/10/2017	07:06:00 a.m.	9 Cm	6%
14/10/2017	07:15:00 a.m.	9 Cm	5%
14/10/2017	07:17:00 a.m.	9 Cm	5%
14/10/2017	07:25:00 a.m.	9 Cm	5%
14/10/2017	07:27:00 a.m.	9 Cm	5%
14/10/2017	07:33:00 a.m.	9 Cm	5%
14/10/2017	07:44:00 a.m.	9 Cm	5%
14/10/2017	07:47:00 a.m.	9 Cm	5%
14/10/2017	07:49:00 a.m.	9 Cm	6%
14/10/2017	07:53:00 a.m.	9 Cm	6%
14/10/2017	07:57:00 a.m.	9 Cm	6%
14/10/2017	07:59:00 a.m.	9 Cm	6%

Humedad en el Suelo			
FECHA	HORA	Profundidad	VAR HUM % SENSOR DHT11
14/10/2017	10:01:00 a.m.	13 Cm	22%
14/10/2017	10:07:00 a.m.	13 Cm	22%
14/10/2017	10:13:00 a.m.	13 Cm	22%
14/10/2017	10:19:00 a.m.	13 Cm	22%
14/10/2017	10:23:00 a.m.	13 Cm	22%
14/10/2017	10:28:00 a.m.	13 Cm	22%
14/10/2017	10:33:00 a.m.	13 Cm	22%
14/10/2017	10:44:00 a.m.	13 Cm	22%
14/10/2017	10:49:00 a.m.	13 Cm	23%
14/10/2017	10:53:00 a.m.	13 Cm	22%
14/10/2017	10:55:00 a.m.	13 Cm	23%
14/10/2017	10:57:00 a.m.	13 Cm	22%
14/10/2017	10:59:00 a.m.	13 Cm	22%

Humedad en el Suelo			
FECHA	HORA	Profundidad	VAR HUM % SENSOR DHT11
14/10/2017	14:00:00 p.m.	30 Cm	35%
14/10/2017	14:05:00 p.m.	30 Cm	35%
14/10/2017	14:12:00 p.m.	30 Cm	36%
14/10/2017	14:18:00 p.m.	30 Cm	36%
14/10/2017	14:23:00 p.m.	30 Cm	35%
14/10/2017	14:28:00 p.m.	30 Cm	36%
14/10/2017	14:33:00 p.m.	30 Cm	35%
14/10/2017	14:41:00 p.m.	30 Cm	34%
14/10/2017	14:43:00 p.m.	30 Cm	35%
14/10/2017	14:48:00 p.m.	30 Cm	35%
14/10/2017	14:51:00 p.m.	30 Cm	35%
14/10/2017	14:57:00 p.m.	30 Cm	35%
14/10/2017	14:58:00 p.m.	30 Cm	35%

Humedad en el Suelo			
FECHA	HORA	Profundidad	VAR HUM % SENSOR DHT11
14/10/2017	17:02:00 p.m.	40 cm	60%
14/10/2017	17:05:00 p.m.	40 cm	61%
14/10/2017	17:12:00 p.m.	40 cm	62%
14/10/2017	17:19:00 p.m.	40 cm	61%
14/10/2017	17:25:00 p.m.	40 cm	62%
14/10/2017	17:30:00 p.m.	40 cm	62%
14/10/2017	17:35:00 p.m.	40 cm	63%
14/10/2017	17:40:00 p.m.	40 cm	61%
14/10/2017	17:45:00 p.m.	40 cm	62%
14/10/2017	17:50:00 p.m.	40 cm	61%
14/10/2017	17:53:00 p.m.	40 cm	61%
14/10/2017	17:57:00 p.m.	40 cm	62%
14/10/2017	17:59:00 p.m.	40 cm	61%

Figura 77 → Tablas de datos humedad en el suelo 14/10/2017

## Anexo 9 → Tablas de datos tomados de conductividad y pH

Antes de Administrar Solucion Nutritiva					
FECHA	HORA	LUGAR	Conductividad CE dS m-1	Ph alcalinidad	
14/10/2017	07:00:00 a.m.	RIEGO	1,20	5,1	
14/10/2017	07:06:00 a.m.	MANGUERAS	1,24	5,2	
14/10/2017	07:15:00 a.m.	ALBERCA	1,26	5,3	
14/10/2017	07:17:00 a.m.	RIEGO	1,18	5,3	
14/10/2017	07:25:00 a.m.	MANGUERAS	1,22	5,3	
14/10/2017	07:27:00 a.m.	ALBERCA	1,25	5,5	
14/10/2017	07:35:00 a.m.	RIEGO	1,24	5,3	
14/10/2017	07:44:00 a.m.	MANGUERAS	1,24	5,4	
14/10/2017	07:47:00 a.m.	ALBERCA	1,18	5,3	
14/10/2017	07:49:00 a.m.	RIEGO	1,24	6,0	
14/10/2017	07:53:00 a.m.	MANGUERAS	1,25	6,1	
14/10/2017	07:57:00 a.m.	ALBERCA	1,24	5,8	
14/10/2017	07:59:00 a.m.	ALBERCA	1,25	6,1	

Figura 78 → Tablas de datos conductividad y pH del 14/10/2017


Luego de Administrar el Sustrato Nutricional					
FECHA	HORA	LUGAR	conductividad dS m-1	Ph Alcalinidad	
14/10/2017	10:01:00 a.m.	RIEGO	0,78	7,18	
14/10/2017	10:07:00 a.m.	MANGUERAS	0,78	7,05	
14/10/2017	10:13:00 a.m.	ALBERCA	0,78	7,12	
14/10/2017	10:19:00 a.m.	RIEGO	0,78	7,15	
14/10/2017	10:23:00 a.m.	MANGUERAS	0,77	7,18	
14/10/2017	10:28:00 a.m.	ALBERCA	0,78	7,16	
14/10/2017	10:33:00 a.m.	RIEGO	0,78	7,12	
14/10/2017	10:44:00 a.m.	MANGUERAS	0,79	7,18	
14/10/2017	10:49:00 a.m.	ALBERCA	0,78	7,16	
14/10/2017	10:53:00 a.m.	RIEGO	0,78	7,15	
14/10/2017	10:55:00 a.m.	MANGUERAS	0,79	7,18	
14/10/2017	10:57:00 a.m.	ALBERCA	0,78	7,18	
14/10/2017	10:59:00 a.m.	ALBERCA	0,78	7,16	

Figura 79 → Tablas de datos conductividad y pH del 14/10/2017

ANALISIS General de las muestras tomada en la Vereda Mancilla del suelo.		
Origen de la Muestra	Ph suelo	Conductividad Electrica CE
Agua del Acueducto Mancilla	6,8	1,24
Agua del Riego	6,5	1,26
Suelo al Inicio del cultivo	5,8	1,2
suelo arcilloso	5,5	1,26
suelo Arenoso	5,1	1,2
Antes SSN	7,2	1,26
Despues SSN	5,5	0,76

Figura 80 → Tablas de datos conductividad y pH –Análisis general–

## Anexo 10 → – Poster Uniagraria 2017




22 - 23  
AGOSTO 2017

### Sistema para el Monitoreo de Variables Medioambientales Mediante Red de Sensores de IoT con Énfasis al Sector

Juan Carlos Amaya Díaz, Luzmila Rojas Estrada

UNAD-ECBTI- ETR- JAG



22 - 23  
AGOSTO 2017

**INTRODUCCIÓN:** El proyecto se basa en recoger automáticamente datos del estado de los cultivos mediante una red de sensores, como son Temperatura, Humedad Relativa, conductividad, pH de la tierra, esto nos permitirá realizar procesos inteligentes y con precisión, mejorando la eficiencia de los cultivos, aumentando las ganancias y la disminución en los costos para el campo de Colombia. Esta herramienta es clave en la toma de decisiones, porque genera información valiosa para realizar predicciones de climas y mediciones meteorológicas para el análisis de datos de las plantas y el suelo. Teniendo en cuenta las variables históricas de microclimas en fincas dedicadas a diferentes cultivos.

Lo novedoso es que esta información que es recogida en los cultivos puede ser consultada a través de cualquier dispositivo móvil desde cualquier lugar y en todo momento.



Figura 1. Arquitectura básica de un sistema IoT

**OBJETIVOS**

**GENERAL:** Diseñar e implementar un sistema de monitoreo en tiempo real de variables medioambientales para el sector agrícola y ambiental mediante red de sensores IoT.

**ESPECÍFICOS:**

- Caracterizar las condiciones ideales del clima para los cultivos en las zonas dentro de la sabana de Bogotá donde se desea implementar el sistema a partir de estudios previos y red de expertos (ingenieros ambientales, agrónomos, rotoecistas).
- Desarrollar hardware específico que permita realizar un seguimiento de un cultivo midiendo de las variables más relevantes para su caracterización.
- Implementar la arquitectura básica para el desarrollo de una red de sensores IoT.

**METODOLOGÍA (MATERIALES Y MÉTODOS):**

Fase 1. Conocer el proceso realizado por pequeños y medianos productores de cultivos en la sabana de Bogotá, e identificar las variables medioambientales más importantes y poder delimitar el espacio y alcance del proyecto.

Fase 2. El levantamiento de información y estado del arte relacionado con el tema de investigación, instrumentación, interfaces de comunicación, protocolos, procesamiento, plataforma o servicio web, etc.

Fase3. Diseño de sistema (hardware y firmware) para la adquisición de los datos transmitidos por los sensores.

Fase 4. Se establecerá y desarrollará un protocolo para la comunicación remota entre la unidad y la nube. Se realizará la configuración, parametrización y puesta en marcha de la unidad terminal remota.

**RESULTADOS:** En la plataforma se logra visualizar los datos y realizar consultas desde un dispositivo móvil en tiempo real.



Figura 2. Aplicaciones web y celular




Figura 3. Prototipo Central de control y fuerza del sistema expuesto en Campo Unad, Estación Meteorológica.

**CONCLUSIONES:** En las pruebas de la primera versión del prototipo los resultados fueron satisfactorios debido a que se logra interconectar los sensores PH, conductividad, Temperatura y Humedad Relativa a la central inalámbrica, logrando medir 2 ubicaciones dentro de la zona a utilizar, los sensores funcionan a una frecuencia de 60Hz vía inalámbrica con una distancia en línea de vista de 1 km., realizando la primera fase del proyecto consistió de la utilización de dichos sensores que permitirán medir diferentes zonas de un cultivo que requiera un ambiente modificable y que envíen los datos en tiempo real al sistema para futuras tomas de decisiones importantes en el desarrollo de un cultivo cambiando las condiciones medioambientales favorables.

1,50  
METROS

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

Mendezbaru, H. (2001). Automatización medioambiental. Recuperado de: <http://www.iceus.com/cgi-bin/ac/pu/AutomatizacionMedioambiental.pdf> Evans, D. Internet de las cosas, Informe mundial Cisco. Recuperado de: [http://www.cisco.com/colombia/colombia\\_the\\_solutions\\_beyond\\_the\\_network\\_of\\_things.pdf](http://www.cisco.com/colombia/colombia_the_solutions_beyond_the_network_of_things.pdf)

Michel, G. (1997). Automatas programables industriales, España. Marcombo. Vallet, N. (2014). Intel Do It Yourself Challenge Networking. Recuperado de: [https://software.intel.com/sites/default/files/IntelAcademic IoT\\_03\\_Networking.pdf](https://software.intel.com/sites/default/files/IntelAcademic IoT_03_Networking.pdf)

Méndez D. (2015). Principios de Internet de las cosas IoT. Bogotá D.C.: Minic, Colecciones, universidad Iveriana e Intel certificación internacional.

Fuente: poster Uniagraria



Anexo 11 → Poster y foto Evento Expotech, 2016 – UNAD



**UNAD**  
Universidad Nacional  
Abierta y a Distancia

Sistema para el monitoreo de variables medioambientales mediante red de sensores de IoT con énfasis al sector agroindustrial

Juan Carlos Amaya Díaz, Luzmila Rojas Estrada

ECBTI- ETR- JAG



ExpoTech 2016  
Tecnología de punta para enfrentar los retos del futuro

**INTRODUCCIÓN:** El proyecto se basa en recoger automáticamente datos del estado de los cultivos mediante una red de sensores, como son Temperatura, Humedad Relativa, conductividad (EC) de la tierra, esto nos permitirá realizar procesos inteligentes y con precisión, mejorando la eficiencia de los cultivos, aumentando las ganancias y la disminución en los costos para el campesino de Colombia. Sirviendo como una herramienta de Gestión en su labor diaria en el campo. Esta herramienta se creó en la zona de decisión, porque genera información valiosa para realizar predicciones de clima y mediciones meteorológicas para el análisis de datos de la planta y el suelo. Teniendo en cuenta las variables históricas de microclimas en fincas dedicadas a diferentes cultivos.

Lo novedoso es que esta información que se recoge en los cultivos puede ser consultada a través de cualquier dispositivo móvil desde cualquier lugar y en todo momento.

**OBJETIVOS:**

**GENERALES:** Crear e implementar un sistema de monitoreo en tiempo real de variables medioambientales para el sector agrícola y ambiental mediante red de sensores IoT.

**ESPECÍFICOS:**

- Aplicar los conocimientos tecnológicos adquiridos para el desarrollo de una herramienta tecnológica de medición de variables en tiempo real.
- Caracterizar las condiciones ideales del clima para los cultivos en las zonas dentro de la sabana de Bogotá donde se desea implementar el sistema a partir de estudios previos y red de sensores (ingeniería ambiental, agrónomos, zootecistas).
- Desarrollar hardware específico que permita realizar un seguimiento de un cultivo midiendo de las variables más relevantes para su caracterización.
- Implementar la arquitectura básica para el desarrollo de una red de sensores IoT.
- Desarrollar la primera estación meteorológica en "Riego en un Café" de la universidad UNAD.

**METODOLOGÍA (MATERIALES Y MÉTODOS):**

Fase 1. Conocer el proceso realizado por pequeños y medianos productores de cultivos en la sabana de Bogotá, e identificar las variables medioambientales más importantes y poder delimitar el espacio y alcance del proyecto.

Fase 2. el levantamiento de información y estado del arte relacionado con el tema de Investigación, Instrumentación, Interfaces de comunicación, procesos procesamiento, plataforma de desarrollo, etc.

Fase 3. Diseño de sistema (hardware y firmware) para la adquisición de los datos transmitidos por los sensores.

Fase 4. Se establecieron y desarrolló un protocolo para la comunicación remota entre la unidad y la nube. Se realizó la configuración de **Arduino Uno** puesta en marcha de la unidad terminal remota.

**RESULTADOS:** En la plataforma se logra visualizar los datos y realizar consultas desde un dispositivo móvil en tiempo real.



**CONCLUSIONES:** En las pruebas de la primera versión del prototipo los resultados fueron satisfactorios debido a que se logra interconectar los sensores PH, conductividad, Temperatura y Humedad Relativa a la central inalámbrica, logrando medir 2 ubicaciones dentro de la zona a utilizar, los sensores funcionan a una frecuencia de 424MHz vía Inalámbrica con una distancia en línea de vista de 2 km., realizando la primera fase del proyecto consta de la utilización de dichos sensores que permitirán medir diferentes zonas de un cultivo que requieren un ambiente modificado y que envíen los datos en tiempo real al sistema para futuras tomas de decisiones importantes en el desarrollo de un cultivo cambiando las condiciones medioambientales favorables.



Foto Prototipo **Arduino Uno**

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

Medina, H. (2002). Automatización medioambiental. Recuperado de: <http://www.foctus.com/ig-bin/ig/automatizacion/medioambiental.pdf>

Guano, G. (2011). Internet de las cosas, Informe mundial Cisco. Recuperado de: [http://www.cisco.com/latam/global/latam\\_solutions/leavedocs/assets/pdf/Internet-of-Things-ES-Spanish.pdf](http://www.cisco.com/latam/global/latam_solutions/leavedocs/assets/pdf/Internet-of-Things-ES-Spanish.pdf)

Michael, C. (1997). Automatización programable Industrial. España, **Miguel Ángel**.

Ullrich, N. (2014). Intel Co-Edge Challenge Networking. Recuperado de: [https://software.intel.com/sites/default/files/IntelAcademicIoT\\_De\\_Networking.pdf](https://software.intel.com/sites/default/files/IntelAcademicIoT_De_Networking.pdf)

Robledo, D. (2015). **Robótica de Integración de las cosas IoT**. Bogotá D. C.: Mistic Colombia, universidad javierana e Intel certificación Internacional.

1,50  
MTR  
OS



Fuente: poster Expotech



## Anexo 12 → Artículo Publicado Revista Procedia Computer Science -Nivel Q2



Available online at [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)

**ScienceDirect**

Procedia Computer Science 170 (2020) 1083–1089

**Procedia**  
Computer Science

[www.elsevier.com/locate/procedia](http://www.elsevier.com/locate/procedia)

The 4th International Workshop on Recent advances on Internet of Things: Technology and Application Approaches (IoT-T&A 2020)  
April 6-9, 2020, Warsaw, Poland

## Monitoring system of environmental variables for a strawberry crop using IoT tools

Amaya Diaz Juan Carlos<sup>a</sup>, Luzmila Rojas Estrada<sup>b</sup>, Cardenas-Ruiz, Cesar Augusto<sup>a</sup>, Ariza-Colpas Paola Patricia<sup>c</sup>, Piñeres-Melo Marlon Alberto<sup>d</sup>, Ramayo González Ramón Enrique<sup>e</sup>, Morales-Ortega, Roberto César<sup>e</sup>, Ovallos- Gazabon David Alfredo<sup>f</sup>, Collazos-Morales Carlos Andrés<sup>a,\*</sup>

<sup>a</sup>Universidad Manuela Beltrán, Bogotá, Colombia

<sup>b</sup>Servicio Nacional de Aprendizaje SENA, Bogotá, Colombia

<sup>c</sup>Universidad de la Costa, Barranquilla, Colombia

<sup>d</sup>Universidad del Norte, Barranquilla, Colombia

<sup>e</sup>Universidad Federal Rural de Pernambuco, Pernambuco, Brasil

<sup>f</sup>Universidad Simón Bolívar, Barranquilla, Colombia

### Abstract

This research work is aimed at strengthening the resources that farmers have for crops management of pests and diseases in a digital way using internet of things through the development of a prototype. It can obtain important information of variables within a strawberry crop such as Relative Humidity, temperature and pH. These data are processed and received by means of protocols in real time. These devices allow managing the information of different variables through communication among sensors. This study presents the most critical characteristics of the strawberry by using the data collection of an IoT system. In this way the initial results can demonstrate that the system yields important information for the appropriate management of strawberry crop production.

© 2020 The Authors. Published by Elsevier B.V.

This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

Peer-review under responsibility of the Conference Program Chairs.

*Keywords:* Internet of Things, strawberry, humidity, temperature, pH, conductivity

\* Corresponding author. Tel.: +57-310-577-8711; fax: +57-031-5460600.

E-mail address: [ccollazos@gmail.com](mailto:ccollazos@gmail.com).

Fuente: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050920305044#!>

**Anexo 13 → Capacitación Colegio Facatativá. Red de sensores con tecnología IoT**

Evento Colegio Agrícola Facatativá  
Prueba de Variables Ambientales en Cultivo y Charla Red de Sensores  
IoT Aplicación en Cultivos.



Fuente: elaboración propia

## **Anexo 14 → Productos relacionados con el Sistema de Sensores Tecnología IoT**

### ***Proyecto de investigación Pie 15-2016***

En el 2016 se realizó el proyecto de investigación bajo el código PIE 15-2016 con la Universidad Abierta a Distancia UNAD, avalado por el Grupo de Investigación GIDESTEC, código de Colciencias COL0111569, bajo el título “*Sistema para el monitoreo de variables medioambientales mediante red de sensores de IoT con énfasis al sector agroindustrial*”, de forma colaborativa con el ingeniero Juan Carlos Amaya Díaz. Este proyecto planteó el diseño e implementación de un sistema de medición en tiempo real con el uso de una Red de sensores IoT, distribuidos en diferentes zonas en cualquier cultivo, tomando muestras de variables que permiten realizar análisis para la predicción en los procesos de la cadena de producción, y la creación de alertas con base en los resultados del sistema de control electrónico instalado; experiencia que se tuvo en cuenta para realizar esta tesis.

### ***Video institucional***

En el 2016 también se realizó el video institucional del siguiente enlace:

<https://www.youtube.com/watch?v=ukYC8e9lSYE&authuser=0>

Con la participación colaborativa del ingeniero Juan Carlos Amaya Díaz, el video explica en detalle los objetivos de las soluciones tecnológicas relacionadas con la aplicación, en el macro Proyecto Campo UNAD, en su módulo de Aplicación Tecnológica Agromediciones.

### ***Capítulo de libro publicado***

Como producto asociado se publica un capítulo con la Universidad Manuela Beltrán, en el libro *Investigación desarrollo e innovación en las tecnologías de la información y la comunicación*. Capítulo “Arquitectura de sistema de sensores basados en Internet de las cosas para ambientes modificados en estudio de caso de viveros”, pagina 35, ISBN: 978-958-5467-06-4. Su finalidad

fue demostrar la aplicabilidad de la toma de variables en diferentes escenarios como es el ambiente modificado en un invernadero con la Red de Sensores.

Link de consulta:<https://www.umb.edu.co/libros-editorial-UMB/investigacion-desarrollo-e-innovacion-en-las-tic-universidad-manuela-beltran.pdf>

### ***Ponencias***

- ✓ Evento Expotech, 2016(Ver anexo 11)
- ✓ Evento Uniagraria, 2017 (Ver anexo 12)
- ✓ Ponencia en el Colegio Agropecuario Facatativá con Prueba de la Red de Sensores en los cultivos del colegio (ver anexo 13).

### ***Artículo científico radicado***

En el desarrollo del SIA III, como resultado del curso, se estructuró en base a las variables recolectadas con la Red de sensores y analizadas, el siguiente artículo relacionado con el tema de estudio y se radicó como lo indica el anexo 13. Con el título de “*Sistema de monitoreo de variables medioambientales en un cultivo de fresa, análisis de plagas y enfermedades relacionadas utilizando las herramientas IoT*”. El objetivo es presentar las características más críticas de la fresa, a través de la toma de datos de un sistema IoT. De esta forma, los resultados iniciales pueden demostrar que el sistema arroja información importante para el manejo adecuado de la producción de los cultivos de fresa.

**Anexo 15 → Concurso Ventures Finalista**

**LA CORPORACION VENTURES**  
NIT. 900.282.782-5

**CERTIFICA QUE**

Luzmila Rojas Estrada, identificada con la cédula de ciudadanía 49773056, hace parte del grupo de participantes del Concurso Ventures 2016 con el proyecto **Red de sensores IoT para cultivos** convocados para participar en la Fase de Entrevistas y Entrenamientos que se realizaron los días 26, 27, 28, 29 y 30 de septiembre y el día 7 de octubre en la ciudad de Bogotá.

La presente certificación se expide en la ciudad de Bogotá, a los 10 días del mes de octubre de 2016.

Atentamente,

**Paulette Franco**  
Coordinadora Concurso Ventures  
Corporación Ventures

Corporación Ventures – NIT 900.282.782-5 – [www.ventures.com.co](http://www.ventures.com.co)  
Tel: (1) 6912122 – Bogotá – Colombia

---

Fuente: Correspondencia Ventures.