

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

**SEDE QUITO**

**CARRERA:**

**INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:**

**INGENIERA ELECTRÓNICA**

**TEMA:**

**DESARROLLO DE UN PROTOTIPO ELECTRÓNICO PARA CONTROL DE  
HELADAS EN CULTIVOS DE ARÁNDANOS PARA PEQUEÑOS  
PRODUCTORES DE LA SIERRA**

**AUTORA:**

**LIZBETH ANDREA RIVADENEIRA AVILA**

**TUTOR:**

**CARLOS AUGUSTO CUICHÁN MORALES**

**Quito, Agosto 2021**

## **CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR**

Yo, Lizbeth Andrea Rivadeneira Avila, con documento de identificación N° 1717432551, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autora del trabajo de titulación intitulado: DESARROLLO DE UN PROTOTIPO ELECTRÓNICO PARA CONTROL DE HELADAS EN CULTIVOS DE ARÁNDANOS PARA PEQUEÑOS PRODUCTORES EN LA SIERRA, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: INGENIERA ELECTRÓNICA, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autora me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega el trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



.....  
Lizbeth Andrea Rivadeniera Avila

C.I. N° 1717432551

Quito, Agosto 2021

## DECLARACIÓN DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación DESARROLLO DE UN PROTOTIPO ELECTRÓNICO PARA CONTROL DE HELADAS EN CULTIVOS DE ARÁNDANOS PARA PEQUEÑOS PRODUCTORES EN LA SIERRA realizado por Lizbeth Andrea Rivadeneira Avila, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerado como trabajo final de titulación.

Quito, Agosto 2021



.....  
Carlos Augusto Cuichán Morales

Cédula de identidad: 1714389721

## **DEDICATORIA**

Dedico el presente trabajo de titulación, primero a Dios por permitirme llegar hasta estas instancias, a mis padres Carmina y Delfín, por su apoyo incondicional durante este arduo camino, formándome tanto de manera personal como profesional.

Aunque hoy no pueda estar físicamente conmigo, este logro también es tuyo Alba Marina.

**Lizbeth**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco infinitamente a mi tutor Ing. Carlos Cuichán, por guiarme durante este proceso, por sus conocimientos, consejos, paciencia y comprensión.

A cada uno de los docentes con los que pude compartir durante mi vida estudiantil por haberme brindado sus conocimientos y su apoyo.

A mis amigos: Jorge, Marco, Miguel, Carlos, Ismael, Óscar y Diego; con quienes compartimos risas y llantos de frustración de vez en cuando; gracias por sus sugerencias, por la motivación y por estar cuando los he necesitado.

## ÍNDICE

Cesión de derechos de autor.....	ii
Declaración de coautoría del docente tutor .....	iii
Dedicatoria.....	iv
Agradecimientos.....	v
Índice .....	vi
Índice de figuras .....	x
Índice de tablas.....	xii
Índice de diagramas .....	xiv
Resumen.....	xv
Abstract.....	xvi
Introducción .....	xvii
<b>CAPÍTULO 1.....</b>	<b>1</b>
<b>ANTECEDENTES .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Planteamiento Del Problema.....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Justificación .....</b>	<b>3</b>
<b>1.3 Objetivos .....</b>	<b>4</b>
<b>1.3.1 Objetivo General .....</b>	<b>4</b>
<b>1.3.2 Objetivos Específicos .....</b>	<b>4</b>
<b>1.4 Metodología .....</b>	<b>4</b>
<b>1.5 Beneficiarios .....</b>	<b>5</b>
<b>CAPÍTULO 2.....</b>	<b>6</b>
<b>FUNDAMENTO TEÓRICO.....</b>	<b>6</b>
<b>2.1 Las Heladas.....</b>	<b>6</b>
<b>2.1.1 Efectos De La Helada.....</b>	<b>9</b>

2.2	Mitigación De Heladas .....	10
2.3	Cultivo De Arándanos .....	10
2.4	Sistemas Existentes Y Agricultura De Precisión .....	14
2.4.1	Tarjetas DE Desarrollo O Control .....	15
2.4.2	Sensores Y Transductores .....	18
2.4.3	Sistemas De Comunicaciones .....	20
<b>CAPÍTULO 3.....</b>		<b>23</b>
<b>DISEÑO DEL PROTOTIPO .....</b>		<b>23</b>
3.1	Descripción De Los Procesos A Cumplirse.....	23
3.2	Módulos Y Componentes.....	24
3.2.1	Módulo De Detección O Alerta .....	25
3.2.2	Módulo De Almacenamiento De Datos .....	29
3.2.3	Interfaz De Usuario.....	31
3.2.4	Módulo De Control .....	32
3.2.5	Módulo Actuador .....	34
<b>CAPÍTULO 4.....</b>		<b>35</b>
<b>IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO .....</b>		<b>35</b>
4.1	Módulo De Detección .....	35
4.2	Módulo De Comunicación .....	36
4.3	Módulo De Almacenamiento.....	42
4.4	Interfaz De Usuario Y Módulo De Control .....	43
4.5	Módulo De Actuador .....	45
<b>CAPÍTULO 5.....</b>		<b>49</b>
<b>ANÁLISIS Y RESULTADOS.....</b>		<b>49</b>
5.1	Descripción Del Escenario De Pruebas .....	49
5.1.1	Módulo De Detección O Alerta .....	50
5.1.2	Módulo De Comunicación .....	51
5.1.3	Módulo De Almacenamiento.....	52
5.1.4	Módulos De Interfaz De Usuario Y Control.....	53

5.1.4.1	Configuración Del Menú .....	54
5.2	Escenario De Pruebas .....	54
5.2.1	Prueba En La Medición De Temperatura .....	54
5.2.1.1	Emisión De Alerta .....	55
5.2.1.2	Comparativa De Resolución.....	55
5.2.1.3	Prueba En La Medición De Humedad De Suelo .....	55
5.2.1.4	Prueba En La Medición De Radiación Solar.....	56
5.3	Resultados Obtenidos .....	56
5.3.1	Sensor De Temperatura Y Humedad Dht21 .....	56
5.3.2	Sensor De Humedad De Suelo Fc-28 .....	57
5.3.3	Sensor De Radiación Guva S12sd.....	58
5.3.4	Prueba De Estabilidad De Los Sensores .....	59
<b>CAPÍTULO 6.....</b>		<b>63</b>
<b>ANÁLISIS DE COSTOS .....</b>		<b>63</b>
6.1	Costos Del Prototipo .....	63
6.2	Indicadores Económicos .....	63
6.2.1	Valor Actual Neto (Van).....	63
6.2.2	Tasa De Interés De Descuento (Td).....	64
6.2.3	Tasa De Interna De Retorno .....	64
6.2.4	Periodo De Recuperación De Capital (Pri).....	65
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>		<b>67</b>
Conclusiones .....		67
Recomendaciones .....		68
<b>REFERENCIAS.....</b>		<b>69</b>
<b>ANEXOS.....</b>		<b>73</b>
Anexo 1.....		73
Programación Del Prototipo (Emisor) .....		73
Programación Del Prototipo (Receptor) .....		75
Anexo 2.....		2

<b>Mapas De Riesgo Por Heladas En Ecuador.....</b>	<b>2</b>
<b>Anexo 3.....</b>	<b>3</b>
<b>Visualización De Módulo De Interfaz .....</b>	<b>3</b>
<b>Anexo 5.....</b>	<b>4</b>
<b>Manual De Usuario Del Prototipo Para Control De Heladas En Cultivos De Arándanos Para Pequeños Productores De La Sierra .....</b>	<b>4</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1. Importancia del relieve del terreno.....</b>	<b>7</b>
<b>Figura 2. Mapa de amenaza climática ante heladas .....</b>	<b>10</b>
<b>Figura 3. Tarjetas de Desarrollo.....</b>	<b>18</b>
<b>Figura 4. Modelo de Sensores .....</b>	<b>19</b>
<b>Figura 5. Direccionalidad de las comunicaciones .....</b>	<b>21</b>
<b>Figura 6. Módulos que componen al Prototipo .....</b>	<b>24</b>
<b>Figura 7. Esquema de conexiones de Módulo de Detección o Alerta .....</b>	<b>27</b>
<b>Figura 8. Módulo de comunicación .....</b>	<b>29</b>
<b>Figura 9. Módulo de Almacenamiento.....</b>	<b>31</b>
<b>Figura 10. Interfaz de Usuario.....</b>	<b>32</b>
<b>Figura 11. Módulo de Control .....</b>	<b>33</b>
<b>Figura 12. Diagrama de conexiones del Módulo de Detección o Alerta.....</b>	<b>36</b>
<b>Figura 13. Módulo de Detección o Alerta Implementado .....</b>	<b>36</b>
<b>Figura 14. Rol Coordinador Configuración Inicial .....</b>	<b>38</b>
<b>Figura 15. Rol Coordinador Configuración de Red .....</b>	<b>38</b>
<b>Figura 16. Rol Router Configuración Inicial.....</b>	<b>39</b>
<b>Figura 17. Rol Router Configuración de Red.....</b>	<b>40</b>
<b>Figura 18. Comparación trama del sensor de Humedad FC-28.....</b>	<b>40</b>
<b>Figura 19. Comparación trama del sensor de Temperatura DHT-21.....</b>	<b>41</b>
<b>Figura 20. Comparación trama del sensor de Radiación GUVB-S12SD.....</b>	<b>41</b>
<b>Figura 21. Diagrama de Conexiones Módulos de comunicación XBee S2C.....</b>	<b>42</b>
<b>Figura 22. Módulo de comunicación XBee S2C Implementado .....</b>	<b>42</b>
<b>Figura 23. Diagrama de Conexiones Módulos de Almacenamiento.....</b>	<b>43</b>
<b>Figura 24. Módulo de Almacenamiento Implementado .....</b>	<b>43</b>

<b>Figura 25. Diagrama de Conexiones Módulos de Interfaz de Usuario y Control</b>	<b>44</b>
<b>Figura 26. Módulo de Interfaz de Usuario y Control Implementado</b>	<b>45</b>
<b>Figura 27. Diagrama de Conexiones Módulo Actuador Escenario 1 - Alarma Sonora</b>	<b>46</b>
<b>Figura 28. Módulo de Control y Actuador Escenario 1 - Alarma Sonora</b>	<b>46</b>
<b>Figura 29. Diagrama de Conexiones Módulo Actuador Escenario 2 – Bomba Eléctrica</b>	<b>47</b>
<b>Figura 30. Módulo Actuador Escenario 2 – Bomba Eléctrica Implementado</b>	<b>48</b>
<b>Figura 31. Ubicación del terreno de pruebas</b>	<b>49</b>
<b>Figura 32. Terreno de pruebas</b>	<b>50</b>
<b>Figura 33. Colocación del Sensores y módulo implementado</b>	<b>50</b>
<b>Figura 34. Señal de enlace y Cobertura de señal entre Módulo de Detección e Interfaz de Usuario.</b>	<b>52</b>
<b>Figura 35. Datos Módulo Detección.</b>	<b>52</b>
<b>Figura 36. Módulos de Interfaz de Usuario y Control Implementado</b>	<b>53</b>
<b>Figura 37. Menú Desplegado</b>	<b>54</b>
<b>Figura 38. Emisión de Alerta del Fenómeno de Helada</b>	<b>55</b>
<b>Figura 39. Comparativa de Temperatura</b>	<b>55</b>
<b>Figura 40. Mapa de susceptibilidad por heladas</b>	<b>2</b>
<b>Figura 42. Visualización Menú</b>	<b>3</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1. Heladas clasificadas por su intensidad.....</b>	<b>7</b>
<b>Tabla 2. Clasificación de las Heladas .....</b>	<b>8</b>
<b>Tabla 3. Clasificación de las especies comerciales de arándanos .....</b>	<b>11</b>
<b>Tabla 4. Variedades de la Familia Southern Highbush.....</b>	<b>12</b>
<b>Tabla 5. Condiciones climáticas que afectan al arándano .....</b>	<b>12</b>
<b>Tabla 6. Tabla comparativa entre placas.....</b>	<b>16</b>
<b>Tabla 7. Tabla comparativa entre módulos inalámbricos.....</b>	<b>21</b>
<b>Tabla 8. Pines de conexión del Módulo de Detección .....</b>	<b>35</b>
<b>Tabla 9. Configuración Inicial del Módulo Xbee S2C .....</b>	<b>37</b>
<b>Tabla 10. Configuración Inicial del Módulo Xbee S2C .....</b>	<b>39</b>
<b>Tabla 11. Pines de conexión del módulo de Almacenamiento.....</b>	<b>42</b>
<b>Tabla 12. Pines de conexión de Intefaz de Usuario y Módulo de Control .....</b>	<b>44</b>
<b>Tabla 13. Pines de conexión del módulo Actuador Escenario 1 Arduino Mega</b>	<b>45</b>
<b>Tabla 14. Pines de conexión del módulo Actuador Escenario 1 Alarma Sonora</b>	<b>45</b>
<b>Tabla 15. Pines de conexión del módulo Actuador Escenario 2 Arduino Mega</b>	<b>46</b>
<b>Tabla 16. Pines de conexión del módulo Actuador Escenario 2 Bomba Eléctrica .....</b>	<b>47</b>
<b>Tabla 17. Escala RSSI e Interpretación de los valores en dBm basados en las pruebas realizadas de 10 a 150 metros de distancia .....</b>	<b>51</b>
<b>Tabla 18. Rango de valores de voltaje con respecto al tipo de radiación.....</b>	<b>56</b>
<b>Tabla 19. Comparativa de valores Módulo De Detección 1 y Termo-Higrómetro °C .....</b>	<b>57</b>
<b>Tabla 20. Comparativa de valores Módulo De Detección 1 y Termo-Higrómetro en %RH (Humedad Relativa).....</b>	<b>58</b>

<b>Tabla 21. Comparativa de valores Módulo De Detección 1 respecto a Radiación Solar.....</b>	<b>59</b>
<b>Tabla 22. Prueba de estabilidad Módulo de Detección 1 a las 10:00 AM.....</b>	<b>60</b>
<b>Tabla 23. Prueba de estabilidad Módulo de Detección 1 a las 08:00 AM.....</b>	<b>61</b>
<b>Tabla 24. Prueba de estabilidad Módulo de Detección 1 a las 15:00 PM .....</b>	<b>62</b>
<b>Tabla 25. Desglose dispositivo-costo.....</b>	<b>63</b>
<b>Tabla 26. Valores para los cálculos de VAN, TIR y PRI.....</b>	<b>65</b>

## ÍNDICE DE DIAGRAMAS

<b>Diagrama 1. Diagrama de flujo del Módulo de Detección o Alerta .....</b>	<b>27</b>
<b>Diagrama 2. Diagrama de flujo del Módulo de Comunicación .....</b>	<b>29</b>
<b>Diagrama 3. Diagrama de flujo del Módulo de Almacenamiento .....</b>	<b>30</b>
<b>Diagrama 4. Diagrama de flujo del Módulo de Interfaz de Usuario.....</b>	<b>32</b>
<b>Diagrama 5. Diagrama de flujo del Módulo de Control.....</b>	<b>33</b>
<b>Diagrama 6. Diagrama de flujo del Módulo Actuador .....</b>	<b>34</b>

## RESUMEN

En el presente trabajo de titulación se desarrolló un prototipo para control de heladas: de bajo costo, fácil utilización, amigable y sostenible para el Pequeño Productor en cultivos de arándanos en la Sierra Ecuatoriana; con proyección a la mejora y protección de los mismos, vinculando al sector agrícola con nuevas tecnologías que le permitan ganar competitividad en el mercado y la optimización de recursos tanto humanos como económicos.

El diseño del prototipo cuenta con los módulos de: detección, comunicación, interfaz de usuario, control y actuador; empleando en cada uno de ellos dispositivos electrónicos asequibles y de mantenimiento sencillo, asegurando de esta forma el correcto funcionamiento del mismo.

El prototipo monitorea constantemente el cultivo y se activa la alarma sonora o sistema de riego cuando la temperatura ambiente es menor a 4°C, de esta manera se ha tenido un aviso exitoso en la mayor parte de los casos en las pruebas realizadas, ya que este fenómeno depende de los factores climáticos de la región, geografía del terreno y el tipo de cultivo; adicionando un control de humedad del suelo y la radiación, previniendo el daño que estos factores ambientales causan al producto final en un 50% y que muchas veces causa pérdida económica al Pequeño Productor.

## **ABSTRACT**

In this degree work, a prototype for frost control was developed: low cost, easy to use, friendly and sustainable for the small producer in blueberry crops in the Ecuadorian Sierra; with projection to the improvement and protection of the same, linking the agricultural sector with new technologies that allow it to gain competitiveness in the market and the optimization of both human and economic resources.

The design of the prototype has the following modules: detection, communication, user interface, control and actuator; using in each of them affordable electronic devices and simple maintenance, thus ensuring the proper functioning.

The prototype constantly monitors the crop and activates the sound alarm or irrigation system when the ambient temperature is less than 4°C, in this way it has had a successful warning in most cases in the tests carried out, since this phenomenon depends on the climatic factors of the region, geography of the land and the type of crop; adding a control of soil moisture and radiation, preventing the damage that these environmental factors cause to the final product by 50% and that often causes economic loss to the small producer.

## INTRODUCCIÓN

Uno de los mayores factores climáticos que se han incrementado en los últimos tiempos no solo en el Ecuador sino en la región, es el fenómeno de la Helada, el cuál es causante de la pérdida parcial o completa de cultivos de todo tipo, generando que el bolsillo de los Pequeños Agricultores se vea afectado y que la producción disminuya considerablemente.

Con la finalidad de aplicar nuevas tecnologías en el sector agrícola que disminuyan los efectos nocivos generados por el fenómeno de la Helada, y que a su vez mejoren el cuidado y protección de los cultivos, se ha elaborado el presente trabajo de titulación que consta de los siguientes capítulos:

En el capítulo 1 se encuentra los principales inconvenientes provocados por la helada que afecta a los Pequeños Productores en sus cultivos y los objetivos planteados para dar solución con el desarrollo del prototipo.

En el capítulo 2 se describe el fundamento teórico empleado para comprender el origen del fenómeno helada, sus causas y consecuencias en los cultivos.

En el capítulo 3 se describe el diseño del prototipo, el que ha sido dividido en módulos en los cuáles se detalla los dispositivos electrónicos empleados en cada uno de ellos y su respectiva función.

En el capítulo 4 se da a conocer la implementación del prototipo con sus respectivos módulos, los cuáles cubren las necesidades que requiere el cultivo, observando su funcionamiento en tiempo real.

En el capítulo 5 se realiza las pruebas, ajustes y análisis de los resultados; constatando de esta forma la eficacia y fiabilidad en el diseño e implementación del prototipo.

En el capítulo 6 se da a conocer el análisis de costo-beneficio del prototipo implementado enfocada a la economía del Pequeño Productor.

# CAPÍTULO 1

## ANTECEDENTES

### 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Año tras año los pequeños productores agrícolas del país se enfrentan a cambios climáticos que repercuten en sus cultivos. Para enfrentarlos, se basan en conocimientos heredados de sus ancestros, los mismos que están asociados a la cosmovisión andina ecuatoriana, fases lunares o los indicadores biológicos de la plantas o animales.

En épocas de heladas los pequeños agricultores emplean a una persona “campanero”, la misma que es encargada de pasar toda la noche en los cultivos en períodos de heladas, esperando algún cambio de temperatura en el ambiente, y una vez sucedido este cambio se encarga de avisar a los demás agricultores para que salgan con antorchas para mantener la temperatura adecuada del cultivo y esta acción se puede repetir durante varios días, trabajos poco eficientes en el salvataje de cultivos. El pequeño agricultor ha optado como comodidad (carente de apoyo gubernamental), el crear una zona de comfort con ciertos cultivos poco productivos y de auto consumo.

De acuerdo al Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) en su reporte sobre la Información Ambiental en la Agricultura se obtiene una superficie del Territorio Nacional  $256.370 \text{ km}^2$  y la superficie agropecuaria en el 2019 fue de 5'111. 548 de hectáreas donde el 5,11% es superficie destinada para labor agropecuaria.(INEC, 2020) . Por ello en los últimos años, los impactos generados por el cambio climático a nivel de la agricultura es preocupante, ya que es uno de los sectores fundamentales de la historia económica y social del País.(Ministerio de Agricultura, 2017)(Centro Internacional para la investigación del Fenómeno de El Niño (CIIFEN), 2009) La vulnerabilidad de este sector se puede observar de forma empírica visitando las parcelas y los cultivos de los pequeños productores, ya que estos no cuentan con sistemas de prevención y protección contra heladas, como los agricultores a gran escala que disponen de recursos económicos y emplean dichos sistemas.

En el Ecuador, según estadísticas el 90% son productores que utilizando Unidades de Producción Agrícola (UPA) cuentan con menos de 5 hectáreas para producción ganadera y agrícola, los que se caracterizan por ser negocios familiares, manejados por personas que se han dedicado por varios años a la agricultura, generalmente tierras heredadas o de familiares directos, y la gran mayoría el 94.1 % financian su producción con sus escasos recursos.(PRIMICIAS, 2020)(FIAT PANIS, 2020)

La falta de recursos, el escaso conocimiento, la casi nula aplicación de nuevas técnicas, determinan que el pequeño productor se encasille en monocultivos tradicionales como: maíz, papas y hortalizas de hoja; producción obtenida aplicando conocimientos adquiridos de forma empírica y es lo que se aprecia a lo largo y ancho de la zona Andina del País.

Según el Banco Central del Ecuador la media anual de pérdidas por heladas representan el 41,5% entre cultivos permanentes y transitorios con un aproximado de 30 millones de dólares(BCE, 2019), como consecuencia de este evento no sólo se ve reflejada en la producción, además el 67,39% de los suelos quedan en un estado crítico de erosión.(Centro Internacional para la investigación del Fenómeno de El Niño (CIIFEN), 2009)

Los cultivos de la Sierra Ecuatoriana tienen una presión de evolución del 81% y un valor de éxito reproductivo del 19%, lo que se traduce en que la agricultura de esta región está mayormente afectada por factores climáticos (heladas y sequías ),que influyen directamente en el rendimiento. (Aldás, 2019)

Actualmente se registra la producción de arándanos en el Ecuador desde hace 5 años atrás, con variedades traídas de Perú y Estados Unidos, se estima que este tipo de plantas generan producción entre 12 a 15 años; ya que el país no cuenta con estaciones marcadas, lo que permite su cosecha durante todo el año. Dicha producción se desarrolla en Carchi, Imbabura, Pichincha, Cotopaxi, Tungurahua, Chimborazo y Azuay.(Heraldo, 2020)(Becerra et al., 2017)

Se totalizaron 107.229 toneladas de arándano exportado del Ecuador, lo que marca una cifra récord para la industria, ya que el consumo de este producto está creciendo cerca de un 20% anual en los últimos años.(Productor, 2018)(González, 2018a)

Según datos de Ecuarandano con 3 hectáreas de cultivo, la producción es de 3 toneladas a un precio de 3,99 USD la tarrina de 125 gramos, dando una facturación anual del 200 mil dólares (González, 2018a). Por ello pequeños productores se van sumando de a poco a la iniciativa de la producción de arándanos para consumo local y exportación, debido a que desde la primera cosecha se recupera la inversión y se adquieren buenas ganancias.

Hoy con la globalización existen requerimientos de nuevos productos agrícolas que poseen un mejor precio de comercialización, lo que brindará beneficios económicos al productor, pero que al mismo tiempo requiere de una aplicación de nuevas tecnologías; y es así, con la nueva tendencia en el País se plantea un prototipo de control de heladas: de bajo costo, fácil utilización, amigable y sostenible para el pequeño productor en cultivos de arándanos en la Sierra Ecuatoriana

En el mercado existen diversos equipos de protección contra heladas para el agricultor; pero muchos de ellos están encaminados hacia el productor industrial que tienen a su poder más de una UPA; por ello su inversión en protección justifican los costos de dichos sistemas que varían en el mercado desde los 10.000 USD a los 40.000 USD por Hectárea, dependiendo de la tecnología que se emplee. Pero para un PP, el cuál vive del cultivo de subsistencia, pagar un equipo sumamente costoso, no es viable, por lo que seguirá ejecutando sus labores de forma artesanal.(Díaz, 2018)(Bravo et al., 2016)B

## **1.2 JUSTIFICACIÓN**

En la actualidad, con la globalización, las frutas y en especial los arándanos, por sus beneficios en: la salud, valor en el mercado, producción durante todo el año, por las excelentes condiciones de suelo y el clima ecuatoriano, es un producto que aporta a mejorar la economía de subsistencia del pequeño agricultor; razones que permiten pensar en un apoyo como es el desarrollo de un prototipo electrónico para control de heladas en cultivos de arándanos para pequeños productores en la Sierra; los mismos que serán de fácil: aplicación y manejo, a su vez, económicos en agricultura de precisión, ya que se emplean sensores in situ (temperatura, humedad del aire, humedad del suelo, radiación solar) que se encuentran disponibles en el mercado y como futuros

profesionales se tiene conocimiento de los mismos, en su funcionamiento y formas de uso.

Es necesario, que a futuro los pequeños productores cuya UPA está entre 500 m<sup>2</sup> a 1 hectárea, aplican únicamente conocimientos ancestrales y culturales en labores agrícolas y para proteger sus cultivos de las temidas heladas utilizan técnicas arcaicas; a su vez, se vayan asociando alrededor de la producción de arándanos, con la información obtenida mediante la aplicación del prototipo se utilizará en el mejoramiento de la producción de diversos tipos de bayas y propender a un mayor desarrollo económico y social de nuestros pequeños productores.

### **1.3 OBJETIVOS**

#### **1.3.1 Objetivo General**

Desarrollar un Prototipo para Control de Heladas en Cultivos de Arándanos mediante Dispositivos Electrónicos, para Pequeños Productores en la Sierra

#### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Analizar los requerimientos del prototipo electrónico para Control de Heladas en cultivos de Arándanos mediante la revisión de referencias bibliográficas
- Determinar los dispositivos electrónicos necesarios en el prototipo para el Control de Heladas en Cultivos de Arándanos mediante el análisis de sistemas similares existentes.
- Verificar el funcionamiento del Sistema Electrónico para Control de Heladas en Cultivos de Arándanos mediante la implementación de un prototipo.
- Analizar los Costos de los Dispositivos y Accesorios para la implementación del prototipo en una Unidad de Producción Agrícola (UPA) mediante el establecimiento de los indicadores económicos pertinentes.

### **1.4 METODOLOGÍA**

- Investigación Aplicada: Se emplea para solucionar el problema de la Helada en los Cultivos de arándanos, desde un punto de vista tecnológico.

- Método Analítico: Permite identificar los principales problemas de las heladas en los cultivos y los motivos de la falta de tecnología en sitios rurales. A su vez, se obtienen datos para la implementación del prototipo.
- Método Experimental: Se emplea para determinar si el prototipo cumple método con los requerimientos mínimos del sistema planteado.
- Método Observacional: Clasifica el comportamiento del prototipo en la fase de pruebas.

## **1.5 BENEFICIARIOS**

El grupo beneficiario son los Pequeños Productores de Arándanos en la Sierra, los Docentes y Estudiantes de la Universidad Politécnica Salesiana que pueden emplear este trabajo para futuras Investigaciones y Proyectos.

## **CAPÍTULO 2**

### **FUNDAMENTO TEÓRICO**

#### **2.1 LAS HELADAS**

La helada es un fenómeno meteorológico que provoca graves daños en la zona agraria de diferentes regiones; se presenta cuando la temperatura del aire de 1.5 a 2 metros del suelo desciende por debajo de los 0° Celsius; sin embargo, existen muchos cultivos que se pierden con temperaturas entre 0°C y 6°C. (H, Quintana, & Marisol, 2020)(Secretaría General de la Comunidad Andina, 2009)(PRIMICIAS, 2020)

Los siguientes factores determinan la intensidad de una helada:(Mendoza, 2017)

**Nubosidad:** Las nubes son una barrera natural que modera las variaciones térmicas en la radiación del suelo. Es decir, la temperatura en días nubosos se mantiene homogénea y con poca variación de la misma. Cielo con mayor nubosidad evita las heladas.

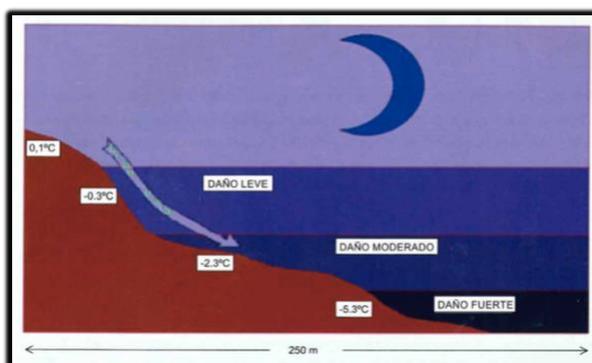
**Velocidad del Viento:** Disminuye el riesgo de heladas, es de vital importancia e igual a las temperaturas de la mezcla de las capas del aire. Velocidades iguales o mayores a 7Km/h pueden provocar una helada. Hay que tener en cuenta que cuando hay ausencia de viento, lo que suele ocurrir en las noches, también puede causar una helada.

**Humedad del Aire:** Depende de la temperatura, es energía que se suministra por medio de el aire; si este elemento es muy seco hay mayor riesgo de helada negra.

**Laboreo del suelo y cubierta vegetal:** Depende del trabajo realizado sobre el suelo, ya que dependiendo del caso puede disminuir sensiblemente la temperatura del suelo.

**El relieve o pendiente del terreno:** Depende de la inclinación de terreno, en zonas bajas existe mayor acumulación de frío que en la zonas altas, debido a que el aire frío desciende por el relieve. Esto se puede apreciar en la Figura 1

Figura 1. Importancia del relieve del terreno



Desplazamiento del aire respecto a una ladera. Fuente:(Butron Arcaya, Banegas Cariapaza, & Cuellar Condori, 2014)

En la Tabla 1 se muestra la clasificación de las heladas dependiendo de su intensidad.

Tabla 1. Heladas clasificadas por su intensidad

INTENSIDAD	RANGOS DE TEMPERATURA	CARACTERÍSTICAS
Alta	-6°C a -3°C	Sin nubosidad, velocidad del viento mayor o igual 15 Km/h, aire seco, suelo no trabajado, zona baja (valle), baja altura, sin vegetación
Moderada (Media)	-3°C a 0°C	Poca nubosidad, velocidad del viento entre 7 Km/h a 14 Km/h , aire semi-seco, suelo algo trabajado, zona media, media altura
Baja	0°C a 3°C	Cielo nuboso, velocidad del viento entre 4 Km/h a 6 Km/h, aire húmedo, suelo parcialmente trabajado, zona alta, altura elevada
Muy Baja	3°C a 6°C	Cielo nuboso, velocidad del viento menor a 4 Km/h moderado, aire húmedo, suelo trabajado, zona alta, elevada, con vegetación

Tabla de rangos y características observables para determinar una heladas. Fuente:(Secretaría General de la Comunidad Andina, 2009) Elaborado por: Lizbeth Rivadeneira.

En la Tabla 2 se muestra la clasificación de las heladas según sus características y su aspecto visual.

Tabla 2. Clasificación de las Heladas

<b>POR SUS CARACTERÍSTICAS</b>				
	<b>Por Advección</b>	<b>Por Radiación</b>	<b>Evaporación</b>	<b>Mixtas</b>
Causa	Desplazamiento de masas de aire	Pérdida de calor de las capas del suelo	Evapora lo contenido por el suelo	Combinación de Heladas por Evaporación, Radiación y Advección en ese orden
Tipo	Persistente	Parcial	Parcial	Parcial
Condición climática previa	Aire seco y frío o tiempo nublado con lluvias	Noche con cielo despejado, poco o nada de viento	Aire frío y seco	Frente frío, viento seco, cielo despejado y disminución de humedad de suelo
<b>POR SU ASPECTO VISUAL</b>				
	<b>NEGRA</b>		<b>BLANCA</b>	
Daño	Severo - Dañino		Leve - Moderado	
Escarcha	No, no importa si la temperatura desciende a $0^{\circ}\text{C}$		Si, llamada Helada De Escarcha por alcanzar temperaturas inferiores o iguales a $0^{\circ}\text{C}$	
Característica Principal	Color negro que la planta presenta después de la helada		Escarcha que recubre a la planta	
Consecuencia	Muerte completa o solo la parte más afectada de la planta		Ninguna grave	

Fuente: (Bravo et al., 2016)(Mendoza, 2017) Elaborado por: Elaborado por: Lizbeth Rivadeneira

### **2.1.1 Efectos de la Helada**

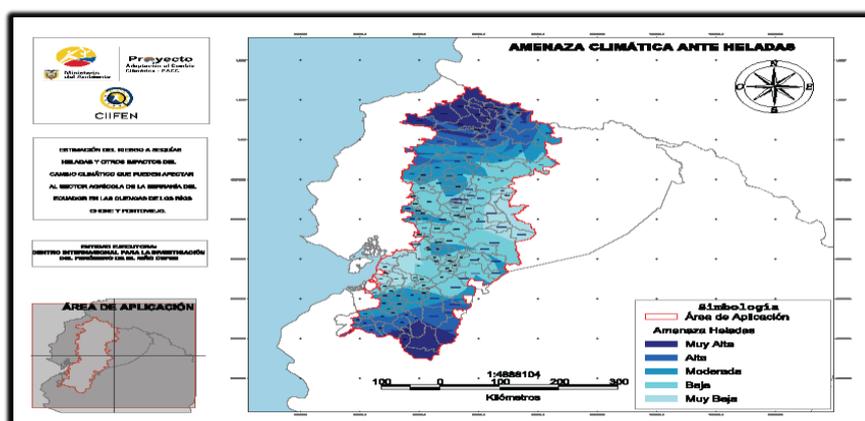
El frío prolongado y con bajas temperaturas tiene un efecto dañino y mortal en las plantas ya que daña sus órganos vegetativos y sus funciones. Destruye la transformación de las flores en frutos, al igual que los frutos en formación, o la mal formación de los que se encuentran en este proceso. (Bravo et al., 2016), esto se debe al formarse hielo en los espacios vacíos de la planta este, las deshidrata o forma cristales en su interior llegando al nivel de temperatura crítica la que depende: del tipo de cultivo, la etapa en la que se encuentran desde la germinación hasta la fructificación, la edad de la misma, la especie, la ubicación geográfica y el tiempo de duración de la helada; mientras más tiempo se exponga la plantación mayor puede ser el daño. (Bravo et al., 2016)

Los cultivos cuyo mayor daño se puede apreciar son: flores, maíz, papa, fréjol, chocho, fresas, moras y arándanos.

La presencia de heladas en el Ecuador varían dependiendo de la región y su ubicación en valles y hondonadas; según datos de Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, este fenómeno tenía tendencias de presentar a finales del mes de Diciembre y en el mes de Febrero (Ministerio de Agricultura, 2017); pero ahora con el cambio climático las estaciones climáticas en Ecuador han cambiado y si le sumamos la geografía del país, esto aumenta las variables para que se den heladas tanto blancas como negras. Las provincias de las que se tiene cierto tipo de registro son: Cotopaxi, Tungurahua, Chimborazo, Pichincha, Bolívar, Carchi, Cañar y Azuay en la Región Sierra, mientras que en la Región Costa son: Los Ríos, Manabí y Santa Elena. (Medina, 2019)(Centro Internacional para la investigación del Fenómeno de El Niño (CIIFEN), 2009)

En la Figura 2 se muestra la situación de la región interandina ecuatoriana, en donde se encuentran los diferentes niveles de amenaza de heladas, las mismas no sólo dañan la producción agrícola, sino también la ganadera y la salud de las personas que habitan estas zonas.

Figura 2. Mapa de amenaza climática ante heladas



Mapa elaborado por el Programa gvSIG 1.10. Fuente:(Centro Internacional para la investigación del Fenómeno de El Niño (CIIFEN), 2009)

## 2.2 MITIGACIÓN DE HELADAS

Los Pequeños Productores (PP) para mitigar las heladas dependiendo de sus posibilidades riegan sus terrenos, ya que la humedad mantiene a la planta fría y le permite adaptarse de cierta manera a los cambios de temperatura del ambiente; a su vez que fertilizan el cultivo con materia orgánica, abono químico haciéndolo más fuerte y robusto contra la helada inesperada o lo fumigan con una mezcla de ruda, marco verbena, guanto, levadura, melaza, agua y excremento animal; al que maceran durante 15 días antes de agregarlo al cultivo, ya que de esta manera solo emplean productos libres de químicos. Esto se aplica cuando tienen la sospecha de que se aproxima una helada por: día caluroso, cielo nocturno despejado o madrugadas con vientos.

Mientras que otros PP emplean a un campenero, el que pasa en vela toda la noche y madrugada, y al detectar un cambio de temperatura en el ambiente, procede a dar una alarma a sus compañeros para que con sus antorchas para mantener al cultivo caliente hasta que pase la helada.

## 2.3 CULTIVO DE ARÁNDANOS

Pertenece al género *Vaccinium* y está integrado por alrededor de 450 especies, pero más de 30 son arbustos silvestres pequeños cuyo fruto es de gran valor nutricional como comercial. De este género el fruto comercial más reconocido es el arándano azul o también llamado Blueberry. (Dixon & Aldous, 2014) (Comercial, n.d.) (Gordó,

2011)(Luby, Ballington, Draper, Pliszka, & Austin, 1991). Estos arbustos son de origen Norteamericano, ya que son cultivados en a lo largo de Estados Unidos y Canadá, quienes son los principales productores de este fruto.(Comercial, n.d.)(Gordó, 2011)(Luby et al., 1991)

Son una de las especies de mayor domesticación, cruces con mejoras genéticas, las que han permitido su plantación y fructificación en climas no solo fríos como antiguamente se producía, sino que ahora son adaptables a climas cálidos y mediterráneos, ya que depende de la variedad que se quiera plantar y sus requerimientos de horas de frío para que el fruto sea “ideal”.(Dixon & Aldous, 2014)(Comercial, n.d.)(Gordó, 2011)(Luby et al., 1991).

En la Tabla 3 se muestra la clasificación de las especies comerciales de arándanos.

Tabla 3. Clasificación de las especies comerciales de arándanos

	<b>LowBush</b>	<b>Rabbiteye</b>	<b>Northern Highbush</b>	<b>Southern Highbush</b>
Nombre Comercial	Wild	Ojo de Conejo	Bluecrop	Híbrida
Altura Máxima	30 - 50 cm	5 – 6 m	1.5 – 7m	1.5 – 7m
Temperatura de tolerancia	-35°C	Condiciones bajo cero o sequía extrema	Inferiores a 20°C	Soporta altas temperaturas y que no descendan de -7°C
Horas de Frío	1.000	350 a 600	650 a 1.200	200 a 600

Fuentes: (Comercial, n.d.)(Gordó, 2011)(Brazelton & Young, 2017)(Luby et al., 1991) Elaborado por:

Lizbeth Rivadeneira

En el Ecuador se cultiva la especie **Southern Highbush**; por ello se presentan las características de sus variedades a continuación en la Tabla 4 :

Tabla 4. Variedades de la Familia Southern Highbush

	<b>Misty</b>	<b>Jewel</b>	<b>Star</b>	<b>O'Neal</b>	<b>Emerald</b>	<b>Biloxi</b>	<b>Legacy</b>
Horas Frío	150 a 300	250	400	200 a 300	250	250	500 a 600
Tamaño Fruto	Mediano a Grande	Grande	Pequeño a Mediano	Grande	Grande con cicatriz	Grande	Grande
Fructificación	Temprana	Temprana	Temprana	Temprana	Temprana	Temprana	Temprana

Fuentes: (Becerra et al., 2017)(Luby et al., 1991)(González, 2018a). Elaborado por: Lizbeth A.

Rivadeneira A

**Biloxi:** Es la variedad más cultivada en Ecuador; requiere de 400 horas de frío; las que durante el día están entre los 38°C a 40°C y en la noche que no bajen de los 6°C; el tamaño de la fruta es mediano, de buen sabor, su floración es temprano lo que la hace más susceptible a heladas.(Becerra et al., 2017)(Luby et al., 1991)(González, 2018a)

En la Tabla 5 se muestra las condiciones climáticas que afectan al arándano.

Tabla 5. Condiciones climáticas que afectan al arándano

Sensibilidad a heladas	Depende de la variedad a plantar
Etapas más sensibles a heladas	Floración
Temperaturas Críticas	Apertura de yemas: -6.7°C
	Botón rosa: -2.2°C
	Plena floración: -0.6°C
	Caída de pétalos: -0.6°C
	Fruto verde: -2.2°C
Temperatura mínima de crecimiento	7°C
Temperatura máxima de crecimiento	40°C
Rango de temperatura óptima de crecimiento	Raíces: 18°C a 22°C
	Brotos, hojas y frutos: 20°C a 26°C
Horas de frío ( $\leq 7^{\circ}\text{C}$ )	400 a 1.200 horas, depende de la variedad
A temperaturas bajas	Sensibles o muy sensibles dependiendo de la variedad
Suelos	Sueltos ácidos
Salinidad del suelo pH de crecimiento	5.8 a 6.0
Salinidad del suelo pH ideal	4.4 a 5.5

Contenido de materia orgánica	3% a 5%
Riego	Sensible al déficit o exceso de agua
Laboreo del suelo	Profundo
Punto de rocío	Depende de la variedad

Condiciones que determinan el crecimiento del cultivo de arándano. Fuente: (H et al., 2020)(Melo-abreu, 2010) Elaborado por: Lizbeth Rivadeneira

Las horas de frío se refiere a la acumulación de frío; es decir, cantidad de tiempo en horas que la planta esta por debajo de los 7°C para salir de su estado de dormición o reposo, este estado es un mecanismo de defensa para evitar que los brotes salgan en período invernal o en condiciones climáticas adecuadas en dicho período.(INTAGRI S.C, 2017)

El manejo de poda se lo realiza en 2 etapas, y estas son: de formación y de producción.

La poda de formación es aquella que se da en los 2 primeros años de plantación del cultivo de arándano, cuyo objetivo es estimular a la producción de su follaje como a su fruto tanto en cantidad como en calidad, se la realiza en los meses de Junio y Julio cuando la planta está deshojada, y en algunas variedades se puede extender hasta el mes de Agosto.(Ar, n.d.)(Gordó, 2011), y la poda de producción o rejuvenecimiento es aquella que se da cuando la planta de arándano tiene de 4 a 5 años, cuyo objetivo es eliminar los brotes que han dado fruto brindando a la planta una estructura abierta y con fácil acceso a la luz y a la aireación de la misma; se la puede realizar después de la cosecha.(Ar, n.d.)(Gordó, 2011)

Los períodos de cosecha varían dependiendo de la variedad que se ha sembrado, suele cosecharse mayormente en los meses de verano según la región donde se encuentren; en general se cosechan a los 6 o 7 meses de su plantación, ya que se inicia cuando los frutos están maduros; es decir, de un tono azulado parecido al negro y de contextura firme. No todas las plantas, así sean de la misma variedad se cosecharán al mismo tiempo por ello esta labor se la hace gradualmente y de forma manual para no dañar el fruto final ni a la planta en sí. Particularmente, la variedad Biloxi permite cosechar a partir de la semana 28. (Systems, n.d.)(Gordó, 2011)(Becerra et al., 2017)

Las zonas de producción de arándano en el Ecuador en la región Sierra son las provincias de: Azuay, Carchi, Chimborazo, Cotopaxi, Imbabura, Pichincha y Tungurahua; y en la región Costa las provincias de: El Oro y Santa Elena.(González, 2018a), dando un punto adicional al país ya que puede producir y cosechar durante todo el año, dado que no posee las 4 estaciones como países de Norte América, lo que permite que sea un sitio ideal para este tipo de cultivo debido a las condiciones medio ambientales y climáticas que son casi similares durante todo el año. (González, 2018b)

## **2.4 SISTEMAS EXISTENTES Y AGRICULTURA DE PRECISIÓN**

Con la ayuda de la agricultura de precisión se ha visto un aumento en la productividad, competitividad del mercado, control y mejoramiento de cultivos; que son respuestas al uso de sensores en la nueva maquinaria que va enfocada a cumplir con labores específicas de forma inteligente y automática, disminuyendo de esta manera el laboreo del agricultor; optimizando recursos económicos como humanos; por ello la actividad agrícola en diferentes países a nivel mundial han optado por incluir estos sistemas en diversos cultivos como una práctica agrícola más verde y eficiente. Cabe recalcar que algunos de estos sistemas pueden ser de coste económico o muy elevado para un pequeño agricultor dependiendo del tipo de cultivo y el tamaño del terreno que posea.

Con respecto al control de heladas, existen sistemas ya desarrollados y que son utilizados, como:

**Calefactores:** Este sistema se basa en entregar mayor temperatura al aire, bajo el concepto que, si se agrega suficiente calor para nivelar la pérdida de energía, entonces la temperatura del aire no caerá a niveles de causar daño. Son generalmente poco eficientes porque la mayor parte del calor sube rápidamente y se pierde. Dependiendo del diseño del calefactor, se requieren de 100 a 130 unidades por hectárea, lo que aumentaría la temperatura de 3°C a 5°C. Su costo por combustible es alto ya que se consume de 300 a 600 lt/ha/h. Su aplicación es apta para heladas de tipo radiativa, pero cuando hay viento, los calefactores no dan suficiente protección.(Bravo et al., 2016)(Melo-abreu, 2010)

Torres de Ventilación: Se basa en impulsar masa de aire para mezclar el aire caliente que no ha subido desde el suelo, con el aire frío cercano a los árboles, se encuentran ubicadas a 10 u 11 metros del suelo. No se recomienda su uso en zonas ventosas (sobre 8 Km/h) o en caso de heladas extremas pues los equipos se pueden dañar si se forma hielo en las aspas. Generan ruido al funcionar por lo que puede ser prohibido por los Servicio de Salud, su costo inicial es alto y son aptas solo para heladas radiativas. El aumento de temperatura varía de 0.5°C a 4°C todo depende de su ubicación ya que pueden llegar a cubrir de 4 a 4.5 hectáreas.(Bravo et al., 2016)(Melo-abreu, 2010)

Uso de helicópteros: Este método posee altos costos operacionales y es de uso limitado a alguna zonas, debido al nivel de ruido. Apto para heladas radiativas(Bravo et al., 2016)(Melo-abreu, 2010)

Todos los sistemas anteriormente descritos: son de alto costo por la infraestructura, equipos, combustibles que utilizan; áreas de producción generalmente de gran escala, características que no son accesibles para ser utilizados por los PP; en consecuencia, se plantea un prototipo para control de heladas; el mismo que constará de un dispositivo electrónico que detecte la helada y un actuador que dependerá del sistema de almacenamiento de agua que disponga el pp, el que se encargará de mitigar los efectos nocivos de la helada. Para ello se partirá de un estudio de la tarjetas de control, sensores, transductores y sistemas de comunicación para obtener un optimo prototipo, considerando que el grupo beneficiario son los Pequeños Productores de Arándanos en la Sierra.

#### **2.4.1 Tarjetas de Desarrollo o Control**

En la actualidad existen diversos tipos de tarjetas de desarrollo o control compuestas por un microcontrolador. Dependiendo de las necesidades del usuario, la elección de las mismas se enfoca en: su funcionalidad, características del equipo, módulos de acople, almacenamiento, puertos de entrada y salida tanto digitales como analógicos, costo en el mercado, entre otros.. La mayoría de estas tarjetas son de hardware y software libre, lo que permite que sus diagramas esquemáticos y de conexiones se

encuentren con acceso al público; a su vez, que sus plataformas de entorno de desarrollo (IDE) se puedan descargar de forma gratuita.

En la Tabla 6 se muestra algunas de las tarjetas de desarrollo que existen en el mercado.

Tabla 6. Tabla comparativa entre placas

	Arduino	Raspberry Pi	Cubieboard	Hacberry A10	Waspnote	A13 OLINUXINO	Intel Galileo	BeagleBone Black
Procesador	Atmega2560-328-168-32u4	Broadcom BCM2711B0 Quad core A72-BCM2837B0 Cortex A53 (ARMv8)	ARM cortex-A7 Dual Core ARM cortex-A8	ARM cortex-A8	ATmega1281	A13 cortex-A8	SoC Quark X1000	AM3358BZCZ100 ARM cortex-A8
Dimensiones	53.3x101.6 mm En Mega 2560 53.3x68.6 mmUno	85x53mm	110x80mm	85.60x54mm	73.5x51mm	4700x3700mm	75x75mm	88.98.2x54.63mm
Fuente de alimentación de entrada	7-12V	5.1V	5V-12V	100-240V	3.3-12V	6-12V	5V	5V
Voltaje de Operación	5V	3.3 – 5V	5V	3.3V	0.5-5V	3.3 – 5V	3.3 – 5V	5V
Adaptable a Shields	Si	Si	No	No	Si	No	Si	Si
Costo Estimado (\$)	\$6.25 a \$19.99	\$66.99 a \$124.99	\$56.94 a \$130.43	\$136.41 pero actualmente fuera del mercado	\$417.06 a 422.06	\$40 a 48.63	\$90	\$73.99
Tipo de Proyectos	Educativos y de Prototipos de prueba	Educativos y que requieran poder de procesamiento, internet o video	Proyectos de Ingeniería y de interfaz gráfica	Proyectos que involucren sistemas embebidos	Proyectos vinculados a Internet de las Cosas (IoT)	Proyectos que involucren sistemas embebidos	Educativos y de Prototipos de prueba	Proyectos avanzados enfocados a una interfaz al mundo real
Ventajas	Variedad de modelos, costo relativamente bajo y sencillo de programar y emplear	Procesamiento rápido para realizar acciones, mayor capacidad de memoria	Dispositivo de baja potencia, funcionamiento continuo, buen rendimiento, además que ofrece SATA	Poderoso hacker Android/Linux, tiene WIFI y Ethernet	Ideal para la construcción de redes inalámbricas.	Dispositivo enfocado para sistemas embebidos de nivel industrial	Al ser una colaboración entre Intel y Arduino es compatible con las características de Arduino	Acceso fácil y sencillo a las interfaces, se puede programar en el lenguaje que más se domine.
Desventajas	Aplicaciones Industriales es limitada	Costo elevado y empleado más en procesos de alto potencial	Costo elevado y debe ser importado	Costo elevado y no hay stock en el mercado	Aplicaciones a nivel industrial y costo elevado, debe ser importado	Aplicaciones industriales aplicadas a sistemas embebidos, costo relativamente barato pero se debe importar	Aplicaciones Industriales es limitada. Y se encuentra descontinuado	Enfocada a desarrolladores expertos, costo elevado y debe ser importada.

Elaborado por: Lizbeth Rivadeneira

Las Tarjetas aptas para el proyecto son: Arduino, Raspberry, Waspnote, BeagleBone Black, con el inconveniente de que en el mercado ecuatoriano no se encuentran disponibles de forma inmediata, dependiendo de importación o son de alto costo, exceptuando Arduino, por ello una pequeña descripción de las mismas a continuación:

Arduino: Desarrollado en 2003 por el Instituto de Diseño Interactivo de Ivrea, Italia. Es una placa con un microcontrolador y un conjunto de puertos de entrada y salida tanto digitales como analógicos, Open Source, flexible y de fácil empleo. Su plataforma IDE (Integrated Development Environment / Entorno de Desarrollo

Integrado); lenguaje de programación basado en C++, su compatibilidad con diferentes sistemas operativos tales como: Windows, Macintosh OS y GNU/Linux, lo posicionan como el más empleado en diferentes áreas para el desarrollo de prototipos funcionales y de prueba.(Polar, n.d.)(Doutel, 2017). Su software se puede descargar gratuitamente, a la vez, que se puede añadir mas funciones a la placa principal mediante Shields dependiendo lo que se requiere al momento de programar. (Polar, n.d.)(Doutel, 2017); en el mercado existente diferentes modelos y versiones de arduino como se muestra en la Figura 8, estás varian dependiendo el números de entradas y salidas (I/O) que posea, características de memoria, tamaño y utilidad. Entre los más utilizados se encuentran: Mega 2560, Nano, Uno

Raspberry Pi: Desarrollado en 2011 por la Fundación Raspberry Pi de la Universidad de Cambridge, Reino Unido. Es una computadora de placas simples (SBC), Open Source. Su plataforma es Raspberry Pi OS (antes llamada Raspbian); lenguaje de programación principal es Phyton, pero también se puede programar con lenguajes Tiny BASIC, C y Perl. Compatible con sistemas operativos como: Windows, Macintosh OS y GNU/Linux (Ubuntu). Cabe recalcar que tiene mayores prestaciones con GNU/Linux por su distribución basada en Debian que presenta facilidad de manejo, instalación sencilla, actualizaciones constantes y libertad de uso y empleo. Es una tarjeta de control muy completa pero su costo no es tan económico como el de Arduino. La Figura 9 muestra los diferentes modelos de Raspberry Pi (Informàtica, 2013)(Fundation, 2020)(Canarias, n.d.)

Waspote: Desarrollado en 2006 por la empresa multinacional española Libelium, es una placa que posee un microcontrolador y un conjunto de diferentes radios de comunicación, enfocada para la construcción de redes sensoriales inalámbricas a la cuál se le puede añadir sockets dependiendo el uso que se le da. Su plataforma es Waspote IDE, lenguaje de programación es C y C++. Compatible con sistemas Operativos como: Windows, Macintosh OS y Linux. (Libelium, n.d.)(García, n.d.)

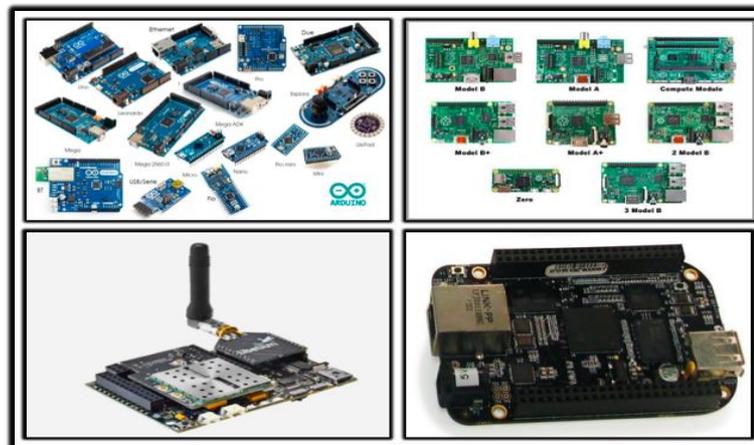
BeagleBone Black: Desarrollado en 2012 por la empresa americana Texas Instruments, es una placa tipo computadora similar a Raspberry, Open Source. Se puede decir que es una placa que tiene todas las funciones básicas de un ordenador. Su plataforma es Cloud9; lenguaje de programación C, C++, Java, Phyton, PHP,

Javascript, Octave, Node JS y Assembler. Compatible con los sistemas operativos Linux, Android, Windows CE y RISC OS. (Coley, 2013)

Para en presente proyecto, se emplea la Tarjeta Arduino, ya que es la más reconocida en nuestro medio, por ser de costo asequible, y presenta compatibilidad con diferentes shields de comunicación que permiten la expansión más allá de Radio Frecuencia (RF) normal con los módulos Emisor y Receptor.

En la Figura 3 se muestran las Tarjetas mencionadas Anteriormente

Figura 3. Tarjetas de Desarrollo

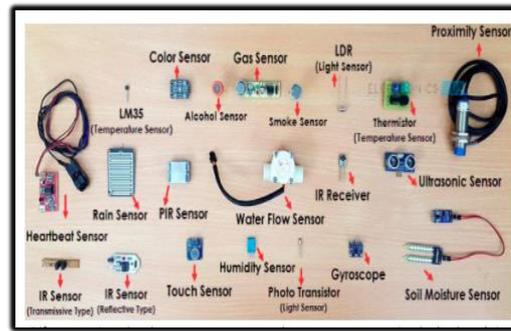


Placas de Arduino, Raspberry, Wasp mote y BeagleBone Fuentes:(Polar, n.d.)(Diéguez, 2019)(Libelium, n.d.)(Coley, 2013). Elaborado por: Lizbeth A. Rivadeneira A

## 2.4.2 Sensores y Transductores

Sensor: Es un dispositivo que es capaz de detectar estímulos externos tanto físicos como químicos y dar una respuesta a ellos mediante señales eléctricas para que el proceso que esté realizando continúe. Por nombrar algunos sensores que captan estos estímulos son: temperatura, presión, pH, radiación, aceleración, humedad, distancia, luz, entre otros. La Figura 4 muestra los modelos de sensores disponibles en el mercado.

Figura 4. Modelo de Sensores



Fuente: (Admin, 2018)

El funcionamiento de un sensor se determina por los siguientes parámetros:

Exactitud: Calidad del instrumento de medida para dar lectura próxima al valor verdadero de la magnitud que se desea medir.

Precisión: Pequeña variación o casi nula en la medición de alguna magnitud.

Rango de Funcionamiento: Depende de la magnitud que se desea medir, pero debe ser exacto y preciso.

Velocidad de Respuesta: Depende de los cambios que sufra la magnitud a medir, lo ideal sería una respuesta instantánea, pero en la realidad se tiene un tiempo mínimo para lograrlo.

Calibración: Depende de la variable; lo ideal debe ser fácil calibración y si necesita recalibración no sea frecuente.

Fiabilidad: No debe tener fallos recurrentes.

Distancia Operativa: Depende del diámetro del sensor y la actividad a realizarse.

**Transductor**: Es el dispositivo encargado de transformar una magnitud física en una magnitud eléctrica; se puede decir que un sensor es un transductor.(universidad tarapaca, 2014). Los transductores se pueden clasificar en:

**Transductores Analógicos**: Da como resultado una señal análoga continua y

**Transductores Digitales**: Da como resultado una señal digital conformada por un conjunto de bits en forma de pulsaciones, su compatibilidad con ordenados le da una gran ventaja en la automatización y control de procesos.

### 2.4.3 Sistemas de Comunicaciones

Es un conjunto de dispositivos o elementos cuya finalidad es emitir, transmitir y recibir señales ya sean de tipo digital o analógicas, mediante un conjunto de reglas y permitir el intercambio de las mismas entre un emisor y receptor mediante un canal que los comunique.(BITSTREAM, 2018)(BirtLH, n.d.)

Los componentes básicos de un sistema de comunicación son:

**Emisor:** También conocido como Transmisor o Fuente, es el encargado de generar la señal que se desea transmitir, y enviarla ya se de forma modulada, filtrada o codificada.(BITSTREAM, 2018)(BirtLH, n.d.)

**Receptor:** También llamado como Destino, es el encargado de recibir la información, decodificarla y procesar el contenido de la misma lo más cercano a la información original enviado por el emisor.(BITSTREAM, 2018)(BirtLH, n.d.)

**Canal de Transmisión:** Es el medio de transmisión por el cual viaja la información desde el emisor hacia el receptor. El medio de transmisión puede ser: en línea también llamados guiados (par trenzado, cable coaxial o fibra óptica) o inalámbricos también llamados no guiados(Bluetooth, RadioFrecuencia, Microondas, Infrarrojo, WiFi)(BITSTREAM, 2018)(BirtLH, n.d.)

Los canales de comunicación poseen direccionalidad, dando así una característica a futuro del módulo que se emplee.

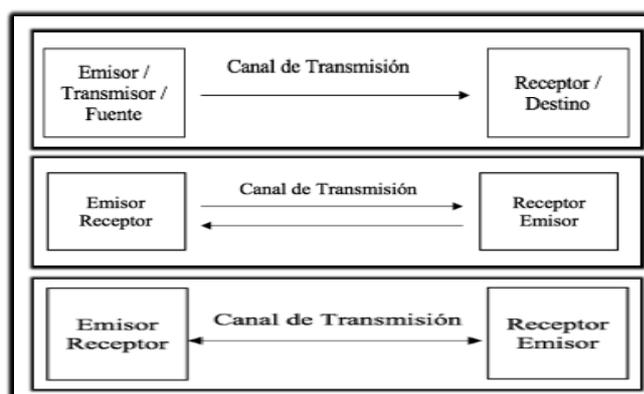
**Simplex:** La comunicación es unidireccional; es decir, en una sola dirección.

**Half-Dúplex:** La comunicación es bidireccional; es decir en dos direcciones, pero no simultáneamente.

**Full Dúplex:** La comunicación es bidireccional; es decir en dos direcciones, y se realiza de forma simultánea.

En la Figura 5 se muestra la direccionalidad de las comunicaciones.

Figura 5. Direccionalidad de las comunicaciones



Elaborado por: Lizbeth Rivadeneira

El presente proyecto se enfoca en el medio de transmisión inalámbrica, por sus características en: cobertura, tipo de enlace, funcionamiento en espacios abiertos, costos, entre otros; como se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7. Tabla comparativa entre módulos inalámbricos

	Radio Frecuencia (RF)	Zigbee	Bluetooth	Infrarrojo	Wifi
Frecuencia de operación (Hz)	433.92 MHz	2.4 Ghz / 868 MHz / 915 MHz	2.4GHz	36KHz / 42KHz	2.4GHz / 5GHz
Voltaje de Operación	3-12V	3.6 – 7.7V	3.3 – 6V	4.5 – 5.2V	9V
Cobertura/ Alcance	2-300m	10-1200m	1 a 10m	1 a 10m	1-100m
Velocidad de Transmisión	< 10Kbps	20 Kbps a 250 Kbps	1 Mbps	9600bps	11Mbps a 108Mbps
Tipo de Enlace	Estrella	Estrella, Árbol y Malla	Malla, Ad hoc, piconet	Punto a Punto	Punto a Punto y Multipunto
Comunicación	Simplex	Half-Dúplex	Half-Dúplex	Simplex	Half-Dúplex
Tipo de Proyectos	Caseros	De Automatización, telecomunicaciones, control industrial, consumo de energía	De oficina, caseros y de salud	Caseros	De Automatización, telecomunicaciones, control industrial
Costo Estimado (\$)	\$2.00 a \$4.00	\$30.00 a \$39.99	\$9.49 a \$18	\$2 a \$5	\$7.88 a \$50
Ventajas	Bajo costo,	Seguridad de envío con cifrado y autenticación.  Operación de redes de gran densidad y cada red tiene un identificador único.  Bajo consumo	Bajo costo y sencillo de emplear	Bajo costo, bajo consumo, alta seguridad	Alta velocidad de transferencia, flexible, no necesita de cableado
Desventajas	Calidad de la comunicación limitada.  Su cobertura depende del voltaje que se aplique y la antena que se emplee.	Tasa de transferencia baja, debido a que solo transfiere textos pequeños	Vulnerable a ataques cibernéticos.  Alcance corto	Alcance corto, sensible a condiciones climáticas, baja velocidad de transmisión, la comunicación se corta con cualquier interferencia	Vulnerable a ataques cibernéticos.  La señal puede presentar interferencias

Elaborado por: Lizbeth Rivadeneira

La comunicación por Radio Frecuencia (RF) con módulos conocidos de (Emisor – Receptor), Infrarrojo y Bluetooth serían viables en este proyecto, pero no son tan confiables; ya que la trama de datos se puede perder debido a su distancia de operación. Por experiencias se conoce que los módulos de este tipo implementados en arduino deben estar lo más cerca posible el uno del otro; por otro lado, el módulo de WiFi tienen mayores prestaciones pero son más costosos y requieren de una arquitectura específica. Considerando las características de los diferentes módulos, se determinó que el módulo Zigbee posee mayor fiabilidad en la transferencia de datos y es asequible en el mercado ecuatoriano, a su vez que presente compatibilidad con la tarjeta Arduino.

## **CAPÍTULO 3**

### **DISEÑO DEL PROTOTIPO**

#### **3.1 DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS A CUMPLIRSE**

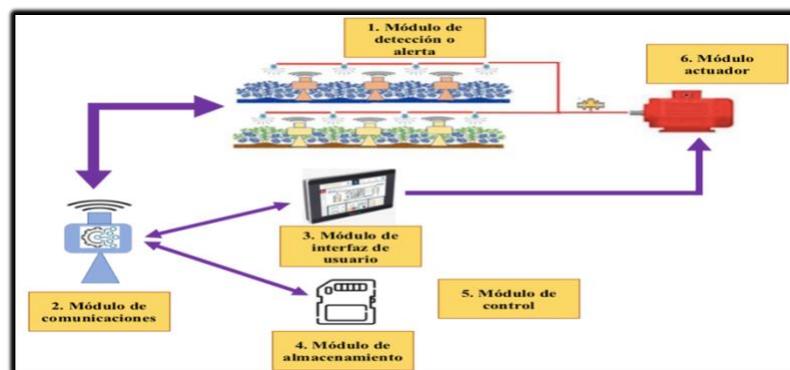
El diseño va enfocado hacia el desarrollo de un prototipo electrónico para control de heladas en cultivos de arándanos para pequeños productores (PP) en la sierra, el mismo que cuenta con distintos módulos que supervisan variables ambientales; comunicando en tiempo real lo que sucede con los mismos, almacenando y permitiendo la visualización de los cambios que se presente en el cultivo y dependiendo del sistema de riego que se posea, active un actuador que minimice los riesgos que puede producir el fenómeno de la helada.

Los valores que a tomar en cuenta y monitorear en el prototipo son: temperatura y humedad ambiental, humedad del suelo y radiación solar; para este prototipo se denominan “variables ambientales”, dado que determinan el desarrollo y producción óptima del arándano; es decir, una temperatura ambiental que no se encuentre en el rango del  $-2^{\circ}$  a  $30^{\circ}\text{C}$ , que tenga exceso o falta de hidratación, alta exposición a radiación solar dan como resultado graves daños al cultivo, no solo en el fruto final sino en la planta misma debido a su delicadeza pero que es muy apetecida en el mercado tanto local como internacional. Por ello se emplean sensores de temperatura ambiental, humedad de suelo y radiación solar, los cuales se encuentran disponibles en el mercado y son asequibles para el Pequeño Productor Nacional; como se menciona anteriormente, lo primordial es la supervisión de las variables ambientales todo el tiempo posible (módulo de detección), permitiendo al Pequeño Agricultor el monitoreo y visualización de los cambios en tiempo real del cultivo mediante una LCD 20x4 y un teclado matricial 4x4 (módulo de interfaz de usuario), la comunicación se realiza de forma inalámbrica mediante el uso de módulo XBee S2C (módulo de comunicación), los datos que se obtienen se guardan como respaldo en una tarjeta SD (módulo de almacenamiento) para posteriormente visualizarlos de forma detallada ya sea en un celular o una computador, y a su vez poder establecer fechas aproximadas en las cuales se supone se produce el evento de la helada, para la cual está diseñado

el prototipo el cuál actúa en la mitigación de los efectos nocivos de dicho fenómeno notificando mediante una alarma sonora o la activación de un sistema de riego (módulo actuador), cabe recalcar que la activación de módulo actuador se da de forma automática o de forma manual (módulo de control). Con respecto al sistema de riego se propone un sistema que se puede emplear en situaciones donde no exista infraestructura relacionada.

En la Figura 6 se muestran los módulos planteados para el proyecto.

Figura 6. Módulos que componen al Prototipo



Elaborado por: Lizbeth Rivadeneira

### 3.2 MÓDULOS Y COMPONENTES

La idea conceptual del prototipo se conforma por 6 módulos que se explican de forma breve a continuación:

**Módulo de detección o alerta:** encargado del monitoreo de las variables ambientales mediante diferentes sensores, tales como: de temperatura y humedad ambiental, humedad de suelo, radiación solar.

**Módulo de comunicaciones o recepción de datos:** encargado de la comunicación en tiempo real de lo que sucede en el módulo de detección (router) al módulo de interfaz de usuario (coordinador) y viceversa. Para ello se emplea un sistema de comunicaciones inalámbricas que permite el empleo de varios nodos de detección sin mayores complejidades.

Módulo de almacenamiento de datos: encargado del almacenamiento de los datos que se perciben en el módulo de detección, con fecha y hora, cuya finalidad es la obtención de una base de datos que se pueda desplegar en una Tabla de Excel.

Módulo de interfaz de usuario: encargado de la visualización de los cambios que se presentan en el módulo de detección en tiempo real.

Módulo de control: encargado del control del prototipo con los datos obtenidos de los diversos módulos y que permite el arranque automático o manual del actuador.

Módulo Actuador: encargado de mitigar los efectos nocivos de la helada dependiendo del sistema de riego que se posea o en su defecto la activación de una alarma sonora.

### **3.2.1 MÓDULO DE DETECCIÓN O ALERTA**

Este módulo está conformado por una tarjeta Arduino Nano, shield Nano V3.0 y los sensores de humedad de suelo FC-28, sensor de temperatura y humedad de ambiente DHT21, sensor de radiación solar.

La selección de los dispositivos se explica a continuación:

Tarjeta Arduino Nano: La selección de la placa se debe a su costo, disponibilidad en el mercado, tamaño y sus prestaciones. Es pequeño, de fácil uso, lo que permite que se pueda ubicar en espacios reducidos. Compatible con diferentes dispositivos electrónicos, software libre y librerías útiles con respecto al prototipo. Posee entradas/salidas digitales (14) como análogas (8). Al ser parte del módulo de detección debe ubicarse en exteriores y en un espacio pequeño por lo que lo hace ideal para este sistema.

Shield Nano V3.0: Es una placa que permite acoplar directamente la tarjeta Arduino Nano con los sensores sin necesidad de un protoboard, cuenta con los pines físicos, tanto digitales como análogos de la tarjeta Arduino Nano. Un plus que posee este shield es que cuenta con un zócalo para el módulo de comunicación inalámbrica XBee,

es decir, la placa permite la utilización de los sensores, la tarjeta Arduino Nano y el módulo de comunicación inalámbrica XBee al mismo tiempo y sin mucho cableado en la placa para interconectar dichos elementos.

Sensor de Humedad de Suelo FC-28: Compatible con la tarjeta de Arduino, idóneo en el monitoreo de plantas, ya que se puede programar para la verificación de las condiciones óptimas del suelo, es decir, si la planta necesita agua o tiene exceso de la misma. Se acopla tanto a salidas analógicas como digitales, tiempo de vida útil es de 3 a 6 meses dependiendo su uso y es un sensor de tipo cualitativo. Es económico y está disponible en el mercado. La ubicación de estos sensores va de la mano del tamaño del área de cultivo, es decir pueden 2 sensores separados por 1 metro o varios sensores a diferente distancia.

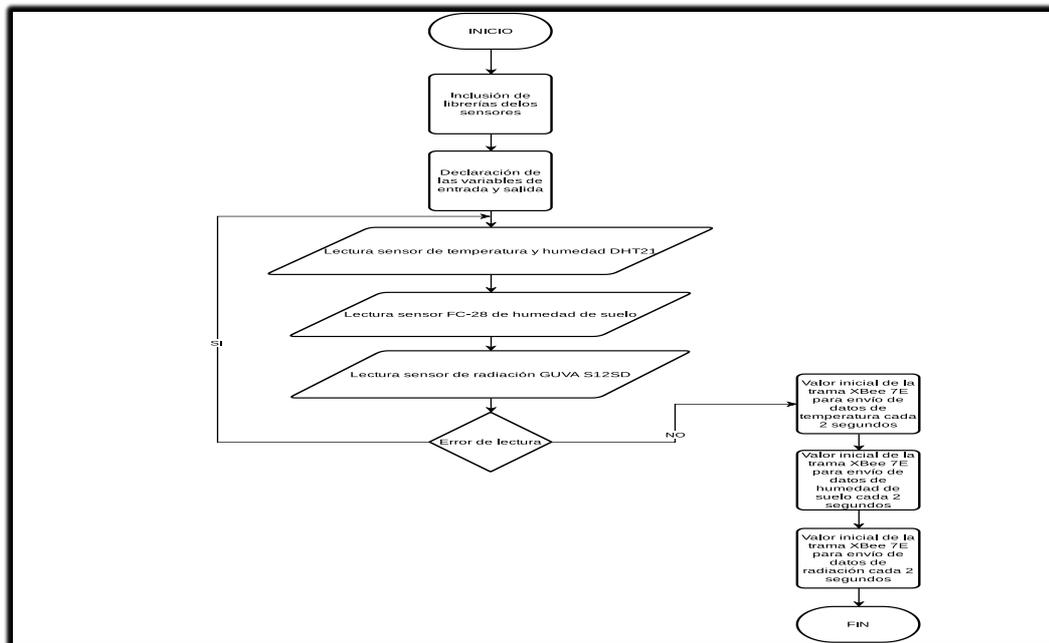
Sensor de Temperatura y Humedad relativa DHT21: Compatible con la tarjeta de Arduino, idóneo para exteriores debido a su empaque robusto, mejor resolución y mayor precisión en la toma de datos tanto en temperatura como humedad, posee librerías actualizadas compatible con la mayoría de los softwares de programación. Este sensor se ubica a una altura de 1.5 metros por encima del cultivo en una caja que los proteja y es el encargado de notar cambios en la variable de temperatura ambiental.

Sensor de Radiación UV-GUVA-S12SD: Compatible con la tarjeta Arduino, posee entrada analógica, cubre espectros de UVB y UVA, ya que tiene incorporado un sensor de luz tipo UV y no uno calibrado como el sensor SI1145. Mediante este sensor se puede programar el índice UV con respecto al voltaje que recibe y emplear una tabla para marcar desde el nivel mínimo al peligroso de radiación UV. Al igual que el sensor de temperatura y humedad DHT21, se ubica a una altura de 1.5 metros por encima del cultivo en una caja que los proteja y es el encargado de notar cambios en la variable de radiación solar.

El proceso de monitoreo se lo realiza continuamente sin ningún tipo de interrupción, ya que permite al PP visualizar los datos en tiempo real, dando un beneficio extra cuando se analicen los datos de la tarjeta SD para realizar un promedio de temperatura durante horas del día como en horas de la noche.

El Diagrama 1 explica la sucesión de acciones que tendrá este módulo de detección o alerta.

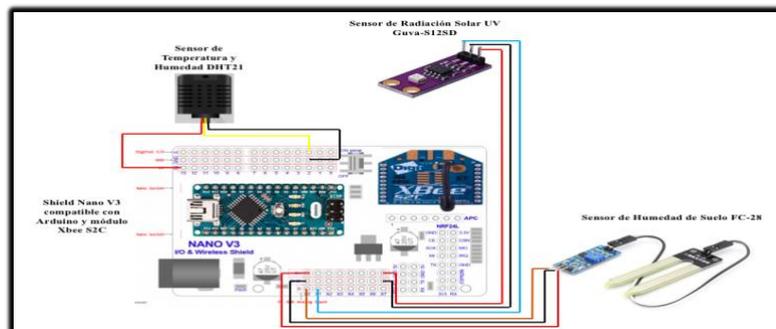
Diagrama 1. Diagrama de flujo del Módulo de Detección o Alerta



Elaborado por: Lizbeth Rivadeneira

En la Figura 7 se muestra el esquema de componentes y conexiones que conforman el módulo de detección.

Figura 7. Esquema de conexiones de Módulo de Detección o Alerta



Elaborado por: Lizbeth Rivadeneira

### 3.4 MÓDULO DE COMUNICACIÓN O RECEPCIÓN DE DATOS

Este módulo está conformado por la tarjeta Arduino Nano, Arduino Mega 2560, Shield Nano V3.0 y los módulos XBee S2C.

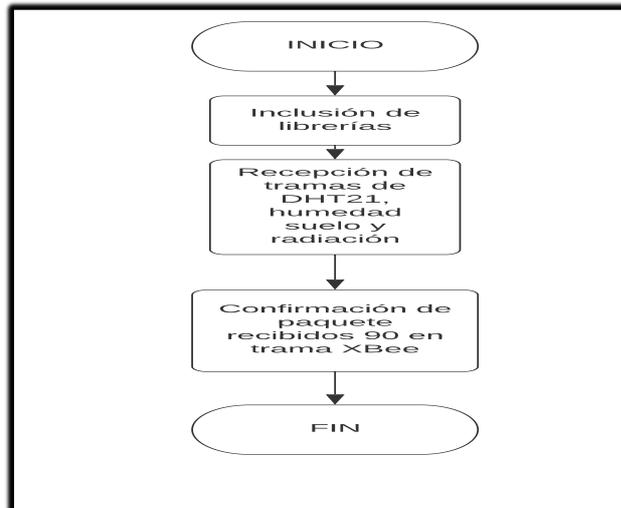
Los XBee son los encargados de enviar los datos obtenidos mediante el módulo de detección y además recibir dichos datos en el módulo de interfaz de usuario y de almacenamiento; lo que permite la activación del módulo actuador ya sea de forma automática, es decir, si se cumplen con las condiciones programadas con respecto a temperatura ambiental y humedad de suelo, o de forma manual que depende exclusivamente de las necesidades del usuario. El Protocolo XBee/ZigBee emplea el estándar IEEE 802.15.4 , el mismo que es ideal para aplicaciones o proyectos que emplean baja latencia, tiempos de comunicación determinados, mayor rendimiento y facilidad de desarrollo.(Modules, n.d.)

Este dispositivo es idóneo ya que no requiere que la distancia sea corta entre emisor y receptor como los módulos de radio frecuencia comunes, no necesita el cálculo de una antena externa para asegurar que los datos lleguen adecuadamente. El módulo empleado en este prototipo es el modelo S2C ya que posee un alcance de 90 metros en lugares cerrados y 3200 metros en lugares abiertos, tiene incorporada la comunicación SPI (Serial Peripheral Interface) y UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter) dando un beneficio de intercambio de datos a alta velocidad entre dispositivos, trabaja a una frecuencia de 2.4GHz y las redes de conexión que se pueden crear son: punto a punto, punto multipunto, broadcast y mesh. Su temperatura de operación ofrece un plus porque no tiene inconveniente en trabajar en el rango de -40°C hasta los 85°C.

El emisor (router) se encuentra en el shield Nano V3.0 con la tarjeta Arduino Nano y el receptor (coordinador) en el shield acoplado a la tarjeta Arduino Mega 2560.

El Diagrama 2 explica la sucesión de acciones que tendrá este módulo de comunicación

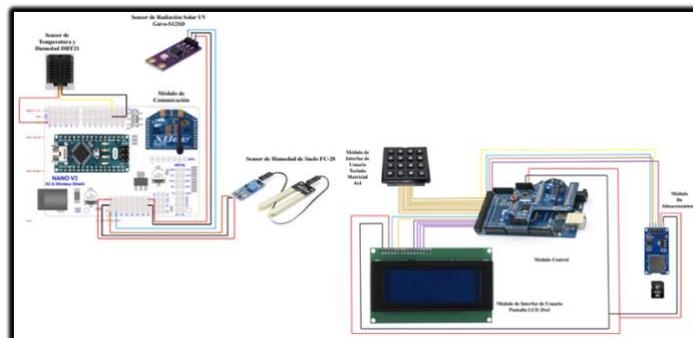
Diagrama 2. Diagrama de flujo del Módulo de Comunicación



Elaborado por: Lizbeth Rivadeneira

En la Figura 8 se muestra el esquema de componentes y conexiones que conforman el módulo de comunicación.

Figura 8. Módulo de comunicación



Módulos de comunicación Emisor y Receptor mediante Xbee con antena. Elaborado por: Lizbeth Rivadeneira

### 3.2.2 MÓDULO DE ALMACENAMIENTO DE DATOS

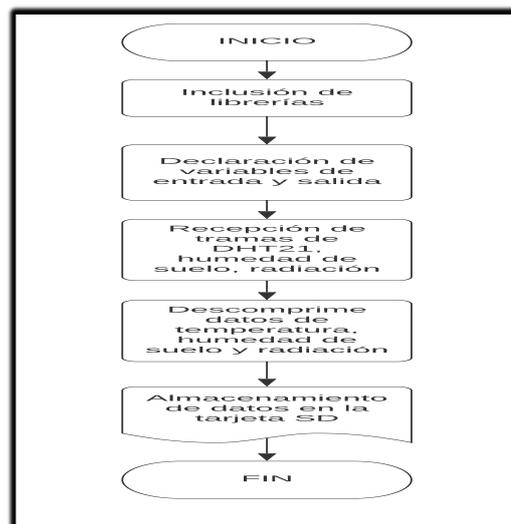
Este módulo está conformado por la tarjeta Arduino Mega 2560, módulo SD Card y el módulo XBee.

En concordancia a la economía de los pequeños productores (PP) cuyo presupuesto es menor de \$1000.00 dólares, se plantea un dispositivo de almacenamiento de bajo costo y fácil acceso se emplea una tarjeta SD en la que se guarden los datos obtenidos por el

módulo de detección ya que no permita conocer de mejor manera la época, tiempo y duración en la que sucede la helada. Estos datos se pueden apreciar en tiempo real cambio a cambio en el módulo de interfaz de usuario y los datos registrados durante todo el día se los puede observar y ejecutar en una hoja de Excel mediante un computador o un celular; ya que un sistema de almacenamiento en nube es mucho mas costoso. El módulo SD estará vinculado con la tarjeta de Arduino Mega 2560, mediante las conexiones es los pines establecidos para su funcionamiento y su respectiva programación.

El Diagrama 3 explica la sucesión de acciones que tendrá el módulo de almacenamiento.

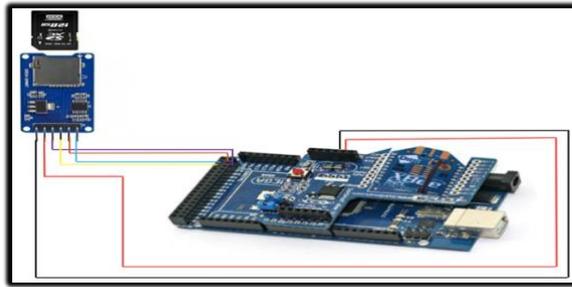
Diagrama 3. Diagrama de flujo del Módulo de Almacenamiento



Elaborado por: Lizbeth Rivadeneira

En la Figura 9 se muestra el esquema de componentes y conexiones que conforman el módulo de almacenamiento.

Figura 9. Módulo de Almacenamiento



El módulo de almacenamiento consta de un lector de tarjetas SD. Elaborado por:Lizbeth Rivadeneira

### 3.2.3 INTERFAZ DE USUARIO

Este módulo está conformado por la tarjeta Arduino Mega 2560, LCD 20x4 y el módulo XBee S2C.

El método de visualización es mediante una LCD 20x4, permitiendo de esta manera la visualización adecuada de los datos que se reciben y un menú más amplio que en una LCD 16x2.

El menú que se despliega consta de 3 ítems:

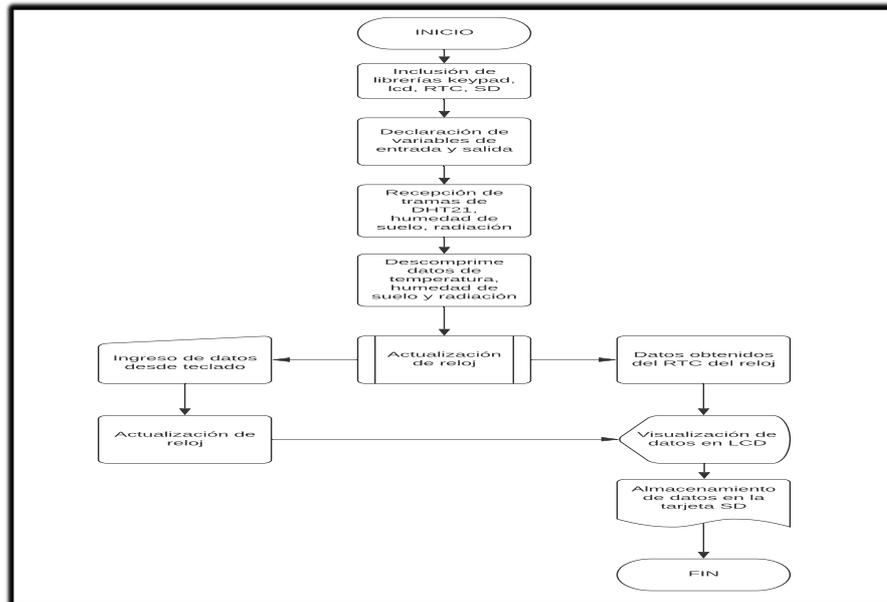
Igualar hora y fecha actual: Este ítem consta de un código en el que se ajusta Año/Mes/Día y Hora/Minutos

Monitoreo de Nodos: Este ítem consta de la distribución de 3 nodos, en cada nodo que se seleccione se observan los datos de los sensores que recibe el módulo coordinador.

Control: Este ítem consta de la activación manual o automática ya sea de la alarma o del sistema de riego (aspersión o por goteo).

El Diagrama 4 explica la sucesión de acciones que tendrá el módulo de interfaz de usuario.

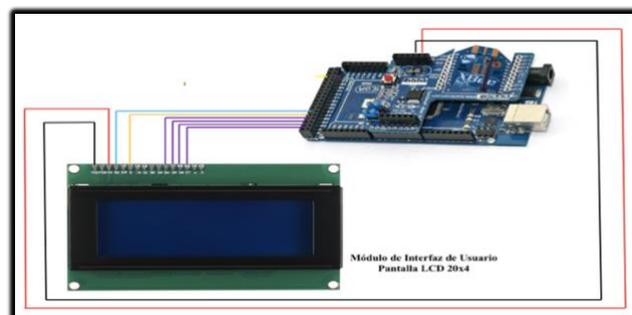
Diagrama 4. Diagrama de flujo del Módulo de Interfaz de Usuario



Elaborado por: Lizbeth Rivadeneira

En la Figura 10 se muestra el esquema de componentes y conexiones que conforman el módulo de interfaz de usuario.

Figura 10. Interfaz de Usuario



El módulo de almacenamiento consta de un display LCD20x4. Elaborado por:Lizbeth Rivadeneira

### 3.2.4 MÓDULO DE CONTROL

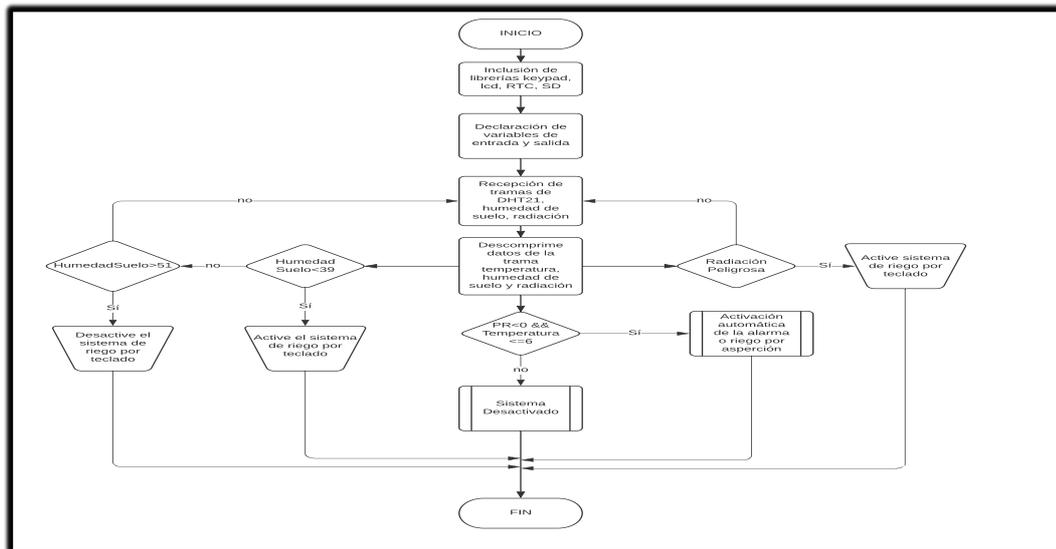
Este módulo está conformado por la tarjeta Arduino Mega 2560, LCD 20x4, teclado matricial 4x4 y el módulo XBee.

El teclado matricial es el encargado de accionar manualmente la alarma o el sistema de riego que posea el pequeño agricultor. A la vez permite el acceso a la configuración de hora, fecha y datos enviados por los sensores, los que se almacenan en la tarjeta SD.

Los demás componentes que lo conforman se mencionaron en los módulos anteriores.

El Diagrama 5 explica la sucesión de acciones que tendrá el módulo de control

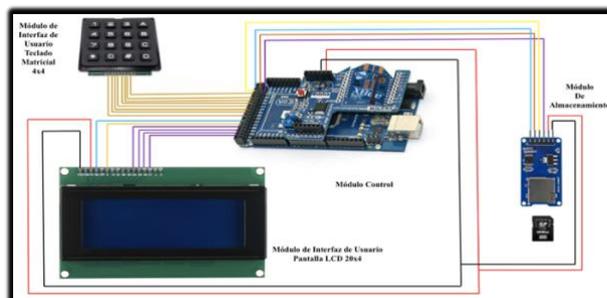
Diagrama 5. Diagrama de flujo del Módulo de Control



Elaborado por: Lizbeth Rivadeneira

En la Figura 11 se muestra el esquema de componentes y conexiones que conforman el módulo de control

Figura 11. Módulo de Control



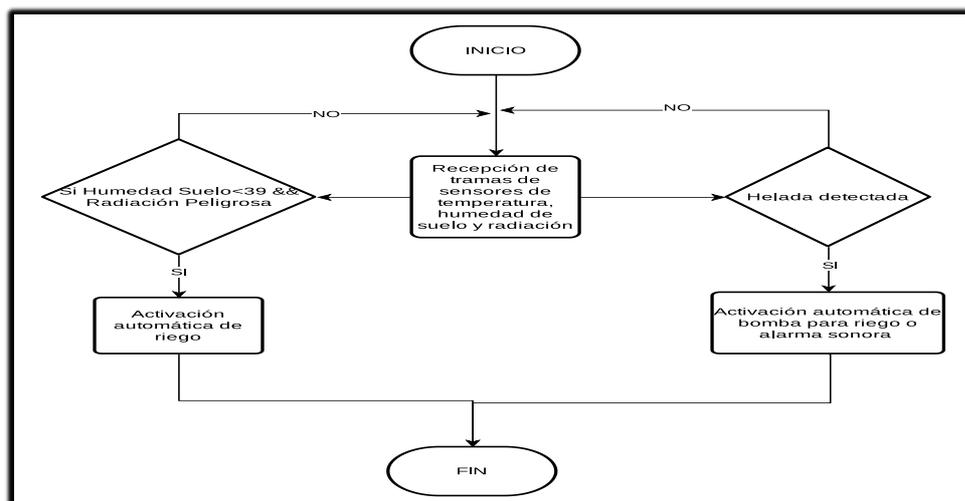
Elaborado por: Lizbeth Rivadeneira

### 3.2.5 MÓDULO ACTUADOR

Este módulo dependerá de los requerimientos y economía del usuario, en este proyecto el beneficiario quiere que su módulo actuador sea una alarma sonora, por ello se emplea un buzzer o parlante. Como propuesta a futuro se diseña un actuador como la medida de mitigación de aspersión de agua y por goteo, la cual es extraída de un tanque de reserva que estará a una temperatura óptima para evitar daños en el cultivo durante el evento de la helada. La propuesta del actuador como sistema de riego ya sea por aspersión o goteo consta de un bloque de potencia, con elementos como: bomba eléctrica, electroválvulas, módulo relé, transformador de voltaje y contactor. Este bloque se programa a la par del módulo de control. La ubicación de las electroválvulas, se disponen con los datos obtenidos por las variables ambientales, permitiendo realizar un mapa de calor de los puntos críticos para el cultivo y así determinar el distanciamiento óptimo entre dichas ellas, para cubrir de una manera adecuada el área de cultivo.

Para este módulo el Diagrama 6, explica la sucesión de acciones que se realizarán.

Diagrama 6. Diagrama de flujo del Módulo Actuador



Elaborado por: Lizbeth Rivadeneira

## CAPÍTULO 4

### IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO

#### 4.1 MÓDULO DE DETECCIÓN

Consta de 2 bloques: el de suelo y el de ambiente.

El bloque de Ambiente está formado por el sensor de temperatura y humedad DHT21, el sensor de radiación UV-GUVA-S12SD y el bloque de suelo está formado por el sensor de humedad de suelo FC-28; los pines de conexión se muestran en la Tabla 8.

Tabla 8. Pines de conexión del Módulo de Detección

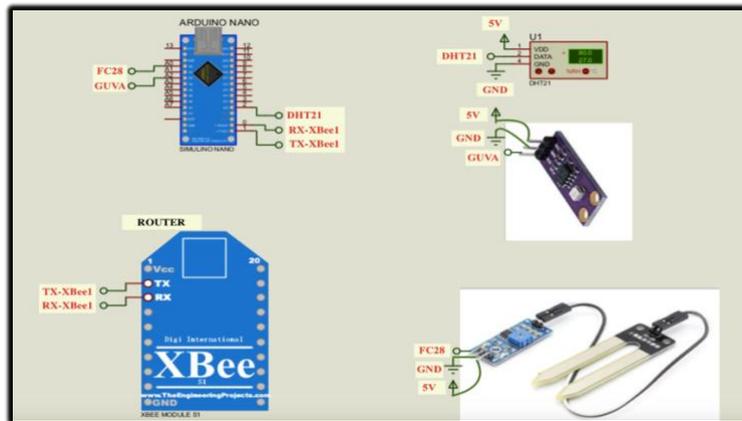
<b>Pin Arduino Nano</b>	<b>Sensor de Temperatura y Humedad DHT21</b>	<b>Sensor de Radiación UV-GUVA-S12SD</b>	<b>Sensor de Humedad de Suelo FC-28</b>
GND	GND	GND	GND
VCC	5V	5V	5V
Pin Data	D2	A2	A0

Elaborado por: Lizbeth Rivadeneira

El consumo de corriente de este módulo es de 140.6 mA tomando en cuenta un sensor DHT21, FC-28 y GUVA-S12SD, tarjeta Arduino Nano y el Shield Nano V3.0; con un voltaje de alimentación de 5V; empleando un margen por si se requiere implementar más sensores. La alimentación del módulo de detección se emplea una batería de 5V a 1200 mAh, disponible en el mercado local, para mantener la energía de la batería se conecta a un panel solar de 200mA que cumple la función de cargador. Para la protección del módulo de Detección, se emplea una caja metálica de 15x15 cm.

En las Figura 12 se observa el diagrama de conexiones del módulo realizado en el Software Proteus; en la Figuras 13 el módulo implementado.

Figura 12. Diagrama de conexiones del Módulo de Detección o Alerta



Elaborado por: Lizbeth Rivadeneira

Figura 13. Módulo de Detección o Alerta Implementado



Elaborado por: Lizbeth Rivadeneira

## 4.2 MÓDULO DE COMUNICACIÓN

Está compuesto por los módulos de comunicación inalámbrica XBee de la serie S2C con antena.

La configuración de los módulos XBee se la puede realizar mediante el uso de los siguientes programas: XCTU, PuTTY e HyperTerminal; para este proyecto se empleó el Software XCTU por sus prestaciones dado que permite la actualización del software del dispositivo, y modificar la configuración por defecto de forma sencilla y rápida.

El consumo de corriente del módulo de comunicación, contemplando los componentes del emisor (Arduino Nano, Módulo XBee S2C, Shield Nano V3.0) como los del

receptor (Arduino Mega, Módulo XBee S2C, ShieldnMega V3.0) es de 187.6 mA con voltaje de alimentación de 5V.

Los dispositivos se configuraron de la siguiente manera:

Rol Coordinador: Cada red requiere de uno. Este dispositivo se encuentra en el módulo de Interfaz de Usuario. En la Tabla 9 se observa los parámetros de configuración del rol Coordinador, al igual que en la Figura 14 y 15.

Tabla 9. Configuración Inicial del Módulo Xbee S2C

Configuración Inicial del Módulo Xbee S2C	
Configuración Predeterminada	Parámetro
Velocidad de Transmisión	9600
Datos	8 bit
Paridad	Ninguna
Bitsde Paro	1
Control de Flujo	Ninguno
Configuración de la Red del Coordinador	
PAN ID	2021
Verificación de Canal	Deshabilitado [0]
Dirección de destino Alta	13A200
Dirección de destino Baja	41B97733
Habilitación de Coordinador	Habilitado [1]
Nodo Identificador	Coordinador

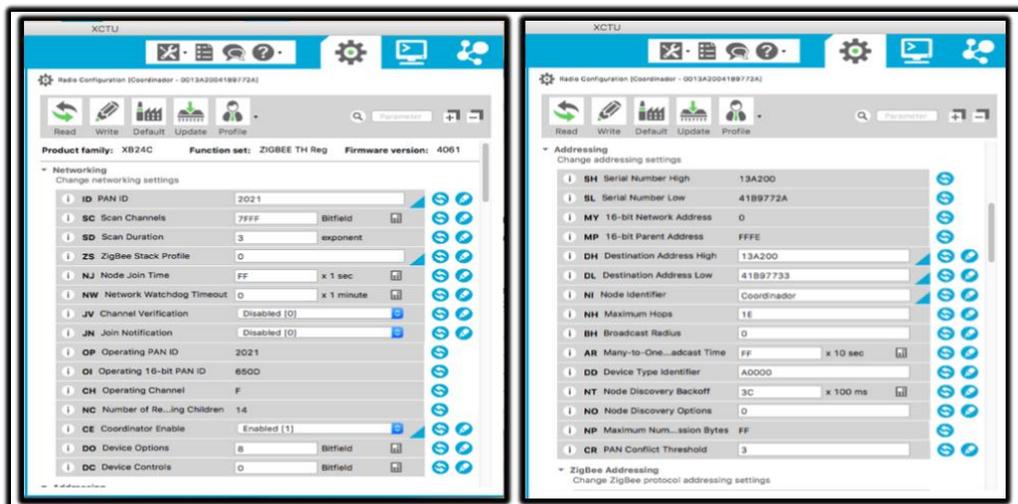
Elaborado por: Lizbeth Rivadeneira

Figura 14. Rol Coordinador Configuración Inicial



Configuración Inicial del Módulo Coordinador basado en la Tabla 9. Elaborado por: Lizbeth Rivadeneira

Figura 15. Rol Coordinador Configuración de Red



Configuración de Red del Coordinador basado en la Tabla 9. Elaborado por: Lizbeth Rivadeneira

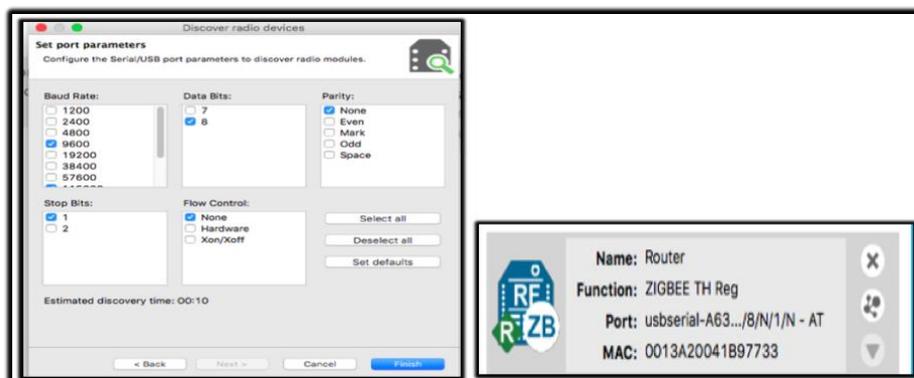
Rol Router: Su existencia en la red puede ser de varios, su trabajo es redirigir mensajes entre routers. Este dispositivo se encuentra en el módulo de detección. En la Tabla 10 y se observan los parámetros de configuración de este rol, al igual que en las Figuras 16 y 17.

Tabla 10. Configuración Inicial del Módulo Xbee S2C

Configuración Inicial del Módulo Xbee S2C	
Configuración Predeterminada	Parámetro
Velocidad de Transmisión	9600
Datos	8 bit
Paridad	Ninguna
Bits de Paro	1
Control de Flujo	Ninguno
Configuración de la Red del Router	
PAN ID	2021
Verificación de Canal	Habilitado [1]
Dirección de destino Alta	13A200
Dirección de destino Baja	41B9772A
Habilitación de Coordinador	Deshabilitado [0]
Nodo Identificador	Router

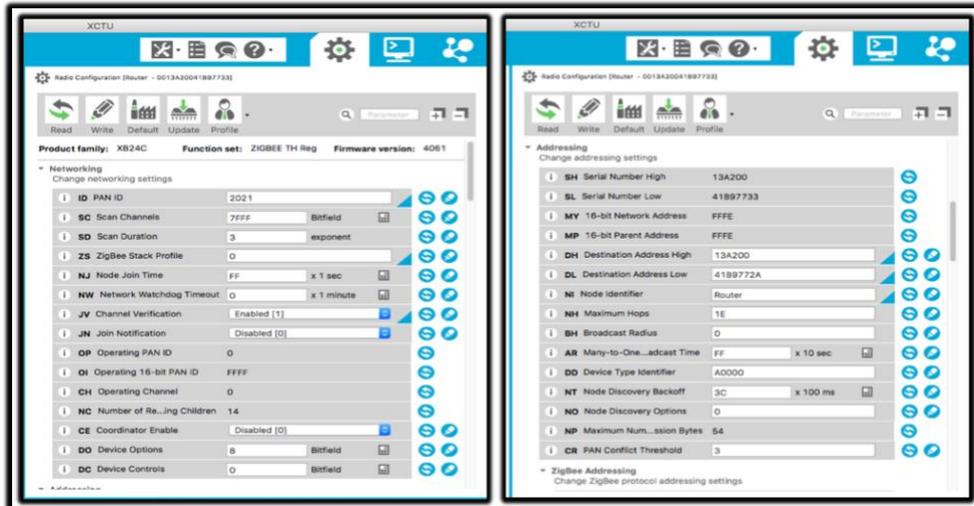
Elaborado por: Lizbeth Rivadeneira

Figura 16. Rol Router Configuración Inicial



Configuración Inicial del Módulo Coordinador basado en la Tabla 10. Elaborado por: Lizbeth Rivadeneira

Figura 17. Rol Router Configuración de Red

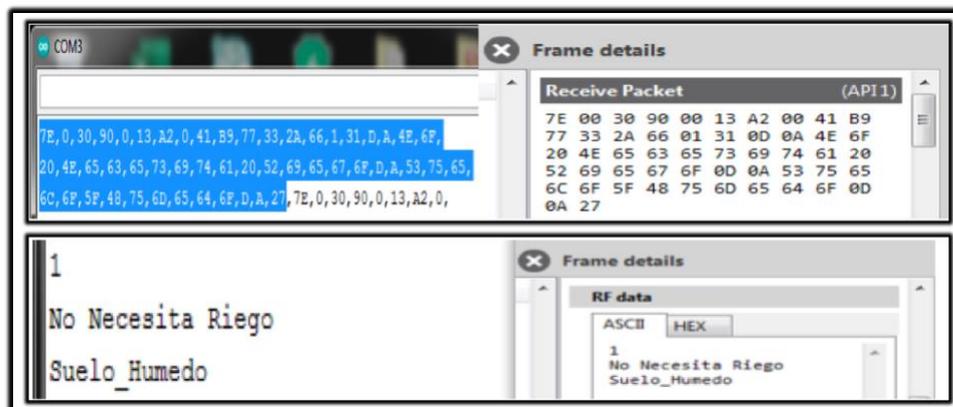


Configuración de Red del Coordinador basado en la Tabla 10. Elaborado por: Lizbeth Rivadeneira

Como se observa en las Tablas 9 y 10 la direcciones de destino tanto alta como baja son las pertenecientes a cada módulo XBee, para ello el módulo Coordinador se le asignan las del Router y viceversa para asegurar que los datos lleguen al destino adecuado. La trama de los datos que se envían del módulo de detección hacia el módulo de Interfaz de Usuario se observa de la siguiente manera, cada dato nuevo que se envía comienza con 7E.

En la Figura 18 se observa la trama de sensor de humedad de suelo FC-28 enviada desde desde el módulo de detección hacia el módulo de interfaz de usuario.

Figura 18. Comparación trama del sensor de Humedad FC-28

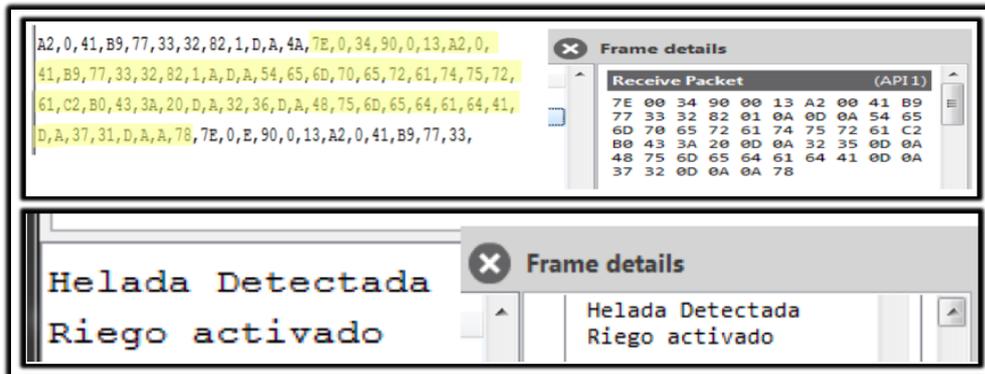


Trama Izquierda Puerto Serial de Arduino Nano, Trama derecha Puerto COM Programa XCTU.

Elaborado por: Lizbeth Rivadeneira

En la Figura 19 se observa la trama de sensor de temperatura y humedad de suelo DHT-21, enviada desde desde el módulo de detección hacia el módulo de interfaz de usuario.

Figura 19. Comparación trama del sensor de Temperatura DHT-21

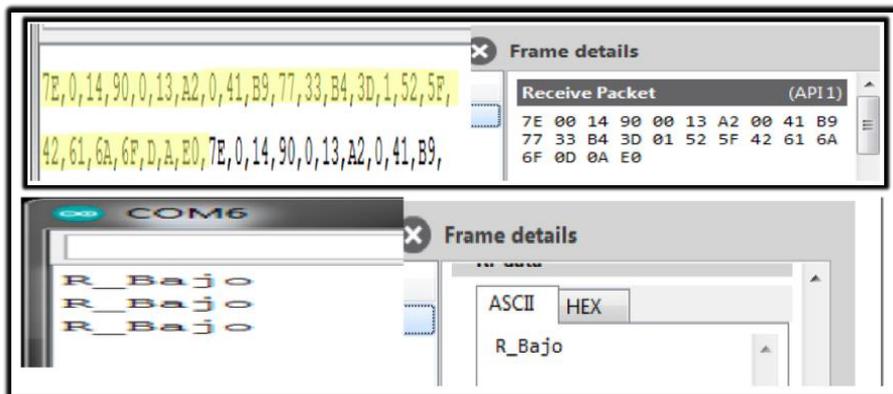


Trama Izquierda Puerto Serial de Arduino Nano, Trama derecha Puerto COM Programa XCTU.

Elaborado por: Lizbeth Rivadeneira

En la Figura 20 se observa la trama de radiación solar GUVA-S12SD, enviada desde desde el módulo de detección hacia el módulo de interfaz de usuario.

Figura 20. Comparación trama del sensor de Radiación GUVA-S12SD

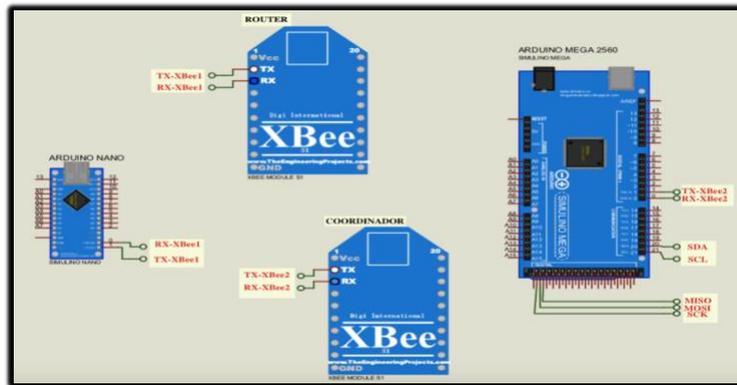


Trama Izquierda Puerto Serial de Arduino Nano, Trama derecha Puerto COM Programa XCTU.

Elaborado por: Lizbeth Rivadeneira

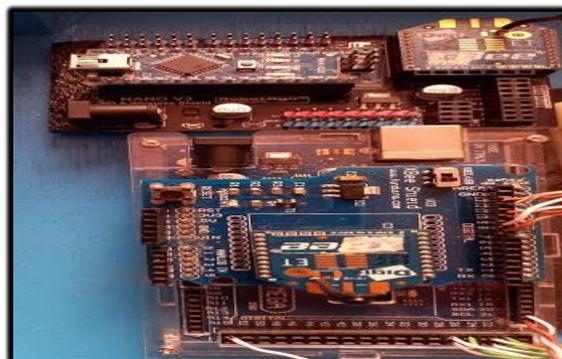
En las Figuras 21 y 22 se observa el diagrama de conexiones del módulo de comunicación realizado en el Software Proteus y el módulo implementado

Figura 21. Diagrama de Conexiones Módulos de comunicación XBee S2C



Elaborado por: Lizbeth Rivadeneira

Figura 22. Módulo de comunicación XBee S2C Implementado



Módulo superior Arduino Nano XBee Rol Router, Módulo inferior Arduino Mega 2560 XBee Rol Coordinador. Elaborado por: Lizbeth Rivadeneira

### 4.3 MÓDULO DE ALMACENAMIENTO

El módulo de almacenamiento consta de una tarjeta Micro SD de 16GB, en la cuál se almacenan los datos de Temperatura - Humedad Ambiente, Punto de Rocío, Humedad de suelo, y un reloj RTC DS3132. Los pines de conexión se muestran en la Tabla 11.

Tabla 11. Pines de conexión del módulo de Almacenamiento

Pines Arduino Mega 2560	Módulo Tarjeta Micro SD	Módulo Reloj DS3231
GND	GND	GND
VCC	5 V	5 V
Pin Data	CS – D4 SCK – D52 MOSI – D51	SCL - A5 SDA – A4

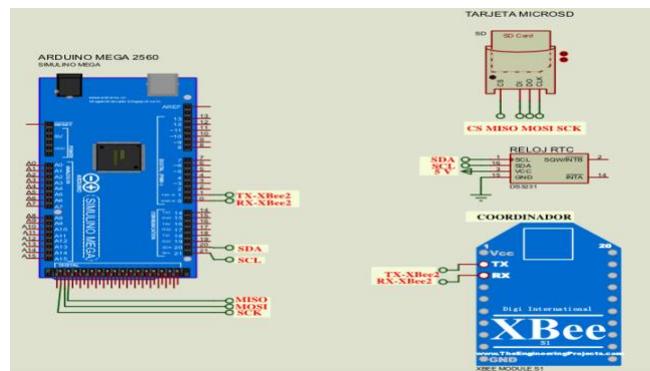
	MISO – D50	
--	------------	--

Elaborado por: Lizbeth Rivadeneira

El consumo de corriente del módulo de Almacenamiento (Tarjeta Micro SD, Reloj RTC DS3231) es de 201.5 mA con un voltaje de alimentación de 5V.

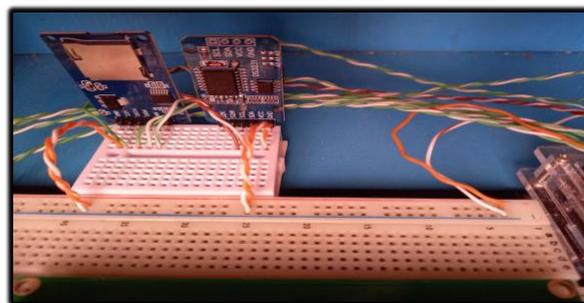
En las Figuras 23 y 24 se observa el diagrama de conexiones de módulo de almacenamiento realizado en el Software Proteus y módulo implementado.

Figura 23. Diagrama de Conexiones Módulos de Almacenamiento



Elaborado por: Lizbeth Rivadeneira

Figura 24. Módulo de Almacenamiento Implementado



Elaborado por: Lizbeth Rivadeneira

#### 4.4 INTERFAZ DE USUARIO Y MÓDULO DE CONTROL

Consta de una pantalla LCD 20x4 y un teclado matricial 4x4, los pines de conexión se muestran en la Tabla 12.

Tabla 12. Pines de conexión de Intefaz de Usuario y Módulo de Control

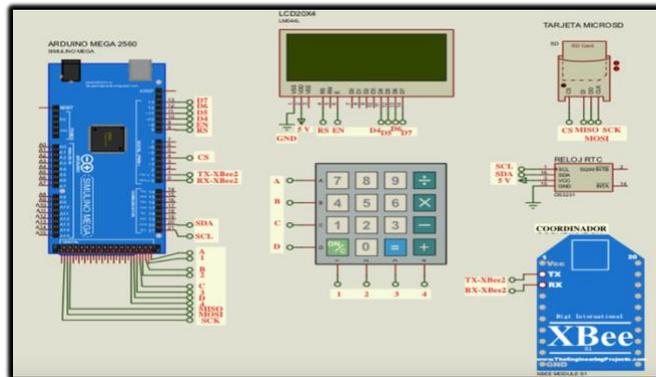
Pines Arduino Mega 2560	Pantalla LCD 20x4	Teclado Matricial 4x4
GND	GND	GND
VCC	5 V	5 V
Pin Data	RS – D8 EN – D9 Pin data4 – D10 Pin data5 – D11 Pin data6 – D12 Pin data7 – D13	Filas – D23, D25, D27, D29 Columnas – D22, D24, D26, D28

Elaborado por: Lizbeth Rivadeneira

El consumo de corriente de este módulo es de 248mA (Arduino Mega, LCD20x4, teclado matricial 4x4) con un voltaje de alimentación de 5V.

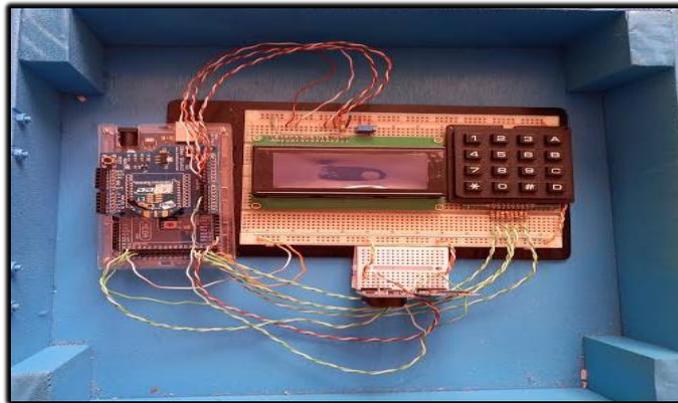
En las Figuras 25 y 26 se observa el diagrama de conexiones de módulo de Interfaz de Usuario y Control realizado en el Software Proteus y módulo implementado.

Figura 25. Diagrama de Conexiones Módulos de Interfaz de Usuario y Control



Elaborado por: Lizbeth Rivadeneira

Figura 26. Módulo de Interfaz de Usuario y Control Implementado



Elaborado por: Lizbeth Rivadeneira

#### 4.5 MÓDULO DE ACTUADOR

Este módulo dependerá de los requerimientos del Pequeño Productor (PP). Para ello se platearon dos escenarios.

El primer escenario requiere de un módulo relé de 2 canales y un buzzer o parlante, el cuál será el encargado de notificar de manera sonora la existencia de una helada. Los pines de conexión del primer escenario se encuentran en las Tablas 13 y 14.

Tabla 13. Pines de conexión del módulo Actuador Escenario 1 Arduino Mega

Pin Arduino Mega 2560	Dispositivo
GND	GND
VCC	5 V
D 22	Alarma Sonora (Buzzer)

Elaborado por: Lizbeth Rivadeneira

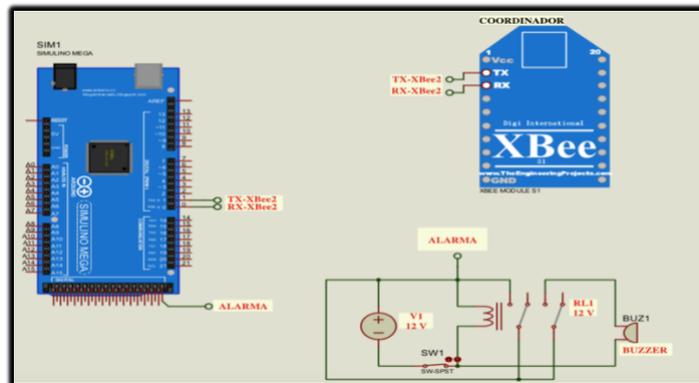
Tabla 14. Pines de conexión del módulo Actuador Escenario 1 Alarma Sonora

Pin Módulo Relé	Dispositivo
1	Alarma(Arduino Mega)
2	Buzzer
VCC	12 VDC
GND	GND

Elaborado por: Lizbeth Rivadeneira

En la Figura 27 se observa el diagrama de conexiones de módulo Actuator Escenario 1- Alarma Sonora, realizado en el Software Proteus.

Figura 27. Diagrama de Conexiones Módulo Actuator Escenario 1 - Alarma Sonora



Elaborado por: Lizbeth Rivadeneira

En la Figura 28 se observa los módulos de control y actuator implementados

Figura 28. Módulo de Control y Actuator Escenario 1 - Alarma Sonora



Elaborado por: Lizbeth Rivadeneira

El segundo escenario requiere de un módulo relé de 4 canales, una bomba eléctrica, 3 electroválvulas, contactor de 12 A y un disyuntor. De esta forma al detectar una helada, el módulo actuator se acciona de manera inmediata.

Los pines de conexión del primer escenario 2 se encuentran en las Tablas 15 y 16.

Tabla 15. Pines de conexión del módulo Actuator Escenario 2 Arduino Mega

Pin Arduino Mega 2560	Dispositivo
D22	Bomba
D23	E. Aspersión 1

D24	E. Aspersión 2
D25	E. Goteo
VCC	5 V
GND	GND

Elaborado por: Lizbeth Rivadeneira

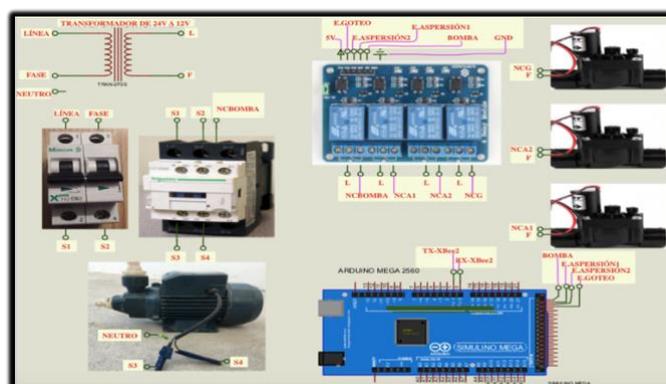
Tabla 16. Pines de conexión del módulo Actuador Escenario 2 Bomba Eléctrica

Pin Módulo Relé	Dispositivo
1	Bomba
2	E. Aspersión 1
3	E. Aspersión 2
4	E. Goteo
VCC	12 VDC
GND	GND

Elaborado por: Lizbeth Rivadeneira

En la Figura 29 se observa el diagrama de conexiones de módulo Actuador Escenario 2- Bomba Eléctrica, realizado en el Software Proteus.

Figura 29. Diagrama de Conexiones Módulo Actuador Escenario 2 – Bomba Eléctrica



Elaborado por: Lizbeth Rivadeneira

Con respecto a la implementación de este módulo se realizó de dos formas debido a la pandemia: La primera en la cuál un pequeño agricultor del Cantón Cebadas facilitó el uso de su terreno para pequeñas pruebas con una bomba tipo eléctrica de 0.5 HP (373 Watts) a 110V, que empleaba de forma manual para regar los cultivos, pero no estaba

correctamente dimensionada para el consumo de corriente de la misma, lo que producía que pagara mayor costo de energía eléctrica, por ello se procedió a realizar el cálculo adecuado de corriente de la bomba como muestra la ecuación 4.1 y los dispositivos idóneos para acoplar el prototipo de control de heladas. Al igual las electroválvulas se ubicaron acorde el terreno donde necesita mayor humedad y la temperatura descendía propiciando una helada.

El cálculo de corriente para protección de la bomba eléctrica.

$$P = V \times I \quad \text{Ec. (4.1)}$$

Se despeja la corriente y se reemplazan los valores de Potencia y voltaje, como muestra la ecuación 4.2

$$I = \frac{373 \text{ W}}{110 \text{ V}} = 3.391 \text{ A} \quad \text{Ec.(4.2)}$$

Para cubrir el consumo de corriente, se requiere un contactor entre 10 – 12 Amperios, en el mercado nacional el más común es el de 12 A, y se acopla el Escenario 2 como módulo Actuador. En la Figura 30 se observa los componentes del módulo actuador implementado.

Figura 30. Módulo Actuador Escenario 2 – Bomba Eléctrica Implementado



Elaborado por: Lizbeth Rivadeneira

## CAPÍTULO 5

### ANÁLISIS Y RESULTADOS

#### 5.1 DESCRIPCIÓN DEL ESCENARIO DE PRUEBAS

La topología del terreno es de suma importancia, ya que con ella se ubican las zonas donde la temperatura tiende a subir o bajar con la finalidad de dar mayor cobertura del dispositivo durante el fenómeno de la helada.

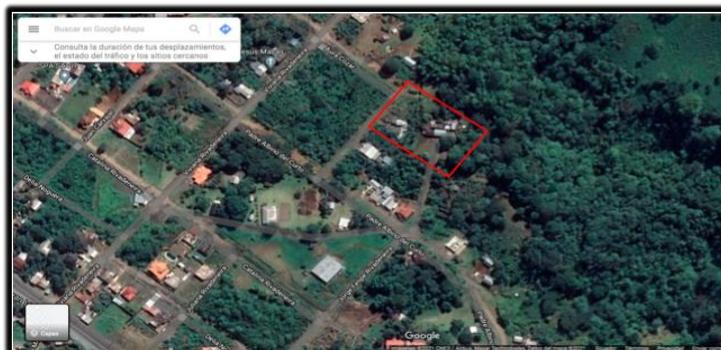
Las pruebas se realizaron en 2 lugares diferentes, dado a la situación actual de la pandemia y el riesgo a contagio.

El primer lugar se realizaron pruebas en la Provincia de Chimborazo, Cantón Cebadas Vía Guamote-Macas, en la cuál se probó el prototipo con el sistema de riego que poseía el usuario, con plantación de fresas y verduras.

El segundo lugar de pruebas se realizó en la Provincia de Morona Santiago, Cantón Morona, exactamente en la Ciudad de Macas, como se muestra en la Figura 33.

La propiedad pertenece al Señor Luis Antonio Rivadeneira Rivadeneira. El área de terreno es de  $155.49 \text{ m}^2$  (21.30m x 7.30 m), con cultivos de col, cebolla blanca, zanahoria, cebollín, fréjol y cilantro como se muestra en las Figuras 31 y 32.

Figura 31. Ubicación del terreno de pruebas



Fuente: Google Maps

Figura 32. Terreno de pruebas



Elaborado por: Lizbeth Rivadeneira

### 5.1.1 Módulo de Detección o Alerta

El módulo de detección se ubicó a una altura de 1.5 metros del nivel de suelo, ya que proporciona una mejor recepción de las variables ambientales para los sensores DHT21 y GUYA S12SD, sensores de Humedad de Suelo FC-28 se colocaron verticalmente en cada cama a 30 centímetros de distancia. En la Figura 33 se observa la colocación de los sensores y el módulo implementado. Los valores obtenidos se mostrarán en el apartado de Resultados obtenidos.

Figura 33. Colocación del Sensores y módulo implementado



Sensores: DHT21, FC-28 y GUYA-S12SD. Elaborado por: Lizbeth Rivadeneira

### 5.1.2 Módulo de Comunicación

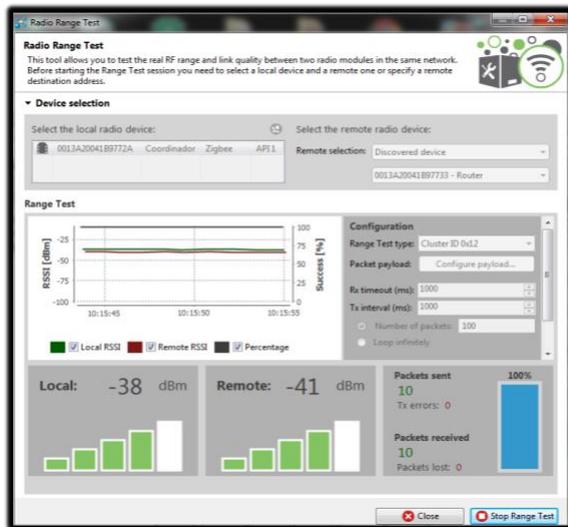
Las pruebas de envío y recepción de datos se las realizó entre 10 metros a 150 metros de distancia entre los módulos de detección e de interfaz de usuario, como se muestra en la Tabla 17 y en la Figura 34.

Tabla 17. Escala RSSI e Interpretación de los valores en dBm basados en las pruebas realizadas de 10 a 150 metros de distancia

Distancia [m]	Escala RSSI [dBm]	Escala Cobertura de Señal [dBm]	Interpretación General
0	0	0	Enlace y Cobertura Excelente
10	-24	-50	Enlace idóneo y cobertura excelente
50	-50	-65	Enlace idóneo y cobertura excelente
80	-57	-70	Enlace bueno y cobertura excelente
120	-66	-85	Enlace bueno y cobertura muy buena
150	-72	-90	Enlace medianamente bueno y cobertura medianamente buena

Elaborado por: Lizbeth Rivadeneira.

Figura 34. Señal de enlace y Cobertura de señal entre Módulo de Detección e Interfaz de Usuario.



Distancia de 30 metros entre módulos. Elaborado por: Lizbeth Rivadeneira

### 5.1.3 Módulo de Almacenamiento

Los datos obtenidos del módulo de detección se almacenan en la tarjeta de memoria con módulo correspondiente, fecha, hora en formato .txt para facilitar el análisis y el uso de los mismos, como se observa en las Figuras 35.

Figura 35. Datos Módulo Detección.



Temperatura, Humedad Ambiental, Humedad Suelo y Radiación. Elaborado por: Lizbeth Rivadeneira

Los rangos idóneos según el tipo de sensor son los siguientes:

- Humedad de Suelo menor a 39 es suelo húmedo, de 39 a 51 es idóneo y mayor a 51 es suelo seco.
- Radiación de 0 a 0.300V es Baja, de 0.301 a 0.600V es Moderada, de 0.601 a 0.800V es Alta, de 0.801 a 1.100 Muy Alta y mayores a 1.101 es Peligrosa.
- Temperatura igual o menor a 4°C, se detecta la helada.

#### 5.1.4 Módulos de Interfaz de Usuario y Control

Los módulos de interfaz de usuario y control se implementan mediante una caja de madera de 30x30x5 centímetros, con la finalidad de proteger los dispositivos que lo conforman, como se observa en la Figura 36.

Figura 36. Módulos de Interfaz de Usuario y Control Implementado



Elaborado por: Lizbeth Rivadeneira

Dichos módulos cuentan con un menú con 3 opciones; Fecha y Hora, Módulos de Detección y Control Manual para el riego ya sea por goteo (Humedad de Suelo) o Aspersión (Protección ante la Helada), ya que por defecto se programa al prototipo para que realice el riego por aspersión de forma automática cuando la Temperatura Ambiente sea igual o menor a 4°C, al igual que el goteo por aspersión cuando se detecte que el suelo se encuentra seco, es decir HumSuelo mayor a 51%.

#### **5.1.4.1 Configuración del Menú**

Consta de un mensaje de Bienvenida antes del despliegue del menú como tal.

Al visualizar el menú se muestran 3 opciones: Fecha y Hora, Módulos de Detección y Control Manual.

Si se selecciona la Opción 1, se muestra en Pantalla el siguiente Mensaje: Año, Mes, Día, Hora y Minutos; una vez actualizados estos datos se presiona asterisco (\*) para volver al menú.

Si se selecciona la Opción 2, se muestra en Pantalla los módulos que se encuentran en funcionamiento con sus respectivos datos de Temperatura y Humedad Ambiental, Humedad de Suelo y Radiación; para salir de esta opción se presiona asterisco (\*) y se regresa al menú.

Si se selecciona la Opción 3, se muestra en Pantalla en Control Manual, ya sea para la activación de la alarma o el sistema de riego. Si el caso fuese un sistema de Riego se cuenta con 2 opciones: Por Goteo o Por Aspersión.

En la Figura 37 se muestra lo anteriormente mencionado.

Figura 37. Menú Desplegado



Elaborado por: Lizbeth Rivadeneira

## **5.2 ESCENARIO DE PRUEBAS**

### **5.2.1 Prueba en la Medición de Temperatura**

Para la medición de temperatura se efectúan dos pruebas: emisión de alerta y resolución en la medición del valor dado por el prototipo.

### 5.2.1.1 Emisión de Alerta

En esta prueba el sensor DHT21 se estimula con hielo, con la finalidad de generar el escenario de la helada a 4°C, de esta forma se logró la activación de la alarma sonora como se muestra en la Figura 38.

Figura 38. Emisión de Alerta del Fenómeno de Helada



Elaborado por: Lizbeth Rivadeneira

### 5.2.1.2 Comparativa de Resolución

Para obtener la comparativa se emplea la temperatura proporcionada por el sitio Web The Weather Channel como se muestra en la Figura 39.

Figura 39. Comparativa de Temperatura



Elaborado por: Lizbeth Rivadeneira

### 5.2.1.3 Prueba en la Medición de Humedad de Suelo

Para la medición de humedad de suelo se estimula al sensor FC-28 con dos pruebas; en un suelo húmedo aplicando agua al terreno y un suelo seco; estableciendo la comparativa de resolución con el dispositivo adicional llamado Termo-Higrómetro

Agrícola. Cabe recalcar que las condiciones ideales de humedad para el cultivo de arándano se encuentra en el rango de 39% a 50%. En la Figura 39 se observa la resolución obtenida por el prototipo respecto a este ítem.

#### 5.2.1.4 Prueba en la Medición de Radiación Solar

Para la medición de la radiación solar de suelo se estimula al sensor GUVA S12SD con una linterna de 6.000 lúmenes, sumando la radiación dada durante el día. Los valores de radiación se obtienen con la conversión a voltaje de la lectura dada por el sensor, de esta manera se establece el rango de valores que determinan si la radiación es baja, moderada, alta, muy alta y peligrosa, como indica la Tabla 18 proporcionada por el datasheet. En la Figura 39 se observa la resolución obtenida por el prototipo respecto a este ítem.

Tabla 18. Rango de valores de voltaje con respecto al tipo de radiación

Nivel de Voltaje	Nivel de Radiación
De 0V a 0.30V	Baja
De 0.31V a 0.60V	Moderada
De 0.61V a 0.80V	Alta
De 0.81V a 1.10V	Muy Alta
De 1.11V a 5.00V	Peligrosa

Elaborado por: Lizbeth Rivadeneira

### 5.3 RESULTADOS OBTENIDOS

#### 5.3.1 Sensor de Temperatura y Humedad DHT21

Para la comprobación de los datos que se obtienen del módulo de detección, se empleó un Termo-Higrómetro agrícola, el cuál posee un rango de temperatura ambiente de -20°C a 70°C con una precisión de  $\pm 0.4^\circ\text{C}$  y humedad relativa de 0 a 100% RH con una precisión de  $\pm 3$  RH; el sensor DHT21 posee un rango de temperatura de -40°C a 80°C con una precisión de  $\pm 0.5^\circ\text{C}$  y humedad relativa de 0 a 100% RH con una precisión de  $\pm 3$  RH.

Para la Tabla 19 se toma una muestra de 15 datos proporcionados por el sensor DHT21 con respecto a temperatura y se los compara con los datos del termo-higrómetro.

Tabla 19. Comparativa de valores Módulo De Detección 1 y Termo-Higrómetro °C

Nº de Muestras	Módulo de Detección - Sensor DHT21 (°C)	Termo-Higrómetro (°C)	Error Absoluto (°C)
1	9,50	9,00	0,50
2	10,00	10,20	0,20
3	10,20	10,00	0,20
4	10,80	10,50	0,30
5	11,20	11,00	0,20
6	12,20	11,50	0,70
7	12,40	12,30	0,10
8	12,90	12,50	0,40
9	13,10	12,80	0,30
10	13,70	13,50	0,20
11	13,50	13,00	0,50
12	14,00	13,90	0,10
13	14,60	14,00	0,60
14	17,70	18,00	0,30
15	21,30	20,30	1,00

Tabla con valores de Temperatura Ambiente Elaborado por: Lizbeth Rivadeneira

Los valores que se obtienen en la Tablas 19, muestran un error absoluto entre 0.1°C y 1°C; dichos valores son aceptables y satisfacen las necesidades del prototipo.

### 5.3.2 Sensor de Humedad de Suelo FC-28

Para la Tabla 20 se toma una muestra de 15 datos proporcionados por el sensor FC-28 con respecto a humedad relativa del suelo y se los compara con los datos del termo-higrómetro.

Tabla 20. Comparativa de valores Módulo De Detección 1 y Termo-Higrómetro en %RH (Humedad Relativa)

N° de Muestras	Módulo de Detección – Sensor FC-28 (%RH)	Termo-Higrómetro (%RH)	Error Absoluto (%RH)
1	78,20	75,00	3,20
2	78,30	75,00	3,30
3	78,50	76,00	2,50
4	78,50	76,00	2,50
5	78,30	76,00	2,30
6	77,00	75,00	2,00
7	76,90	78,00	1,10
8	76,80	77,00	0,20
9	77,80	76,00	1,80
10	77,40	74,00	3,40
11	77,40	75,00	2,40
12	77,00	77,00	0,00
13	76,90	74,00	2,90
14	76,60	7,00	1,60
15	76,10	74,00	2,10

Tabla con valores de Humedad Ambiente Elaborado por: Lizbeth Rivadeneira

Los valores que se obtienen en la Tabla 20, muestran un error absoluto entre 0,9%RH y 3.4%RH; dichos valores son aceptables y satisfacen las necesidades del prototipo ya que la error máximo a considerarse debe ser de 7%RH.

### 5.3.3 Sensor de Radiación GUVA S12SD

Para la Tabla 21 se toma una muestra de 15 datos proporcionados por el sensor GUVA con respecto a la radiación solar y se los compara con los datos de la Tabla 21 anteriormente mencionada.

Tabla 21. Comparativa de valores Módulo De Detección 1 respecto a Radiación Solar

N° de Muestras	Módulo de Detección – Sensor GUVA (V)	Nivel de Radiación
1	0,138	Baja
2	0,150	Baja
3	0,200	Baja
4	0,240	Baja
5	0,302	Moderada
6	0,350	Moderada
7	0,400	Moderada
8	0,490	Moderada
9	0,610	Alta
10	0,670	Alta
11	0,730	Alta
12	0,803	Muy Alta
13	0,820	Muy Alta
14	1,110	Peligrosa
15	1,150	Peligrosa

Elaborado por: Lizbeth Rivadeneira

### 5.3.4 Prueba de Estabilidad de los Sensores

Los datos para la estabilidad de los sensores se obtienen del módulo de almacenamiento y se procede a calcular promedio, desviación estándar y coeficiente de variación; con estos valores se determina si el prototipo es estable y confiable cuando su coeficiente de variación es menor o igual a 1.

El promedio se obtiene con la ecuación 5.1

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N x_i \quad \text{Ec.(5.1)}$$

Donde:

N es el número de muestras

$x_i$  son los valores de cada muestra

La desviación estándar se obtiene con la ecuación 5.2

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad \text{Ec.(5.2)}$$

Donde:

N es el número de muestras

$x_i$  son los valores de cada muestra

$\bar{x}$  es el promedio de la muestra

El coeficiente de variación se obtiene con la ecuación 5.3

$$C. V = \frac{\sigma}{\bar{x}} \cdot 100 \quad \text{Ec.(5.3)}$$

Donde:

$\sigma$  es la desviación estándar de la muestra

$\bar{x}$  es el promedio de la muestra

En las Tablas 22, 23 y 24 se observa la Prueba de Estabilidad de los sensores que conforman el Módulo de Detección o Alerta a diferentes horas del día

Tabla 22. Prueba de estabilidad Módulo de Detección 1 a las 10:00 AM

Nº de Muestras	Hora proporcionada por el prototipo	Temperatura Ambiente (°C)	Humedad Relativa(%)	Humedad Suelo1 (%)	Humedad Suelo2 (%)	Radiación Solar (UV/UVA)
1	10:02:17	17,20	56,10	45,00	41,00	0,650
2	10:02:22	17,20	56,10	46,00	42,00	0,650
3	10:02:27	17,20	56,10	46,00	42,00	0,650
4	10:02:37	17,20	56,10	46,00	42,00	0,650
5	10:02:42	17,20	56,10	46,00	42,00	0,650
6	10:02:47	17,20	56,10	46,00	42,00	0,650
7	10:02:52	17,20	56,30	46,00	42,00	0,650
8	10:02:57	17,20	56,30	46,00	42,00	0,650
9	10:03:02	17,20	56,30	46,00	42,00	0,670
10	10:03:07	17,20	56,30	46,00	42,00	0,670
11	10:03:12	17,60	56,10	46,00	42,00	0,670
12	10:03:18	17,40	56,10	46,00	42,00	0,670
13	10:03:23	17,30	56,40	46,00	42,00	0,670
14	10:03:28	17,30	56,40	46,00	42,00	0,670
15	10:03:33	17,30	56,40	46,00	42,00	0,670
16	10:03:38	17,40	56,60	46,00	42,00	0,670
17	10:03:43	17,40	56,60	46,00	42,00	0,670
18	10:03:48	17,40	56,60	46,00	42,00	0,670
19	10:03:52	17,40	56,60	46,00	42,00	0,670
20	10:03:57	17,40	56,60	46,00	42,00	0,670
21	10:04:02	17,40	56,60	46,00	42,00	0,700
22	10:04:07	17,50	56,80	46,00	42,00	0,700
23	10:04:12	17,50	56,80	46,00	42,00	0,700
24	10:04:17	17,50	56,80	46,00	42,00	0,700
25	10:04:22	17,50	56,80	46,00	42,00	0,700
<b>Promedio</b>		17,33	56,40	45,96	41,96	0,6696
<b>Desviación Estándar</b>		0,13	0,26	0,20	0,20	0,02
<b>Coefficiente de Variación</b>		0,74	0,46	0,44	0,48	0,03

Elaborado por: Lizbeth Rivadeneira

Con respecto a la Tabla 22, módulo de detección 1 es estable en la toma de datos; esto se concluye dado que el coeficiente de variación de los sensores empleados no llega al 1. Cabe recalcar que el promedio de Humedad de Suelo entre los dos sensores es de 43.96% cumpliendo con las condiciones de humedad para el cultivo de arándano que se encuentra en el rango de 39% a 50%, y determinando que la radiación es Alta a las 10:00 am.

Tabla 23. Prueba de estabilidad Módulo de Detección 1 a las 08:00 AM

Nº de Muestras	Hora proporcionada por el prototipo	Temperatura Ambiente (°C)	Humedad Relativa(%)	Humedad Suelo1 (%)	Humedad Suelo2 (%)	Radiación Solar (UV/UVA)
1	08:02:17	12,10	76,90	49,00	47,00	0,130
2	08:02:22	12,10	76,90	49,00	47,00	0,130
3	08:02:27	12,10	76,90	49,00	47,00	0,130
4	08:02:37	12,10	76,90	49,00	47,00	0,130
5	08:02:42	12,10	76,90	49,00	47,00	0,130
6	08:02:47	12,10	76,90	49,00	47,00	0,130
7	08:02:52	12,10	76,90	49,00	47,00	0,130
8	08:02:57	12,10	76,90	49,00	47,00	0,130
9	08:03:02	12,10	76,90	49,00	47,00	0,136
10	08:03:07	12,10	76,90	49,00	47,00	0,136
11	08:03:12	12,10	76,90	49,00	47,00	0,136
12	08:03:18	12,10	76,90	49,00	47,00	0,136
13	08:03:23	12,10	76,90	49,00	47,00	0,136
14	08:03:28	12,10	76,90	49,00	47,00	0,136
15	08:03:33	12,10	76,90	49,00	47,00	0,136
16	08:03:38	12,10	77,00	49,00	47,00	0,136
17	08:03:43	12,20	77,00	49,00	47,00	0,136
18	08:03:48	12,20	77,00	49,00	47,00	0,136
19	08:03:52	12,20	77,00	49,00	47,00	0,136
20	08:03:57	12,20	77,00	49,00	47,00	0,136
21	08:04:02	12,20	77,00	48,00	46,00	0,138
22	08:04:07	12,20	77,00	48,00	46,00	0,138
23	08:04:12	12,20	77,00	48,00	46,00	0,138
24	08:04:17	12,20	77,00	48,00	46,00	0,138
25	08:04:22	12,20	77,00	48,00	46,00	0,138
<b>Promedio</b>		12,14	76,94	48,8	46,8	0,13448
<b>Desviación Estándar</b>		0,05	0,05	0,41	0,41	0,00
<b>Coefficiente de Variación</b>		0,40	0,06	0,84	0,87	0,02

Elaborado por: Lizbeth Rivadeneira

Con respecto a la Tabla 23, módulo de detección 1 es estable en la toma de datos; esto se concluye dado que el coeficiente de variación de los sensores empleados no llega a 1. Cabe recalcar que el promedio de Humedad de Suelo entre los dos sensores es de 47.80% cumpliendo con las condiciones de humedad para el cultivo de arándano que se encuentra en el rango de 39% a 50%, y determinando que la radiación es Baja a las 08:00 am.

Tabla 24. Prueba de estabilidad Módulo de Detección 1 a las 15:00 PM

Nº de Muestras	Horas proporcionada por el prototipo	Temperatura Ambiente (°C)	Humedad Relativa(%)	Humedad Suelo1 (%)	Humedad Suelo2 (%)	Radiación Solar(UV/UVA)
1	15:02:17	19,40	52,20	51,00	49,00	0,410
2	15:02:22	19,40	52,20	51,00	49,00	0,410
3	15:02:27	19,40	52,20	51,00	49,00	0,410
4	15:02:37	19,40	52,20	51,00	49,00	0,410
5	15:02:42	19,40	52,20	51,00	49,00	0,410
6	15:02:47	19,40	52,20	51,00	49,00	0,410
7	15:02:52	19,40	52,20	51,00	49,00	0,410
8	15:02:57	19,40	52,20	51,00	49,00	0,410
9	15:03:02	19,40	52,20	51,00	49,00	0,410
10	15:03:07	19,40	52,20	51,00	49,00	0,410
11	15:03:12	19,40	52,20	51,00	49,00	0,410
12	15:03:18	19,40	52,20	51,00	49,00	0,410
13	15:03:23	19,40	52,20	51,00	49,00	0,410
14	15:03:28	19,40	52,20	51,00	49,00	0,420
15	15:03:33	19,40	52,10	51,00	49,00	0,420
16	15:03:38	19,40	52,10	51,00	49,00	0,420
17	15:03:43	19,40	52,10	51,00	49,00	0,420
18	15:03:48	19,40	52,10	51,00	49,00	0,420
19	15:03:52	19,40	52,10	51,00	49,00	0,420
20	15:03:57	19,40	52,10	51,00	50,00	0,420
21	15:04:02	19,50	52,10	52,00	50,00	0,420
22	15:04:07	19,50	52,10	52,00	50,00	0,420
23	15:04:12	19,50	52,10	52,00	50,00	0,420
24	15:04:17	19,50	52,10	52,00	50,00	0,420
25	15:04:22	19,50	52,10	52,00	50,00	0,420
<b>Promedio</b>		19,42	52,16	51,2	49,24	0,41
<b>Desviación Estándar</b>		0,04	0,05	0,41	0,44	0,01
<b>Coefficiente de Variación</b>		0,21	0,10	0,80	0,89	0,01

Elaborado por: Lizbeth Rivadeneira

Con respecto a la Tabla 24, módulo de detección 1 es estable en la toma de datos; esto se concluye dado que el coeficiente de variación de los sensores empleados no llega al 1. Cabe recalcar que el promedio de Humedad de Suelo entre los dos sensores es de 50.22% cumpliendo con las condiciones de humedad para el cultivo de arándano que se encuentra en el rango de 39% a 50%, y determinando que la radiación es Moderada las 15:00 pm.

## CAPÍTULO 6

### ANÁLISIS DE COSTOS

#### 6.1 COSTOS DEL PROTOTIPO

En la Tabla 25 se observa el desglose total de costos realización del prototipo.

Tabla 25. Desglose dispositivo-costo

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO UNITARIO [S]	COSTO TOTAL[S]
1	Arduino Nano	3	unidad	5,30	15,90
2	Arduino Mega 2560	1	unidad	16,00	16,00
3	Sensor FC-28	6	unidad	2,50	15,00
4	Sensor DHT21	3	unidad	8,00	24,00
5	Reloj RTC DS3231	1	unidad	3,50	3,50
6	Módulo Micro SD Card	1	unidad	3,00	3,00
7	Pantalla Líquida 20x4	1	unidad	9,50	9,50
8	Shield Xbee Arduino Mega	1	unidad	8,50	8,50
9	Shield Xbee Arduino Nano	3	unidad	14,00	42,00
10	Módulos Xbee S2C	4	unidad	35,00	140,00
11	Módulo Relé 4 canales	1	unidad	5,50	5,50
12	Transformador de 24V	1	unidad	18,50	18,50
13	Contacto 12V	1	unidad	15,00	15,00
14	Cajetín de Protección	2	unidad	3,00	6,00
15	Caja de Madera	1	unidad	2,50	2,50
16	Cable UTP	5	metros	0,20	1,00
17	Cable AWG 12 Flexible	15	metros	1,20	18,00
18	Electroválvula	3	unidad	12,00	36,00
19	Panel Solar + batería	1	unidad	10,00	10,00
20	Mano de Obra	1	unidad	35,00	35,00
<b>TOTAL [S]</b>					<b>424,90</b>

Elaborado por: Lizbeth Rivadeneira

El costo de implementación del prototipo que cubre los 700  $m^2$  de terreno es de \$424.90; estos costos pueden variar dependiendo de las necesidades del Pequeño Productor.

#### 6.2 INDICADORES ECONÓMICOS

Si el Pequeño Productor fuese patrocinado con un crédito de \$ 2300.00 para la expansión del cultivo y sus cuidados; la implementación del prototipo es del 18.47% de mencionado valor.

##### 6.2.1 Valor Actual Neto (VAN)

Este indicador económico es idóneo para conocer la viabilidad de un proyecto a nivel monetario. Se obtiene con la ecuación 6.1

$$VAN = -I + \sum_{t=1}^n \frac{F \cdot C}{(1+K)^t} \quad \text{Ec.(6.1)}$$

En donde:

I = Inversión Inicial

n = Número de periodos

K = Tasa de Interés de Descuento

FC = Flujo de caja

- Si VAN es mayor a cero, el proyecto es viable
- Si VAN es menor a cero, el proyecto no es viable
- Si VAN es igual a cero, el proyecto puede ser viable debido a la ganancia generada por la Tasa de Interés de Descuento

### **6.2.2 Tasa de Interés de Descuento (TD)**

La Tasa de Interés de Descuento con respecto a proyecto de agricultura y riego es del 6.25% según datos del Ministerio de Agricultura y Ganadería Aplicada desde el mes de Febrero.

### **6.2.3 Tasa de Interna de Retorno**

Este indicador económico es idóneo para conocer la rentabilidad de un proyecto a nivel de porcentaje. Se obtiene con la ecuación 6.2

$$VAN = -I + \sum_{t=1}^n \frac{F \cdot C}{(1+TIR)^t} \quad \text{Ec.(6.2)}$$

En donde:

VAN = Valor Neto Actual, se encera inicialmente

I = Inversión Inicial

n = Número de periodos

FC = Flujo de caja

- Si TIR es mayor a la Tasa de Interés de Descuento , el proyecto es rentable
- Si TIR es menor a la Tasa de Interés de Descuento, el proyecto no es rentable
- Si TIR es igual a la Tasa de Interés de Descuento, el proyecto puede aceptarse o no; la decisión depende del interesado

#### 6.2.4 Periodo de Recuperación de Capital (PRI)

Este indicador económico permite conocer el tiempo de recuperación de la inversión realizada, ya que se debe a la relación entre la Inversión Inicial del proyecto y el flujo mensual. Se obtiene con la ecuación 6.3

$$PRI = \frac{I}{F * C} \quad \text{Ec.(6.3)}$$

En donde:

I = Inversión Inicial

FC = Flujo de caja

En la Tabla 26 se observa los valores que se requieren para el cálculo de los indicadores económicos.

Tabla 26. Valores para los cálculos de VAN, TIR y PRI

	MES 0	MES 1	MES 2	MES 3	MES 4	MES 5	MES 6
Flujo de Caja	-2300	500	1000	1500	2000	2500	3000
Inversión	2300						
Tasa Descuento (TD)	6,25%						
Beneficio Proyectado	\$8.107,76						
VAN	\$5.807,76						
TIR	48%						
PRI	4,6						

Elaborado por: Lizbeth Rivadeneira

Con los indicadores económicos antes mencionados se obtuvo los siguientes resultados:

- $VAN = \$ 5,807.76$  El proyecto es viable económicamente
- $TIR = 48\%$  El proyecto es rentable porcentualmente al ser mayor que el TD del 6,25%
- $PRI = 4,6$  La inversión se recupera aproximadamente a los 4 meses

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### CONCLUSIONES

Se desarrolló e implementó un prototipo electrónico de bajo costo para detectar y controlar los daños provocados por el fenómeno de la helada, empleando dispositivos electrónicos de bajo costo y de manipulación sencilla, obteniendo de esta manera una detección con aviso exitoso en la mayor parte de los casos en las pruebas realizadas.

Los dispositivos empleados tales como: sensor de temperatura, humedad y radiación cumplen con las condiciones de estabilidad y funcionamiento; diseñados para actuar en el rango de:  $-40^{\circ}\text{C}$  a  $80^{\circ}\text{C}$ , 0% 100% RH, 0V a 1.110V (R\_Bajo a R\_Peligroso), con el fin de equilibrar las necesidades del cultivo de arándanos, permitiendo un mejor monitoreo del cultivo.

El tiempo de respuesta de el prototipo cuando se presenta el fenómeno de la helada es aproximadamente de 30 segundos en su activación mediante la utilización de una alarma sonora.

La transmisión de datos mediante la utilización de módulos XBee S2C es segura, confiable y abarca una distancia de 150 metros sin distorsión o pérdida de paquetes de datos; es decir, mucho mayor que emplear un módulo RF común.

El prototipo se puede acoplar tanto para un sistema de riego como a un sistema de alarma, dado que depende de los requerimientos y los alcances que posee el Pequeño Productor.

## **RECOMENDACIONES**

Incrementar al prototipo mayor cantidad de sensores de temperatura, humedad de suelo y radiación con la finalidad de cubrir más extensión de terreno y generar más protección al cultivo.

Es recomendable incluir al prototipo dispositivos de: temperatura de suelo, ph, sensor de suelo capacitivo, caudalímetro entre otros con los cuáles se vincule al Pequeño Agricultor al mundo de la agricultura de precisión.

Se recomienda integrar a la red de nodos de los módulos XBee componentes que permitan el aviso mediante mensajes al teléfono del Pequeño Productor alertando cambios bruscos detectados por el prototipo; cambiando el módulo XBee serie S2C por el módulo XBee Cellular 3G.

Es importante la topología del terreno donde se coloca el prototipo, ya que esta determina la cantidad de sensores y módulos de detección que se deben emplear para cubrir adecuadamente las necesidades del pequeño productor.

## REFERENCIAS

- Admin. (2018). Qué es un sensor. Tipos y diferencias.
- Aldás, A. (2019). *Presión de selección ambiental y diferencial de rendimiento de catorce cultivos alimenticios del Ecuador*. PONTIFICA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR.
- Ar, M. D. E. (n.d.). *Manual de arándano 1*. 1–120.
- Arduino.CC. (2020). ARDUINO NANO.
- Arduino, P. (n.d.). Arduino Mega 2560.
- BCE. (2019). *Reporte de Coyuntura*. 6. Retrieved from [http://www.economia.gob.mx/files/comunidad\\_negocios/industria\\_comercio/informacionSectorial/minero/reporte\\_coyuntura\\_mineria\\_nacional\\_0514.pdf](http://www.economia.gob.mx/files/comunidad_negocios/industria_comercio/informacionSectorial/minero/reporte_coyuntura_mineria_nacional_0514.pdf)
- Becerra, C., Defilippi, B., France, A., González, A., Hirzel, J., Morales, C. G., ... Uribe, H. (2017). Manual de manejo agronómico del arándano. *Boletín INIA*, 98. Retrieved from <https://www.indap.gob.cl/docs/default-source/default-document-library/manual-arandanos.pdf?sfvrsn=0>
- BirtLH. (n.d.). 1.1.- Sistema de comunicación. Retrieved November 17, 2020, from [https://ikastaroak.birt.eus/edu/argitalpen/backupa/20200331/1920k/es/DAMDAW/SI/SI03/es\\_DAMDAW\\_SI03\\_Contenidos/website\\_11\\_sistema\\_de\\_comunicacion.html](https://ikastaroak.birt.eus/edu/argitalpen/backupa/20200331/1920k/es/DAMDAW/SI/SI03/es_DAMDAW_SI03_Contenidos/website_11_sistema_de_comunicacion.html)
- BITSTREAM. (2018). Capítulo 3. Sistemas de Comunicaciones SISTEMAS DE COMUNICACIONES. *Universidad Autónoma de México*, 27–42. Retrieved from <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/861/A6.pdf?sequence=6>
- Bravo, R., Quintana, J., Adonis, R., Soto, A., Chacón, R., Flores, P., ... Verdejo, J. (2016). *Heladas: Tipos, medidas de prevención y manejos posteriores al daño. Guía de uso del sitio*. 16. Retrieved from <http://www.fdf.cl/biblioteca/publicaciones/2016/HELADAS.pdf>
- Brazelton, C., & Young, K. (2017). *World Blueberry Statistics and Global Market Analysis* (p. 38). p. 38. Retrieved from <https://static1.squarespace.com/static/581373dbe4fcb5675436dbf7/t/58dd0a421b10e38a0a19447f/1490881114392/Cort+Brazelton+GBC2017.pdf>
- Butron Arcaya, W., Banegas Cariapaza, M., & Cuellar Condori, N. (2014). *Control de*

- Heladas y Granizadas*. (pp. 1–16). pp. 1–16.
- Caldas, E. (n.d.). Teclado Matricial4x3.
- Canarias, G. de. (n.d.). UBUNTU LINUX.
- Centro Internacional para la investigación del Fenómeno de El Niño (CIIFEN). (2009). *Estimación Del Riesgo a Sequías , Heladas Y Otros Impactos Del Cambio Afectar Al Sector Agrícola De La Serranía*. (5934), 227.
- Coley, G. (2013). Beaglebone black - dokumentacja techniczna. *Texas Instruments, Dallas*.
- Comercial, O. (n.d.). *2\_0\_PERFIL\_COMERCIAL\_ARANDANOS\_en\_USa*. 1–34.
- Díaz, R. (2018). Agricultura de Precisión: Sensores avanzados y maquinaria 4.0. Retrieved August 15, 2020, from <https://www.ainia.es/tecnoalimentalia/tecnologia/agricultura-precision/>
- Diéguez, L. (2019). ¿QUE ES UNA RASPBERRY PI?
- DIGI. (n.d.). Placas y Shields.
- Dixon, G. R., & Aldous, D. E. (2014). Horticulture: Plants for people and places, volume 1: Production horticulture. *Horticulture: Plants for People and Places, Volume 1: Production Horticulture, 1*, 1–599. <https://doi.org/10.1007/978-94-017-8578-5>
- Doutel, F. (2017). Guía del Arduinomaníaco: todo lo que necesitas saber sobre Arduino.
- FIAT PANIS. (2020). Ecuador en una mirada |. Retrieved August 15, 2020, from Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura website: <http://www.fao.org/ecuador/fao-en-ecuador/ecuador-en-una-mirada/es/>
- FILIFELOP. (n.d.). Sensor de rayos ultravioleta UV Guva-S12SD.
- Foundation, R. P. (2020). Raspberry Pi.
- García, L. M. (n.d.). ¿Qué es Waspote?
- González, P. (2018a). El arándano, un fruto de reciente producción en el país | Revista Líderes. Retrieved August 23, 2020, from Revista Líderes website: <https://www.revistalideres.ec/lideres/arandano-fruto-reciente-produccion-ecuador.html>
- González, P. (2018b, June). El arándano, un fruto de reciente producción en el país. *Revista Líderes*. Retrieved from <https://www.revistalideres.ec/lideres/arandano-fruto-reciente-produccion-ecuador.html#:~:text=La producción de arándanos en,y bajas en las noches>.

Gordó, M. (2011). Guía práctica para el cultivo de Arándanos en la zona norte de la provincia de Buenos Aires. *Inta*, 15. Retrieved from [www.inta.gov.ar/sanpedro](http://www.inta.gov.ar/sanpedro)

H, E. R. B., Quintana, J., & Marisol, A. (2020). Tendencias Y Efectos En Frutales Y Vides. *Boletín INIA*, 417.

Heraldo, E. (2020). Talleres para conocer la producción de arándanos. Retrieved August 23, 2020, from <https://www.elheraldo.com.ec/talleres-para-conocer-la-produccion-de-arandanos/>

INEC. (2020). *Boletín Técnico N°-01-2019-ESPAC*. 5.

Informàtica, E. T. S. d'Enginyeria. (2013). Placas de Desarrollo.

INTAGRI S.C. (2017). Los Compensadores de Horas Frío en Frutales.

Libelium. (n.d.). Waspote.

Llamas, L. (2016). TARJETA SD O MICRO SD CON ARDUINO.

Luby, J. J., Ballington, J. R., Draper, A. D., Pliszka, K., & Austin, M. E. (1991). Blueberries and Cranberries (Vaccinium). *Acta Horticulturae*, (290), 393–458. <https://doi.org/10.17660/actahortic.1991.290.9>

MECHATRONICS, N. (n.d.-a). Sensor de Humedad de Suelo FC-28.

MECHATRONICS, N. (n.d.-b). Sensor de temperatura y humedad relativa DHT21.

Medina, A. (2019, August 2). Cosechas se pierden por falta de riego y bajas temperaturas. *El Comercio*.

Melo-abreu, J. P. De. (2010). Protección contra las heladas : fundamentos , práctica y economía. In *Water Resources*.

Mendoza, A. y P. de. (2017). *Heladas*. 93.

Meteorología, Instituto Nacional de, I. (2020). *Boletín Meteorológico Nro . 025*. 2020.

Ministerio de Agricultura, G. y P. (2017). *Buenas Prácticas Agrarias Para Enfrentar Al Cambio Climático en Ecuador*.

Modules, R. F. (n.d.). *Digi Xbee ® S2C*.

NetSpot. (2021). Qué es RSSI. Retrieved April 4, 2021, from <https://www.netspotapp.com/es/what-is-rssi-level.html>

Polar, E. (n.d.). TODO LO QUE NECESITAS SABER PARA COMENZAR CON ARDUINO.

PRIMICIAS. (2020). Menos del 5% de los productores agropecuarios se financia con crédito. Retrieved August 15, 2020, from <https://www.primicias.ec/noticias/economia/agricultura-ecuador-creditos-financiamiento-banca/>

Productor, E. (2018). Internacional: Exportación de arándanos llega a las 107 mil toneladas | Noticias Agropecuarias. Retrieved August 23, 2020, from <https://elproductor.com/internacional-exportacion-de-arandanos-llega-a-las-107-mil-toneladas/>

RobotDyn. (n.d.). Nano V3.0 I/O & Wireless Shield (Assembled).

S.A.S, D. P. (n.d.). Tarjeta Arduino XBee Shield V03.

Secretaría General de la Comunidad Andina. (2009). Cuando hiela. *Atlas de Las Dinámicas Del Territorio Andino: Población y Bienes Expuestos a Amenazas Naturales*, 132–139. Retrieved from [https://www.preventionweb.net/files/11569\\_Atlas11Cuandohiela1.pdf](https://www.preventionweb.net/files/11569_Atlas11Cuandohiela1.pdf)

SUNFOUNDER. (n.d.). LCD2004 Module.

Systems, I. (n.d.). El cultivo del arándano. Retrieved August 17, 2020, from [https://www.infoagro.com/documentos/el\\_cultivo\\_del\\_arandano.asp](https://www.infoagro.com/documentos/el_cultivo_del_arandano.asp)

universidad tarapaca. (2014). 3. Sensores y Transductores. 3.1. Sensores y Transductores. Un. *Universidad de Tarapacá*, 34.

## ANEXOS

### ANEXO 1

#### Programación del Prototipo

##### (Emisor)

```
//----- Inicio Librerías-----//
#include <DHT.h> //Sensor de
DHT21
//-----FIN Librerías-----//
//-----Inicio Declaracion Pines y
Objetos-----/
#define DHTPIN 2 //Se define
el pin digital (Data) del sensor DHT21
#define DHTTYPE DHT21 // Se
especifica el modelo DHT 21
(AM2301)//ya que hay varios modelos
como:DHT11, DHT10, DHT22
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
//Inicialización del sensor
const int FCPin = A0; //Pin análogo
(data) del sensor de Humedad de
Suelo FC-28
const int FCPin1 = A1; //Pin
análogo (data) del sensor de Humedad
de Suelo FC-28
int h=0; //Variable de humedad
DHT21
int t=0; // Variable
temperatura DHT21
int HSuelo; // Variable que
guarda la información del sensor FC28
```

```
int HSuelo1; // Variable que
guarda la información del sensor FC28
float sensorValue; // Variable que
guarda la conversión del valor del
sensor
int sensorVoltaje;
int procio; // Variable del
cálculo de punto de rocío
//-----Fin Declaración-----//
//-----Función para envío de la
trama al coordinador-----//
void enviar_trama(){
Serial.write(0x7E); //byte de
inicio de la trama
Serial.write((byte)0x0); //Longitud
(MSB)
Serial.write(0x10); //Longitud
(LSB)
Serial.write(0x10); //Tipo de
trama - TX request
Serial.write(0x01); //ID de la
trama - Secuencia del mensaje
Serial.write((byte)0x0); //Inicio de
Dirección MAC de 64 bits del
Coordinador
Serial.write(0x13); //Inicio
dirección MAC Coordinador
0013A20041B9772A
Serial.write(0xA2);
Serial.write((byte)0x0);
Serial.write(0x41);
Serial.write(0xB9);
Serial.write(0x77);
```

```

Serial.write(0x2A); //Fin de
Dirección MAC de 64 bits del
Coordinador
Serial.write(0xFF); //Dirección de
16 bits - Reservado
Serial.write(0xFE); //Dirección de
16 bits - Reservado
Serial.write((byte)0x0); // radio
Broadcast - Máximo radio de envío
Serial.write((byte)0x0); //Ajuste de
ACK (si es 0x01 se deshabilita)
Serial.write(t); //Datos de RF
Serial.write(h); //Datos de RF
Serial.write (procio); //Datos RF
Serial.write(sensorVoltaje); //Datos
de RF
Serial.write(HSuelo); //Datos de RF
long sum = 0x10 + 0x01 + 0xFF +
0xFE + t + h + procio + sensorVoltaje
+ HSuelo;// Checksum de
comprobacion
Serial.write(0xFF-(sum&0xFF)); //
cálculo del checksum adecuado para la
trama
delay(1000); //Pausa de seguridad para
no saturar el puerto serie
}
//-----Fin Trama-----//
void setup() {
Serial.begin(9600); // Inicio
comunicación serie con velocidad e
9600
dht.begin(); // Inicialización
del sensor DHT21
}
void loop() {
delay(2000); // Espera de 2 segundos
entre cada toma de datos
////-----Sensor DHT21-----////
h = dht.readHumidity(); // Lectura
humedad relativa DHT21
t = dht.readTemperature(); //Lectura
temperatura en °C DHT21
if (isnan(h) || isnan(t)) { //
Comprobación si hay algún error en la
lectura DHT21
Serial.println("Revisar DHT21");
return;
}
enviar_trama();
////-----Punto rocio-----//
float raiz_c;
float hum1;
float humT;
humT=(float)h;
hum1=(humT/100);
raiz_c=pow((hum1),(0.125));
procio=
raiz_c*(112+(0.9*t))+((0.1*t)-112);
delay(2000);
enviar_trama();
//-----Sensor de humedad de suelo
FC-28-----//
int humSuelo =
analogRead(FCPin); //Lectura del
sensor de humedad Suelo FC-28

```

```

HSuelo=map(humSuelo,0,1024,100,0)
; //mapeo para conversión
  Serial.println(HSuelo);
  if(HSuelo < 39){
//Valores determindos para de
//humedad de suelo
  //Serial.println("No Necesita
Riego");//para cultivo de arándanos
  Serial.println("Suelo_Humedo");
  enviar_trama();
  delay(2000);
  if(HSuelo > 51){
//Valores determindos para de
//para cultivo de arándanos
  //Serial.println("Necesita Riego");
//bomba activada
  Serial.println("Suelo_Seco");
  }
  enviar_trama();
//-----Sensor de Radiacion GUVA
S12SD-----//
  sensorValue = analogRead(A2);
//Pin del sensor análogo (data) GUVA
  sensorVoltaje =
(sensorValue/1024*3.3); //Conversión
de datos
  //Serial.print("sensor reading = ");
  //Serial.print(sensorValue);
  //Serial.println("");
  //Serial.print("sensor voltaje = ");
  Serial.print(sensorVoltaje);
  Serial.println(" V");
  delay(2000);

```

```

  if (sensorVoltaje>=0 &&
sensorVoltaje<=0.300) { //Rangos
determinados en el datasheet
  Serial.print("R_Baja");
  }
  if (sensorVoltaje>0.300 &&
sensorVoltaje<=0.600) {
  Serial.print("R_Moderada");
  }
  if (sensorVoltaje>0.600 &&
sensorVoltaje<=0.800) {
  Serial.println("R_Alta");
  }
  if (sensorVoltaje>0.800 &&
sensorVoltaje<=1.100) {
  Serial.println("R_Muy_Alta");
  }
  if (sensorVoltaje>1.100) {
  Serial.println("R_Peligro");
  }
  enviar_trama();
}

```

### **Programación del Prototipo (Receptor)**

```

//----- Inicio Librerías-----//
#include <RTClib.h>
#include <SPI.h>
#include <SD.h>
//#include "DS3231.h"
//#include <RtcDS3231.h>
#include <Wire.h>
#include <Keypad.h>
#include <LiquidCrystal.h>

```

```

//-----Fin Librerias-----//
//-----Declaración pines y variables//
const int rs = 8, en = 9, d4 = 10, d5 =
11, d6 = 12, d7 = 13; //lcd
LiquidCrystal lcd(rs, en, d4, d5, d6,
d7); //lcd
const byte ROWS = 4; //filas teclado
matricial
const byte COLS = 4; //columnas
teclado matricial
char keys[ROWS][COLS] = {
    {'1','2','3','A'},
    {'4','5','6','B'},
    {'7','8','9','C'},
    {'*','0','#','D'}};
byte rowPins[ROWS] = {23, 25, 27,
29}; //pines asignados a las filas del
teclado
byte colPins[COLS] = {22, 24,
26,28}; //pines asignados a las
columnas del teclado
Keypad customKeypad =
Keypad(makeKeymap(keys),rowPins,
colPins,ROWS,COLS);
char data;
int x =0;
int y =0;
int z =0;
int j=0;
int l=0;
float t=0; // TEMPERATURA
AMBIENTE
float h=0; // HUEMDAD AMBIENTE

int HSuelo1=0; // HUMEDAD
SENSOR
float procio; // PUNTO DE ROCIO
float sensorVoltaje=0; //Radiacion
int alarma=40; ////motor o bomba ///
int VAsp=41;
int VRiego=42;
int manual=0; // VARIABLE PARA
ACTIVAR RIEGO MANUAL
RTC_DS3231 rtc;
int cont=0;
int cont1=0.;
int cont2=0;
int cont3=0;
int cont4=0;
int cont5=0;
int aux=0;
int aux1=0;
char anos[4]; //arreglo años
char mess[4]; //arreglo meses
char dias[4]; //arreglo dias
char horas[8]; //arreglo horas
char minutos[2]; ////arreglo minutos
//char segundos [2];
int hora;
int minuto;
//int segundo;
int ano;
int mes;
int dia;
String cadena="";
int ci=0;
const int chipSelect = 53;
int Guardado = 0;

```

```

int escritura = 0;
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  lcd.begin(20,4);
  Wire.begin();
  pinMode(alarma, OUTPUT);
  pinMode(VAsp, OUTPUT);
  pinMode(VRiego, OUTPUT);
  pinMode(chipSelect,OUTPUT);
  if (!SD.begin(10)){
    Serial.println("Error en Tarjeta.");
    return;
  }
  else{
    Serial.println("Tarjeta Disponible");
  }
}
void loop() {
  //-----Recepcion de trama-----//
  if(Serial.available()) // Revision de
deisponibilidad de un puerto serial
  {
    lcd.clear();
    while (Serial.available()==0x7E){ //
7E es el byte de inicio
    char data = Serial.read(); //lectura
de los datos y se los guarda en la
variable data
    //Serial.print(data);
    // lcd.print(data); // Printing the
Serial data
  }
}
char key;
key=customKeypad.getKey();
if(key) // Check for a valid key.
{
  switch(key)
  {
    case '1':
      lcd.clear();
      delay(1000);
      igualar_reloj();
      break;
    case '2':
      lcd.clear(); //Monitoreo de sensores
      lcd.setCursor(0,0);
      lcd.print("Modulo Deteccion");
      delay(100);
      lcd.setCursor (0, 1);
      lcd.print("1.MD 1");
      lcd.setCursor (0, 2);
      lcd.print("2.MD 2");
      lcd.setCursor (0, 3);
      lcd.print("3.MD 3");
      monitoreo_modulos();
      break;
    case '3': // Control manual
      lcd.clear();
      lcd.setCursor (1, 1);
      lcd.print("**CONTROL
MANUAL**");
      delay(2000);
      lcd.clear();
      lcd.setCursor (0, 0);
      lcd.print("Seleccione el Riego");
      lcd.setCursor (5, 1);
      lcd.print("a activar");

```

```

delay(100);
lcd.setCursor(0, 2);
lcd.print("1.Por aspercion");
lcd.setCursor(0, 3);
lcd.print("2.Por goteo");
Control_Manual();
break;
case '4':
lcd.clear();
lcd.setCursor(5, 0);
lcd.print("Universidad");
lcd.setCursor(5, 1);
lcd.print("Politecnica");
lcd.setCursor(6, 2);
lcd.print("Salesiana");
lcd.setCursor(8, 3);
lcd.print("UPS");
delay(5000);
case '*': //limpiar lcd
lcd.clear();
delay(10);
break;
}
}
if(manual==0){ //activacion
automatica de riego
activacion_riego_z1();
activacion_riego_suelo();
}
//-----almacenamiento de
datos-----//
guardado_datos();
delay(10);
//-----hora_fecha_actual-----

lcd.clear();
menu();
delay(1000);
DateTime now = rtc.now(); // Obtiene
la fecha y hora del RTC
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print(now.year(), DEC); //Ingreso
de año
lcd.print("/");
lcd.print(now.month(), DEC);
//Ingreso de mes
lcd.print("/");
lcd.print(now.day(), DEC); //Ingreso
de día
lcd.print(" ");
lcd.setCursor(12,0);
lcd.print(now.hour(), DEC); //Ingreso
de hora
lcd.print(":");
lcd.print(now.minute(), DEC);
//Ingreso de minutos
// lcd.print(":");
//lcd.setCursor(16, 0); //Ingreso de
segundos
//lcd.print(now.second(), DEC);
//lcd.print(" ");
delay(200);
z=0;
y=0;
int ac=0;
}
/*
//-----punto_rocio-----
-----

```

```

void rocio1()
{
float raiz;
float hc;
float hr;
hr=(float) h;
hc =(hr / 100);
raiz=pow((hc), (0.125));
pto_rocio=raiz*(112+(0.9*t))+(0.1*t)-
112;
//Serial.print("PUNTO ROCIO");
//Serial.println(pr);
delay(10);
}
*/
//-----
activacion_automatica_riego_nodos---
void activacion_riego_z1(){
DateTime now = rtc.now();
if(((now.hour())>=20) ||
((now.hour())<6))
{
if ((procio>0) && (t<=16))
{
digitalWrite(alarma, HIGH);
tone(alarma, 523, 300000); //tono a
523Hz durante 5 minutos
digitalWrite(VAsp, HIGH);
delay(1000);
}
}
if(((now.hour())>=6) || (t>16)){
digitalWrite(VAsp, LOW);
noTone(alarma);
delay(1000);
}
}
activacion_automatica_suelo-----
void activacion_riego_suelo(){
if(HSuelo1 > 51) {
digitalWrite(alarma, HIGH);
tone(alarma, 523, 5000); //tono a
523Hz durante 5 segundos
digitalWrite(VRiego, HIGH);
delay(10);
}
if (HSuelo1>=39 && HSuelo1<=51){
digitalWrite(alarma, LOW);
digitalWrite(VRiego, LOW);
noTone(alarma);
delay(10);
}
}
//-----menu_visualizacion-----
void menu(){
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("1.Fecha y Hora");
lcd.setCursor(0,2);
lcd.print("2.Modulos Deteccion");
lcd.setCursor(0,3);
lcd.print("3.Control Manual");
}
//-----control_manual-----
void Control_Manual(){
int ac;
while(z<1)
{
char key=customKeypad.getKey();

```

```

delay(100);
if(key=='1'){
lcd.clear();
lcd.setCursor (0, 0);
lcd.print("RIEGO ASPERCIÓN");
delay(500);
lcd.setCursor (0, 1);
lcd.print("1. Activar Riego");
delay(500);
lcd.setCursor (0, 2);
lcd.print("2. Desactivar Riego");
delay(500);
Activaciona();
int ac=0;
}
if(key =='2'){
lcd.clear();
delay(500);
lcd.setCursor (0, 0);
lcd.print("***RIEGO GOTEÓ***");
delay(500);
lcd.setCursor (0, 1);
lcd.print("1. Activar Riego");
delay(500);
lcd.setCursor (0, 2);
lcd.print("2. Desactivar Riego");
delay(500);
Activaciong();
int ac1=ac;
}
}
}
//-----
activacion_manual_aspersión-----

```

```

void Activaciona(){
while(y<1)
{
char key=customKeypad.getKey();
if(key =='1'){
lcd.clear();
lcd.setCursor (1, 1);
lcd.print("***Riego Activado***");
act_asp1();
delay(2000);
y=1;
z=1;
manual=1;
}
if(key =='2'){
lcd.clear();
lcd.setCursor (0, 1);
lcd.print("***Riego Desactivado***");
des_asp();
lcd.setCursor (0, 1);
delay(2000);
y=1;
z=1;
manual=0;
}
}
}
//-----activacion_manual_goteo---
-----
void Activaciong() {
while(y<1)
{
char key=customKeypad.getKey();
if(key =='1'){

```



```

lcd.setCursor(17,2);
lcd.print(data);
lcd.setCursor(1,3);
lcd.print("Radiacion: ");
lcd.setCursor(11,3);
lcd.print(data);
delay(10000);
}
if(key=='2'){
lcd.clear();
lcd.setCursor(2,0);
lcd.print("MD 2");
lcd.setCursor(1,1);
lcd.setCursor(1,1);
lcd.print("Temperatura: ");
lcd.setCursor(14,1);
lcd.print(data);
lcd.setCursor(1,2);
lcd.print("Hum:");
lcd.setCursor(5,2);
lcd.print(data);
lcd.setCursor(11,2);
lcd.print("HS1:");
lcd.setCursor(17,2);
lcd.print(data);
lcd.setCursor(1,3);
lcd.print("Radiacion: ");
lcd.setCursor(11,3);
lcd.print(data);
delay(10000);
}
if(key=='*'){
lcd.clear();
delay(100);
y=1;
z=1;
}
}
}
void guardado_datos() {
RTC.adjust(DateTime(ano,mes,dia,hora,minuto,segundo));
DateTime now = rtc.now(); // fecha y
hora del RTC

```

```

File dataFile =
SD.open("TEMPERATURA-
HUMEDAD-MD1.txt",
FILE_WRITE); //Crea el archivo .txt
if (dataFile)
{
//----datos que se guardan en tarjeta
SD-----
dataFile.print("Fecha:");dataFile.print(
":"); dataFile.print(now.day(), DEC);
dataFile.print("/");
dataFile.print(now.month(), DEC);
dataFile.print("/");
dataFile.print((now.year(), DEC));
dataFile.print(" ");
dataFile.print("Hora de la
grabacion:");
dataFile.print(now.hour(), DEC);
dataFile.print(":");
;dataFile.print(now.minute(),
DEC);dataFile.print(":");
dataFile.println(now.second(), DEC);
dataFile.print("Temp: ");
dataFile.print(" "); dataFile.println(t);
dataFile.print("Hum: ");
dataFile.print(" "); dataFile.println(h);
dataFile.print("HumSuelo1: ");
dataFile.print(" ");
dataFile.println(HSuelo1);
//dataFile.print("HumSuelo2: ");
dataFile.print(" ");
dataFile.println(Hsuelo2);

```

```

dataFile.print("Rocio: ");
dataFile.print(" ");
dataFile.println(rocio);
dataFile.print("Radiacion: ");
dataFile.print(" ");
dataFile.println(sensorVoltaje);
//dataFile.print();
dataFile.close();
Guardado=0; //Ahora parte
importante, ponemos la variable
guardado a 0, para que cuando
volvamos a pulsar el botón, sea 1 y
entre en este mismo if
// de esta manera siempre va a entrar
cada vez que pulsemos, porque
siempre será 1.
escritura=0; // De esta manera
evitaremos que se hagan más de un
guardado en ese mismo segundo
}
else{
//Serial.println("Falla en guardado");
}
delay(100);
}
////-----igualar_manualmente fecha y
hora-----
void igualar_reloj ()
{
while(z<1)
{
rtc.adjust(DateTime(ano,mes,dia,hora,
minuto,segundo));

```

```

char customKey =
customKeypad.getKey(); //se guarda
en la variable customKey el caracter
de la tecla presionada
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("Insertar:");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("Año");
lcd.print(" ");
lcd.print("Mes");
lcd.print(" ");
lcd.print("Dia");
lcd.print(" ");
lcd.print("Hor");
lcd.print(" ");
lcd.print("Min");
lcd.setCursor(4,2);
lcd.print("/");
lcd.setCursor(7,2);
lcd.print("/");
lcd.setCursor(14,2);
lcd.print(":");
if (customKey)
{
aux=aux+1;
if (aux<=4)
{
anos[cont]=customKey; //se guarda
caracter por caracter en el arreglo
lcd.setCursor (cont, 2);
lcd.print(anos[cont]);
cont=cont+1; //incrementamos la
variable cont
if(cont==4)
{
lcd.setCursor (4, 2);
cont=0;
for (ci = 0; ci < 5; ci++)
{
cadena.concat((char)anos[ci]);
}
ano=cadena.toInt();
}
}
if ((aux==6) || (aux==5))
{
mess[cont]=customKey; //se guarda
caracter por caracter en el arreglo
cont1=cont+5;
lcd.setCursor (cont1, 2);
lcd.print(mess[cont]);
cont=cont+1; //incrementamos la
variable cont
if(cont==2)
{
mes=mess[cont];
lcd.setCursor (7, 2);
cont=0;
ci=0;
String cadena1="";
for (ci = 0; ci < 4; ci++)
{
cadena1.concat((char)mess[ci]);
}
mes=cadena1.toInt();
}
}
if((aux==8) || (aux==7))

```

```

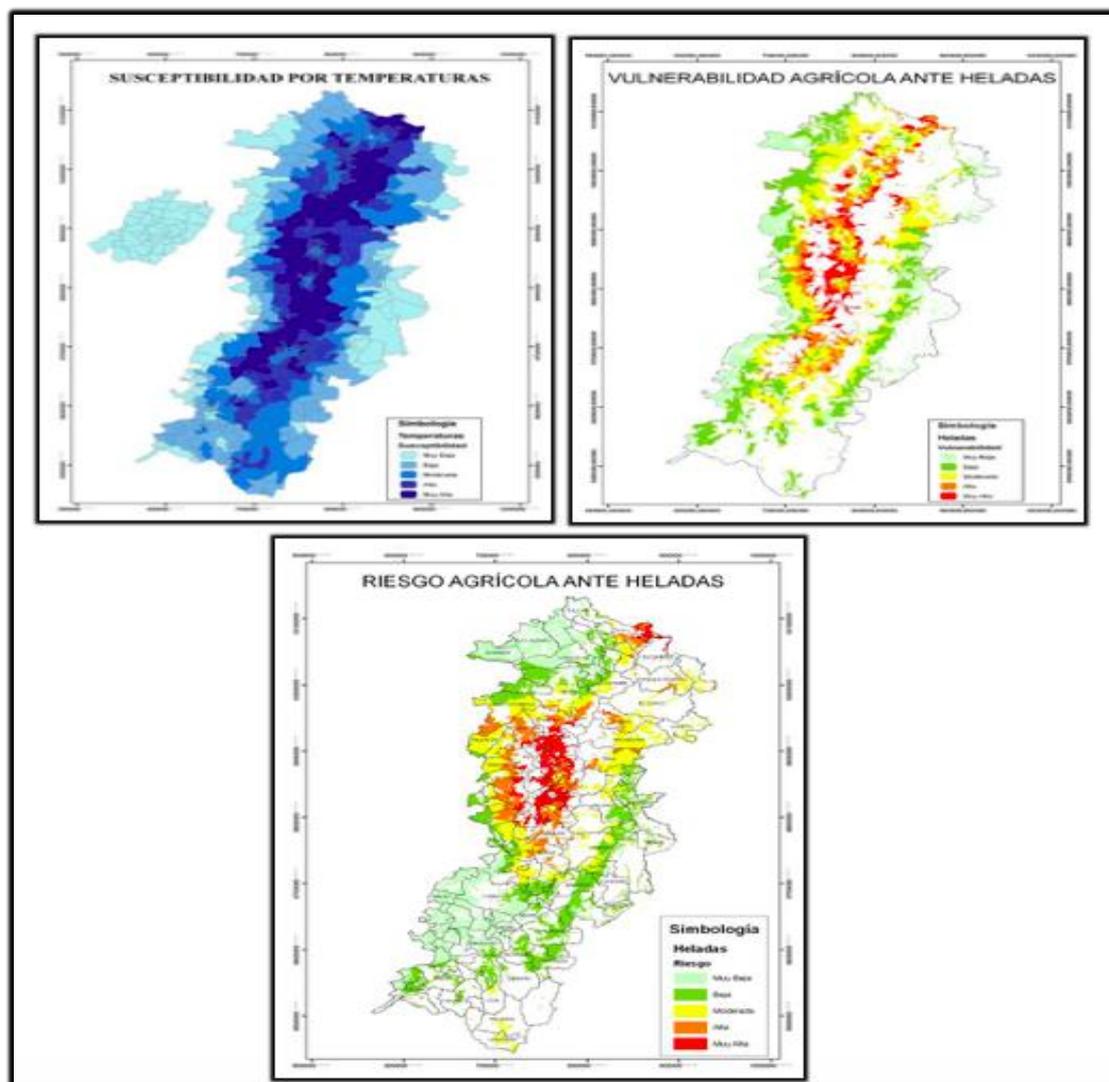
{
dias[cont]=customKey;
cont2=cont+8;
lcd.setCursor (cont2, 2);
lcd.print(dias[cont]);
cont=cont+1;
if(cont==2)
{
dias[cont]=dia;
lcd.setCursor (10, 2);
cont=0;
String cadena2="";
for (ci = 0; ci < 4; ci++)
{
cadena2.concat((char)dias[ci]);
}
dia=cadena2.toInt();
}
}
if((aux==9) || (aux==10))
{
horas[cont]=customKey;
cont3=cont+12;
lcd.setCursor (cont3, 2);
lcd.print(horas[cont]);
cont=cont+1; //
if(cont==2)
{
lcd.setCursor (14, 2);
cont=0;
String cadena3="";
for (ci = 0; ci < 4; ci++)
{
cadena3.concat((char)horas[ci]);
}
}
}
}
}
hora=cadena3.toInt();
}
}
if((aux==11) || (aux==12))
{
minutos[cont]=customKey; //se guarda
caracter por caracter en el arreglo
cont4=cont+15;
lcd.setCursor (cont4, 2);
lcd.print(minutos[cont]);
cont=cont+1; //incrementamos la
variable cont
if(cont==2)
{
minutos[cont]=minuto;
cont=0;
String cadena4="";
for (ci = 0; ci < 4; ci++)
{
cadena4.concat((char)minutos[ci]);
}
minuto=cadena4.toInt();
segundo=0;
}
}
if(aux==13){
if(customKey='*')
z=1;
}
}
}
z=0;
}
}

```

## ANEXO 2

### Mapas de Riesgo por Heladas en Ecuador

Figura 40. Mapa de susceptibilidad por heladas



Susceptibilidad de temperaturas en la Región Sierra. Fuente:(Centro Internacional para la investigación del Fenómeno de El Niño (CIIFEN), 2009)

### ANEXO 3

#### Visualización de Módulo de Interfaz

Figura 42. Visualización Menú



Elaborado por: Lizbeth Rivadeneira

## **ANEXO 5**



### **MANUAL DE USUARIO DEL PROTOTIPO PARA CONTROL DE HELADAS EN CULTIVOS DE ARÁNDANOS PARA PEQUEÑOS PRODUCTORES DE LA SIERRA**

**AUTOR: LIZBETH A. RIVADENEIRA A  
TUTOR: MSc. CARLOS CUICHÁN**

## INTRODUCCIÓN

El presente manual de detallada el montaje, instalación, mantenimiento preventivo y correctivo como sus soluciones aplicables para el prototipo de control de heladas en sus diferentes módulos.

La presente guía le indicará la forma adecuada para el uso correcto de los diferentes dispositivos y su funcionamiento.

### NOTA:

La incorrecta manipulación del equipo puede ocasionar accidentes, de lo cuales no se responsabiliza el Autor.

Seguir las recomendaciones mencionadas en el manual, asegurar el correcto funcionamiento del prototipo.

## ELEMENTOS ELECTRÓNICOS

- Arduino Nano
- Arduino Mega 2560
- Módulos XBee S2c
- Fuente de 5V
- Sensor DHT21, Sensor GUVVA S12SD, Sensor FC-28
- Teclado Matricial 4x4

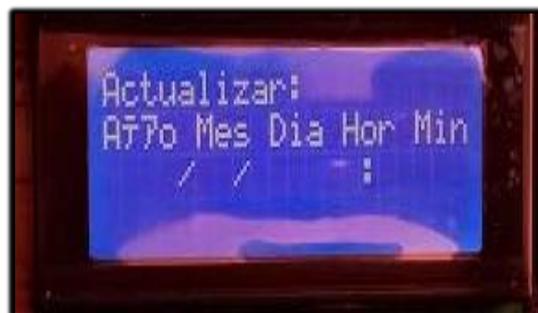
- Pantalla Líquida 20x4
- Módulo Tarjeta SD y RTC3231
- Bocina
- Cables de conexión

## FUNCIONAMIENTO

Realizada la instalación del prototipo se debe seguir los siguientes pasos con la finalidad de asegurar el correcto funcionamiento del mismo y alargar la vida útil de sus dispositivos electrónicos.

### Igualar Hora y Fecha

Del menú principal se selecciona la opción 1, en ella se encuentra el formato para igualar fecha y hora



### Selección del Módulo de Detección o Alarma

Del menú principal se selecciona la opción 2, dependiendo del número de

módulos que el usuario decida instalar, se escoge el número de módulo a supervisar mediante el uso del teclado(en este manual se presentan 3 opciones).



Una vez seleccionado se visualizará los valores detectados por los sensores de temperatura, humedad de suelo y radiación.



### **Selección del Módulo Actuador (Sistema de Riego o Alarma Sonora)**

#### Modo Manual

Del menú principal se selecciona la opción 3, se despliega las opciones de riego por goteo o por aspersión.

La opción por goteo es de gran ayuda

para mantener hidratado el suelo del cultivo.

La opción por aspersión es la que se activa cuando se presenta el efecto de la helada, a su vez que es de gran ayuda cuando existe gran cantidad de radiación.



#### Modo Automático

El prototipo se encuentra programado para su activación automática cuando la temperatura ambiente llegue a 4°C y se desactivará cuando en un rango determinado de horas (sistema de riego) o minutos (alarma sonora).

## Desmontaje del Prototipo

1. Verifique que el sistema se encuentre apagado.
2. Desconecte los cables en las borneras de los sensores y cúbralos con cinta aislante.
3. Enrolle los cables.
4. Guarde los sensores en su respectiva caja o en un lugar seguro.

**NOTA:** El montaje se debe realizar de forma adecuada y con mucho cuidado, ya que puede dañar a los sensores o sus pines de conexión. Para reinstalar el prototipo se adjunta los diagramas de conexión de cada componente.

El mantenimiento debe realizarse de manera preventiva una vez por semana, para evitar o mitigar posibles fallos en la lectura o visualización de datos del prototipo.

## DIAGRAMAS DE CONEXIÓN DE LOS COMPONENTES

