



Pontificia Universidad  
Católica del Ecuador

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**MAESTRIA EN TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN**

**MENCIÓN REDES DE COMUNICACIONES**

**TRABAJO DE TITULACION PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE MÁSTER EN  
TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN MENCIÓN REDES DE COMUNICACIONES**

**Tema: Diseño de una Red Inalámbrica para la Implantación de Aplicaciones de  
Internet de las Cosas (IoT) enfocadas a Reducir Efectos Ambientales del Sector  
Agropecuario en el Barrio La Merced y Zonas Aledañas del Cantón Pujilí  
Provincia del Cotopaxi.**

**AUTOR: DAVID RICARDO MUÑOZ ALARCÓN**

**QUITO, 2022–JUNIO**

## **DEDICATORIA**

A mi familia, quienes son lo más importante en mi vida, por haberme enseñado buenos valores, a ellos les debo lo que soy, no me alcanzará la vida para expresar cuanto los amo y para agradecerles por todo lo que me han dado.

A todas las personas que estuvieron brindándome su apoyo y cariño para terminar con éxito este proyecto profesional.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios por ayudarme día tras día en los momentos buenos y malos, él es quién me da la fuerza para continúa cumpliendo mis metas.

Agradezco a la Pontificia Universidad Católica que me permitió educarme tanto como persona como un excelente profesional. Por compartir conocimientos esenciales para resolver problemas en nuestra área profesional. Agradezco a los docentes por toda la paciencia y exigencia hacia los estudiantes para ser buenos profesionales.

A mi profesor de unidad de titulación Javier Condor, que me guio en el desarrollo de este trabajo mediante su conocimiento profesional orientándome en cada dificultad que se ha presentado.

## Contenidos

CAPITULO 1 MARCO TEORICO .....	11
<b>1.1. Conceptos sobre el sector agropecuario y la diversidad de su ecosistema .....</b>	<b>11</b>
<b>1.1.1. El Sector agropecuario.....</b>	<b>11</b>
<b>1.1.2. El Sector agropecuario en el Ecuador .....</b>	<b>11</b>
<b>1.1.3. Factores ambientales en el Ecuador .....</b>	<b>13</b>
<b>1.1.4. Efectos Ambientales del Sector Agropecuario del Ecuador .....</b>	<b>13</b>
<b>1.1.5. Climatología del sector agropecuario de la Sierra Norte- Pujilí.....</b>	<b>14</b>
<b>1.1.6. INAMHI .....</b>	<b>16</b>
<b>1.1.7. Recomendaciones de la INAMHI para la producción agrícola.....</b>	<b>16</b>
<b>1.2. Tecnologías para ecosistemas IoT .....</b>	<b>17</b>
<b>1.2.1. Internet .....</b>	<b>17</b>
<b>1.2.2. El Internet de las cosas (IoT) .....</b>	<b>17</b>
<b>1.2.3. Arquitectura del Internet de las Cosas IoT.....</b>	<b>19</b>
<b>1.2.4. Elementos de un ecosistema IoT .....</b>	<b>22</b>
<b>1.2.5. Redes inalámbricas.....</b>	<b>24</b>
<b>1.2.6. LPWAN.....</b>	<b>25</b>
<b>1.2.7. Long Range Modulation LoRa y LoRaWAN.....</b>	<b>27</b>
<b>1.2.8. Parámetros generales de la tecnología LoRa.....</b>	<b>28</b>
<b>1.3. Ecosistema IoT enfocado al sector agropecuario y su desarrollo.....</b>	<b>29</b>
<b>1.3.1. IoT para procesos agrónomos .....</b>	<b>29</b>
<b>1.3.2. Análisis de los efectos ambientales con ecosistemas IoT .....</b>	<b>30</b>
<b>1.3.3. LoRa enfocada la Agricultura.....</b>	<b>31</b>
<b>1.3.4. Integración LoRA con ecosistemas IoT .....</b>	<b>32</b>
CAPITULO 2 SITUACIÓN ACTUAL .....	34
<b>2.1. Ubicación Geográfica .....</b>	<b>34</b>
2.1.1. Ubicación de la Provincia del Cotopaxi y el Cantón Pujilí .....	34
2.1.2. Ubicación de la Parroquia Pujilí.....	35
2.1.3. Ubicación del Barrio La Merced Pujilí .....	36
<b>2.2. Precedentes sobre El Barrio La Merced.....</b>	<b>37</b>
2.2.1. El Barrio La Merced de Pujilí.....	37

2.2.2.	Geografía que presenta el Barrio La Merced .....	38
2.2.3.	Problemática social en el entorno productivo del Barrio La Merced-Pujilí .....	40
2.2.4.	FODA respecto al Barrio La Merced .....	41
<b>2.3.</b>	<b>El sector agropecuario de La Merced Pujilí .....</b>	<b>43</b>
<b>2.4.</b>	<b>Estado climático del Barrio La Merced-Pujilí para el desarrollo productivo.....</b>	<b>44</b>
<b>CAPÍTULO 3 Propuesta IoT para los cultivos en el Barrio La Merced .....</b>		<b>46</b>
<b>3.1.</b>	<b>Diseño de capas IoT .....</b>	<b>48</b>
3.1.1	Capa de ambiente (Environment Layer) .....	49
3.1.2	Capa de Hardware (Hardware Layer) .....	50
3.1.3	Capa de Red (Network Layer).....	51
3.1.4	Capa de comunicación (Communication Layer) .....	51
3.1.5	Capa de servicios (Services Layer) .....	52
3.1.6	Capa de soporte de aplicaciones y administración (Application Support & Management Layer) .....	52
3.1.7	Capa de aplicación (Application Layer) .....	52
<b>3.2.</b>	<b>Requerimientos del ecosistema IoT.....</b>	<b>52</b>
3.2.1	Número de dispositivos .....	52
3.2.2	Conectividad y Comunicación .....	53
3.2.3	Gestión de dispositivos .....	53
3.2.4	Recolección, Análisis y Acción sobre la información .....	53
3.2.5	Escalabilidad .....	54
3.2.6	Seguridad .....	54
3.2.7	Energía .....	54
3.2.8	Visualización de la información.....	55
<b>3.3.</b>	<b>Requerimientos de cobertura .....</b>	<b>55</b>
3.3.1.	Área de estudio para el Sistema Climático en el Barrio La Merced-Pujilí .....	55
3.3.2.	Conformación de los límites de cobertura en la zona agropecuaria de La Merced	56
<b>3.4.</b>	<b>Selección de componentes para el ecosistema IoT.....</b>	<b>58</b>
3.4.1.	Selección de módulos de desarrollo.....	58
3.4.2.	Selección sensores de humedad y temperatura.....	61
3.4.3.	Selección de solución LoRaWAN .....	62
3.4.4.	Selección de servidor IoT para la plataforma Web .....	65

<b>CAPÍTULO 4 Diseño del prototipo y la red del ecosistema IoT</b> .....	69
<b>4.1 Parámetros generales para el diseño de la red inalámbrica IoT</b> .....	69
4.1.1. Delimitación del área de cobertura de la red inalámbrica .....	70
4.1.2. Método de propagación de la red LoRa en el área de estudio .....	71
4.1.3. Propagación del espectro radio eléctrico de la red LoRa.....	72
<b>4.3. Composición de red inalámbrica de la Tecnología LoRa en la zona de estudio</b> .....	72
<b>4.2 Diseño de atributos y funcionalidades del Nodo Central LoRa</b> .....	75
<b>4.3 Diseño de atributos y funcionalidades de los Nodos Clientes LoRa</b> .....	77
4.3.1 Nodo LoRa para el estado climático de todo el barrio La Merced.....	77
4.3.2    Nodo LoRa para el estado climático en los cultivos .....	78
<b>4.4 Configuración y programación del ecosistema IoT</b> .....	79
4.4.1 Programación de la Central IoT (LoRa/Arduino/Nodemcu) .....	79
4.4.2.    Nodo LoRa para el estado climático del cultivo .....	80
<b>4.5. Interconexión del Nodo Central con el servidor Thinger.io</b> .....	82
<b>4.5 Diseño de funcionalidades y atributos del servidor web IoT</b> .....	84
4.5.1. Configuración de actuadores y alertas en el ecosistema IoT .....	87
<b>4.6 Pruebas de funcionamiento del ecosistema IoT</b> .....	89
4.6.1 Pruebas de cobertura de la red inalámbrica IoT Nodo Central-cliente (dispositivo final) 90	
4.6.2 Estudio del tiempo de respuesta del sistema Tx/Rx .....	93
4.6.3. Comunicación y envío de datos del Sistema Local-Servidor web Thinger .....	94
4.6.4. Pruebas de funcionamiento del sistema climático con el servidor IoT .....	95
4.6.5. Desarrollo de políticas y parámetros de funcionamiento del sistema climático ....	98
4.6.6. Pruebas del funcionamiento de alertas y notificaciones del sistema diseñado ....	100
<b>4.7 Análisis de resultados del proyecto diseñado</b> .....	101
<b>4.8. Análisis costo beneficio</b> .....	103
<b>CAPÍTULO 5 Conclusiones y Recomendaciones</b> .....	106
<b>5.1 Conclusiones</b> .....	106
<b>5.2 Recomendaciones</b> .....	108
<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	109

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1-01. Descripción de los recursos naturales útiles para el sector agropecuario .....	14
Tabla 1-02. Una comparación de las especificaciones LoRa para Europa y Estados Unidos .....	30
Tabla 2-01. Producción económica por parroquias del Cantón Pujilí (PEA).....	43
Tabla 3-01. Comparación entre las características proporcionadas por los dispositivos Arduino Vs. Raspberry Pi .....	58
Tabla 3-02. Características de la tarjeta de desarrollo Arduino UNO R3 .....	60
Tabla 3-03. Comparación entre las características técnicas de los sensores de temperatura y humedad DHTT11/22/21 .....	60
Tabla 3-04. Comparación entre soluciones LoRa disponibles en el mercado local (ESP Lora/LoRa Dragino Shield) .....	61
Tabla 3-05. Comparación de dispositivos WIFI para el proyecto. ....	63
Tabla 3-06. Características ofrecidas por varios servidores IoT en la nube .....	66
Tabla 4-01. Valores geográficos para cubrir con la red IoT Lora .....	70
Tabla 4-02. Parámetros de diseño de la red LoRA .....	72
Tabla 4-03. Pruebas de comunicación LoRa hasta 2000m de distancia .....	90
Tabla 4-04. Tiempos de respuesta del sistema total .....	92
Tabla 4-05. Valores referenciales en base al análisis del estado climático del sector .....	97
Tabla 4-06. Políticas de funcionamiento del sistema IoT diseñado .....	97
Tabla 4-07. Presupuesto económico del sistema IoT en comparación a sistemas en el mercado .....	101

## INDICE FIGURAS

Figura 1-01. Datos de la superficie con uso del sector agropecuario .....	12
Figura 1-02. Precipitación de la parte Norte-Sierra del Ecuador.....	16
Figura 1-03. Temperatura extrema Norte-Sierra del Ecuador. ....	16
Figura 1-04. Características de comunicación de una Red IoT .....	19
Figura 1-05. Mapa de integración IoT con él hacia los principales sectores de producción .....	20
Figura 1-06. Arquitectura y topología de una red IoT .....	21
Figura 1-07. Arquitectura de capas para aplicaciones IoT .....	22
Figura 1-08. Elementos que conforman una Red IoT para la agricultura hacia el internet .....	25
Figura 1-09. Principales características de tecnologías inalámbricas .....	26
Figura 1-10. Escala de tecnología según rango y velocidad. ....	27
Figura 1-11. Comparación entre LPWAN con algunos tipos de tecnologías inalámbricas .....	27
Figura 1-12. Características principales de la tecnología LoRa .....	29
Figura 1-13. Estructura general de la tecnología LoRaWAN .....	30
Figura 1-14. Topología general de una Red IoT aplicada al monitoreo de efectos ambientales en la agricultura .....	32
Figura 1-15. Esquema general de una red LoRa hacia el sector agropecuario .....	33
Figura 1-16. Integración de LoRa y IoT hacia los sectores productivos .....	34
Figura 2-01. Ubicación geográfica de la provincia del Cotopaxi y el cantón Pujilí .....	35
Figura 2-02. Ubicación geográfica de la Parroquia Pujilín (Cantones) .....	36
Figura 2-03. Ubicación geográfica del barrio La Merced- Pujilí (Barrios) .....	37
Figura 2-04. Ubicación geográfica del barrio La Merced- Pujilí (Calles).....	38
Figura 2-05. Composición Geográfica del área de análisis del Barrio La Merced .....	39
Figura 2-06. Perfil de elevación Este-Oeste del Barrio La Merced.....	39
Figura 2-07. Perfil de elevación Norte-Sur del Barrio La Merced .....	40
Figura 2-08. Topología del área de análisis del Barrio La Merced .....	40
Figura 2-09. Cuadro referente al FODA que tiene el barrio La Merced .....	42
Figura 2-10. Actividades que realiza la población del cantón Pujilí .....	44
Figura 2-11. Diagrama meteorológico de la sierra central y el cantón Pujilí .....	44
Figura 2-12. Estado climático del sector agropecuario en el Barrio La Merced .....	45
Figura 3-01. Funcionamiento del sistema IoT planteado en este estudio. ....	46

Figura 3-02. Tarjeta de desarrollo Arduino UNO.....	59
Figura 3-03. Elementos del sistema para los procesos Central-Cliente IoT .....	49
Figura 3-04. Representación gráfica del funcionamiento de la comunicación LoRaWAN .....	50
Figura 3-05. Diagrama de Cobertura de red inalámbrica para el sistema climático .....	55
Figura 3-06. Perfil de elevación que corresponde a la zona de análisis del sistema diseñado ....	56
Figura 3-07. Diagrama de cobertura y posicionamiento de los elementos principales del sistema diseñado .....	56
Figura 3-08. Tarjeta de desarrollo Arduino UNO .....	59
Figura 3-09. Kit de desarrollo LoRaWAN Dragino .....	62
Figura 4-01. Red IoT Lora para el sistema de control agropecuario en el Barrio La Merced.....	68
Figura 4-02. Límites de la Red IoT Lora para el sistema de control agropecuario en el Barrio La Merced .....	69
Figura 4-03. Configuración de parámetros de enlace central cliente / servidor en el simulador Radio Mobile .....	72
Figura 4-04. Propagación del sistema entre cliente / servidor en el simulador Radio Mobile ....	73
Figura 4-05. Resultados del enlace de la red IoT en el simulador Radio Mobile .....	73
Figura 4-06. Diagrama de conexión Nodo central IoT y NodeMCU para el sistema .....	74
Figura 4-07. Diagrama de flujo para el funcionamiento del Nodo central IoT .....	75
Figura 4-08. Diagrama de flujo para el funcionamiento del Nodo cliente (Cultivos IoT ) .....	76
Figura 4-09. Diagrama de conexión del estado climático en general (Central IoT) para el sistema .....	77
Figura 4-10. Diagrama de conexión del cliente (Cultivo IoT) para el sistema .....	77
Figura 4-11. IDE de Arduino con las librerías de la programación de los Nodos LoRa para monitoreo de Nodo Central .....	79
Figura 4-12. IDE de Arduino con las pruebas de conexión del Nodo Central / Nodo Cliente del sistema .....	80
Figura 4-13. Configuración de los parámetros generales de Thingier.io .....	81
Figura 4-14. Configuración de acceso al sistema Thingier.io .....	81
Figura 4-15. Configuración de la base de datos del sistema Thingier.io .....	82
Figura 4-16. Protocolo de comunicación segura del servidor hacia la red interna .....	83
Figura 4-17. Dashboard del servidor IoT para la monitorización de estado climático .....	83

Figura 4-18. Parámetros de conexión entre nodo central y servidor web en Thinger io .....	84
Figura 4-19. Indicadores de conexión entre servidor web y la red interna, (Sistema IoT ) .....	85
Figura 4-20. Vista general de las opciones que tiene el servidor web para el sistema diseñado .	85
Figura 4-21. Configuración del envío de alertas mediante correo electrónico del sistema Climático .....	86
Figura 4-22. Elementos y estructura de las alertas internas mediante una configuración sonora	87
Figura 4-23. Prototipo de prueba del sistema Central/Cliente .....	88
Figura 4-24. Sitio de estudio del sistema IoT del barrio La Merced Pujilí .....	90
Figura 4-25. Gráfico proporcional de la distancia vs el tiempo de respuesta del sistema .....	91
Figura 4-26. Pruebas de conexión del servidor web hacia el sistema interno .....	92
Figura 4-27. Almacenamiento del estado climático del ecosistema IoT .....	93
Figura 4-28. Pruebas en el DASHBOARD de monitoreo del sistema Central/Cliente .....	94
Figura 4-29. Monitoreo del ecosistema IoT mediante el portal web Thinger.io .....	95
Figura 4-30. Análisis climático (Temperatura) anual del barrio La Merced (Pujilí).....	96
Figura 4-31. Análisis climático (Humedad) anual del barrio La Merced (Pujilí).....	96
Figura 4-32. Envío y recepción de alertas Sistema de Monitoreo por correo .....	98
Figura 4-33. Diagrama Total de análisis del sistema diseñado .....	99
Figura 4-34. Contextualización de las etapas que tiene el sistema IoT diseñado .....	100

## CAPITULO 1 MARCO TEORICO

En este capítulo se presenta los conceptos, tecnológicas y/o metodologías empleadas para el desarrollo del Trabajo de Titulación.

### **1.1. Conceptos sobre el sector agropecuario y la diversidad de su ecosistema**

#### **1.1.1. El Sector agropecuario**

Se determina al sector agropecuario como el conjunto de actividades de agricultura, pecuarias, apícolas, avícolas, cunícolas, de caza, crianza de productos del mar y silvicultura, de igual manera hace referencia a las entidades que se encargan de producir, transformar y comercializar nacional e internacionalmente los cultivos que se siembra y cosechan. (INEC, 2020)

Además, el sector agropecuario es aquella actividad económica que tiene por objetivo la transformación de los recursos naturales en productos primarios segmentados de la siguiente manera:

- Sector agrario, el cual se encarga de proporcionar alimentos, materias primas provenientes de cultivos, los cuales serán utilizadas en la manufactura, así como en la internacionalización de las frutas, vegetales, hortalizas entre otros.
- Sector pecuario, este sector obtiene sus insumos y productos básicos de los animales, enfocado a la cría de bovinos, porcinos y ovinos, los cuales son alimentados con lo procedente vegetal como hierba, pastizales, etc.
- Sector apicultor, se trata del sector enfocado al mundo de las abejas, mediante su crianza y aprovechamiento de los productos que producen como la miel y la cera.

#### **1.1.2. El Sector agropecuario en el Ecuador**

El sector agropecuario es de gran importancia para la economía del Ecuador. Ya que lo largo de los años ha sido uno de los principales sectores económicos del país para el sustento de los ecuatorianos, hasta los años 70 en Ecuador se utilizaba como base a la agricultura prevaleciendo alrededor del 30% del PIB, al paso de los tiempos este porcentaje ha disminuido gracias al nacimiento del sector industrial con el propósito de buscar nuevas alternativas de producción.

Ecuador es uno de los países a nivel de Latinoamérica que sufre de las consecuencias de ser subdesarrollado, debido a los fallidos modelos económicos de desarrollo y sus malas políticas hacia el sector agropecuario, perjudicando a los más vulnerables y volviendo esta actividad insostenible. (INEC, 2020)

Las entidades a cargo de la investigación sobre la evolución y comportamiento del sector agropecuario, así como sus variables y consecuencias en el desarrollo del país son El Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), a través de la Dirección de Estadísticas Agropecuarias y Ambientales y la Unidad de Estadísticas Ambientales. Los boletines emitidos son de manera semestral. (INEC, 2020)

El sector agropecuario actualmente ocupa alrededor de 5,11 millones de hectáreas productivas (permanentes, transitorios, pastos cultivados y naturales) y 7,19 millones sin uso agropecuario (montes, bosques, páramos, descanso y otros usos no agropecuarios), tal como se indica en la Figura 1-01. (ESPAC, 2019)

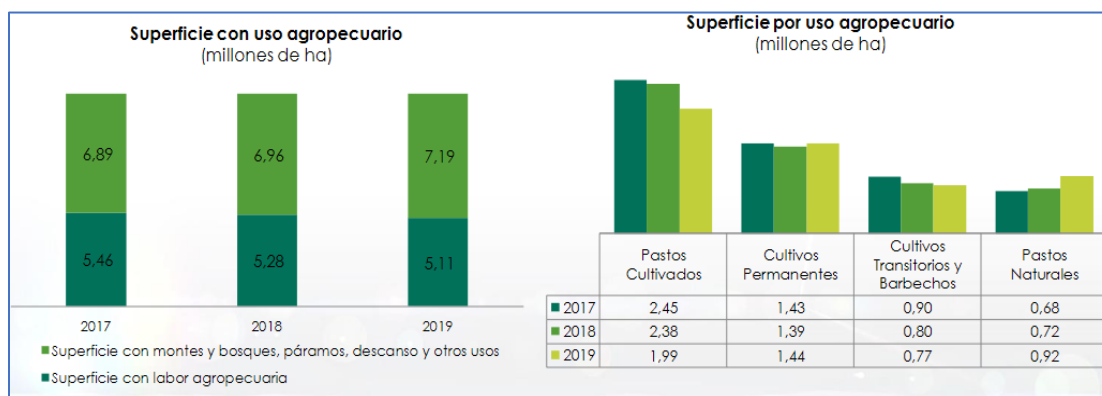


Figura 1-01. Datos de la superficie con uso del sector agropecuario. (ESPAC, 2019)

Los países en vías de desarrollo económico tienen la dificultad de superar las barreras no solo monetarias, sino también obstáculos sociales, demográficos, medio ambiente que provocan indicadores de desnutrición altos, baja inversión, destrucción del ambiente por extracción insostenible de recursos naturales, entre otros factores que provocan el estancamiento para generar riqueza en una nación.

### **1.1.3. Factores ambientales en el Ecuador**

Los factores ambientales en el Ecuador se enfocan en las condiciones físicas y ambientales que influyen directamente en el desarrollo productivo. Los componentes ambientales que interactúan son: térmicos, acústicos, vibratorios, lumínicos, estudio del suelo y el referido a la calidad del ambiente con los agentes ecológicos. (Ramírez & Mazón, 2018)

Ecuador goza de un clima y ubicación estratégica en el mapa mundial, lo que le brinda la oportunidad de ser uno de los países con mayor diversidad de flora y fauna, cuenta con una riqueza en recursos naturales, sin embargo, no han sido correctamente explotados debido al crecimiento poblacional de las últimas generaciones que ha aumentado las actividades productivas que les permita satisfacer sus necesidades principales. No hay duda de la infinita biodiversidad de la nación ecuatoriana que debe ser cuidada y protegida para poder conservarla de manera sostenible. (SENPLADES, 2013)

### **1.1.4. Efectos Ambientales del Sector Agropecuario del Ecuador**

Entre las consecuencias negativas que provocan los efectos ambientales al sector agropecuario en el país se tiene:

- Baja productividad del suelo: por erosión o compactación, pérdida de materia orgánica, retención hídrica, actividad biológica y salinización.
- Acumulación de contaminantes: sedimentos, fertilizantes, pesticidas, etc.
- Falta de agua: sobre explotación al no respetar los ciclos naturales que mantienen su disponibilidad.
- Aparición de resistencias a los pesticidas en las plagas.
- Pérdida de especies polinizadoras y de hábitats salvajes.
- Reducción de la diversidad genética por la uniformidad de cultivos, etc.
- Riesgos potenciales para la salud relacionados con la aparición de residuos, en ocasiones tóxicos, en los alimentos.

Uno de los beneficios del suelo es su función como protector de la variedad de organismos que habitan en él, sin embargo, debe cumplir con ciertos requisitos para ser ese escudo, entre ellos es fundamental los niveles de porosidad, composición, presencia de microorganismos y materia

orgánica, de acuerdo con un equilibrio complejo con el que interactúan las prácticas agrarias ejercidas por el viticultor. (Life Sinergia, 2017)

Un suelo no productivo se debe a las siguientes razones:

- Empobrecimiento de la capa de vegetación
- Daño de la estructura del suelo
- Explotación de tierras no aptas para el cultivo
- Aplicación de cantidades excesivas de estiércol
- Agotamiento de los recursos del suelo (como la materia orgánica y los nutrientes)
- Riego inadecuado
- Daño de los cursos de agua

#### 1.1.5. Climatología del sector agropecuario de la Sierra Norte- Pujilí

- Precipitación (lluvias)

Como se observa en la figura 1-02, se tiene que las lluvias se han aumentado con relación a la normal en un 51% dándose anomalías o variabilidades climáticas en ciertos meses del año. Desde el mes de marzo hasta finales de agosto se observa más fluido de lluvias con brizas frescas. En los meses de enero, febrero y los últimos meses del año se observa una región parcialmente seca. Los veranos de Pujilí tienden hacer cortos, holgados y nublados, al igual que los inviernos son cortos, fríos y parcialmente nublados, dentro del sector agropecuario de Pujilí se encuentra también el barrio La Merced que contiene la misma situación climática (INAMHI, 2022).

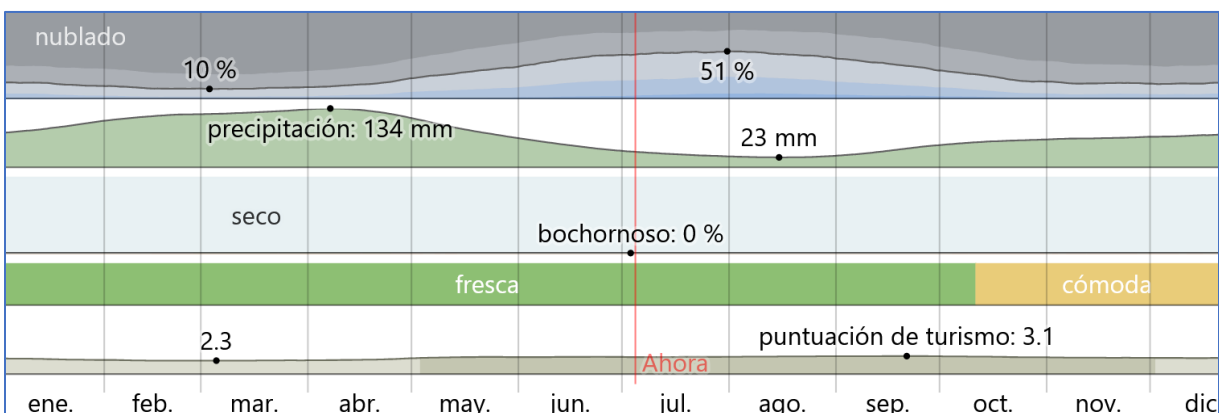


Figura 1-02. Precipitación de Pujilí Sierra Norte del Ecuador. (INAMHI, 2022)

- Temperatura del aire

En la figura 1-03 se puede observar el comportamiento de las extremas temperaturas en cada una de las localidades, así como, la incidencia en su mayoría negativa que produce que los cultivos se sometan a climas muy fríos o calientes. (INAMHI, 2022)

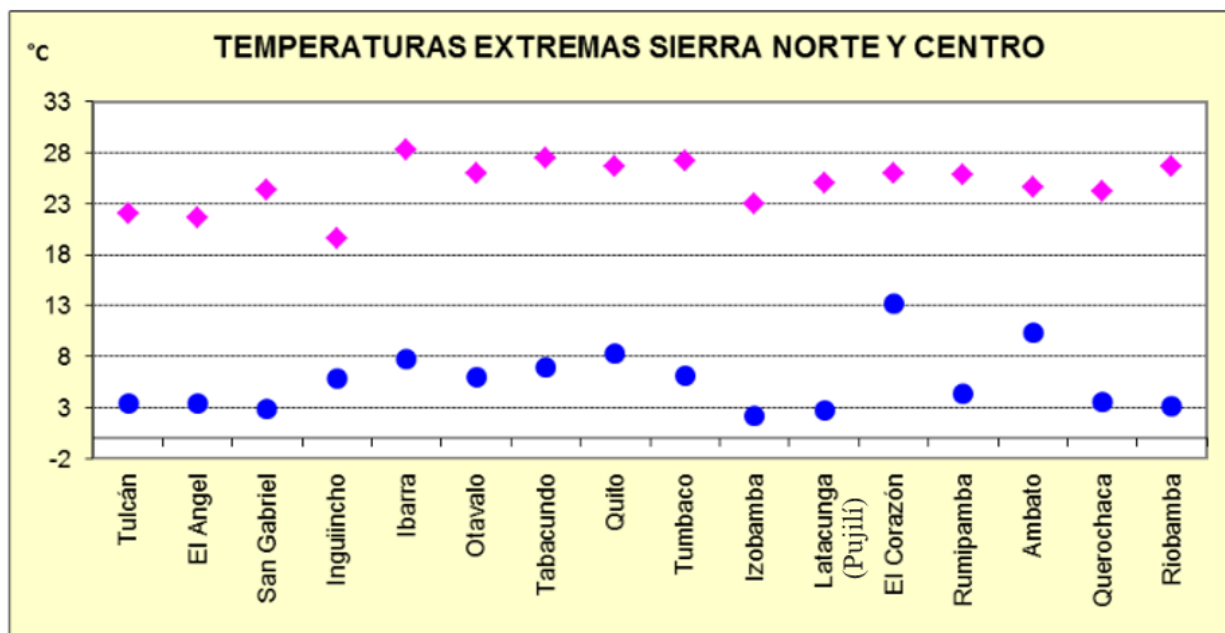


Figura 1-03. Temperatura Sierra Norte (Pujilí) del Ecuador. (INAMHI, 2022)

Izobamba presenta temperaturas extremadamente bajas que acorde a la información registrada oscila entre los 2,2°C en el primer mes del año, siendo un sector con la característica de extremo térmico y susceptible a sufrir heladas agrícolas. En otras localidades también se presentaron disminución extrema de la temperatura con rangos que oscilan entre los 0°C y los 4°C con la tendencia de estar expuestos a las heladas agrícolas como en Latacunga y Pujilí con 2,8°C en enero, San Gabriel con 2,9°C en enero, Riobamba con 3,2°C en enero, Tulcán con 3,4°C en enero, Querochaca con 3,5°C en enero y en El Ángel con 3,4°C en el mes febrero. En estos casos los agricultores son los encargados de adoptar estrategias preventivas a estos fríos ambientes térmicos de tal manera que permita minimizar los efectos negativos en los cultivos y pastizales, la quema de residuos orgánicos de cosechas o malezas secas y mejorar el uso del riego. (INAMHI, 2022)

Menores son las localidades en donde se ha registrado incidencia de lluvias a gran escala, estos sectores son Riobamba y Ambato, mientras que existen sectores más propensos a heladas agrícolas debido a las temperaturas extremadamente bajas como, Izobamba, Latacunga y Pujilí (La Merced).

Debido a la escasez de lluvias que se produce en ciertos sectores de la región los cultivos agrícolas de Pujilí (La Merced) requieren de un cierto nivel de humedad en sus suelos para permitir que estos se puedan desarrollar de la manera correcta.

#### **1.1.6. INAMHI**

El INAMHI es el instituto encargado de la investigación científica del país, cuyo objetivo es brindar la información hidrometeorológica verídica a las autoridades responsables de establecer planes de desarrollo nacionales y locales, así como compartir la información con las demás entidades encargadas de hacer el seguimiento y evaluación de este sector de manera que se realice una correcta difusión de la información que permita a los ecuatorianos prepararse de forma correcta. (INAMHI, 2016)

Esta entidad permite que los sectores estratégicos de la economía, apoyados en personal especializado den una adecuada utilización de las nuevas tecnologías partiendo de la automatización, información y comunicación. (INAMHI, 2016)

#### **1.1.7. Recomendaciones de la INAMHI<sup>1</sup> para la producción agrícola**

Entre las recomendaciones de esta institución hacia los agricultores para afrontar los déficits hídricos y disminuir la erosión de los suelos tiene como escenarios, la implementación de prácticas sostenibles en la agricultura enfocada en una conservación de los tipos de cultivos que se producen, minimizar al máximo los monocultivos e impulsar la plantación de especies nativas del sector para ayudar a la formación de microclimas regulados. (INAMHI, 2016)

Para la disminución de las heladas agrícolas en los sectores como Pujilí (La Merced) que son más propensos a sufrir temperaturas bajo los 4° C, se debe de trabajar con estrategias de abrigo térmico que permitan conservar el calor y evite los efectos de las heladas, esto se lo puede lograr mediante

---

<sup>1</sup> INAMHI-Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología

la ejecución de riegos anticipados, localizar los cultivos en zonas no tan bajas donde sean proclives a recibir mayor frío. De presentarse excesiva humedad en el medio ambiente, como sucede en especial en la región Oriental, para preservar los cultivos de plagas y enfermedades se debe hacer frecuentes aplicaciones fitosanitarias y una limpieza oportuna de los canales de drenaje y acequias. (INAMHI, 2016).

## **1.2. Tecnologías para ecosistemas IoT**

A continuación, se presentan las principales características y definiciones de un ecosistema IoT, partiendo de su desarrollo, arquitectura, tipos de tecnologías y especificaciones técnicas que hacen que se genere una estructura de comunicación y operación tecnológica.

### **1.2.1. Internet**

Internet es un sistema íntegramente complejo desde cualquier punto de vista pero se puede expresar en términos generales que es la red de redes (red global), diseñado y construido en base a ideas creativas de científicos de todo el mundo a partir de 1950 hasta la actualidad. El internet y su evolución han sido impulsadas principalmente por investigadores, gobiernos, analistas y educadores utilizando herramientas para satisfacer las necesidades de la población que van surgiendo a lo largo del crecimiento tecnológico, así como la virtualización de procesos que generan mejores beneficios a los sectores económicos mundiales con la capacidad de mantener lazos sociales a larga distancia. (UIT-T, 2012)

### **1.2.2. El Internet de las cosas (IoT)<sup>2</sup>**

Internet de las cosas describe a un sistema de elementos físicos (maquinarias, dispositivos, vehículos, electrodomésticos, equipos electrónicos) que por medio de actuadores y sensores intercambian información mediante la conexión a Internet para un análisis más profundo de los principales servicios se desee mejorar y monitorizar como se observa en el diagrama descrito en la figura 1-04.(LoRa Alliance, 2018).

---

<sup>2</sup> IoT- Internet of Things- Interconexión digital software/Hardware

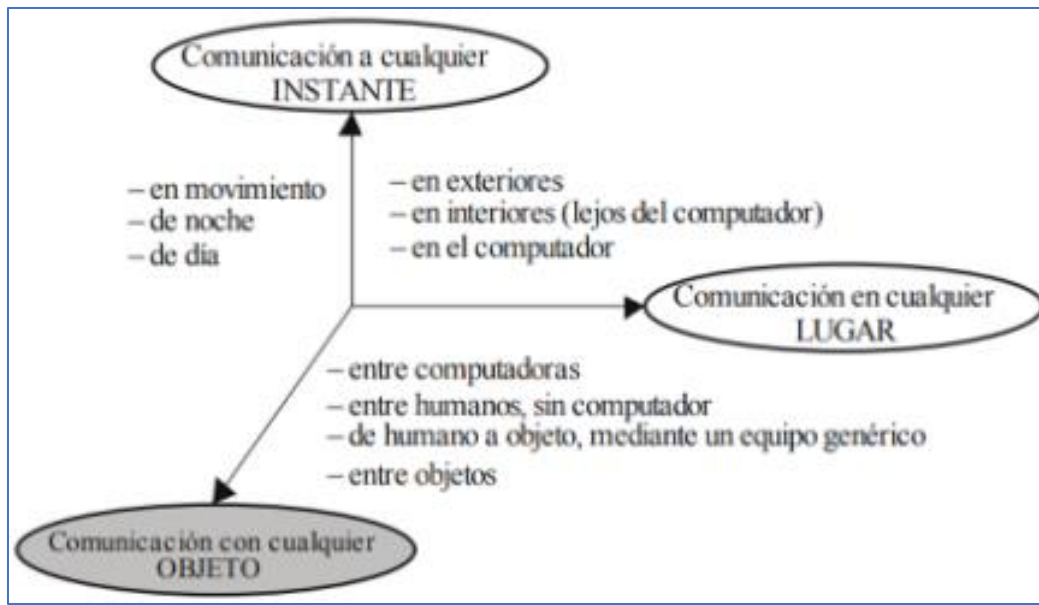


Figura 1-04. Características de comunicación de una Red IoT. (LoRa Alliance, 2018)

IoT, esta representado por la ITU<sup>3</sup> descrita en la recomendación ITU-T Y.2060, como: *“Infraestructura mundial para la sociedad de la información que propicia la prestación de servicios avanzados mediante la interconexión de objetos (físicos y virtuales) gracias a la interoperabilidad de tecnologías de la información y la comunicación presentes y futuras”* (UIT-T, 2012).

Como se observa en la figura 1-05, existe ya en circulación soluciones de bajo consumo de potencia y de largo alcance basados en aplicaciones de tecnología LoRA<sup>4</sup>, así como, sistemas de radio frecuencia inalámbricos (LoRaWAN)<sup>5</sup>. Las características inalámbricas de largo alcance y bajo consumo de recursos que posee LoRa permite el uso de diversos sensores y actuadores para enviar datos desde un sistema de producción como en una hacienda agrícola a la Nube (Cloud), donde pueden analizarse y configurarse para mejorar la producción. (Mantilla, 2019).

<sup>3</sup> ITU International Telecommunications Union - Unión Internacional de Telecomunicaciones.

<sup>4</sup> LoRa Alliance- Tecnología de modulación del tipo spread spectrum (amplio espectro)

<sup>5</sup> LoRaWAN-Low Power Wide Area Network (LPWAN)

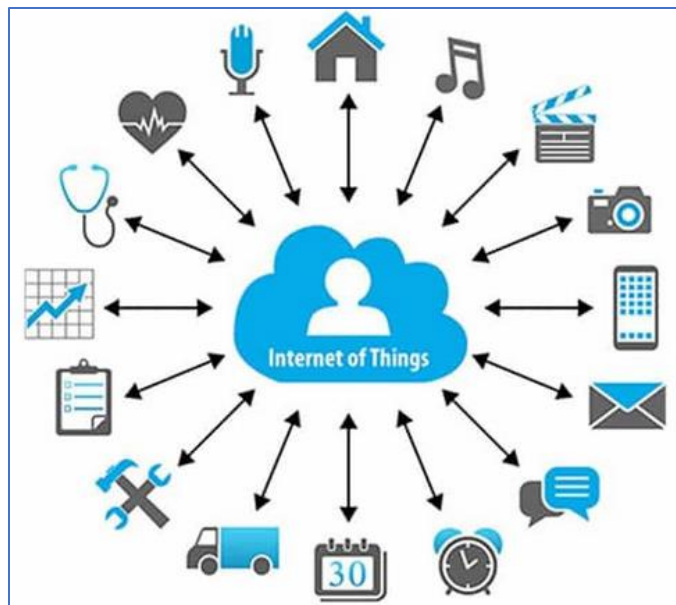


Figura 1-05. Mapa de integración IoT con él hacia los principales sectores de producción. (Mantilla, 2019)

### 1.2.3. Arquitectura del Internet de las Cosas IoT

La arquitectura de una red IoT es una estructura multicapas en la cual los dispositivos (objetos) inteligentes se conectan y se gestionan para prestar diferentes tipos de servicios utilizando la capa de aplicación, seguido de la capa de apoyo (soporte), capa de red y la capa de dispositivo (Capacidad) descrita en la figura 1-06. (ITU, 2012)

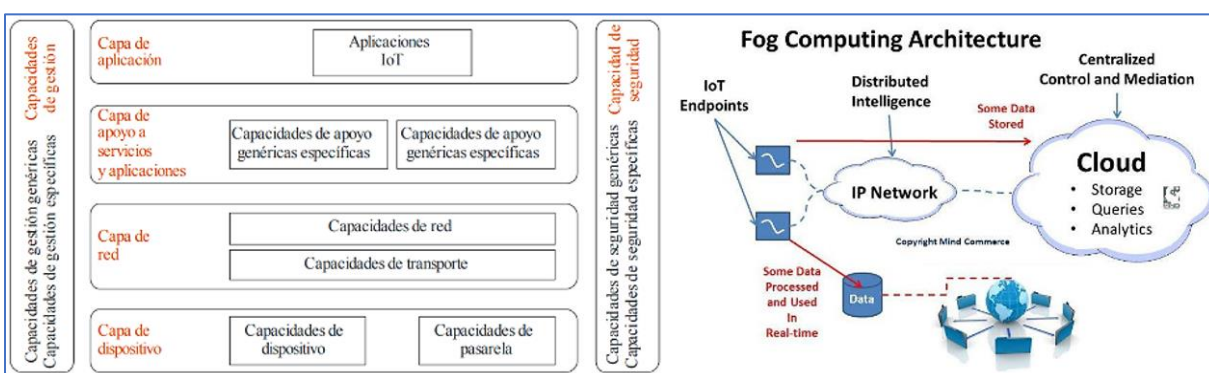


Figura 1-06. Arquitectura y topología de una red IoT. (ITU, 2012)

- **Capa de aplicación:** Contiene las aplicaciones IoT.
- **Capa de apoyo a servicios y aplicaciones:**

*Capacidades de soporte genéricas:* Procesamiento o almacenamiento de datos.

*Capacidades de soporte específicas:* Capacidad para atender las necesidades particulares de diversas aplicaciones

- **Capa de red:**

*Capacidades de red:* Control de la conectividad en red y AAA.

*Capacidades de transporte:* Conectividad para el transporte de datos específicos de servicios, transporte de información de gestión y de control relacionada con IoT.

- **Capa de dispositivo:** Contiene a las Capacidades de dispositivo y de pasarela.
- **Capacidades de gestión:** Contiene la gestión de dispositivos, gestión de la topología de red local y gestión del tráfico y la congestión.
- **Capacidades de seguridad:** Las capacidades de seguridad específicas están estrechamente relacionadas con los requisitos específicos de la aplicación, por ejemplo, los requisitos de seguridad para el pago con el móvil.

Con la finalidad del desarrollo de aplicaciones IoT, los investigadores y analistas recomiendan utilizar un diseño en capas, en base a la recomendación ITU-T Y.2060, la cual pretende mejorar la comunicación de datos a un alto nivel, como se observa en la figura 1-07.(ITU, 2012)

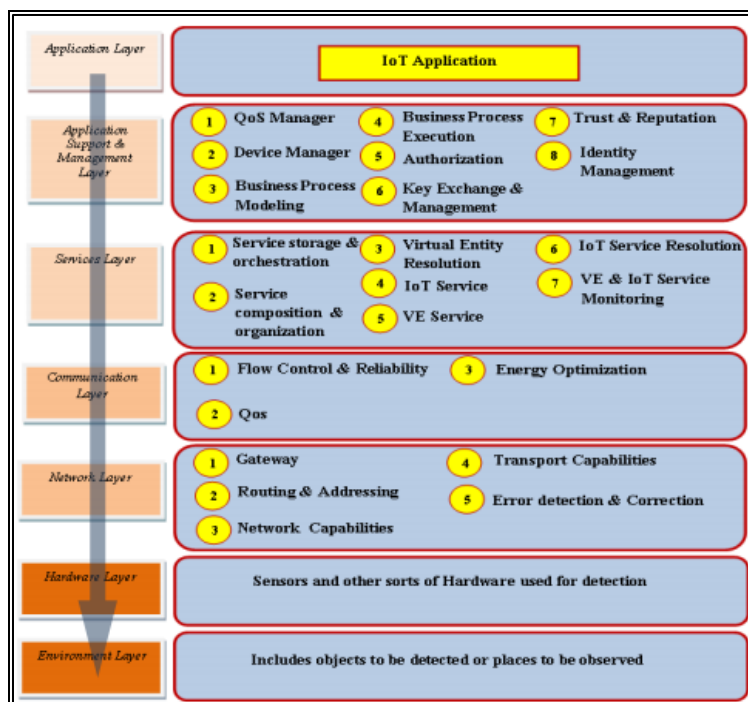


Figura 1-07. Arquitectura de capas para aplicaciones IoT. (ITU, 2012)

- 1- **Capa de ambiente (Environment Layer):** Monitoreo de objetos o lugares que incluyen sus características con valores generados en base a humedad, presión, temperatura, etc.
- 2- **Capa de Hardware (Hardware Layer):** Capa que presenta características de los sensores permitiendo la interconexión entre el mundo digital y físico.
- 3- **Capa de Red (Network Layer):** Al igual que una red de información esta capa realiza las veces de Gateway generando un enrutamiento mediante un direccionamiento IP y utilizando las capacidades de red y transporte, así como la detección y corrección de errores.
- 4- **Capa de comunicación (Communication Layer):** Presenta la confiabilidad, calidad de servicio, control de flujo y optimización de energía, así como la utilización de una comunicación mediante un portal web IoT.
- 5- **Capa de servicios (Services Layer):** Monitoreo, visualización, organización y almacenamiento de la información recibida virtualizándola.
- 6- **Capa de soporte de aplicaciones y administración (Application Support & Management Layer):** Capa referente a la seguridad, control manejo de la aplicación.
- 7- **Capa de aplicación (Application Layer):** Enfocada a procesos como la arquitectura y ganadería, responsable de entregar aplicaciones a diferentes usuarios del Internet de las cosas (IoT).

Al momento de diseñar un ecosistema IoT se debe considerar algunos requisitos que son específicos para una arquitectura IoT, ya que al utilizar dispositivos que generalmente tienen capacidades mínimas, estas capacidades se deben analizar para un desarrollo técnico adecuado, a continuación, se detallan los requerimientos que deben ser tomados en cuenta.

- **Definir el número de dispositivos:** de acuerdo con la naturaleza de la aplicación, deben definirse la cantidad de nodos y por ende también el número de sensores requeridos, en caso de ser necesario también se debe de tomar en cuenta una posible expansión o incremento de dispositivos a futuro.
- **Conectividad y Comunicación:** se debe considerar los aspectos relacionados a la conectividad desde los nodos con los servidores en la nube, ya sea esta comunicación con o sin Gateways. Utilizar los distintos protocolos para transmitir la información, ya que de acuerdo con la información técnica de los dispositivos requerirán más o menor capacidad

de memoria y procesamiento. Así como también se deben de definir los medios por los cuales se va a realizar esta comunicación, ya sea a través de redes de telefonía celular, etc.

- **Gestión de dispositivos:** esto hace referencia a la capacidad de poder controlar los dispositivos remotamente, esto con la finalidad de poder realizar ciertas acciones sobre los mismos, pudiendo realizar actualizaciones en el firmware, actualización de credenciales de seguridad, reconfigurar ciertos parámetros, etc.
- **Recolección, Análisis y Acción sobre la información:** el objetivo principal de un ecosistema IoT es poder recopilar información desde múltiples dispositivos, poder almacenar y analizar la información y de acuerdo con esta poder gestionar acciones ya sean estas correctivas o meramente en forma de alertas.
- **Escalabilidad:** la capacidad de poder escalar un ecosistema IoT es fundamental, el sistema deberá ser capaz de poder empezar con unos pocos dispositivos y continuar ampliando la cantidad de estos conforme los requerimientos así lo requieran.
- **Seguridad:** es uno de los principales factores a tomar en cuenta en el diseño de un ecosistema IoT, ya que, dependiendo de la naturaleza de la aplicación, al encontrarse los dispositivos IoT recolectando información, puede ser esta de tipo personal.
- **Energía:** se debe considerar las fuentes o suministros de energía de los cuales va a hacer uso el ecosistema IoT, se debe dimensionar los requerimientos de energía del sistema, incluyendo el consumo de leds, motores, etc. y de acuerdo con esto escoger una fuente de energía apropiada, sea está alimentada con paneles solares o directamente del suministro de energía de la empresa eléctrica.
- **Visualización de la información:** de acuerdo con la naturaleza de la aplicación, se debe definir cómo va a ser presentada la información al usuario final, ya sea esta mediante un buscador o alguna aplicación en el celular o inclusive mediante envió automático de mensajes vía Twitter o correo electrónico.

#### 1.2.4. Elementos de un ecosistema IoT

Un ecosistema IoT tiene como principales protagonistas a los sensores y actuadores. Los seres humanos a través de Internet o redes inalámbricas (LoRA) recopilan información del entorno interactuando directamente con sensores y actuadores. La tendencia de estos dispositivos es la creación de redes inteligentes con elementos simples y facilitando el proceso de un determinado

servicio. Al igual que la nanotecnología juntos permiten que el tamaño de los dispositivos sea mínimo sin disminuir sus funciones como la velocidad y capacidad. Un ecosistema IoT utiliza dispositivos electrónicos capaces de medir magnitudes físicas o químicas y transformarlas en señales eléctricas. (Ramírez & Mazón, 2018).

Estos dos tipos de dispositivos combinados con la capacidad de conexión forman la capa de hardware IoT, los cuales son:

- Sensores: Físicos, Químicos y Bioquímicos
- Actuadores: Motores, servomotores, motores paso a paso, electroválvulas

Los Smartphone son dispositivos inteligentes que monitorean, controlan y ejecutan acciones hacia los actuadores y sensores con funciones como:

- Acelerómetro: permite medir movimientos y conocer la posición del móvil.
- Magnetómetro: mide el campo magnético de la tierra.
- Giróscopo: mide movimientos, el ángulo y la velocidad de giro en lastres coordenadas espaciales.
- Sensores de iluminación: registra la cantidad de luz ambiental.
- Sensores de temperatura: temperatura ambiental limitada a un rango de valores habituales (-20° a 50°).
- Sensores acústicos: Están equipados con micrófonos que permiten registrar el sonido.
- Barómetro: mide la presión atmosférica.
- Sensor táctil: recibe entradas múltiples simultáneamente.
- GPS<sup>6</sup>: Proporciona la posición en coordenadas espaciales y la velocidad a la que se mueve el dispositivo, con precisiones de pocos metros y Km/h.

En la figura 1-08, se observa los elementos básicos de un ecosistema IoT enfocado a un plano agropecuario, como lo es el control del crecimiento de una planta, esto se basa en la utilización de sensores para tener información del proceso de maduración y mediante actuadores controlar los

---

<sup>6</sup> GPS: Sistema de Posicionamiento Global (GPS) es un sistema de radionavegación de los Estados Unidos de América, basado en el espacio, que proporciona servicios fiables de posicionamiento, navegación, y cronometría gratuita e ininterrumpidamente a usuarios civiles en todo el mundo

niveles estables de humedad, temperatura, etc. Todo eso en base a un sistema de comunicación que genera un ambiente cerrado software/hardware.

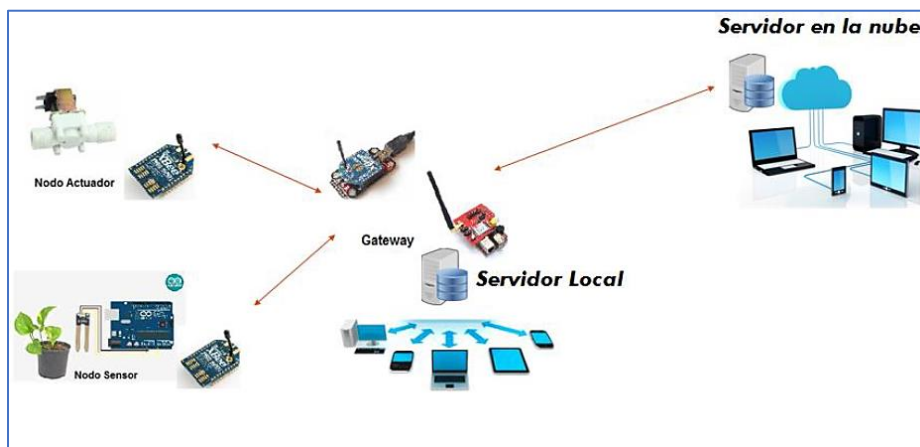


Figura 1-08. Elementos que conforman una Red IoT para la agricultura hacia el internet. (Ramírez & Mazón, 2018)

### 1.2.5. Redes inalámbricas

Una red inalámbrica posee un sistema integrable de comunicación de datos (Paquetes) que amplían la transmisión de información por un medio no guiado reemplazando a la red LAN<sup>7</sup> de un ambiente doméstico a un industrial. WLAN<sup>8</sup> usa el espectro radio eléctrico para transmitir y recibir datos minimizando así la necesidad de conexiones cableadas en lugares poco accesibles como áreas locales y áreas extensas como se observa en la figura 1-09. (Orozco et al., 2018).

Cellular Network	Local Area Network	LPWAN
<i>Ventajas</i>		
Cobertura existente Alta velocidad de datos	Estándares establecidos	Bajo consumo de potencia Bajo coste Posicionamiento
<i>Inconvenientes</i>		
Autonomía Coste total	Duración de las baterías Provisionamiento Coste de red y dependencias	Bajo consumo de potencia Bajo coste Posicionamiento

Figura 1-09. Principales características de tecnologías inalámbricas. (Lemos, 2017)

<sup>7</sup> LAN Local Area Network – Red de área local

<sup>8</sup> WLAN Wireless Local Area Network – Red inalámbrica de área local

Las principales ventajas de un ambiente inalámbrico de mediana escala se encuentran enfocadas en permitir movilidad en el área de cobertura, así como facilitar la expansión y limitación de recursos a los usuarios en la red sin la necesidad manipular el dispositivo en el núcleo, es decir cuenta con la capacidad de administración centralizada (Guevara C. & Serna M., 2013). Al igual que los aspectos positivos cuenta con desventajas en menor escala que tratan sobre las limitaciones del espectro radio eléctrico como el poco ancho de banda, bajas velocidades, intermitencias y seguridad en términos generales. Pero con los avances tecnológicos estos problemas se han minimizado hasta el punto de tener diferentes tecnologías inalámbricas eficientes para una determinada aplicación, como se observa en la figura 1-10. (Cisco, 2012).

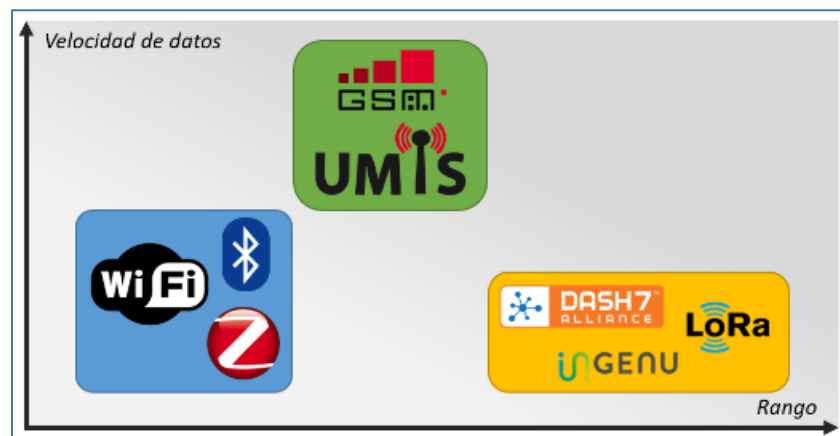


Figura 1-10. Escala de tecnología según rango y velocidad. (Lemos, 2017)

### 1.2.6. LPWAN<sup>9</sup>

Las LPWAN son tecnologías que se encuentran en constante evolución, esto por sus múltiples beneficios, como son comunicaciones de larga distancia, bajo consumo de energía y poca complejidad en la implementación, comunicación bidireccional con protocolos de seguridad para ecosistemas IoT. (LoRa Alliance, 2018)

Como se observa en la figura 1-11, este tipo de tecnología cuenta con protocolos que alcanzan rangos de cobertura más amplios que otras tecnologías puede ser utilizada para aplicaciones en la

<sup>9</sup> LPWAN Low Power Wide Area Network - Red de Área Extensa de Bajo Consumo de Energía.

agricultura de precisión, monitoreo de flotas, parqueadero inteligente y muchas otras más. (LoRa Alliance, 2018)

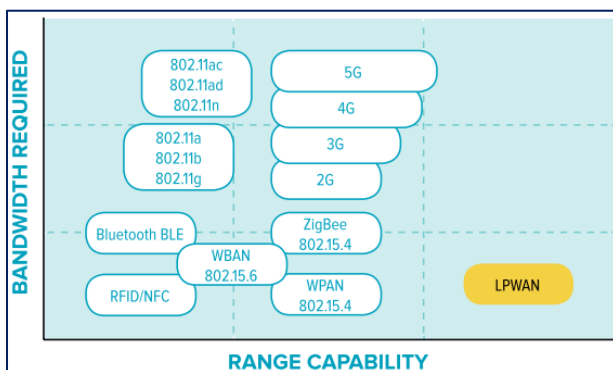


Figura 1-11. Comparación entre LPWAN con algunos tipos de tecnologías inalámbricas. (Egli, 2015).

Entre las ventajas de LPWAN destacan:

- **Larga duración de las baterías:** dado el bajo consumo eléctrico, se estima una duración de las baterías superior a los 10 años.
- **Sensibilidad:** presentando una sensibilidad en la recepción de alrededor de -130 dBm, permitiendo tener enlaces con presupuestos de potencia entre 140 a 160 dB.
- **Largo alcance:** debido a su buena sensibilidad permiten llegar a tener enlaces en espacios abiertos desde 5 hasta 40 Km.
- **Uso de banda ISM<sup>10</sup>:** gracias a que hacen uso de la banda ISM, la puesta en marcha de estos sistemas no requiere de licenciamiento para poder ser utilizados, lo que facilita el despliegue de nuevos sistemas.

Entre las desventajas de LPWAN destacan:

- **Baja tasa de datos:** Esta tecnología a diferencia de otras no está diseñada para transmitir grandes cantidades de información generalmente máximo 5000 bps.
- **Otros dispositivos operando en banda ISM:** dado que funcionan con frecuencias no licenciadas, coexisten con múltiples tipos de tecnologías inalámbricas, lo que puede ocasionar interferencias o fallos en la comunicación especialmente en entornos urbanos como ciudades. (Dragino, 2019)

<sup>10</sup> ISM Industrial Scientific and Medical, frecuencias para aplicaciones industriales, científicas y médicas.

### 1.2.7. Long Range Modulation LoRa<sup>11</sup> y LoRaWAN<sup>12</sup>

LoRA es una tecnología inalámbrica que utiliza recursos de comunicación y frecuencia para transmitir información a mayores distancias equivalentes en Kilómetros. Sus principales características se relacionan con el consumo de baja potencia y la modulación del espectro ensanchado con la capacidad de resistencia frente a posibles interferencias (Mantilla, 2019).

La tecnología LoRa ha demostrado ser útil en sistemas pertenecientes a sectores ganaderos, agrícolas, de seguridad pública, sector industrial, medios de localización, etc. Si se habla de las ventajas que cuenta esta tecnología se puede expresar que basa su funcionamiento en aplicaciones de largo alcance, bajo consumo potencia, seguridad, altamente escalable, con protocolos de geolocalización y algo muy importante en la actualidad que es el bajo costo de implementar un sistema LoRa, vista en la figura 1-12. (LoRa Alliance, 2018).



Figura 1-12. Características principales de la tecnología LoRa. (LoRa Alliance, 2018)

Mientras que LoRaWAN es un protocolo de red en base a la tecnología LoRa, para redes que necesitan cubrir un área amplia de comunicación, bajo ancho de banda y baja potencia de trabajo. LPWAN (Low Power Wide Area Network) es utilizada para administrar y comunicar dispositivos

<sup>11</sup> LoRa Alliance- Tecnología de modulación del tipo spread spectrum (amplio espectro)

<sup>12</sup> LoRaWAN-Low Power Wide Area Network (LPWAN)

de la tecnología LoRa. El protocolo LoRaWAN se compone principalmente de nodos hacia la parte de centralizada con los Gateway. Un nodo (device) es un dispositivo final que envían y reciben información hacia el dispositivo central (Gateway), en cambio un Gateway (antena Tx/Rx) es el encargado de recibir y enviar información a los nodos y establecer comunicación hacia la red de datos o ISP<sup>13</sup>, vista en la figura 1-13. (Boasberg et al., 2019)

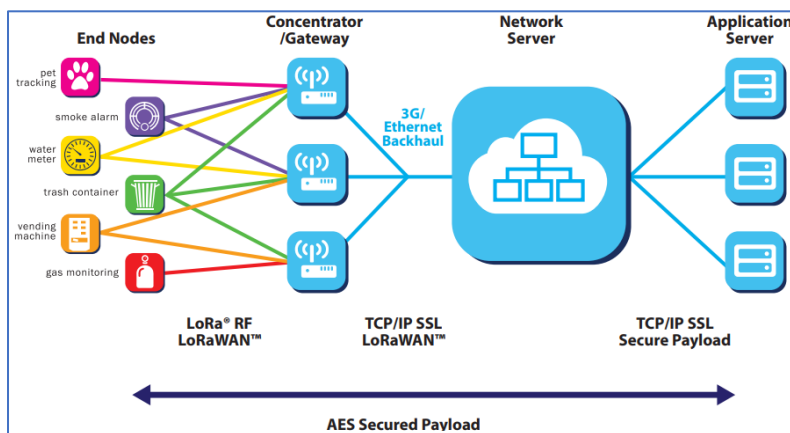


Figura 1-13. Estructura general de la tecnología LoRaWAN. (Boasberg et al., 2019)

### 1.2.8. Parámetros generales de la tecnología LoRa

LoRa es una tecnología exclusiva y patentada de propiedad de Semtech Corporation, que funciona en la banda ISM, vista en la tabla 1-03. La asignación de frecuencias y los requisitos reglamentarios para ISM varían por región. Dos de las más populares son las frecuencias de 868 MHz utilizada en Europa y 915 MHz utilizada en América del Norte. Otras regiones, especialmente Asia, tienen diferentes características técnicas. (Reyes, 2017)

Parámetros	Europa	América del Norte
Banda de frecuencia	867-869 MHz	902-928 MHz
Canales	10	64 + 8 + 8
Canal banda ancha ascendente	125/250 kHz	125/500 kHz
Canal banda ancha descendente	125 kHz	500 kHz
TX encendido	+14 dBm	+20 dBm (+30 dBm permitidos)
TX desconectar	+14 dBm	+27 dBm

<sup>13</sup>ISP: significa Proveedor de Servicios de Internet, que es una compañía u organización que brinda servicios para el acceso a Internet.

<b>SF Up</b>	7-12	7-10
<b>Velocidad de datos</b>	250 bps - 50 kbps	980 bps - 21.9 kbps
<b>Link Budget Up</b>	155 dB	154 dB
<b>Link Budget Dn</b>	155 dB	157 dB
<b>Alcance</b>	>15km	>15km
<b>Nodos</b>	>1000	>1000

Tabla 1-02. Una comparación de las especificaciones LoRa para Europa y Estados Unidos. (LoRa Alliance, 2018)

### **1.3. Ecosistema IoT enfocado al sector agropecuario y su desarrollo**

#### **1.3.1. IoT para procesos agrónomos**

El desarrollo y la implementación de ecosistemas IoT en la agricultura se refiere a elementos de software y hardware en un sistema único de análisis de datos y control de procesos, este sistema global ayuda a tomar decisiones y a la ejecución de protocolos para el cuidado de los cultivos. (Ramírez & Mazón, 2018)

En la actualidad se estima que hay más de 8500 millones de dispositivos electrónicos inteligentes conectados en el mundo, esto refleja que la cantidad de datos y la información que se puede encontrar a través de ellos fortalece los medios para ser aplicados al sector agropecuario. Por medio de estas tecnologías el agricultor es capaz de:

- Estudiar y analizar diferentes variables ambientales (clima, temperatura, suelo)
- Observar y monitorizar el tipo de suelo para recolectar información ambiental.
- Examinar y comprender los procesos de evolución de los cultivos.
- Diseñar modelos específicos de Machine Learning (Aprendizaje Automático).
- Implementar sistemas de ayuda a la toma de decisiones para optimizar procesos agrarios.
- Comprender los ambientes sociales para predecir la demanda, programar la recolección y adaptar la cosecha a los precios del mercado.

La utilización de la tecnología y en particular del Internet de las Cosas (IoT) es una oportunidad para obtener un mayor rendimiento al cultivo, y así, contribuir al desarrollo de una producción sostenible que garantice el futuro del sector agrícola disminuyendo los problemas sociales y ambientales (Ramírez & Mazón, 2018).

### 1.3.2. Análisis de los efectos ambientales con ecosistemas IoT

Encontrar medios eficientes y más ecológicos para el desarrollo de aplicaciones contra los efectos ambientales se está convirtiendo en una realidad. Pero no solo está enfocado en un solo tema, sino también en los beneficios ambientales del extenso alcance con el Internet de las Cosas. El mundo de la tecnología está empezando a ver cómo los dispositivos IoT aumentan la eficiencia energética en la industria (granjas, haciendas, hogares). Aspectos en los que un ecosistema IoT está ayudando a reducir el desgaste del medio ambiente pueden ser:

- Sin derroche no hay escasez.
- Ecología sobre la marcha.
- Fauna conectada.
- Sensor de cambio.
- Agricultura más inteligente.

Para lograr que los efectos ambientales disminuyan su impacto en la agricultura, IoT mediante el uso de sensores inteligentes logra que los agricultores puedan reducir la cantidad de residuos (desechos) que producen, así como monitorear sus procesos agrícolas según el clima, la luz solar, la humedad y otros factores externos como las heladas y sequías que son permanentes en varios sectores a nivel mundial. También es posible minimizar la cantidad de agua (riego) utilizada para hidratar los cultivos cuando un actuador (sensor) descubre que los niveles de humedad y temperatura en el suelo son correctos. Por consiguiente, un ecosistema IoT puede ayudar a reducir numerosos contaminantes del sector agropecuario y aumentar la eficiencia energética global, como se observa en la figura 1-14. (Ramírez & Mazón, 2018).



Figura 1-14. Topología general de una Red IoT aplicada al monitoreo de efectos ambientales en la agricultura.(Ramírez & Mazón, 2018)

### 1.3.3. LoRa enfocada la Agricultura

Una barrera para la aplicación de la agricultura tecnológica es el hecho de que gran parte de las zonas rurales no cuentan con una adecuada red inalámbrica, así como, la falta de infraestructura para conectar sistemas avanzados. A la vez, es importante recordar que un sistema inteligente requiere otras necesidades de conectividad como sensores que capten la información tanto ambiental con la de control de procesos automáticos (Tovar Soto et al., 2019).

Como se muestra en la figura 1-15, la Agricultura de precisión (control y monitoreo) hace hincapié en el desarrollo y solución de procesos estructurados que permiten mejorar el crecimiento y producción de los cultivos aplicando mecanismos (técnicas) para beneficiar su rendimiento. Al optimizar del uso de recursos se minimiza del impacto ambiental, así como la toma de decisiones adecuadas a través del uso de las Tecnologías de la información y comunicación, con el único objetivo de realizar procesos agropecuarios más confiables, eficientes, modernos y seguros garantizados. (LoRa Alliance, 2018)

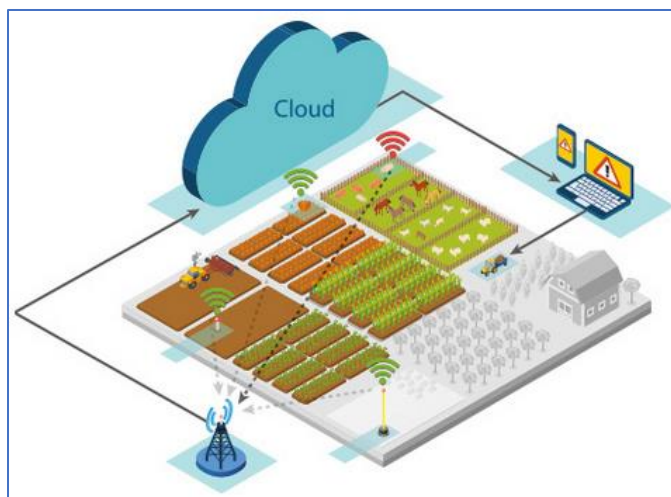


Figura 1-15. Esquema general de una red LoRa hacia el sector agropecuario. (LoRa Alliance, 2018)

El Internet de las cosas (IoT) busca la unión entre redes información (LoRA) para analizar y encontrar mayores capacidades de producción a medida que aumentan las demandas de producción y operación. Los ganaderos y agricultores ya no pueden confiar solo en señales visuales u otros indicadores para la gestión de sus negocios. En su lugar, necesitan crear operaciones más eficientes o que se pueda obtener información permanentemente en la zona de cultivo, estudiar los datos para tomar decisiones inteligentes en beneficio de la agricultura de precisión y el monitoreo en tiempo real del ganado (LoRa Alliance, 2018).

#### 1.3.4. Integración LoRA con ecosistemas IoT

Con el auge de IoT, el mercado comienza a desarrollar nuevas tecnologías de comunicación de datos adaptándose a escenarios específicos. Dentro de estos escenarios se encuentran Local Área Network, Low Power Wide Area y Cellular Network. Para la tecnología LoRA el escenario propicio es el de Low Power Wide Area, el cual basa su funcionamiento en aplicaciones de largo alcance intermedio entre redes locales y celulares. Con la red LoRA establecida se puede realizar la integración inalámbrica mediante el espectro radio eléctrico (frecuencias) y los nodos (actuadores, sensores y smartphones) para controlar un determinado proceso físico, como se muestra en la figura 1-16. (Reyes, 2017).



Figura 1-16. Integración de LoRa y IoT hacia los sectores productivos. (Reyes, 2017)

La tecnología LPWAN ofrecen un rango de alcance de 5 a 40 km aproximadamente dependiendo de los protocolos de funcionamiento, de igual manera posee una duración de batería mayor a los dispositivos genéricos en el mercado y un costo por dispositivo muy reducido. Dentro de esta tecnología existen dos sistemas que se destacan de los demás, LoRaWAN y Sigfox<sup>14</sup>. En el ámbito tecnológico se diferencian por el proceso de modulación, LoRaWAN que usa LoRa tiene una modulación (CSS) mientras que Sigfox utiliza una técnica llamada UNB (Banda Ultra Estrecha). (Reyes, 2017).

---

<sup>14</sup>Sigfox-Red de conectividad celular a nivel mundial enfocada para el Internet de las cosas.

## CAPITULO 2 SITUACIÓN ACTUAL

En este capítulo presentan la ubicación geográfica y situación actual del sector agropecuario en el Barrio La Merced Pujilí en Cotopaxi.

### 2.1. Ubicación Geográfica

#### 2.2.1. Ubicación de la Provincia del Cotopaxi y el Cantón Pujilí

Cotopaxi es una de las provincias de la región Sierra centro del Ecuador, gracias a su ubicación es de fácil tránsito hacia la Costa y el Oriente. Es atravesada por la Cordillera de los Andes y la mayoría de su población se ubican sobre los 2.500 m.s.n.m. (Nogales & Tipán, 2014)

Sus límites son, hacia el Norte con Pichincha, al Sur con Los Ríos, Bolívar y Tungurahua, al Este con Santo Domingo de los Tsáchilas y al Oeste con Napo. Su nombre se debe a la presencia de un espectacular volcán en su territorio, el Cotopaxi, que forma a sus alrededores una variedad de ecosistemas únicos. Como se observa en la figura 2-01, se tiene la localización de la provincia del Cotopaxi. (Nogales & Tipán, 2014)

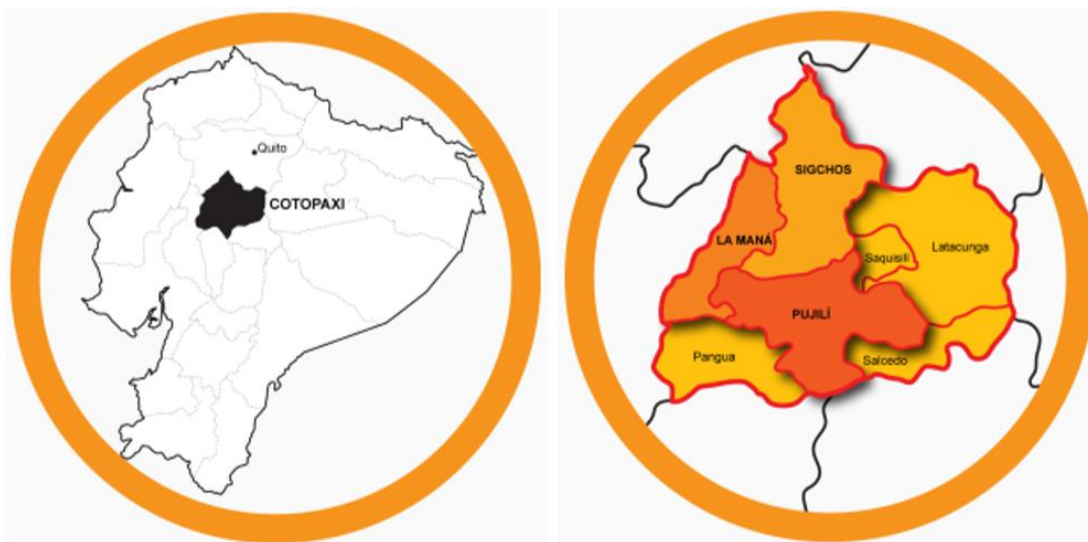


Figura 2-01. Ubicación geográfica de la provincia del Cotopaxi y el cantón Pujilí. (Cedeño, 2017)

Por su parte el Cantón Pujilí políticamente se encuentra dividido en siete parroquias, una urbana y seis rurales. Como se observa en la figura 2-01, sus límites son al Norte Sigchos, Saquisilí y

Latacunga, al Sur Pangua, Bolívar (Guaranda) y Tungurahua (Ambato), al Este Latacunga y Salcedo y al Oeste La Maná y Pangua. (Nogales & Tipán, 2014)

### 2.1.2. Ubicación de la Parroquia Pujilí

La parroquia Pujilí se encuentra situada a 12 kilómetros de la ciudad de Latacunga. Pujilí es la cabecera cantonal del Cantón Pujilí y se encuentra a 2.961 m s. n. m., en las laderas del monte Sinchahuasín, siendo una entidad territorial subnacional ecuatoriana, de la Provincia de Cotopaxi, visto en la figura 2-02. (GAD, 2021)

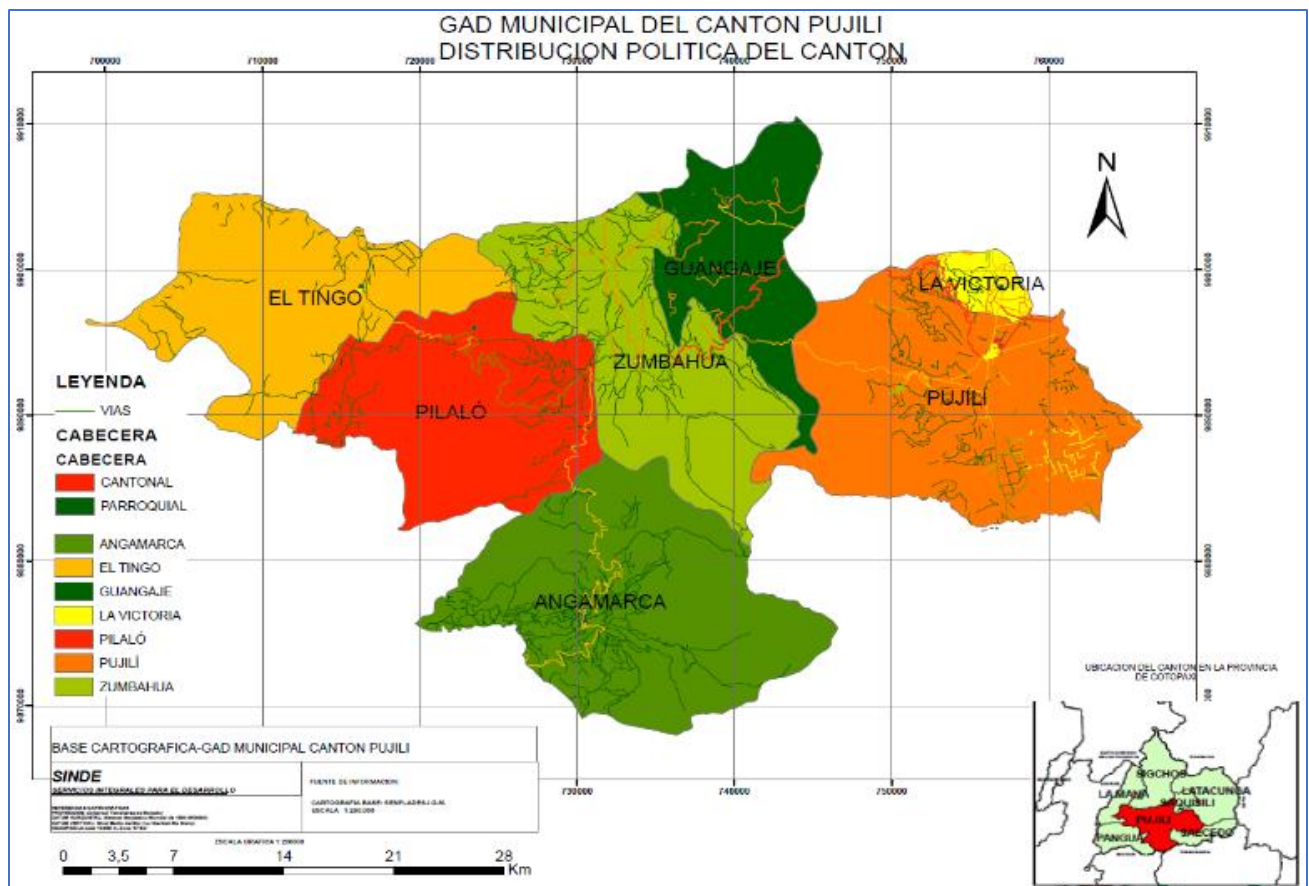


Figura 2-02. Ubicación geográfica de la Parroquia Pujilí (Cantones). (GAD, 2021)

Pujilí tiene las siguientes coordenadas geográficas:

- Norte 00° 49' 00'' S y 78° 48' 30'' W
- Sur 01° 11' 40'' S y 78° 52' 30'' W
- Este 01° 00' 00'' S y 78° 36' 40'' W
- Oeste 00° 56' 20'' S y 79° 12' 10'' W

### 2.1.3. Ubicación del Barrio La Merced Pujilí

El Barrio La Merced, está situado entre una altitud de 2.851 metros sobre el nivel del mar, se encuentra ubicada al sureste de la cabecera cantonal a una distancia de 3 kilómetros pasando por los barrios vecinos como Chimbacalle, Patoa de Vaca y 10 de agosto, como se presenta en la figura 2-03. (GAD, 2021)

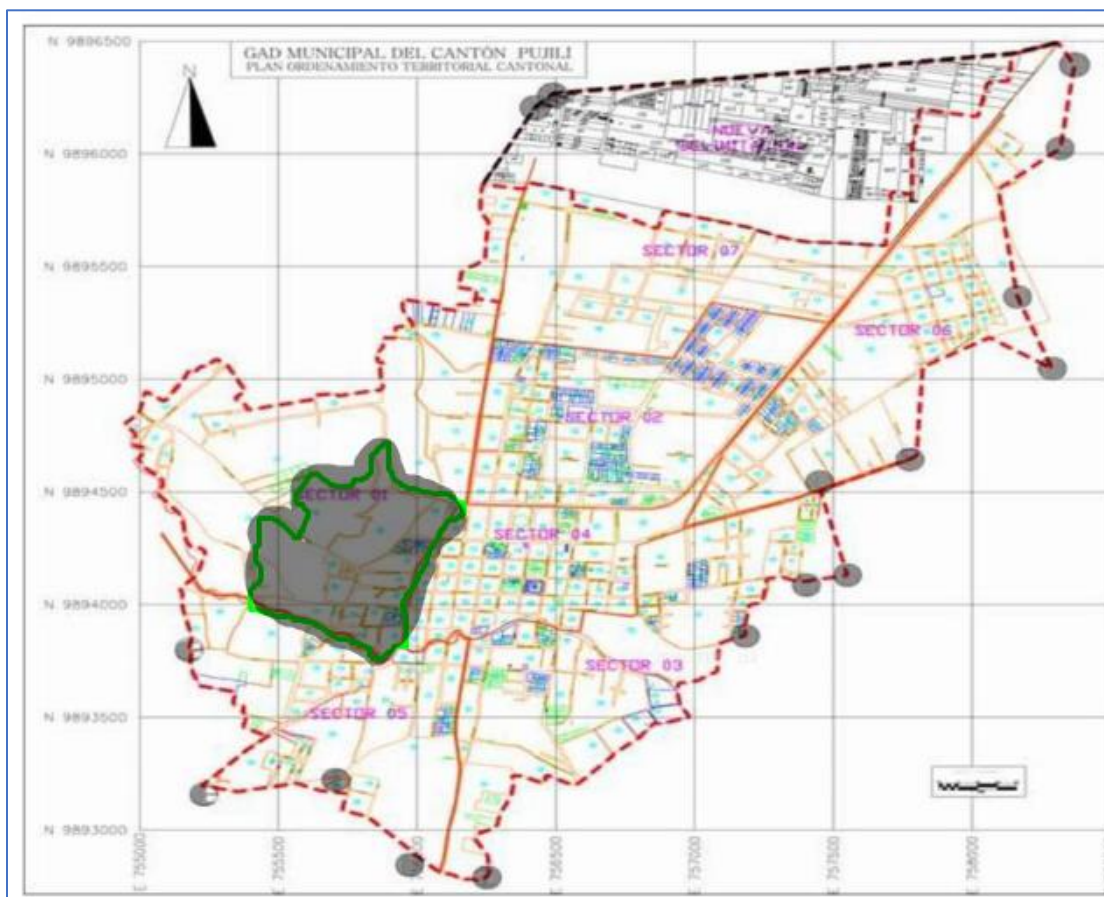


Figura 2-03. Ubicación geográfica del barrio La Merced- Pujilí (Barrios). (GAD, 2021)

La Merced geográficamente se encuentra ubicada a  $-0.983333$  grados de latitud sur y a  $-78.7$  grados de longitud Oeste con sus límites en:

- Norte: La Comunidad de Isinche Grande.
- Este: El Barrio 10 de agosto.
- Sur: El Barrio Cofines.
- Oeste: El Barrio 20 de diciembre.

Como se observa en la figura 2-04, La Merced pertenece a la parte urbana-rural de la parroquia Pujilí teniendo cercano a la matriz de Pujilí y a la parte de producción ganadera y agrícola del sector.



Figura 2-04. Ubicación geográfica del barrio La Merced- Pujilí. (Calles). (GAD, 2021)

## 2.2. Precedentes sobre El Barrio La Merced

### 2.2.1. El Barrio La Merced de Pujilí

El barrio La Merced cantón Pujilí se encuentra localizado en la parte centro sur de la Provincia de Cotopaxi. La mayor parte de la superficie territorial ocupa la zona rural que corresponde al 85,4% del total de habitantes y apenas el 14,6% se encuentra en el espacio urbano de un total de 69100 habitantes del cantón. Se posiciona a 2961 metros sobre el nivel de mar con un relieve irregular entre una zona media y zona alta (Nogales & Tipán, 2014).

Contiene varios suelos en zonas medias denominados bosques andinos que se caracterizan por ser terrenos amarillentos y poco profundos. La variación climática se encuentra dividida por climas

templados en zonas urbanas y frío en regiones altas (zonas rurales) con temperaturas que van desde los 6 y 20 ° C. En los últimos años esta variación presenta periódicamente un clima seco o mesotérmico (INAMHI, 2022).

### 2.2.2. Geografía que presenta el Barrio La Merced

La Merced cuenta con un área extensa de territorio en su mayor parte de forma plana en el sector central y elevaciones en sus límites geográficos que corresponde a la topología de la parroquia Pujilí rodeada de montañas, como se observa en la figura 2-05.

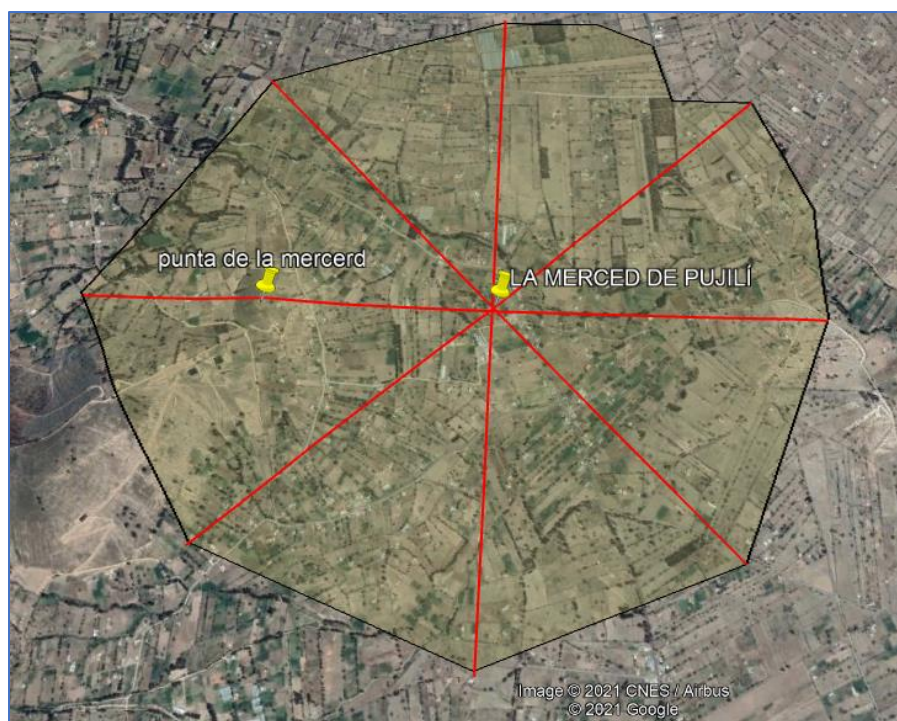


Figura 2-05. Composición Geográfica del área de análisis del Barrio La Merced. (Google Earth, 2022)

Como se observa en la figura 2-06, se tiene el perfil de elevación Este-Oeste del barrio La Merced, donde se caracteriza por tener un relieve geográfico llano adecuado para la producción agrícola y ganadera.

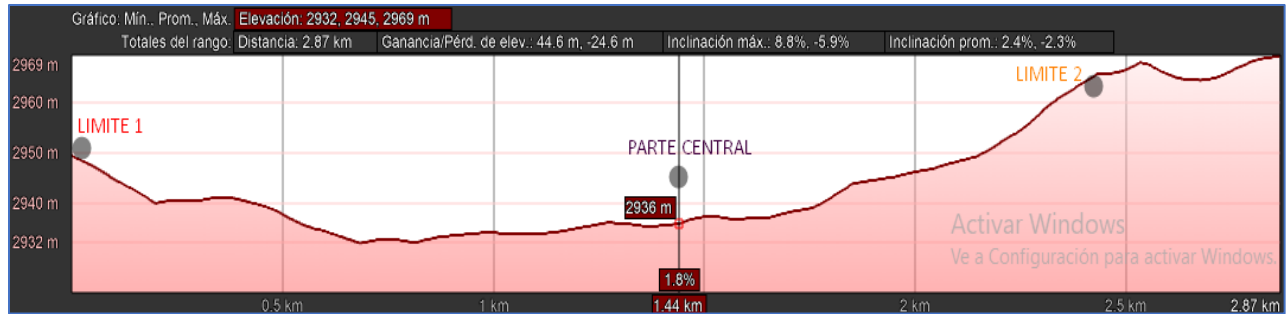


Figura 2-06. Perfil de elevación Este-Oeste del Barrio La Merced. (Google Earth, 2022)

Como se observa en la figura 2-07, se tiene el perfil de elevación Norte-Sur del barrio La Merced, donde se caracteriza por tener un relieve geográfico mixto adecuado para la producción agrícola y ganadera.



Figura 2-07. Perfil de elevación Norte-Sur del Barrio La Merced. (Google Earth, 2022)

La Merced cuenta con una topología en su mayoría de forma plana con buenas condiciones para desarrollar aplicaciones tecnológicas sobre una línea de vista desde el punto central hacia sus zonas lateras como se observa en la figura 2-08.



Figura 2-08. Topología del Barrio La Merced.

### 2.2.3. Problemática social en el entorno productivo del Barrio La Merced-Pujilí

Las dificultades de vida que se presentan en el barrio La Merced corresponden a problemas de salud pública, crecimiento empresarial, efectos ambientales entre otros. Estos problemas originan un menor desarrollo social que deriva en mayores índices de pobreza. Las principales debilidades que posee La Merced tratan sobre el desinterés de la población por sus potencialidades y desarrollo, así como, la falta de capacitación necesaria para adquirir conocimientos enfocados en tecnología como en producción agropecuaria. De igual manera presenta amenazas como la variación climática por la tala de bosques y la quema de vegetación (Morocho & Ayala, 2013).

Esto desemboca en un problema de mayor impacto con el deterioro del sector agropecuario que es la fuente económica principal del barrio La Merced, a causa de esta problemática se tiene déficit de riego afectando a la producción Minifundista (Baldeon, 2014).

El desarrollo tecnológico en La Merced tiene varios inconvenientes respecto a la comunicación digital y a la falta de sistemas eficientes de transmisión de información con redes inalámbricas.

Por ello la inversión de nuevas tecnologías en todos los ámbitos es un pilar fundamental en el crecimiento del Barrio La Merced (Morocho & Ayala, 2013).

#### 2.2.4. FODA respecto al Barrio La Merced

El barrio La Merced al igual que todo sector urbano-rural que dedica su economía a la producción agropecuaria y ganadera, cuenta con ventajas y desventajas entorno a los niveles de producción, así como salud vivienda y educación.

En la figura 2-09, se muestran los principales elementos del análisis FODA, fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas, donde destacan como fortalezas la organización comunitaria para la toma de decisiones en aspectos culturales y sociales. Sin embargo, esa organización cuenta con debilidades que afectan en gran escala al sector productivo por no contar con el interés de la población para potencializar sus cultivos, al igual que la falta de capacitación a los agricultores con nuevos mecanismos tecnológicos que mejoren la producción y así evitar pérdidas económicas del agropecuario. Pero siempre existen las oportunidades de cambio para el desarrollo productivo y la creación de trabajo con microempresas que generen una estabilidad económica.

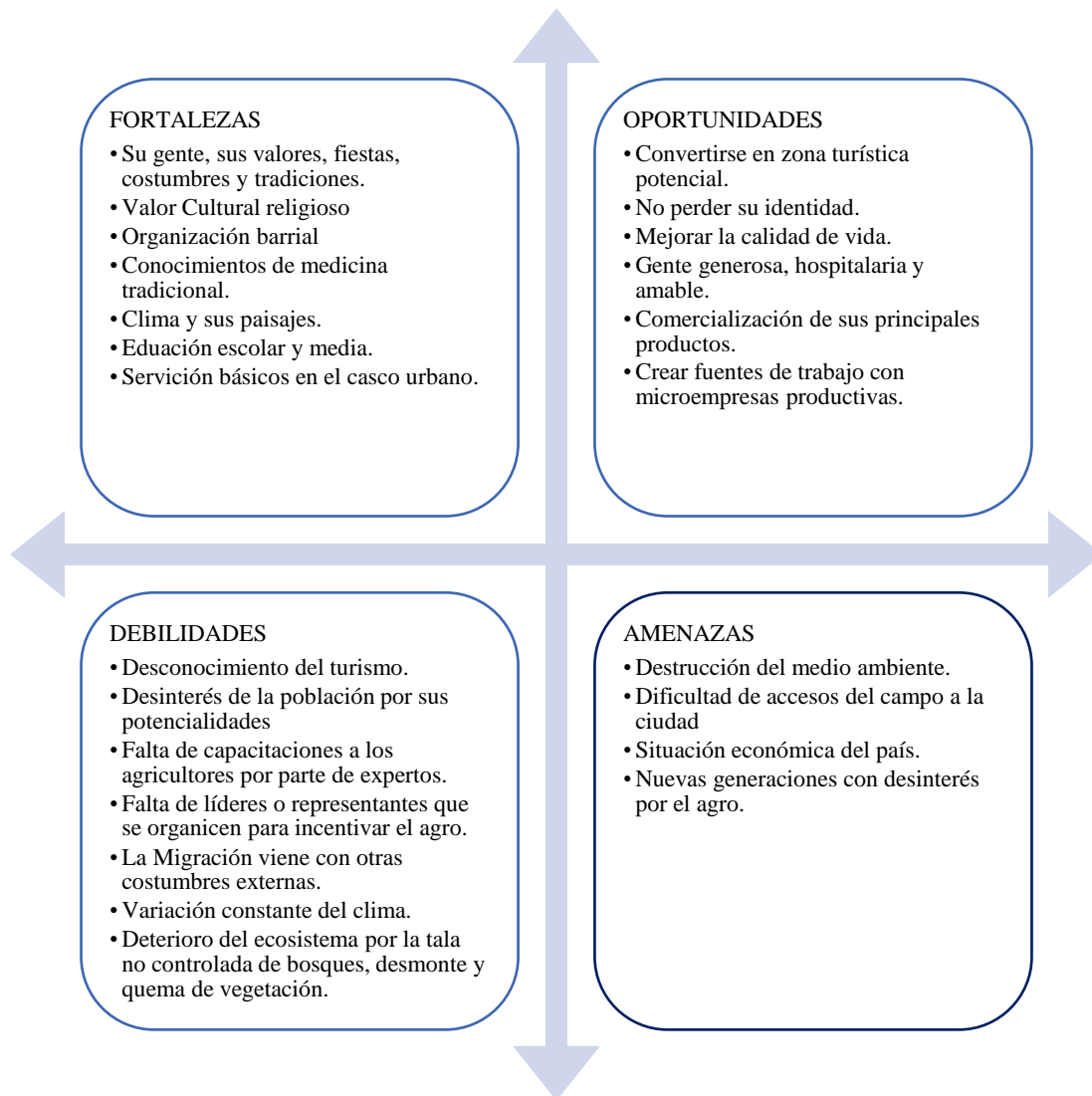


Figura 2-09. Cuadro referente al FODA que tiene el barrio La Merced. (Cedeño, 2017)

El barrio La Merced necesita un cambio en su estructura social y productiva que mejore los procesos en cuanto a la agricultura y ganadería, estos procesos se logran cambiando el enfoque del agricultor tradicional por un enfoque moderno con la actualización de conceptos de como generar una producción más desarrollada siempre con la tecnología en primera instancia, y así obtener mayores ganancias en lo económico y por ende transformará a la Merced en un barrio con mejores oportunidades de vida minimizando las amenazas que puedan presentarse en al cambio.

### 2.3. El sector agropecuario de La Merced Pujilí

Los terrenos del sector agropecuario están determinados en la zona alta donde se encuentra el cantón Pujilí que alcanza una altura de 2400 a 3000 m sobre el nivel del mar (Nogales & Tipán, 2014). En esta zona se realiza la producción de ciclo corto como el trigo, frejol, maíz, papas, habas, cebada, alfalfa y hortalizas que representan el 38,26% de la superficie agrícola. (Cedeño, 2017)

De igual forma al ser una región ganadera en los últimos 20 años se ha elevado la producción de pastizales de alimento de ganado que ocupan un 42,88 % de la superficie agrícola y el 18,86 % está dedicado a la producción de cultivos de clima templado con variedad de frutas. En la tabla 2-0, se observa el número de personas en base su actividad económica, en Pujilí la mayoría de su población está dedicada al sector privado, mientras que el resto se dedica a la producción agropecuaria. (Cedeño, 2017)

Números de personas según su actividad económica (PEA)							
Parroquias	Agropecuaria	Construcción	Comercio	Artesanal	Serv. Público	Serv. Privado	Total
Pujilí	4917	1607	878	1318	2038	10413	21171
Angamarca	1675	129	22	81	73	2049	4029
Guangaje	2972	166	155	72	34	3961	7360
La Victoria	369	100	89	84	134	1027	1803
Pilaló	617	79	22	37	30	968	1753
El Tingo	845	106	87	46	76	1497	2657
Zumbahua	3924	559	157	191	108	5229	10168
<b>Total</b>	<b>15319</b>	<b>2746</b>	<b>1410</b>	<b>1829</b>	<b>2493</b>	<b>25144</b>	<b>48941</b>

Tabla 2-01. Producción económica por parroquias del Cantón Pujilí (PEA). (Cedeño, 2017)

Los minifundios son una de las prácticas más ancestrales que aún se conservan en el barrio de La Merced y sus alrededores como actividad económica para el desarrollo, es decir el giro económico siempre ha sido el sistema de explotación agraria, sin embargo, se encuentran en desventajas frente a las grandes empresas manufactureras que cuentan con inversión y una producción masiva. Esta competencia no se origina por el uso del mercado exterior, sino por el acceso a recursos naturales como el agua y la tierra, y a sistemas agrícolas más desarrollados, por consiguiente, aportan con una mejor producción de los alimentos, tal como se muestra en la figura 2-10. (Baldeon, 2014).



Figura 2-10. Actividades que realiza la población del cantón Pujilí. (Cedeño, 2017)

#### 2.4. Estado climático del Barrio La Merced-Pujilí para el desarrollo productivo

La Figura 2-11 muestra el estado meteorológico dada en el sector agrícola de Pujilí, en consecuencia, también en el barrio de La Merced. Sus bajas temperaturas no significan que haya tantas lluvias o nevadas sino más bien una variación dependiendo la estación climática. El sector de estudio presenta condiciones climáticas con tendencia a ser secas y de fríos intensos existiendo la posibilidad de afectación de cultivos en crecimiento, por lo cual es necesario analizar las características climáticas para prevenir impactos ambientales. (ESPAC, 2019)

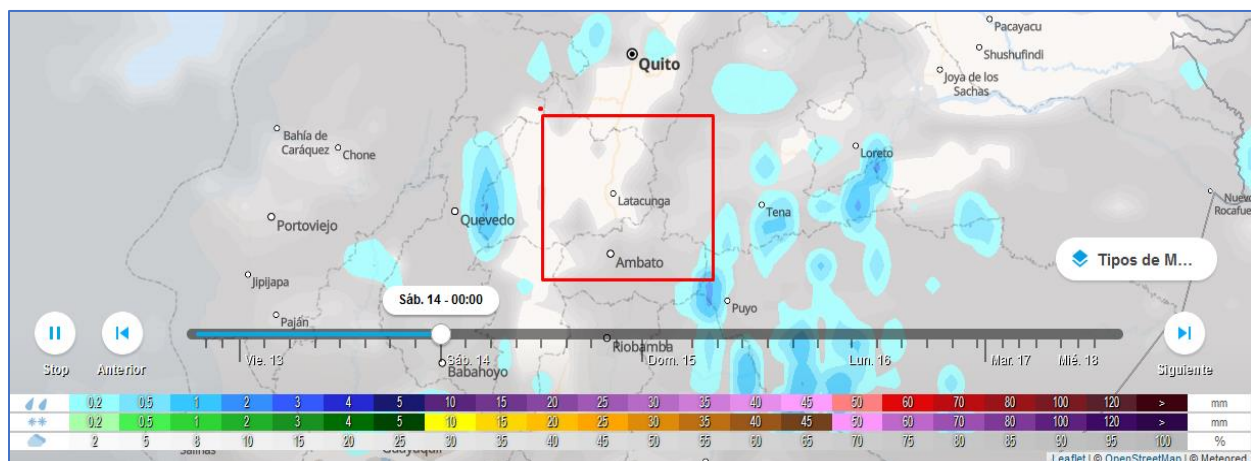


Figura 2-11. Diagrama meteorológico de la sierra central y el cantón Pujilí. (ESPAC, 2019)

En referencia a la figura 2–12 que muestra los valores meteorológicos analizados semanalmente en los últimos años, contiene datos que permiten generar procesos preventivos y correctivos para resolver posibles problemas futuros que surgen a nivel de los efectos climáticos. Además, se observa que el clima en Pujilí tiene menores temperaturas los días de lunes a miércoles con un rango de 6 a 8 grados centígrados y temperaturas de 9 a 14 grados centígrados el resto de los días. (ESPAC, 2019)



Figura 2-12. Estado climático del sector agropecuario en el Barrio La Merced. (ESPAC, 2019)

## CAPÍTULO 3 Propuesta IoT para los cultivos en el Barrio La Merced

En este capítulo se detalla la estructura del ecosistema IoT<sup>15</sup>, las capas que lo conforman, los requerimientos tecnológicos por cada capa, así como la selección de los componentes hardware/software que el ecosistema necesita para los cultivos del barrio La Merced de Pujilí, como se observa en la figura 3-01.

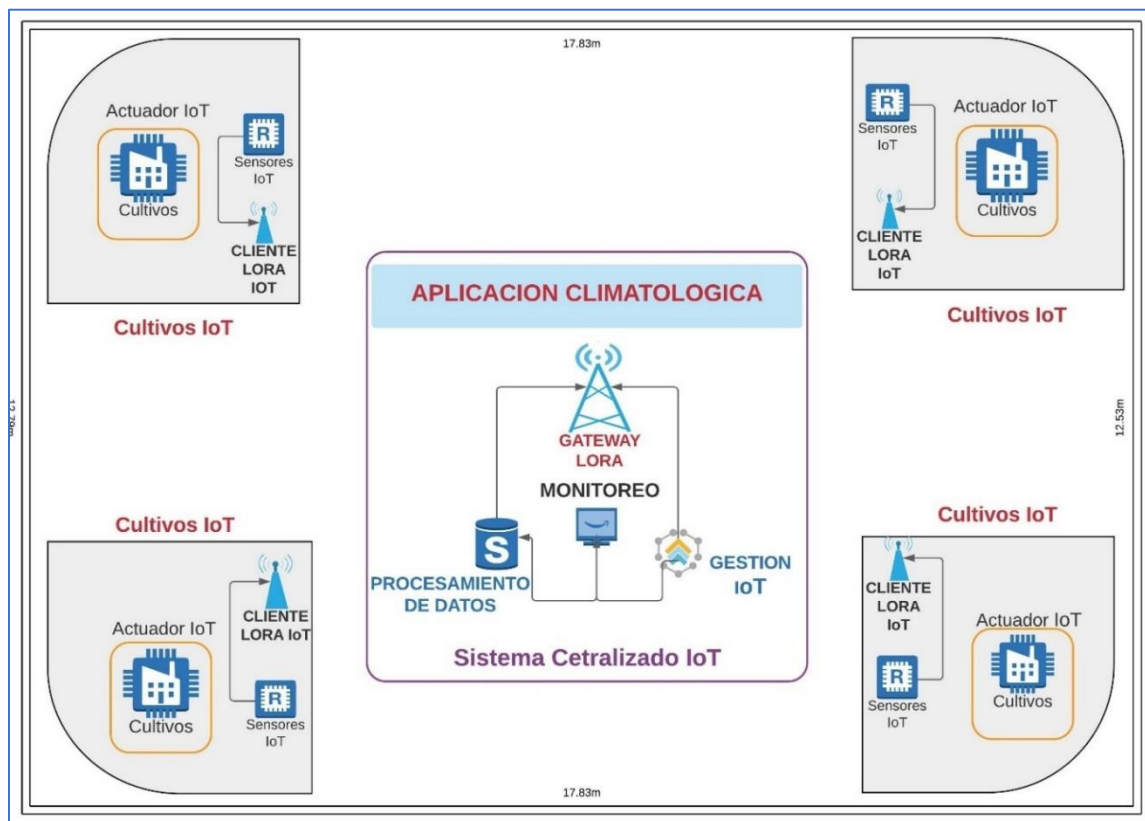


Figura 3-01. Funcionamiento del sistema IoT planteado en este estudio.

El sector agropecuario del barrio La Merced y zonas aledañas del Cantón Pujilí Provincia del Cotopaxi muestra una problemática que es afectada en su mayoría por el fenómeno ambiental, esto se produce principalmente por los cambios climáticos que destruyen a los cultivos y los suelos para la siguiente producción, así también a los mecanismos de riego que no cuentan con un desarrollo acto para abastecer a todo el sector agrario.

Como se observa en la figura 3-01, la solución propuesta pretende dotar de un sistema inalámbrico que parte desde una central IoT hacia una aplicación climatológica donde se analizan las variables

<sup>15</sup> IoT- Internet of Things- Interconexión digital software/Hardware

respecto a la temperatura, humedad, presión barométrica y peso, etc. La información de estos factores será recolectada mediante sensores climáticos con las funcionalidades correspondientes y mediante la configuración de nodos finales (clientes IoT) se realizará la comunicación hacia el nodo central y viceversa. Ya con la comunicación cliente-central se utilizarán actuadores lineales y magnéticos para realizar especificados servicios en temas de riego de agua programado, aspersión de fungicidas controlado, etc. Además, se pretende obtener un aplicativo libre donde se puedan implantar nuevas funciones referente a la agricultura como el estudio de suelo, que también es importante en la producción agrícola del sector.

El fin del proyecto es el desarrollo de una red de comunicación inalámbrica IoT que pueda monitorear los efectos ambientales y la identificación anticipada de posibles riesgos para los cultivos, así evitar la pérdida o disminución de la producción agrícola en el barrio La Merced-Pujilí.

Esta solución propuesta contiene dos subsistemas, el sistema centralizado IoT y el sistema de cultivos IoT.

- El sistema centralizado IoT se encuentra definido por:

La identificación de variables ambientales mediante sensores climáticos y la configuración del sistema para lograr un rango normal de funcionamiento respecto al clima, es decir configurar las políticas de acuerdo con un análisis climático del sector y cuando se generen efectos ambientales agrícolas como las heladas, sequías y plagas se puedan minimizar los efectos mediante actuadores IoT.

También es el encargado de realizar las funciones de monitoreo para prevenir los efectos ambientales que estén dando indicios de producirse, esto se lo lleva a cabo mediante el monitoreo periódico del clima en el sector. Por tal razón aquí se genera la configuración entre la aplicación Web que analiza los datos y las alertas mediante alarmas sonoras en el sector como también notificaciones con SMS<sup>16</sup>, correo electrónico y aplicaciones Android.

---

<sup>16</sup> SMS: significa "servicio de mensajes cortos" por sus siglas en inglés (Short Message Service).

- El sistema de cultivos IoT se encuentra definido por:

El nodo cliente que se conecta directamente con los actuadores para realizar una determinada función respecto al servicio que se necesita mediante el análisis de los datos climáticos del sector que lo lleva a cabo el sistema centralizado IoT.

Además, con el uso de un sensor de humedad y temperatura se realiza la simulación como si fuese un cultivo para poder comprender el impacto que produce el clima en el sector agropecuario, con esos datos y los datos que arroja el sensor de humedad y temperatura del sistema centralizado IoT se genera un circuito que comprende ambiente-cultivo para obtener datos más reales a ser analizados.

Ya con los sistemas establecidos anteriormente se realiza el monitoreo de los procesos IoT mediante el uso del Internet, en donde por medio del desarrollo web de uso libre, se agrupa la información del sistema y se lo muestra en una interfaz gráfica amistosa para los usuarios que controlan la aplicación (servidor web).

### **3.1. Diseño de capas IoT**

Se empieza definiendo los atributos que se van a tener en cada una de las capas a ser desarrolladas para llegar a alcanzar el ecosistema IoT, como se observa en la figura 3-02, se especifica los dos procesos generales que tiene el sistema, el subsistema Central que realiza las veces de la configuración y monitoreo de la red y el subsistema Cultivos IoT que une las tareas pedidas por la central en base a los sensores climáticos y realiza determinados procesos utilizando actuadores On/Off y lineales de riego.

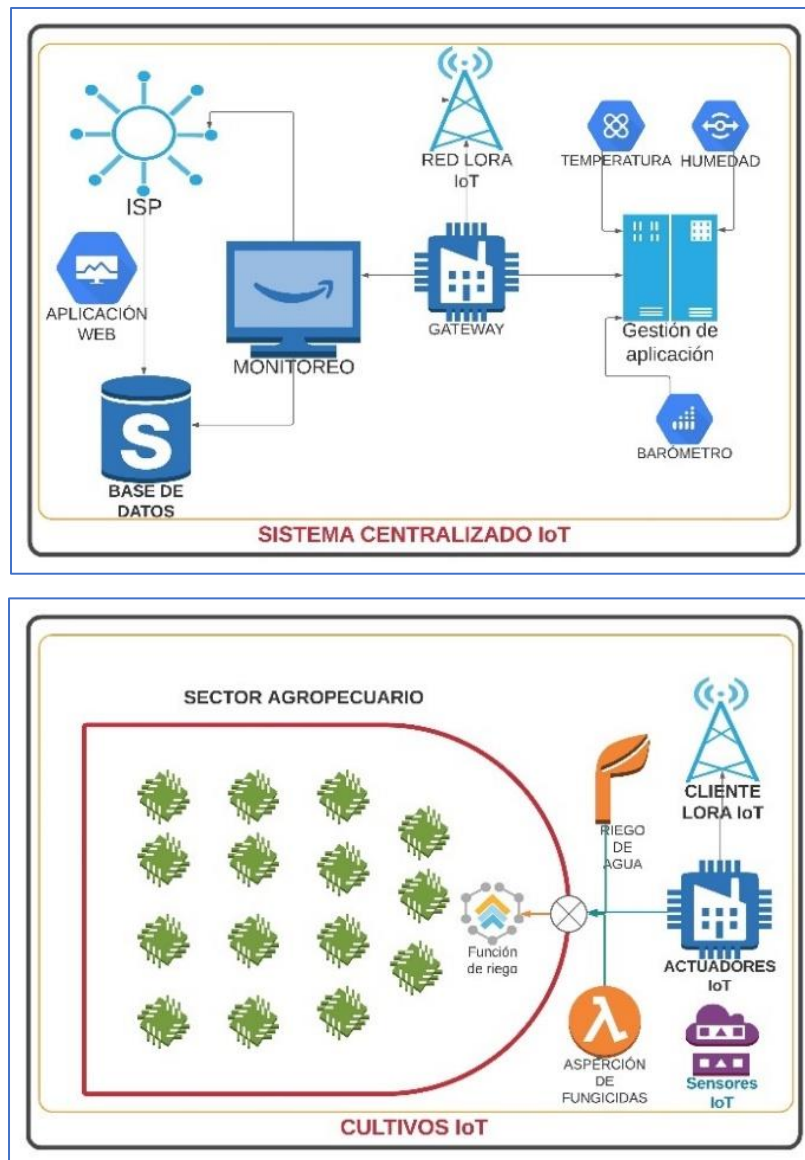


Figura 3-02. Ecosistema IoT para el monitoreo de efectos ambientales en la agricultura de La Merced.

### 3.1.1 Capa de ambiente (Environment Layer)

El sistema se va a encargar de monitorizar los procesos climáticos del sector agrícola, los cuales cuentan con los valores obtenidos por la red de sensores que envían la información a la aplicación web y desde allí se visualiza los procesos para tomar decisiones en base a los parámetros establecidos de forma automática, además tiene la funcionalidad de alertar a los hacendados de los procedimientos que se llevan a cabo diariamente es decir se notica a los mismo mediante aplicaciones móviles y correo electrónico.

### 3.1.2 Capa de Hardware (Hardware Layer)

Como Hardware para el monitoreo y configuración de procesos, se van a utilizar los denominados módulos de desarrollo, los mismo se van a interconectar con sensores de humedad y temperatura, así como también con dispositivos de acción (actuadores) para realizar los procedimientos en base a las limitaciones que presenten los cultivos en un determinado tiempo. Finalmente, estos módulos de desarrollo en conjunto con algún tipo de solución LoRaWAN<sup>17</sup> van a constituir un nodo central, quien se van a comunicar con sus respectivos clientes LoRa<sup>18</sup> y así poder transmitir la información generada hacia la aplicación web (servidor en la nube), en donde propiamente se va a realizar el procesamiento de la información. En la figura 3-03, se puede apreciar un bosquejo de cómo es el funcionamiento de aplicación climatológica en base a sus principales elementos de hardware en el sector agrónomo del Barrio La Merced-Pujilí.

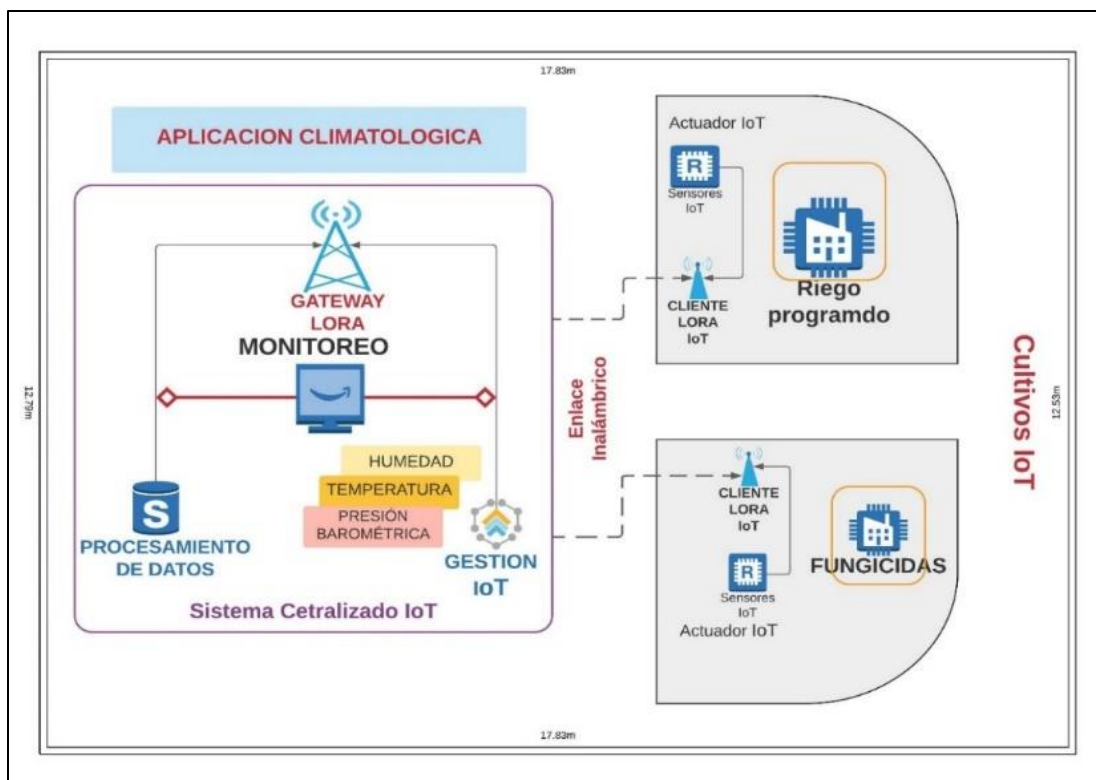


Figura 3-03. Elementos del sistema para los procesos Central-Cliente IoT.

<sup>17</sup> LoRaWAN-Low Power Wide Area Network (LPWAN)

<sup>18</sup> LoRa Alliance- Tecnología de modulación del tipo spread spectrum (amplio espectro)

### 3.1.3 Capa de Red (Network Layer)

Esta capa se encarga de realizar las funciones de puerta de enlace, es decir la conexión hacia el internet y por ende debe cumplir con funcionalidades de enrutamiento, direccionamiento, capacidades de red, transporte, detección y corrección de errores. Para el ecosistema IoT el Gateway debe realizar la comunicación de la red interna hacia un ISP<sup>19</sup>, tal cual se muestra en la figura 3-04

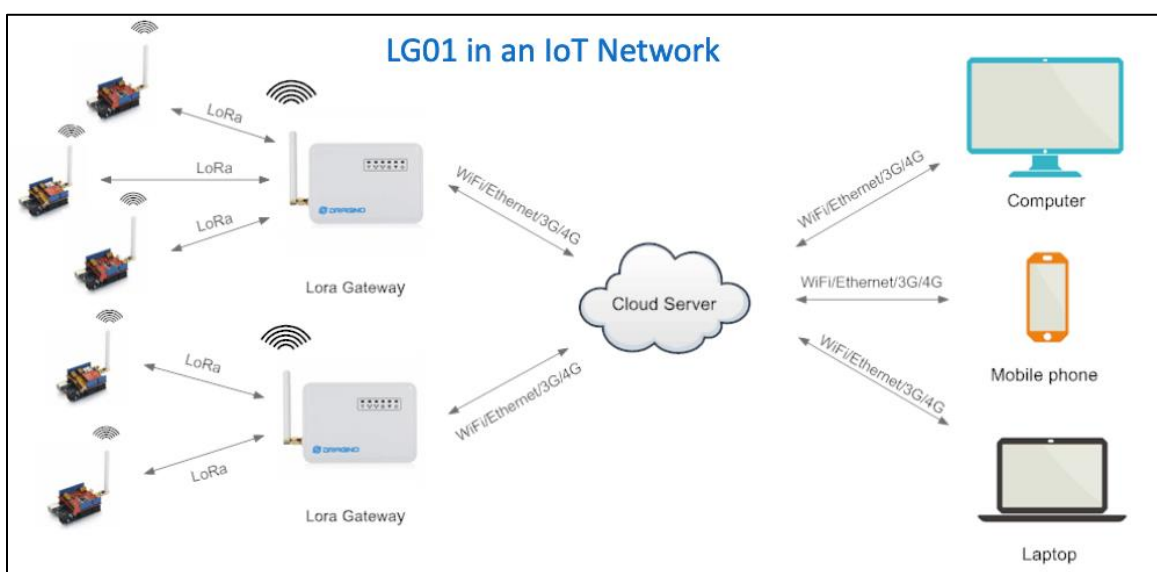


Figura 3-04. Representación gráfica del funcionamiento de la comunicación LoRaWAN (Dragino, 2019).

### 3.1.4 Capa de comunicación (Communication Layer)

Estas funcionalidades van a ser realizadas por las APIs<sup>20</sup> diseñadas por el servidor IoT en la nube, con las cuales se podrá proporcionar la interconexión entre el Gateway y el servidor IoT. Estas APIs permiten la transmisión de información tanto desde el Gateway hacia el servidor IoT como también desde el servidor IoT hacia el Gateway, esto se basa en la utilización de las denominadas

<sup>19</sup> ISP: significa Proveedor de Servicios de Internet, que es una compañía u organización que brinda servicios para el acceso a Internet.

<sup>20</sup> API Application Programming Interface – Interfaz de Programación de Aplicación.

API Keys (credenciales) tanto de escritura como de lectura desarrollando una comunicación encriptada y segura.

### 3.1.5 Capa de servicios (Services Layer)

Esta capa es proporcionada por el servidor IoT en la web, quien realiza las funciones de monitoreo, almacenamiento, organización y visualización básica de la información recibida por parte del Gateway y por ende de cada uno de los nodos LoRa en el ecosistema IoT.

### 3.1.6 Capa de soporte de aplicaciones y administración (Application Support & Management Layer)

Estas funcionalidades son realizadas por la aplicación web, donde se toman acciones con la información recopilada. Se ejecutan a la par notificaciones de los eventos que suceden en un rango de tiempo, es decir alertas mediante el aplicativo web (correo) y por medio de una sirena que contiene varios sonidos que serán utilizados en cada uno de los procedimientos que se susciten en el día a día.

### 3.1.7 Capa de aplicación (Application Layer)

Esta capa hace referencia a la forma en cómo se va a presentar la información al usuario, en este caso el objetivo es disponer de una pantalla de visualización del sistema completo, con lo cual se podrá interactuar para conocer el estado del sistema, tanto con respecto a los niveles estables de funcionamiento como a los niveles críticos que se produzcan. Así como también al momento que se produzca un incidente que afecte a los cultivos. Adicional en esta pantalla se van a mostrar las alertas en caso de presentarse el uso incorrecto de los dispositivos clientes, tras lo cual el sistema procederá a notificar a la central IoT y evitar inconvenientes.

## **3.2. Requerimientos del ecosistema IoT**

Con la finalidad de garantizar una correcta arquitectura IoT se debe cumplir con ciertos requerimientos tanto funcionales como no funcionales, entre los cuales tenemos los siguientes:

### 3.2.1 Número de dispositivos

El objetivo de este diseño es poder alertar y monitorizar la efectos climáticos que se tienen día a día en los cultivos del Barrio La Merced, por lo tanto, el número de sensores, actuadores y nodos clientes requeridos depende del crecimiento del sistema y de las necesidades que se presenten al paso de los años, como la tecnología de red inalámbrica tiene una alta escalabilidad no es un

problema central, sin embargo, dada la naturaleza del estudio, al ser una propuesta, esta va a contar con un sistema de prueba climatológico únicamente para simular la idea de un Sistema Total en el Barrio La Merced. A los nodos antes descritos se debe sumar el nodo central que transmite y recopila la información de los nodos clientes. Para la optimización de costos y elementos se realiza el diseño utilizando la unión de microcontroladores aptos para la comunicación inalámbrica capaces de realizar una escalabilidad acorde al crecimiento del sistema.

### 3.2.2 Conectividad y Comunicación

Dado que se va a utilizar una solución de tecnología Inalámbrica, dependiendo de los resultados de las pruebas de cobertura que se realicen más adelante, se utilizará una comunicación inalámbrica desde los nodos hacia el Gateway central. El Gateway central tendrá una interconexión a la red de internet en el Barrio La Merced, para lo cual se va a utilizar el esquema de comunicaciones detallado previamente en la figura 3-01.

### 3.2.3 Gestión de dispositivos

Dadas las características del diseño, se requiere de la capacidad de controlar los dispositivos remotamente pudiendo tener un cambio en los valores estándares climáticos del sector, para lo cual una vez que se genere una variación climática mediante la programación y configuración realizada, se generará el proceso tanto para prevenir como para corregir, el servidor IoT procederá a realizar las respectivas acciones para que los actuadores mediante la comunicación inalámbrica hacia los nodos clientes realicen los procesos correspondientes (riego, fumigación, aspersión) y también se pueda visualizar los valores de las variables en tiempo real, así como el regreso a sus valores estables de funcionamiento. Además, se enviará la respectiva notificación a los dueños de los cultivos sobre el estado climático y como se está actuando ante los procesos configurados.

### 3.2.4 Recolección, Análisis y Acción sobre la información

Se desea que el sistema central se encargue de mantener el registro del estado tanto de la red como de la aplicación climatológica, proporcionando las respectivas alertas en caso de que tenga algún evento climático o desconexión de nodos clientes, con lo cual, una vez cumplido el plazo establecido, se procederá a alertar a los dueños de los cultivos y al encargado de monitorizar la red con el fin de poder tomar las respectivas medidas correctivas.

### 3.2.5 Escalabilidad

El sistema estará diseñado de tal forma que pueda cumplir con el control y monitoreo del sistema climático central-cliente, sin embargo, dado que este estudio es una propuesta de diseño se simula el sistema solo con un prototipo de prueba, el sistema quedará estructurado y configurado para una futura implementación en caso de requerirlo y pueda ser escalado es decir incrementar su capacidad de control y monitorización climático.

### 3.2.6 Seguridad

La seguridad es uno de los aspectos fundamentales a tomar en cuenta al momento de desarrollar ecosistemas IoT, por lo cual se deben tomar consideraciones para la protección de la información en caso de ser esta de índole personal. Para el sistema propuesto, dado que el mismo se va a encontrar únicamente monitorizando y controlado el sistema climático, estos no constituyen ningún riesgo de índole personal para las personas ni para los habitantes del Barrio La Merced, sin embargo, para precautelar la información generada se tomará las siguientes recomendaciones para evitar inconvenientes:

- Cambiar las contraseñas predeterminadas y ajustar la configuración de seguridad para satisfacer las necesidades específicas.
- Desactivar o deshabilitar cualquier función que no se necesite.
- Mantener siempre actualizado el firewall del Gateway para que éste protegido contra vulnerabilidades de seguridad conocidas.
- En términos de configuración de aplicaciones en dispositivos, revisar los permisos que requieren y limitar el acceso otorgado a estas aplicaciones.
- Modificación de las API keys del sistema por lo menos una vez al mes para garantizar que estas no puedan ser vulneradas por personas ajenas la administración del Barrio La Merced.

### 3.2.7 Energía

Se utilizará las tomas de energía eléctrica comunal descritas en el anexo, el cual brindará energía eléctrica al sistema central para realizar todos los procesos mencionados, desde donde se tomará la energía de 110 V y mediante un transformador se obtendrá la energía en voltaje continuo 12v necesario para el módulo de desarrollo y los demás componentes electrónicos. Una vez que se tengan diseñados los prototipos, se va a dimensionar los requerimientos de energía del sistema, incluyendo información respecto al consumo de los módulos de desarrollo, sensores y leds.

### 3.2.8 Visualización de la información

La información recopilada y procesada por el sistema central IoT, podrá ser visualizada mediante cualquier dispositivo con conexión a internet y con un navegador que disponga de las apropiadas credenciales para el acceso al portal.

Desde el portal web a ser diseñado para la aplicación, se visualizará en tiempo real la información relacionada al estado actual del sistema Climático, en donde se presenta la información con respecto a la temperatura, presión barométrica, húmedas, estado de la red, estado de los sensores y alarmas, etc.

También de acuerdo con el tiempo que haya transcurrido desde que se generó un evento o algo crítico, se enviarán alertas mediante correo y portal web hacia los principales encargados de la administración del Barrio La Merced.

## 3.3. Requerimientos de cobertura

Para proporcionar el funcionamiento adecuado de la solución de SPI<sup>21</sup> planteada en el presente estudio, y con la finalidad de maximizar la cobertura del sistema propuesto en toda en la zona agrícola del Barrio La Merced, se procederán a realizar varias pruebas de RSSI<sup>22</sup>, con lo cual se podrá definir el mejor lugar para instalar el o los Gateways Centrales necesarios y así garantizar una correcta cobertura del sistema inalámbrico para la aplicación climatológica nodo central-nodos clientes.

### 3.3.1. Área de estudio para el Sistema Climático en el Barrio La Merced-Pujilí

Para el diseño del ecosistema IoT es necesario contemplar el área de estudio tanto a nivel territorial Geográfico como el estado climático que se maneja en general en La Merced para disminuir posibles problemas que se susciten entorno al sistema climático.

---

<sup>21</sup> SPI: Serial Peripheral Interface) es un estándar de comunicaciones, usado principalmente para la transferencia de información entre circuitos integrados en equipos electrónicos.

<sup>22</sup> RSSI Received Signal Strength Indicator – Indicador de fuerza de señal Recibida.

### 3.3.2. Conformación de los límites de cobertura en la zona agropecuaria de La Merced

Como se observa en la figura 3-05, la zona de análisis tiene 5.9 kilómetros cuadrados alrededor de sus límites y un perímetro de 8.971 kilómetros que bordea el Barrio La Merced. La zona agrícola cuenta con un área relativamente plana para la cobertura del ecosistema IoT.

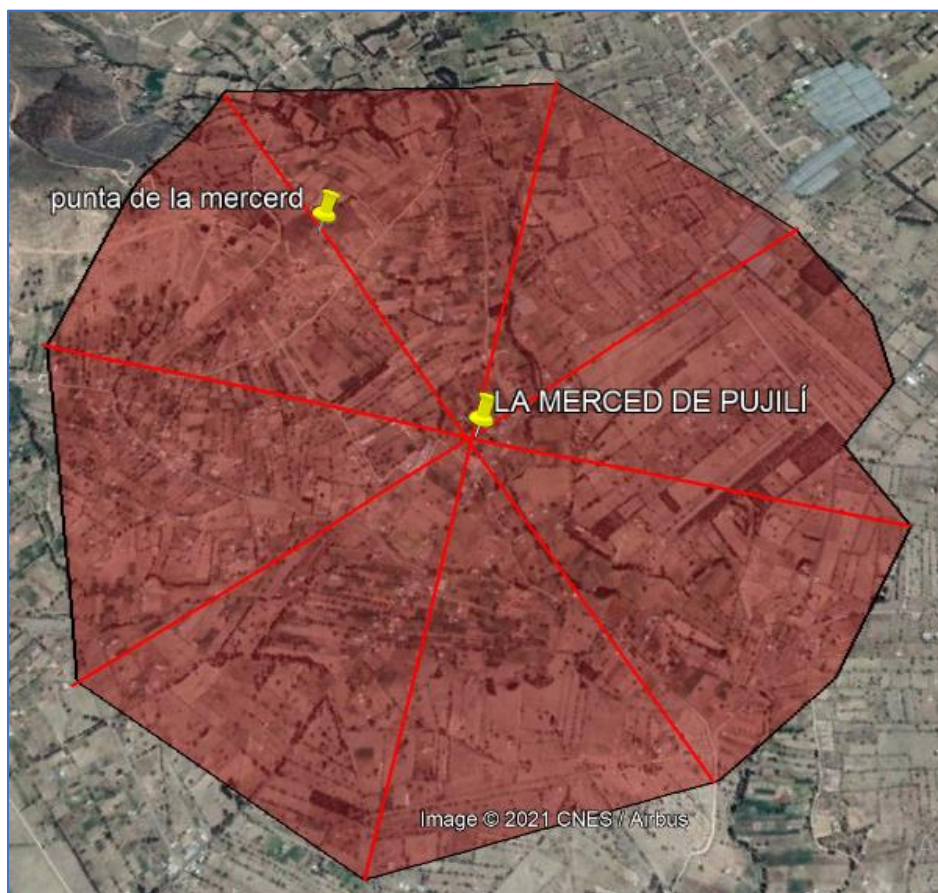


Figura 3-05. Diagrama de Cobertura de red inalámbrica para el sistema climático. (Google Earth, 2022).

En cuanto a la figura 3-06, se observa el perfil de elevación del sector agropecuario del Barrio La Merced, que tienen un rango de 2936.4 metros sobre el nivel del mar en su límite inferior y 2968.3 metros sobre el nivel del mar en su límite superior, el cual genera una posibilidad de introducir aplicaciones IoT enfocadas al desarrollo agropecuario del sector.



Figura 3-06. Perfil de elevación que corresponde a la zona de análisis del sistema diseñado. (Google Earth, 2022).

En la figura 3-07 se observa la ubicación del ecosistema IoT, partiendo del nodo central (Aplicación Climatológica) y los nodos clientes (Sensores y Actuadores) climáticos, los mismos que están distribuidos a lo largo del territorio agrícola para la comunicación inalámbrica y transmisión de información climática.

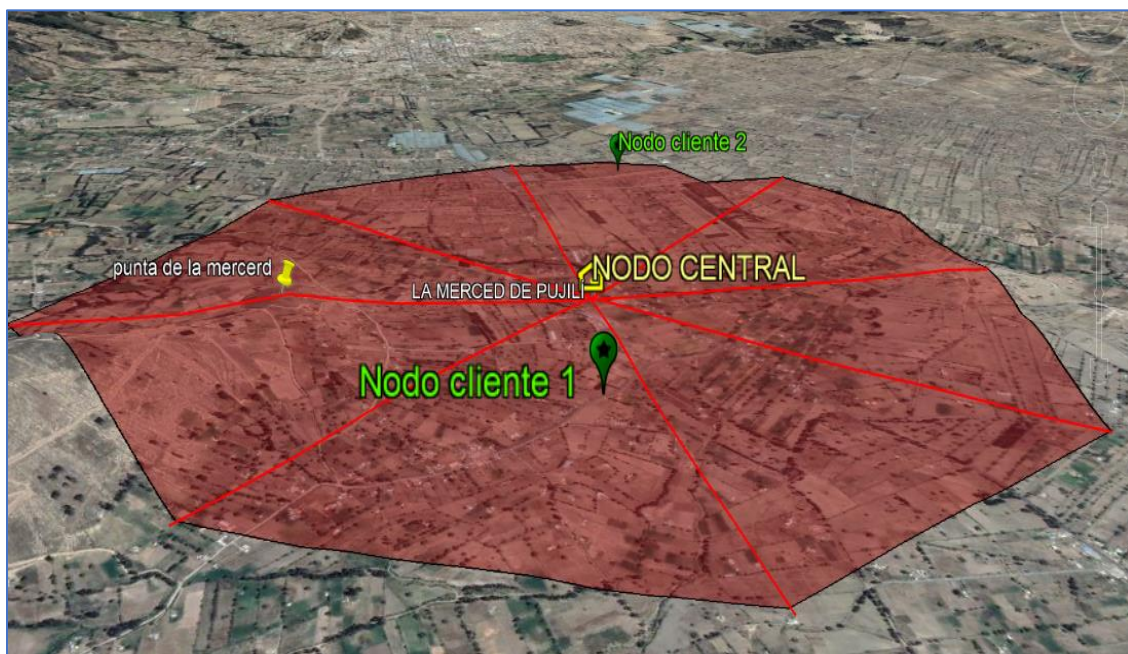


Figura 3-07. Diagrama de cobertura y posicionamiento de los elementos principales del sistema diseñado. (Google Earth, 2022)

Con el análisis territorial y las especificaciones técnicas se tiene un alcance mejor estructurado de las bases del sistema climático que parte del nodo central enviado y recibiendo los datos necesarios

hacia los nodos clientes que hacen las veces de censar el estado climático y actuar en bases a las especificaciones configuradas y a las variables estándares de funcionamiento.

### 3.4. Selección de componentes para el ecosistema IoT

Para el desarrollo de este estudio se van a utilizar algunos tipos de tecnologías y sensores, para los cuales se realiza el respectivo análisis costo beneficio y se selecciona los dispositivos más adecuados para poder cumplir con los requerimientos del ecosistema IoT antes descritos.

#### 3.4.1. Selección de módulos de desarrollo

Para seleccionar el tipo de módulo de desarrollo a ser utilizado, se realiza una comparación entre tarjetas de desarrollo basadas en microcontroladores, teniendo como principal representante a las tarjetas de desarrollo Arduino y las denominados SBC<sup>23</sup>, teniendo como principal representante a las tarjetas de desarrollo Raspberry Pi., visto en la tabla 3-01.

<b>COMPARACIÓN ENTRE DISPOSITIVOS ARDUINO VS RASPBERRY PI</b>		
<b>Características</b>	<b>Arduino</b>	<b>Raspberry Pi</b>
Capacidad de procesamiento	Es un microcontrolador, constituye una parte de un computador. Puede correr solo un programa o rutina una y otra vez.	Es un minicomputador, utiliza un sistema operativo llamado Raspbian OS. Puede correr múltiples programas al mismo tiempo.
Complejidad para interconectar sensores y otros componentes	Se pueden interconectar sensores y actuadores de una manera simple.	Requiere de actividades complejas como la instalación de librerías y software para poder interactuar con sensores y otros componentes.
Costo	Está disponible a bajo costo. Aproximadamente en las unidades y decenas de dólares.	Más costosos. Aproximadamente en las varias decenas a centenas de dólares.
Facilidad de conexión a red	Requiere de hardware adicional, y se debe de programar este software adicional correctamente.	Puede conectarse al internet utilizando son componentes embebidos.

<sup>23</sup> SBC Single Board Computers – Computador en una sola tarjeta.

<b>COMPARACIÓN ENTRE DISPOSITIVOS ARDUINO VS RASPBERRY PI</b>		
<b>Características</b>	<b>Arduino</b>	<b>Raspberry Pi</b>
Puertos USB	Dispone de un único puerto para conectarse a la computadora.	Dispone de 4 puertos para poder conectarse con otros dispositivos.
Procesador	Utiliza procesador de la familia AVR <sup>24</sup> Atmega328P.	Utiliza procesador de la familia ARM <sup>25</sup> .
Memoria RAM	Alrededor de los KB	Alrededor de los GB.
Problemas por fallos de energía	Ninguno. Si se apaga deja de ejecutar el programa, al restablecerse la energía reinicia el programa.	Puede corromperse el sistema operativo y el software. Siempre debe apagarse correctamente como un computador.
Lenguajes de programación	Utiliza C/C++	Se recomienda utilizar Python, pero viene preinstalado con C/C++ y Ruby.
Dispositivos con mayor cantidad de pines GPIO <sup>26</sup>	Arduino Uno:  26 pines	Raspberry Pi 2, 3 Y 4:  26 pines

Tabla 3-01. Comparación entre las características proporcionadas por los dispositivos Arduino Vs. Raspberry Pi.(Arduino, 2020)

Las características proporcionadas por la tecnología Arduino se acoplan de mejor manera a los requisitos de la solución IoT que una Raspberry, en primera instancia es una tecnología más económica, cuenta con una capacidad de procesamiento idónea para la monitorización y control de los actuadores que no requiere de mucha capacidad, así como también la interconexión de sensores climáticos es más simple y proporciona una mayor cantidad de pines de entrada y salida, lo que permite usar un menor número de módulos de desarrollo para poder cubrir con los procesos necesarios en el sistema climático y así a futuro economizar en la cantidad de dispositivos a utilizar. La integración con otras tecnologías se realiza de una manera más precisa y los repuestos son más económicos que un módulo de desarrollo Raspberry.

<sup>24</sup> AVR se refiere a la familia de microcontroladores de la 8- bits del fabricante Atmel.

<sup>25</sup> ARM es una familia de procesadores de computadora con un set de instrucciones reducido.

<sup>26</sup> GPIO: General Purpose Input Output (GPIO) es un sistema de entrada y salida de propósito general, es decir, consta de una serie de pines o conexiones que se pueden usar como entradas o salidas para múltiples usos



Figura 3-02. Tarjeta de desarrollo Arduino UNO (Arduino, 2020).

Tomando en cuenta que deseamos utilizar los módulos de desarrollo con menor consumo de energía posibles, más compacto y mayores beneficios compatibles con diferentes sistemas, se utiliza las tarjetas de desarrollo Arduino Uno, mismo que puede apreciarse en la figura 3-08 y cuyas características son descritas en la tabla 3-02.

<b>TARJETA DE DESARROLLO ARDUINO UNO R3</b>	
<b>Características</b>	<b>ATmega328P</b>
Voltaje de operación	5V
Voltaje de entrada (recomendado)	7-12V
Voltaje de entrada Input (limite)	6-20V
Pines de entrada o salida digitales	14 (de los cuales 6 permiten salidas PWM)
Pines de entrada analógicos	6
Corriente DC por cada Puerto de entrada o salida	20 mA
Puerto Serie por Hardware	1 (Hasta 2 Virtuales)
Memoria Flash	32 KB (0,5 KB son usados por el bootloader)

<b>TARJETA DE DESARROLLO ARDUINO UNO R3</b>	
Memoria Flash	32 KB (0,5 KB son usados por el bootloader)
SRAM <sup>27</sup>	2 KB
EEPROM <sup>28</sup>	1 KB
Velocidad del reloj	16 MHz
Pin del led montado en la placa	13
Peso	30 g

Tabla 3-02. Características de la tarjeta de desarrollo Arduino UNO R3 (Arduino, 2020).

### 3.4.2. Selección sensores de humedad y temperatura

Para seleccionar el tipo de sensor de humedad y temperatura, se busca en el mercado local las distintas posibilidades a fin de comparar sus características y determinar el más adecuado para el ecosistema IoT, como se observa en la tabla 3-03.

<b>Características</b>	<b>DHT-11<sup>29</sup></b>	<b>D6T-22</b>	<b>DHT-21<sup>30</sup></b>
Voltaje de operación	3 – 5 VDC	3 – 5 VDC	3.5 – 5.5 VDC
Corriente de operación	15 mA	15 mA	1 mA-1.5mA
Frecuencia de operación	40 Hz	40 Hz	40 Hz
Rango de medición de Temperatura	0 a 50 °C	-40 a 80 °C	-40 a 80 °C
Precisión de medición de temperatura	±2.0 °C	<±0.5 °C	±0.5 °C
Resolución Temperatura	0.1°C	0.1°C	0.1°C
Rango de medición de humedad	20% a 90% RH.	0% a 100% RH.	0% a 100% RH.
Precisión de medición de humedad	5% RH	2% RH	+3% RH
Resolución Humedad	1% RH	0.1% RH	0.1% RH
Tiempo de obtención de datos	1 seg	2 seg	2 seg
Costo	10\$	20\$	25\$

Tabla 3-03. Comparación entre las características técnicas de los sensores de temperatura y humedad DHT11/22/21. (Olivar, 2021)

<sup>27</sup> SRAM: son las siglas de la voz inglesa Static Random Access Memory, que significa memoria estática de acceso aleatorio

<sup>28</sup> EEPROM: Electrically Erasable Programmable Read Only Memory o Memoria de sólo lectura programable y borrrable eléctricamente

<sup>29</sup> DHT11: es un sensor digital de temperatura y humedad relativa de bajo costo y fácil uso. Integra un sensor capacitivo de humedad y un termistor para medir el aire circundante, y muestra los datos mediante una señal digital en el pin de datos

<sup>30</sup> DHT21: permite medir temperatura y humedad relativa de forma precisa y sencilla a un bajo precio. La salida del sensor es de tipo digital.

Una vez analizados algunos tipos de sensores climáticos disponibles en el mercado local, se decide utilizar los sensores de humedad y temperatura DHTT21, dado que cumplen con todas las características necesarias para el ecosistema IoT y la principal ventaja que cuenta con protección para exteriores IP67, así como también presenta las mejores prestaciones en cuanto a la relación costo/beneficio.

### 3.4.3. Selección de solución LoRaWAN

Para seleccionar el tipo de solución LoRaWAN a ser utilizado en el ecosistema IoT, se buscar en el mercado local las distintas posibilidades a fin de comparar sus características técnicas y determinar el más adecuado para los propósitos del sistema, en la tabla 3-04 se exponen las posibles soluciones encontradas en el mercado local.

<b>COMPARACIÓN ENTRE SOLUCIONES LoRa DISPONIBLES EN EL MERCADO LOCAL</b>		
<b>Características</b>	<b>LoRa ESP-32</b>	<b>LoRa Dragino Shield</b>
Voltaje de operación	3.3 – 7 VDC	3.3 o 5 VDC
Frecuencia de operación	868 – 915 MHz	915/868/433 MHz
Sensibilidad	-148 dBm	-148 dBm
Potencia de TX	20 dBm	20 dBm
Tasa de transferencia	<350 kbps	Hasta 300 kbps
Distancia máxima de transmisión en espacio abierto	2.8 Km	Hasta 15 Km
Compatible con Arduino	Si	Si
Tiene la implementación LoRaWAN desarrollada	No, solamente el protocolo LoRa. Se requiere circuitería adicional para hacer de Gateway e interconectarse a internet.	Si, a través de diferentes tipos de módulos como el LG-01 o el LG-02, los cuales permiten la conexión directa al internet.
Características adicionales	Dispone de módulo para comunicación Wifi, dispone de circuitería para carga de batería de litio y tiene una pantalla OLED embebida de 0,96 pulgadas	Existe otra versión que incluye la funcionalidad de GPS <sup>31</sup> .
Costo por unidad en el exterior (tomado de amazon.com)	\$24,99	\$27,99

<sup>31</sup> GPS: Sistema de Posicionamiento Global (GPS) es un sistema de radionavegación de los Estados Unidos de América, basado en el espacio, que proporciona servicios fiables de posicionamiento, navegación, y cronometría gratuita e ininterrumpidamente a usuarios civiles en todo el mundo

Tabla 3-04. Comparación entre soluciones LoRa disponibles en el mercado local (ESP Lora/LoRa Dragino Shield).  
(Dragino, 2019)

Visto las características técnicas de los dispositivos LoRa, existe un el kit de desarrollo diseñado por la empresa Dragino Technology Corporation Limited que permite el aprendizaje e incursión hacia la tecnología LoRa, tanto para desarrolladores nuevos como para experimentados, tal cual se muestra en la figura 3-09, el mismo se compone de un Gateway (LoRa/802.11), dos nodos LoRa (900-920) Mhz, dos tarjetas de desarrollo Arduino Uno para la interconexión de las tarjetas Arduino con dispositivos electrónicos externos, algunos tipos de sensores, fuente de energía y un manual con el prototipado de aplicaciones del tipo IoT. (Dragino, 2019).

Por esa razón y por adaptarse a las condiciones de diseño se elige a este kit de desarrollo como el principal gestor del sistema que une la red de sensores con la red central hacia el internet.

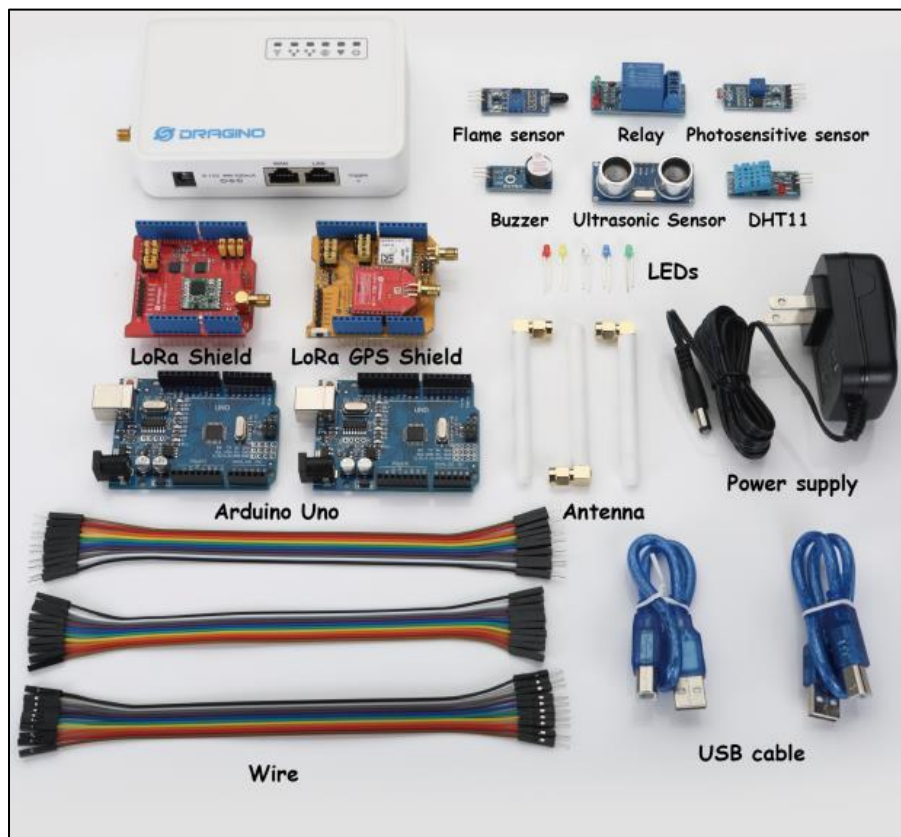


Figura 3-09. Kit de desarrollo LoRaWAN Dragino (Dragino, 2019).

Pensando en la libertad de diseño y la escalabilidad del sistema es necesario un enlace entre la tecnología LoRa y un microcontrolador IoT que tenga como objetivo el recibir y enviar datos desde la red interna hacia el internet y a la vez gestionar los procesos para realizar una respectiva acción correctiva o preventiva respecto al estado climático del sistema. Por ello se detalla en la tabla 3-05 la comparación de los principales microcontroladores de desarrollo para la inserción en el ecosistema IoT.

	<b>Arduino MKR1000<sup>32</sup></b>	<b>NodeMCU ESP8266</b>	<b>ESP-01+Arduino Nano</b>
<b>Estándar</b>	802.11 b/g/n	802.11 b/g/n	802.11 b/g/n
<b>Sensibilidad</b>	b: -91 dbm (11Mbps) g: -75 dbm (54 Mbps) n: -75 a -80 dbm (MCS7 <sup>33</sup> )	b: -91 dbm (11Mbps) g: -75 dbm (54 Mbps) n: -75 a -80 dbm (MCS7)	b: -91 dbm (11Mbps) g: -75 dbm (54 Mbps) n: -75 a -80 dbm (MCS7)
<b>Voltaje de trabajo</b>	3.3 V	3.3 V	5 V
<b>Consumo Promedio de corriente</b>	Rx: 80 mA Tx: 287 mA	Rx: 80 mA Tx: 287 mA	Rx: 85 mA Tx: 300 mA
<b>Dimensiones</b>	61.5 mm x 25 mm	58mm x 31mm	45mm x 18mm
<b>Frecuencia de Operación CPU</b>	48 MHz	80Mhz	16 MHz
<b>Protocolo de Red</b>	IPv4, TCP/UDP HTTP/FTP/SSL	IPv4, TCP/UDP HTTP/FTP/SSL	IPv4, TCP/UDP HTTP/FTP/SSL
<b>Temperatura</b>	-40 °C 125 °C	-40 °C 125 °C	-40 °C 125 °C
<b>Seguridad</b>	WPA2, WEP	WPA2, WEP, AES	WPA2, WEP, AES
<b>Costo</b>	30 \$	9 \$	15 \$
<b>Disponibilidad en Ecuador</b>	si	si	si

Tabla 3-05. Comparación de dispositivos WIFI para el proyecto. (Olivar, 2021)

Luego de la revisión técnica de los microcontroladores de desarrollo se ha tomado la decisión de utilizar en el proyecto el NodeMCU<sup>34</sup> ESP 8266 como centralizador de servicios entre los nodos clientes y el sistema central, esta decisión se establece en base a su arquitectura, características de funcionamiento, mayor sensibilidad de recepción, tolerancia a bajas/altas temperaturas,

<sup>32</sup> Arduino MKR1000 es una placa potente que combina la funcionalidad de Zero y Wi-Fi Shield.

<sup>33</sup> MCS7 (Modulation and Coding Scheme 7)

<sup>34</sup> NodeMCU es una placa de desarrollo totalmente abierta, a nivel de software y de hardware

comunicación inalámbrica estable, menor consumo de batería, costos mínimos y sobre todo por la convergencia que posee a la hora de interactuar con otras tecnologías dando como resultado un sistema central adaptable a diferentes aplicaciones que se puedan adicionar en un futuro.

#### 3.4.4. Selección de servidor IoT para la plataforma Web

Para la definición del servidor IoT en la nube (plataforma Web) a ser utilizado en el ecosistema IoT, se analiza las características técnicas por algunos de servidores IoT en la nube y las ventajas ofrecidas por cada uno de ellos, mismas que son descritas en la tabla 3-06.

<b>COMPARACIÓN ENTRE SERVIDORES IoT EN LA NUBE</b>				
<b>Características</b>	<b>Thing Speak</b>	<b>Kaa Project</b>	<b>Thinger.io Cloud</b>	<b>M2MLight</b>
Hardware compatible	Arduino, Raspberry Pi, entre otros.	Arduino, Raspberry Pi, entre otros.	Arduino, Raspberry Pi, entre otros.	Arduino, Raspberry Pi, entre otros.
Ámbito de utilización	Smart Home y prototipos	Desarrolladores y empresariales	Desarrolladores y Empresariales	Aficionados al IoT y prototipos
Ventajas	Interfaz amigable, Dispone de widgets, Integración con redes sociales.	Integración con redes sociales, integración con redes sociales	En servicio de pago permite la configuración de dominios propios.	Interfaz amigable, Integración con aplicaciones.
Infraestructura de código abierto	Si	Si	Si	Si
Método de escritura de información en los canales	APIS <sup>35</sup> REST <sup>36</sup> y MQTT <sup>37</sup>	APIS REST y MQTT en servicio de pago	APIS REST y MQTT	APIS REST y MQTT

<sup>35</sup> APIS subrutinas que permiten al programador hacer uso de códigos de programación previamente desarrollados.

<sup>36</sup> REST interfaz entre sistemas mediante Hyper Text Transfer Protocol para intercambio de datos.

<sup>37</sup> MQTT protocolo liviano para publicar y recuperar información de maquina a máquina.

<b>COMPARACIÓN ENTRE SERVIDORES IoT EN LA NUBE</b>				
<b>Características</b>	<b>Thing Speak</b>	<b>Kaa Project</b>	<b>Thinger.io Cloud</b>	<b>M2MLight</b>
Método de lectura de información en los canales	APIS REST y MQTT	APIS REST y MQTT en servicio de pago	APIS REST y MQTT	APIS REST y MQTT
Visualización de información	Información en pantalla principal sitio web y mediante widgets.	Información en pantalla principal sitio web y mediante widgets.	Información en pantalla principal sitio web y mediante widgets.	Información en pantalla principal del sitio web.
Procesamiento de información adicional	Se puede complementar con la utilización de herramientas de MATLAB. Funciones adicionales disponibles en servicio de pago.	Disponible en servicio de pago.	Disponible en servicio de pago.	Disponible en servicio de pago.
Aplicativos para reaccionar ante cambios en la información	APIs para envío automático de correos electrónicos o interacción con Twitter o aplicaciones para automatizar respuestas ante eventos preconfigurados.	APIs para envío automático de correos electrónicos o interacción con Twitter o aplicaciones para automatizar respuestas ante eventos preconfigurados.	APIs para envío automático de correos electrónicos o interacción con Twitter o aplicaciones para automatizar respuestas ante eventos preconfigurados.	Se puede conectar con aplicaciones desarrolladas para dispositivos Android. Permite automatizar respuestas ante eventos preconfigurados.
Límite de dispositivos configurables	En modo gratis limitado a 4 canales de 8	Hasta 5 dispositivos con cuenta gratis.	Ilimitados, con servicio de pago.	Ilimitados

<b>COMPARACIÓN ENTRE SERVIDORES IoT EN LA NUBE</b>				
<b>Características</b>	<b>Thing Speak</b>	<b>Kaa Project</b>	<b>Thinger.io Cloud</b>	<b>M2MLight</b>
	campos cada uno. Limitado a 3 millones de mensajes por año. Y limitado a 800 alertas vía correo electrónico por año.			
Facilidad para interacción con base de datos	Permite la descarga manual de la base de datos, pero no una interacción y procesamiento directamente. Se requeriría de otro servidor en la nube para el procesamiento de la información y recuperación de información enviada hacia su servidor.	Permite la descarga manual de la base de datos, pero no una interacción y procesamiento directamente. Se requeriría de otro servidor en la nube para el procesamiento de la información y recuperación de información enviada hacia su servidor.	Permite la descarga manual de la base de datos, pero no una interacción y procesamiento directamente. Se requeriría de otro servidor en la nube para el procesamiento de la información y recuperación de información enviada hacia su servidor.	Al ser un servidor IoT ofrecido por una empresa local, el proveedor permite la gestión y administración de la base de datos, así como también la interacción, procesamiento, utilización de otros servicios como servidor web y dominio de red y salida a internet.

Tabla 3-26. Características ofrecidas por varios servidores IoT en la nube. (MathWorks, 2019), (KaaIoT-Technologies, 2020), (Thinger.io, 2018) y (Albuja, 2020).

Con el servicio proporcionado por Thinger.io Cloud se puede obtener grandes beneficios respecto a la escalabilidad con diversas tecnologías que otros servidores no tienen como solución. Dado que para el sistema se requiere en mayor medida de la utilización e interacción con análisis de datos mediante gráficas, el sitio web Thinger.io Cloud cuenta una estructura gráfica de gestión

factible para el diseño climático IoT, así como también por su completo apoyo tanto logístico como operativo para el desarrollo de aplicaciones web sin un costo de creación y control permitiendo el libre acceso a los servicios en su servidor y base de datos.

El poder interactuar directamente con la información y gestionar una aplicación web para monitorear el estado climático en tiempo real del sector agropecuario del Barrio La Merced, hace que este servidor sea idóneo para el ecosistema IoT en desarrollo.

## CAPÍTULO 4 Diseño del prototipo y la red del ecosistema IoT

Este capítulo presenta el diseño y análisis de todo el equipamiento tecnológico tanto de hardware como de software, topología de red, funcionalidades técnicas y método de propagación que son necesarios para poder cumplir con los requerimientos del ecosistema IoT.

### 4.1 Parámetros generales para el diseño de la red inalámbrica IoT

Hecho el análisis en el capítulo 3 de las redes inalámbricas, se determina que la tecnología que mejor se adapta a las necesidades y requerimientos del sistema por sus características técnicas generales mostradas es LoRaWAN<sup>38</sup>, la cual cumple con los parámetros del ecosistema IoT para un diseño estructurado, con mayor alcance, compatibilidad y con costos menores a otras soluciones tecnológicas analizadas.

Como se observa en la figura 4-01 se tiene los elementos que conforman la red inalámbrica, partiendo del nodo central que cuenta con el sistema climatológico y los nodos clientes (dispositivos finales) que ejecutan los procesos de prevención y monitoreo del estado de los cultivos, por medio del espectro radio eléctrico intercambian información de los sensores de humedad y temperatura para ser procesados y analizados en base a los requerimientos climáticos que tiene el Barrio La Merced.

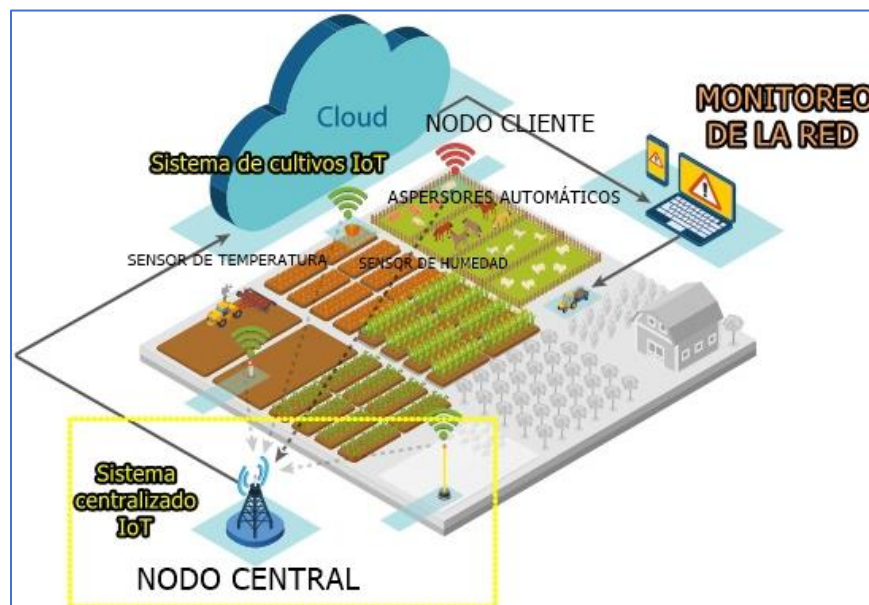


Figura 4-01. Red IoT Lora para el sistema de control agropecuario en el Barrio La Merced.

<sup>38</sup> LoRaWAN-Low Power Wide Area Network (LPWAN)

#### 4.1.1. Delimitación del área de cobertura de la red inalámbrica

Como se observa en la figura 4-02, se tiene la delimitación geográfica de Barrio La Merced que define hasta donde será el alcance del espectro radio eléctrico que tiene la red inalámbrica. Al ser un sitio rural para efectos de cobertura se realiza el diseño sobrepasando los límites generales del barrio la Merced teniendo como precedente una cobertura amplia de análisis. La delimitación parte desde un punto central donde se ubica el sistema climático y los actuadores que se pueden desplazar a lo largo de territorio descrito.

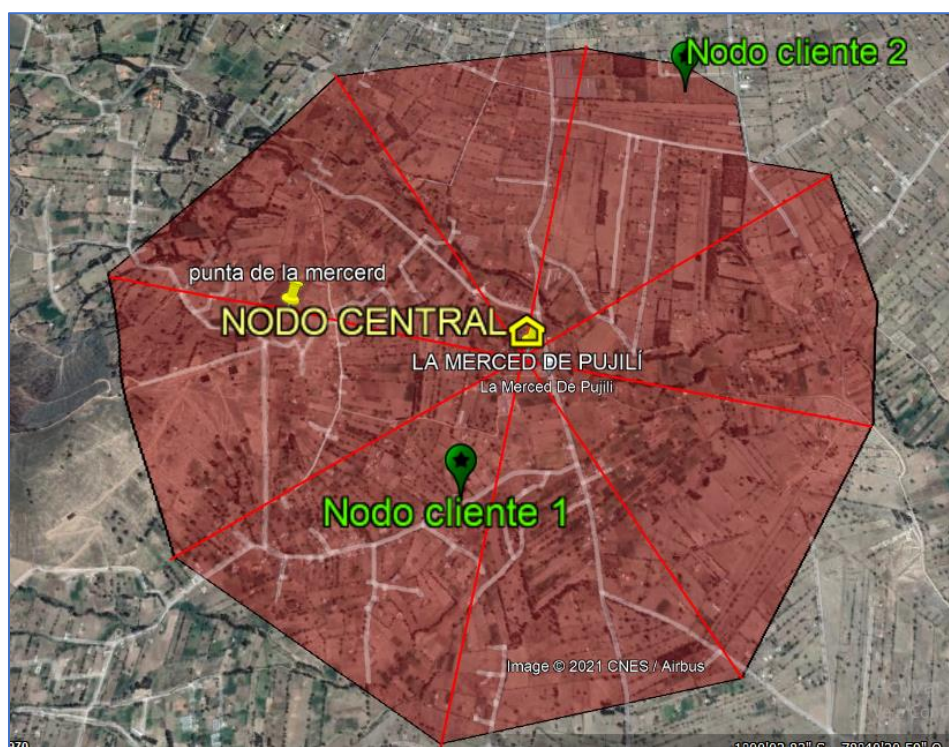


Figura 4-02. Límites de la Red IoT Lora para el sistema de control agropecuario en el Barrio La Merced. (Google Earth, 2022)

Como se observa en la tabla 4-01 se tiene los valores longitudinales que posee el área de estudio partiendo de las especificaciones técnicas de la tecnología LoRa<sup>39</sup> que cumple con los requisitos mínimos de funcionamiento por su gran alcance, que si se lo compara con el área total de análisis que es de 1.48 Km de radio a 2.8 Km alcance total, se precisa un rango estable para el funcionamiento del sistema diseñado.

<sup>39</sup> LoRa Alliance- Tecnología de modulación del tipo spread spectrum (amplio espectro)

<b>Característica</b>	<b>Valor</b>
Perímetro	8.97 Km
Área	5.90 Km <sup>2</sup>
Radio de Alcance	1.48 Km
Alcance perimetral	2.96 Km

Tabla 4-01. Valores geográficos para cubrir con la red IoT Lora.

#### 4.1.2. Método de propagación de la red LoRa en el área de estudio

Los modelos empíricos aplicados a esta tecnología se basan en el indicador RSSI del receptor, varios autores utilizan modelos de pérdidas de trayectoria logarítmicos o variaciones de los modelos exponenciales ITU<sup>40</sup>-R y COST235. Esta tendencia continua en el modelo de la Ecuación 4.1 convertida a variables en dbm.

$$RP=TP + Gt + Gr - PL \quad (4.1)$$

Donde:

RP=Potencia recibida por el transmisor dBm.

TP = Potencia transmitida dBm.

Gt = Ganancia de la antena del transmisor dBi.

Gr = Ganancia de la antena del receptor en dBi.

PL = Pérdidas de trayectoria en dB.

Con la ecuación descrita se procede a generar un análisis en base a la capacidad de solventar las necesidades de las WSN<sup>41</sup>, dentro del paradigma del IoT<sup>42</sup>. El protocolo de red LoRaWAN provee clases y configuraciones que se pueden adaptar a las necesidades de aplicaciones IoT, por lo que su uso resulta conveniente en proyectos de aplicaciones de tecnologías inalámbricas a sistemas de predicción.

<sup>40</sup> ITU International Telecommunications Union - Unión Internacional de Telecomunicaciones.

<sup>41</sup> WSN: Wireless Sensor Networks) están formadas por dispositivos autónomos, distribuidos a lo largo de un área de interés y cuyo objetivo es monitorizar parámetros físicos o ambientales

<sup>42</sup> IoT- Internet of Things- Interconexión digital software/Hardware

#### 4.1.3. Propagación del espectro radio eléctrico de la red LoRa

Para el despliegue de red a lo largo de sitio de estudio se tiene una conexión directa entre el nodo central y los nodos clientes generando un sistema punto-multipunto que se caracteriza por la disminución de recursos al traspaso de información.

Utilizando un simulador de propagación inalámbrica se puede apreciar la cobertura de red en toda el área de análisis, para lo cual se ingresan los datos estándar que maneja la tecnología LoRa, dependiendo los resultados que se obtengan se podrá variar los valores en potencia, ganancia, configuración del formato de comunicación y conexión entre los dispositivos clientes/Servidor (nodo central).

Por los modelos de propagación, configuración, compatibilidad a diversas tecnologías inalámbricas, por ser un software diseñado para temas de investigación y por ser gratuito apto para proyectos en desarrollo se utiliza el Software Radio Mobile como el simulador de cobertura del espectro radio eléctrico en el sitio correspondiente. El sistema al tener un área extensa de cobertura necesita una potencia de Tx/Rx que supere al sitio de estudio y así manejar el umbral adecuado que se acople a los niveles de RSSI.

#### 4.3. Composición de red inalámbrica de la Tecnología LoRa en la zona de estudio

Como se describe en la tabla 4-02 se tienen las especificaciones técnicas de funcionamiento de la tecnología LoRa y en la tabla 4-01 los requerimientos de la red del sistema, partiendo del alcance, estándar, características de propagación Tx/Rx, etc. Estos valores serán utilizados y adaptados para la configuración y el desarrollo del prototipo teniendo en cuenta su variación al paso de la construcción del ecosistema IoT.

Característica	PARAMETROS LoRA		PARAMETROS DISEÑO DE RED
Banda de frecuencia	867-869 MHz	902-928 MHz	Alcance Perimetral (2.96 Km)
Canales	10	64 + 8 + 8	
Canal banda ancha ascendente	125/250 kHz	125/500 kHz	
Canal banda ancha descendente	125 kHz	500 kHz	Área Total (5.90 Km <sup>2</sup> )
TX encendido	+14 dBm	+20 dBm (+30 dBm permitidos)	

Característica	PARAMETROS LoRA		PARAMETROS DISEÑO DE RED
Alcance	1km>	1km>	Área Total (5.90 Km <sup>2</sup> )
SF Up	7-dic	7-oct	
High Sensitivity	-148 dBm	-148 dBm	
Velocidad de datos	250 bps - 50 kbps	980 bps - 21.9 kbps	Datos (200kps>)
Link Budget Up	155 dB	154 dB	
Link Budget Dn	155 dB	157 dB	

Tabla 4-02. Parámetros de diseño de la red LoRA.

Con los parámetros establecidos para el diseño de la red Inalámbrica y para obtener una guía de la propagación de la red, se realiza la simulación del espectro radio eléctrico. Partiendo de los datos de propagación y tecnología, en la figura 4-03, se tiene la configuración de la comunicación LoRa Servidor-Cliente, así como la localización del Barrio La Merced utilizando el simulador Radio Mobile. En esta configuración es importante entender que por la topología del lugar se hace necesario tener una altura considerable mayor a 12 metros sobre la superficie en el nodo central.

**Nuevo enlace**

De: NODO CENTRAL

Altura de la antena (m sobre el suelo): 15 (49.21 ft)

A: NODO CLIENTE

Altura de la antena (m sobre el suelo): 5 (16.40 ft)

Descripción: ENLACE SERV-CLIENTE

Frecuencia (MHz): 915

Potencia Tx (Watts): 0.1 (20.00 dBm)

Pérdida de la línea Tx (dB): 3

Ganancia de la antena Tx (dBi): 8

Ganancia de la antena Rx (dBi): 8

Pérdida de la línea Rx (dB): 0.5

Sensibilidad Rx (µV): 0.013 (-Infinity dBm)

Fiabilidad requerida (%): 90

Utilizar cobertura del terreno:

Utilizar dos rayos:

Definir como valores predeterminados    Restaurar valores originales

Figura 4-03. Configuración de parámetros de enlace central cliente / servidor en el simulador Radio Mobile.

Luego de la configuración del enlace se genera la propagación de la red LoRa a lo largo de la zona de estudio en el Barrio La Merced desde el Nodo Central hacia el Nodo cliente. Se verifica el alcance efectivo y sus líneas de comunicación partiendo del concepto de las zonas de Fresnel como se aprecia en la figura 4-04, así como la ubicación geográfica de cada punto. Esta simulación establece el camino inalámbrico que se genera a lo largo de los terrenos agrícolas del sector con una línea de vista pronunciada de 2954.7 metros sobre el nivel del mar en el punto central generando un ambiente adecuado para la propagación del espectro radio eléctrico.

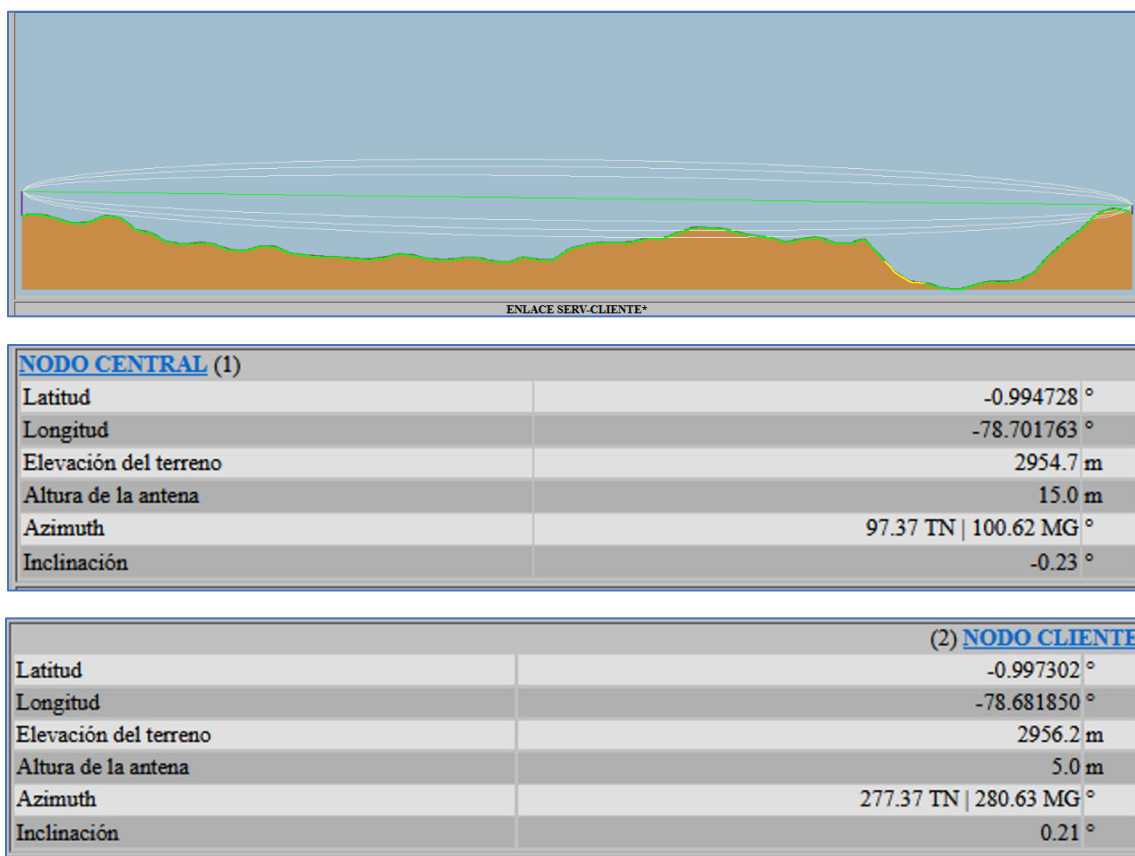


Figura 4-04. Propagación del ecosistema IoT entre cliente / servidor en el simulador Radio Mobile.

En la figura 4-05 se tienen los valores obtenidos en la simulación. Cuenta con un valor de 90 % de fiabilidad de comunicación, así como el valor de -83.55 dBm de RSSI<sup>43</sup> en el enlace proyectado,

<sup>43</sup> RSSI Received Signal Strength Indicator – Indicador de fuerza de señal Recibida

este es el valor de potencia medio que necesita el ecosistema para generar un diseño apto a los requerimientos del proyecto.

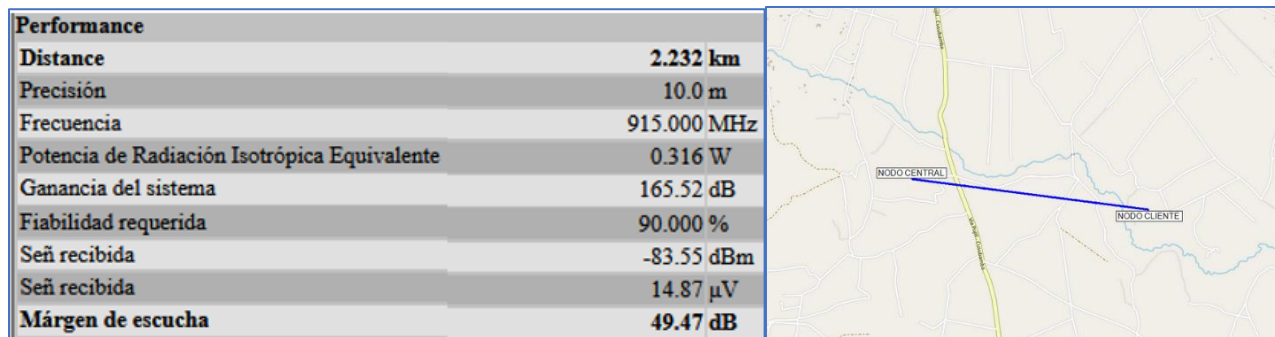


Figura 4-05. Resultados del enlace de la red IoT en el simulador Radio Mobile.

## 4.2 Diseño de atributos y funcionalidades del Nodo Central LoRa

El Nodo Central es el encargado de recopilar la información generada por los nodos LoRa e interpretar las acciones a tomar mediante su interconexión hacia internet, se transmitirá esta información hacia el servidor IoT<sup>44</sup> Thinger.io, en donde se realiza el respectivo procesamiento de la información generada del sistema, una vez que la información sea procesada se tendrá la visualización del estado actual del sector agrícola y posteriormente se enviarán los procesos necesarios para la intervención de los actuadores (riego, aspersion, fungicidas) generando el monitoreo permanente del estado climático. De ser el caso se activarán distintas de alarmas y procedimientos para señalar los eventos asignados hacia un determinado subsistema como el de los aspersores o notificación web (correo y portal web).

En la figura 4-06, se tiene los elementos que forman parte del sistema Central, el nodo Central está construido entre Arduino, Nodemcu y modulo LoRa 915 MHz. Arduino y el módulo LoRa 915 MHz se interconectan directo por su compatibilidad en el diseño de la placa, estos elementos hacen las veces de la comunicación Cliente/Servidor recopilando la información enviada por los Nodos clientes en la red inalámbrica LoRa, la conexión entre Arduino y el Nodemcu se realiza mediante el protocolo de comunicación Serial Tx/Rx, el Nodemcu lleva la información hacia el servidor IoT

<sup>44</sup> IoT Internet of Things - Internet de las Cosas.

y genera acciones dependiendo la necesidad. Cabe mencionar que no se hizo uso del Gateway LoRa Dragino ya que por su diseño y configuración tiene restricciones a la hora de realizar cambios a nivel de programación y al momento de agregar mayores sensores o dispositivos para el monitoreo del estado climatológico.

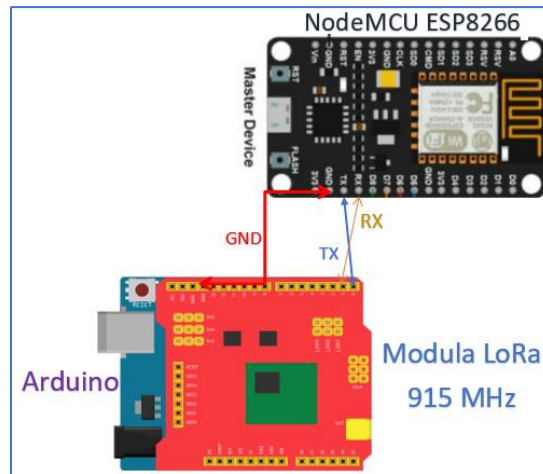


Figura 4-06. Diagrama de conexión Nodo central IoT y NodeMCU para el sistema.

Para cumplir con los requerimientos del ecosistema IoT, se definir el funcionamiento del Nodo Central de acuerdo con el diagrama de flujo mostrado en la figura 4 – 07.

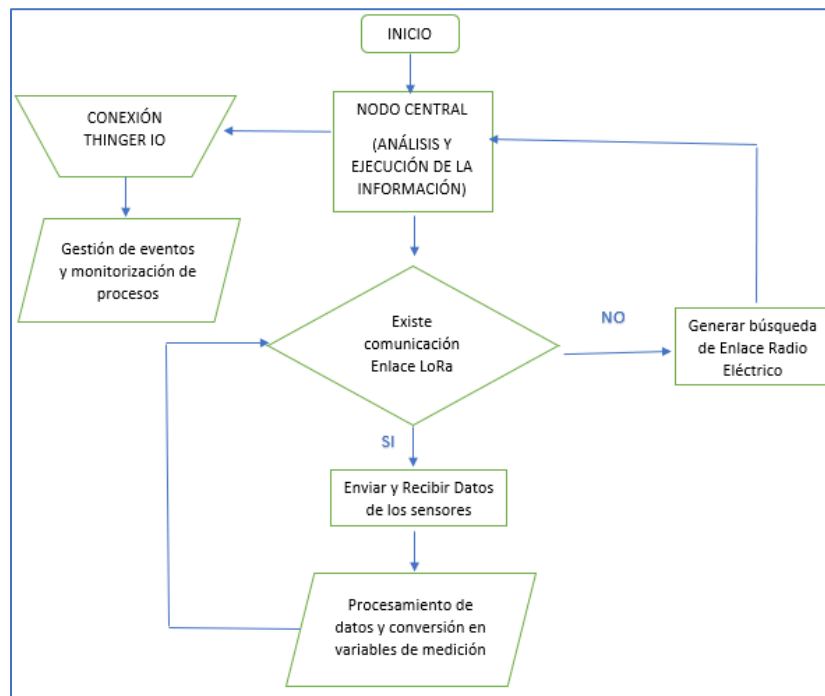


Figura 4-07. Diagrama de flujo para el funcionamiento del Nodo central IoT.

### 4.3 Diseño de atributos y funcionalidades de los Nodos Clientes LoRa

Se dispone de nodos Clientes que contienen principalmente dos procesos, el primero se encargar de censar el estado climático actual del sector, mientras que el segundo se encargar de simular el estado climático de un cultivo impreso en la zona agrícola y generar mediante actuadores la prevención de los mismo, con los procesos anteriores se tiene el análisis de las variables climáticas del sector y de un cultivo, en la figura 4-08 se aprecia el diagrama de flujo del procedimiento de un Nodo Cliente (Cultivo IoT).

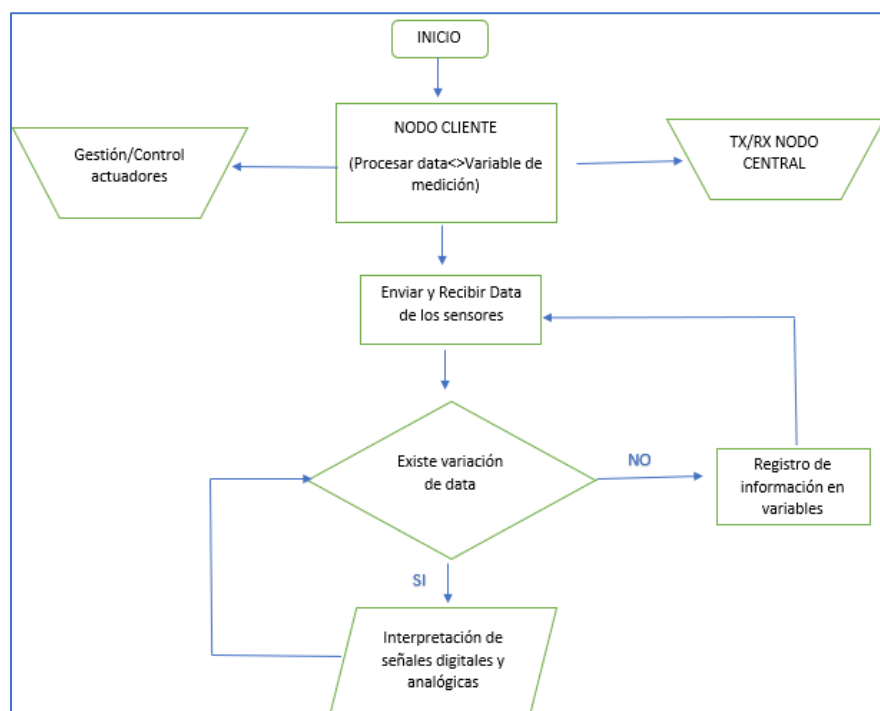


Figura 4-08. Diagrama de flujo para el funcionamiento del Nodo cliente (Cultivos IoT).

#### 4.3.1 Nodo LoRa para el estado climático de todo el barrio La Merced

Como se observa en la figura 4-09 se tiene los elementos del Nodo Cliente que realiza el proceso de monitorear el estado climático actual del barrio La Merced, con la temperatura, humedad, presión barométrica, etc. Esto ayuda a contemplar los principales problemas entorno al clima del sistema. Cabe recalcar que este Nodo cliente puede estar tanto en el mismo sitio que el Nodo Central como en un lugar más alejado, ya que hace las veces de gestionar las condiciones

climatológicas antes que llegue a los cultivos, por ello debe encontrarse en el lugar más alto posible como se muestra en el diseño.

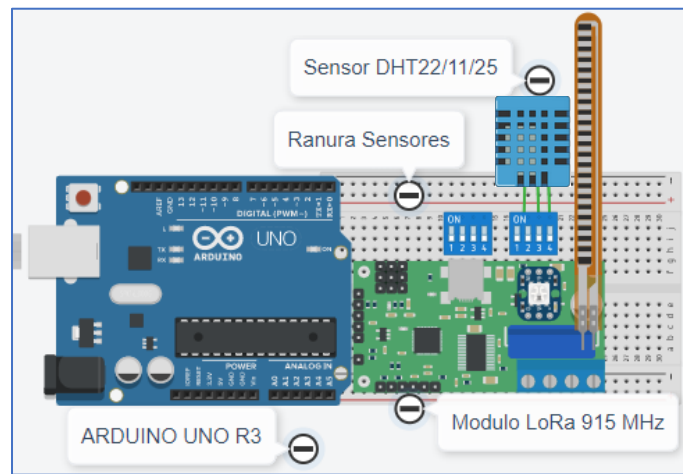


Figura 4-09. Diagrama de conexión del estado climático en general (Central IoT) para el ecosistema IoT.

#### 4.3.2 Nodo LoRa para el estado climático en los cultivos

Este Nodo es el encargado de sensar las variables climatológicas en los cultivos simulando tener las mismas medidas en cuanto a las condiciones ambientales de una plata, fruta o hortaliza. Por esta razón su gestión se la registra mediante la comunicación inalámbrica hacia el Nodo Central donde se genera las acciones a tomar y son procedas por los actuadores (aspersores y fungicidas). En la figura 4-10 se tiene los elementos que forman parte de este dispositivo.

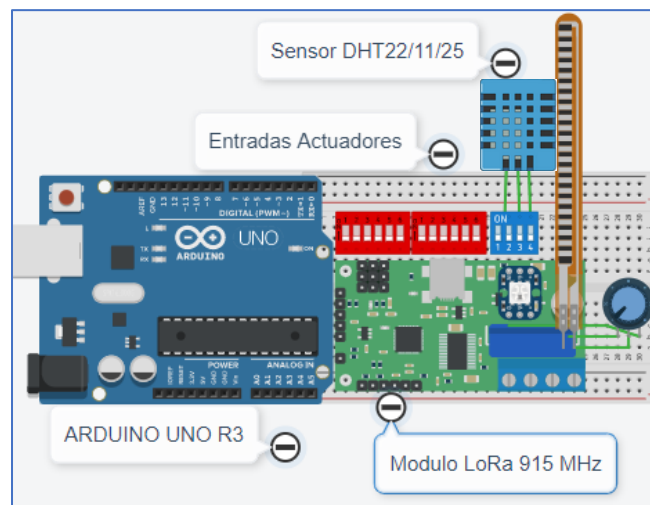


Figura 4-10. Diagrama de conexión del cliente (Cultivo IoT) para el sistema.

#### 4.4 Configuración y programación del ecosistema IoT

Ya con la construcción de los elementos electrónicos (hardware) del sistema se hace necesario la complementación a nivel de software, por esta razón mediante la configuración y sintaxis a nivel de programación se construyen los procedimientos para la comunicación inalámbrica en base a protocolos de transmisión y también a las fuentes de información para el análisis de la data en la plataforma web Thinger y visualizarla en la interfaz gráfica.

##### 4.4.1 Programación de la Central IoT (LoRa/Arduino/Nodemcu)

La programación de la tarjeta de desarrollo es realizada mediante el software IDE<sup>45</sup> propio de las tarjetas de desarrollo Arduino, el cual gracias a su implementación en un interfaz serial virtual, permite la configuración del código de programación. En la figura 4 – 11, se puede apreciar parte del código de programación desarrollado, así como también su comprobación en tiempo real mediante la utilización de la interfaz serial del programador, para mayores detalles respecto al código de programación implementado se tiene el anexo.

La programación del Nodo Central se basa en la centralización inalámbrica de los nodos clientes mediante la tecnología LoRa utilizando la frecuencia de 915 MHz, por ello se utiliza la librería Radiohead RH\_rf95 como base, se establecen los parámetros de comunicación LoRa, así como de propagación, canal y ancho de banda, aquí es donde se recibe y se envían los datos de los Nodos clientes. Luego se realiza la conexión serial entre LoRa\_Arduino y el Nodemcu ESP8266, de igual manera se realizan las sentencias de control y análisis de datos sobre el estado climático para luego mediante las librerías de Thinger realizar la comunicación hacia el servidor web (Internet) utilizando la tecnología 802.11 (WIFI) con un direccionamiento IPv4 que puede ser estático o dinámico, como se necesita tener una conexión estable se ingresa un direccionamiento estático en la red que consuma el servicio de internet, se detallan los procesos:

- Comunicación Central-Clientes con la tecnología LoRa.
- Ejecución y configuración de los parámetros de funcionamiento (Temperatura y Humedad)
- Construcción de alertas de prevención
- Monitoreo del sistema por servidor web (Thinger)
- Análisis de datos en intervalos de tiempo

---

<sup>45</sup> IDE Integrated Development Environment – Ambiente de Desarrollo Integrado para tarjetas Arduino.

En el siguiente capítulo se realiza un análisis más interno de las configuraciones principales para encontrar los parámetros estables climatológicos del sector y las políticas de funcionamiento, así como las mejoras que se puede hacer al sistema en base a la automatización de los procesos, el detalle de implementación y codificación consta en la carpeta fuentes de programas

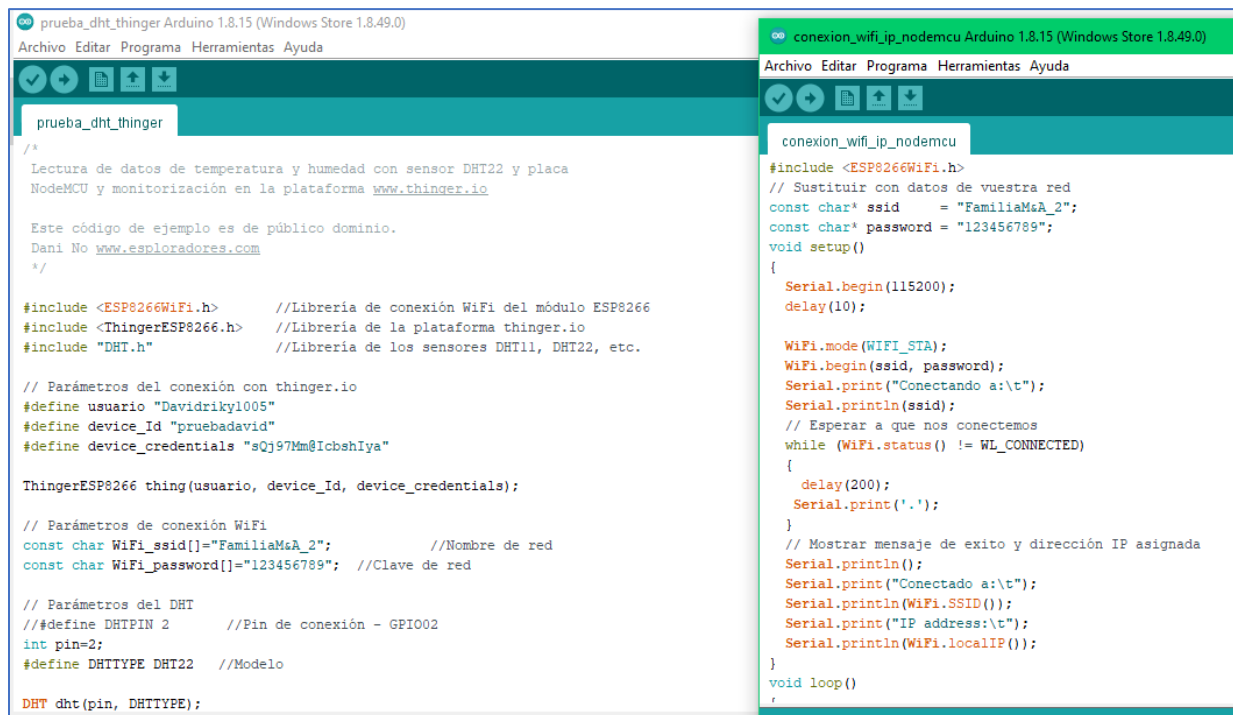


Figura 4-11. IDE de Arduino con las librerías de la programación de los Nodos LoRa para monitoreo de Nodo Central.

#### 4.4.2. Nodo LoRa para el estado climático del cultivo

Los Nodos clientes realizan las mediciones en base a la configuración (calibración) de los sensores y la ejecución de las acciones del sistema central en base a los actuadores, es decir la sintaxis de programación contiene las variables climáticas de trabajo (Umbral) y las tareas programadas para prevenir y alertar efectos ambientales. Por eso el nodo cliente utiliza la comunicación LoRa con un formato único para cada dispositivo final, luego hace que el Nodo Central interprete la información y tome decisiones. Además, la programación cuenta con un diseño escalable para mayor número de procedimientos (Sensores/Actuadores).

Para cumplir con los requerimientos del ecosistema IoT, se construye una fuente con las librerías de Radiohead RH\_rf95 en modo cliente y las librerías que contienen la configuración de los

sensores y actuadores. Para el diseño del prototipo se tiene el sensor DHT que mide temperatura y humedad, y los actuadores (aspersores, fumigadores) se utilizan para genera disminución de los efectos ambientales, siempre enviando información al Nodo Central para la toma de decisiones, como se detalla:

- Medición de las variables digitales y analógicas del sector
- Transformación de datos a variables administrables (Temperatura y Humedad)
- Comunicación Central-Clientes con la tecnología LoRa.
- Ejecución de procesos de prevención mediante los actuadores
- Análisis de datos en tiempo real

En la figura 4 – 12, se puede apreciar parte del código de programación desarrollado, así como también su comprobación en tiempo real mediante la utilización de la interfaz serial del programador, el detalle de implementación y codificación consta en la carpeta fuentes de programas.

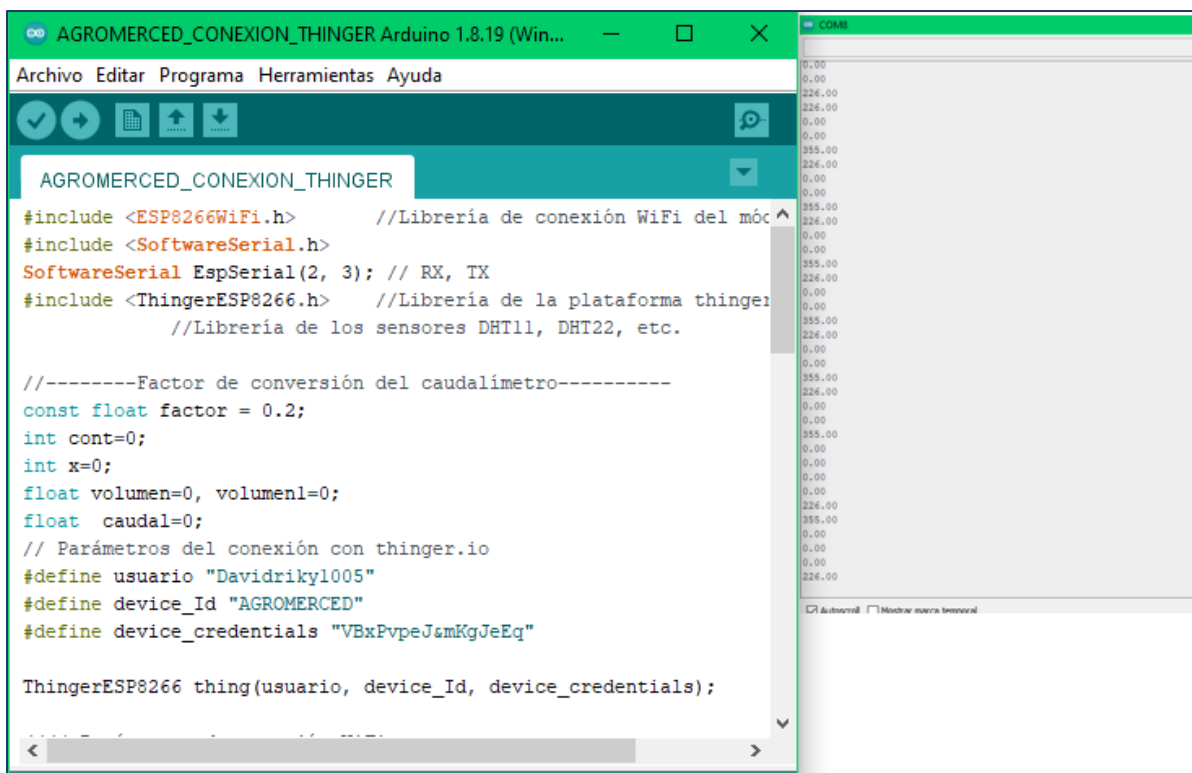


Figura 4-12. IDE de Arduino con las pruebas de conexión del Nodo Central / Nodo Cliente del sistema.

#### 4.5. Interconexión del Nodo Central con el servidor Thinger.io

La interconexión del sistema con el servicio web se realiza en la programación del Nodo Central, donde mediante la librería Thinger.io se genera la comunicación hacia la plataforma utilizando la tecnología 802.11 del Nodemcu, esta parte de la programación cuenta con los procesos de configuración de la red WIFI, el usuario y contraseña propia del sistema que permite el acceso a la plataforma de monitoreo desde la red interna, cabe recalcar que al tener comunicación hacia el internet se tiene acceso remoto al sistema desde cualquier parte del mundo.

En la figura 4-13 se encuentra el proceso que indica la creación de una cuenta de administración en la plataforma web de Thinger registrando los datos correspondientes al correo, descripción del sistema y claves de acceso (Keys) para construir el ambiente del sistema de Monitoreo.

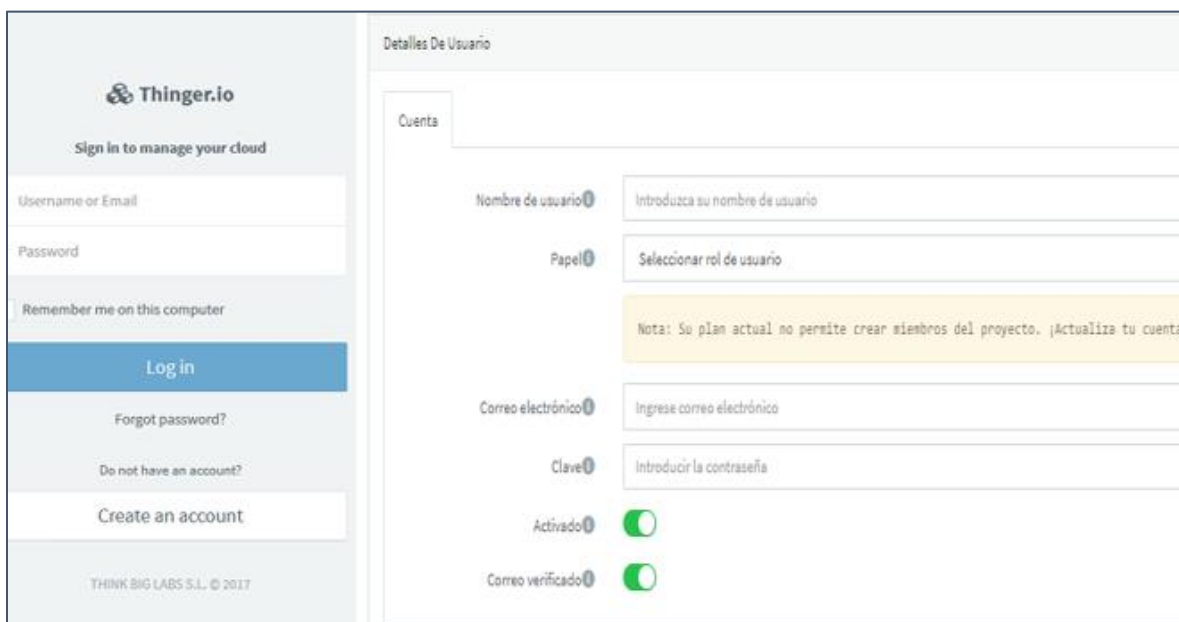
The image shows a screenshot of the Thinger.io web interface. On the left, there is a login section with fields for 'Username or Email' and 'Password', a 'Remember me on this computer' checkbox, a blue 'Log in' button, and links for 'Forgot password?' and 'Do not have an account?'. Below this is a 'Create an account' button and the text 'THINK BIG LABS S.L. © 2017'. On the right, the 'Detalles De Usuario' (User Details) section is active, showing a 'Cuenta' (Account) tab. It contains several input fields: 'Nombre de usuario' (Introduce su nombre de usuario), 'Papal' (Seleccionar rol de usuario), 'Correo electrónico' (Ingrese correo electrónico), and 'Clave' (Introducir la contraseña). There are also two toggle switches for 'Activado' and 'Correo verificado', both of which are currently turned on. A yellow warning box states: 'Nota: Su plan actual no permite crear miembros del proyecto. ¡Actualiza tu cuenta!'.

Figura 4-13. Configuración de los parámetros generales de Thinger.io.

Ya con el acceso a la plataforma se configura el Nodo Central mediante una contraseña encriptada (Token) que dispone cada dispositivo que se conecta al sistema creado, como se muestra en la figura 4-14. Además, en base a la programación del Nodemcu se configura los parámetros técnicos del dispositivo quien mediante un direccionamiento IP realiza la comunicación servidor web-Sistema Climático y se verifica que el dispositivo esté conectado a la plataforma.

The screenshot shows the 'Configuración del dispositivo' (Device Configuration) page. It is divided into three main sections: 'Configuración del dispositivo', 'Información del dispositivo', and 'Opciones avanzadas'.  
1. 'Configuración del dispositivo':

- Tipo de dispositivo: Dispositivo Thingier genérico (WiFi, Ethernet, GSM)
- Identificación del dispositivo: Ingrese el identificador del dispositivo
- Credenciales del dispositivo: Ingrese las credenciales del dispositivo

2. 'Información del dispositivo':

- Nombre del dispositivo: Nombre de dispositivo opcional
- Descripción del aparato: Descripción del dispositivo opcional

3. 'Opciones avanzadas':

- Tipo de activo: Seleccione tipo...
- Grupo de activos: Selecciona grupo...
- Activado: A green toggle switch is turned on.

At the bottom left, there is a green button with a checkmark and the text 'Añadir Dispositivo'.

Figura 4-14. Configuración de acceso al sistema Thingier.io.

Para el análisis de los datos que llegan al servidor web mediante el Nodo Central se debe crear un Cubo de datos el cual almacena la información y la ordena en el ítem correspondiente para generar los procesos de Monitoreo y alertas, visto en la figura 4-15. En esta configuración se genera los parámetros de muestreo, tipos de variables y formato de datos para el consumo de los mismo en diferentes eventos y alertas.

The screenshot shows the 'Configuración del depósito' (Database Configuration) page. It is divided into three main sections: 'Configuración del depósito', 'Información del cubo', and 'Configuración del cubo'.  
1. 'Configuración del depósito':

- Identificación del depósito: Ingrese una identificación de depósito

2. 'Información del cubo':

- Nombre del segmento: Nombre del segmento
- Descripción del cubo: Descripción del cubo opcional

3. 'Configuración del cubo':

- Activado: A green toggle switch is turned on.
- Fuente de datos: Seleccionar fuente de datos

4. 'Opciones avanzadas':

- Tipo de activo: Seleccione tipo...
- Grupo de activos: Selecciona grupo...

Figura 4-15. Configuración de la base de datos del sistema Thingier.io.

Con estas configuraciones se tiene los parámetros de comunicación y almacenamiento de datos listo para interpretar la información y mostrarla en una interfaz más amistosa y entendible para los administradores del sistema. Cabe recalcar que el sistema utiliza un canal de comunicación HTTPS<sup>46</sup> entre cliente/servidor con los protocolos criptográficos que generan un mecanismo de conexión segura, como se observa en la figura 4-16.

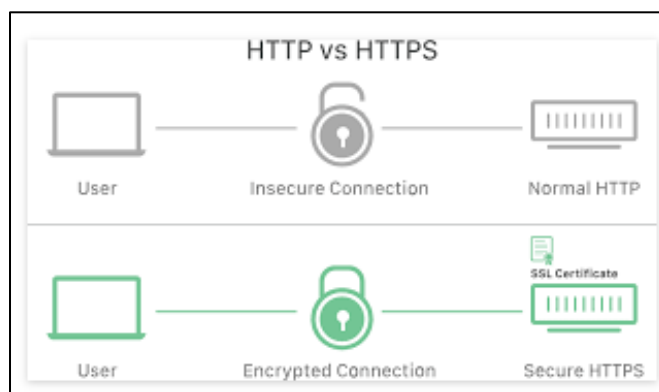


Figura 4-16. Protocolo de comunicación segura del servidor hacia la red interna.

#### 4.5 Diseño de funcionalidades y atributos del servidor web IoT

Con la configuración de los parámetros del sistema hacia el servidor IoT en base a las variables climáticas (temperatura/humedad) del nodo central y los nodos clientes se genera la interfaz de usuario con los procesos en tiempo real teniendo presente que el objetivo del diseño es prevenir efectos climáticos mediante el monitoreo de las acciones que se realizan en todo el sistema, así como el estado de cada dispositivo y su geolocalización.

Como se observa en la figura 4-17 se tiene el Dashboard del sistema Total que cuenta con los ítems de Medición Temperatura/Humedad, valores promedios, valores críticos, Setpoint (variables climáticas), geolocalización y On/Off actuadores (Aspersores/Alertas), además la base de datos donde se genera el análisis de los eventos que se tiene cada minuto.

<sup>46</sup> HTTPS (HyperText Transfer Protocol Secure, protocolo seguro de transferencia de hipertexto) es un protocolo de comunicación de Internet que protege la integridad y la confidencialidad de los datos de los usuarios entre sus ordenadores y el sitio web.

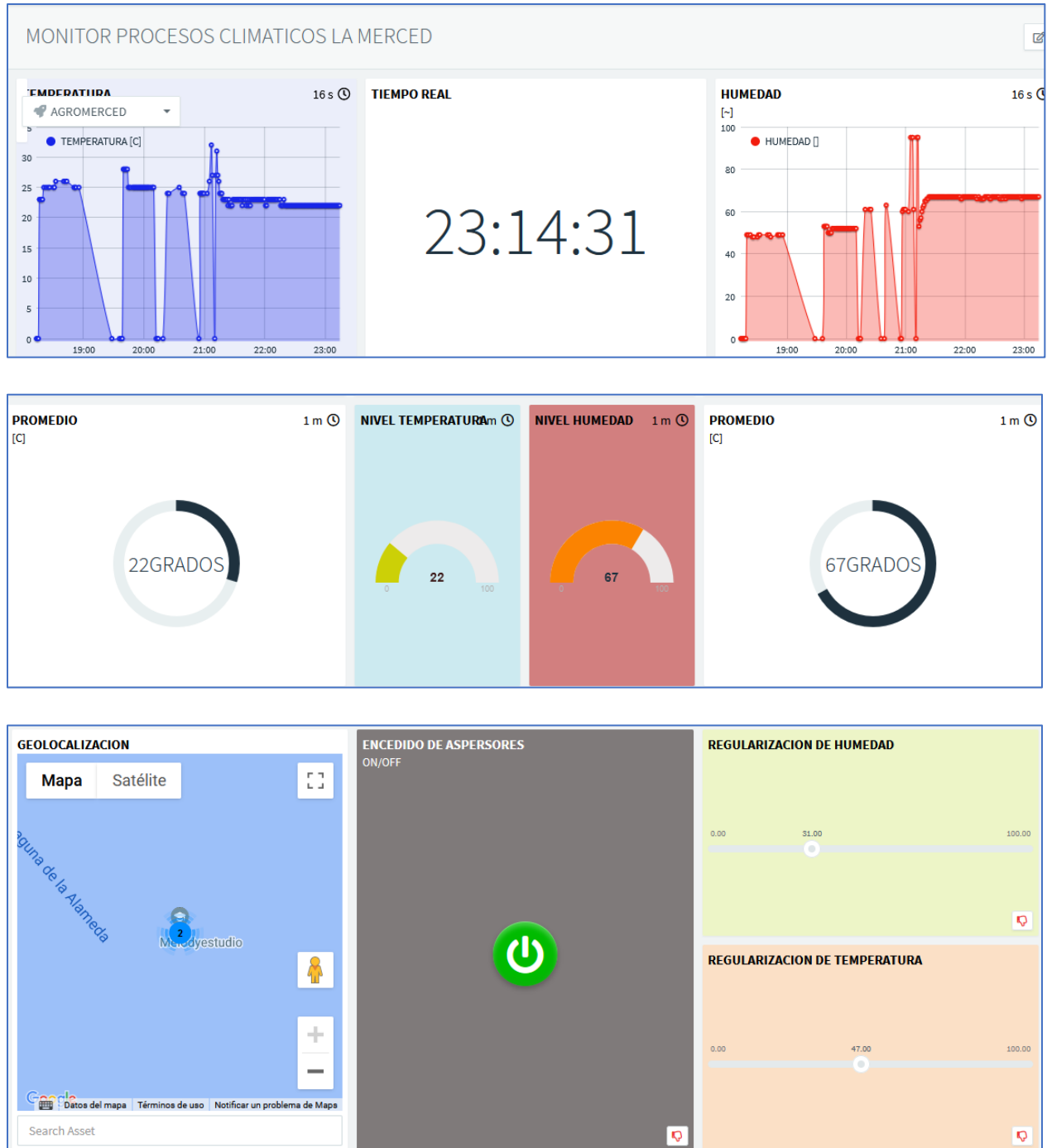


Figura 4-17. Dashboard del servidor IoT para la monitorización de estado climático.

La construcción de la plataforma empieza en el panel de control, de manera gráfica se introducen los ítems que corresponden a cada proceso del sistema, los cuales son:

- Devices > Add Device Configurar los datos del nuevo dispositivo:
- Device Id: Nombramiento para la conexión de thinger.io con el sistema.
- Device description: Descripción de la conexión Servido IoT-sistema.
- Device credentials: Contraseña de seguridad para establecer la conexión entre thinger.io y el dispositivo.

También es importante mencionar que dispone de varios elementos adicionales para complementar la estructura del portal web estos pueden ser:

- Time Series Chart
- Donut Chart
- Progressbar
- Google Map
- Image/MJPEG
- Text/Value

Luego de la configuración gráfica del sistema al seleccionar Statistics, se puede observar los niveles de conexión del sistema hacia el servidor IoT, así como el ancho de banda, ultima conexión, estado del dispositivo y las comunicaciones (Console Dashboard). También el menú cuenta con otros apartados, como el volumen de datos (Data Transmission), la localización del dispositivo y Conected Devices Locations, como se observa en la figura 4-19.

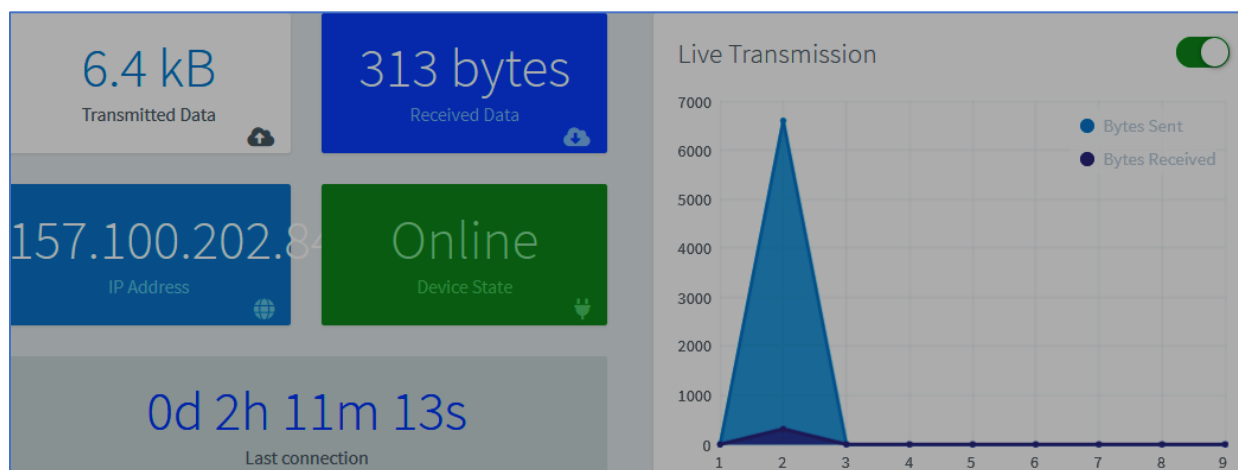


Figura 4-19. Indicadores de conexión entre servidor web y la red interna (ecosistema IoT).

Posterior a la revisión de la conexión se activa el Data Buckets, en el cual genera los registros del proceso que se efectúan en un intervalo de tiempo y los guarda en la base de datos de forma automática, como se observa en la figura 4-20.

<input type="checkbox"/>	Bucket	Name	Description	Asset Type	Asset Group	State	Enabled
<input type="checkbox"/>	DATOS_CLIMATICOS_LAMERCED	AGROMERCED	DATOS CLIMATICOS DEL BARRIO LA MERCED	-	-	Normal	Enabled
<input type="checkbox"/>	TEMPERATURA	TEMPERATURA	TEMPERATURA	-	-	Normal	Enabled
<input type="checkbox"/>	DATOS_DHT22	DHTT22	DATOS DE TEMPERATURA Y HUMEDAD	-	-	Normal	Enabled

Figura 4-20. Indicadores de conexión entre servidor web y la red interna (ecosistema IoT).

#### 4.5.1. Configuración de actuadores y alertas en el ecosistema IoT

Ya con los elementos entre hardware/software y con los procesos climáticos definidos se hace necesario la implantación de un mecanismo de alerta y prevención que ayude a los agricultores (administradores) del barrio La Merced a proteger sus cultivos. Por lo descrito se agrega una configuración adicional en el Nodo Central, el cual mediante el protocolo SMTP <sup>47</sup>y la Liberia ESP8266SMTP se generan las alertas de los eventos que suceden día a día en el sitio de estudio, así como alertas de posibles cambios climáticos e información del estado actual de los cultivos referentes a los efectos ambientales.

Como se observa en la figura 4-21, se tiene las configuraciones adicionales que requiere el Nodo Central para generar un sistema de alertas mediante correo electrónico hacia los administradores del sistema al igual que a los agricultores del barrio La Merced. Cabe mencionar que esta alerta se genera de forma progresiva respetando los intervalos de tiempos del sistema y sus políticas de

<sup>47</sup> SMTP es la sigla que corresponde a la expresión de la lengua inglesa Simple Mail Transfer Protocol.

funcionamiento. El detalle de implementación y codificación consta en la carpeta fuentes de programas.

```
uint32_t startTime = millis();

SMTP.setEmail("agro_lamerced@gmail.com")
  .setPassword("agro_lamerced123")
  .Subject("NOTIFICACIÓN_EVENTO")
  .setFrom("Estado Climatico")
  .setForGmail();
|
if(SMTP.Send("davidrikybscl0@gmail.com, El clima tiene una Temperatura",TEMPERTURA,"y Humedad",Humedad);
Serial.println(F("Message sent"));
} else {
  Serial.print(F("Error sending message: "));
  Serial.println(SMTP.getError());
}

Serial.println(millis() - startTime);
}
```

Figura 4-21. Configuración del envío de alertas mediante correo electrónico del sistema Climático.

Desarrollado las fuentes en cuanto la configuración SMTP que es un proceso externo, también se realizan las alertas del sistema climático en un entorno interno, es decir se genera un proceso automático de prevención sonora para mayor operatividad en el cuidado de los cultivos del sitio de estudio, por ello mediante la utilización de una sirena de 3 tonos se configuran los estados de alerta, siendo mínimo, medio y alto los niveles de ejecución. El mínimo se utiliza para generar un ambiente de prevención, el nivel medio genera un ambiente de alerta y preparación de posibles cambios bruscos del clima en el sector y por último el nivel alto que solo se utilizará cuando se tenga un inevitable bajón o elevación climático analizado en las políticas de funcionamiento como algún incidente meteorológico grave.

En la figura 4-22 se tienen los elementos del sistema de alertas interno para la prevención y cuidado de los cultivos en las zonas agrícolas del barrio La Merced, este es un circuito de relés para sincronizar el tipo de señal enviada a la sirena dependiendo del nivel de alerta que se tenga en el sistema climático.

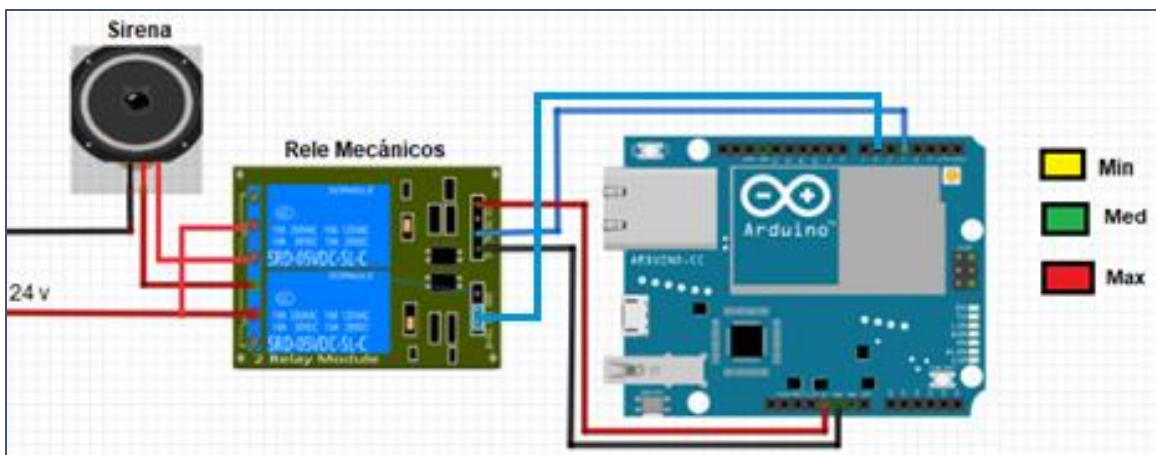


Figura 4-22. Elementos y estructura de las alertas internas mediante una configuración sonora.

Con lo expuesto en el diseño se tiene un panorama adecuado para que los agricultores puedan entender en qué estado se encuentra el clima y que procesos realizar en base a las alertas internas del sistema que están configuradas para un entorno automático sobre las heladas.

#### 4.6 Pruebas de funcionamiento del ecosistema IoT

Una vez que se tiene los elementos establecidos y configurados del sistema se procede a realizar las principales pruebas de funcionamiento del prototipo en diseño tanto de Software como de Hardware teniendo en consideración algunos aspectos adicionales para permitir que el sistema funcione correctamente, entre estos aspectos destacan los siguientes:

- Pruebas de Cobertura de red inalámbrica LoRa (RSSI)
- Comunicación Nodo Central-Cliente
- Conexión Sistema Local-Servidor web Thingier
- Adquisición de variables climatológicas
- Tiempo de respuesta de transmisión y recepción de datos
- Conceptualización de parámetros (Efectos ambientales)
- Pruebas de monitoreo (Preventivas/Correctivas)

#### 4.6.1 Pruebas de cobertura de la red inalámbrica IoT Nodo Central-cliente (dispositivo final)

Esta prueba se realiza mediante el envío y recepción de los datos climáticos del nodo cliente (dispositivo final) hacia el Nodo Central en la zona de estudio, el cual es medido con el RSSI (indicador de fuerza de la señal recibida) variando la distancia, es decir una relación directamente proporcional RSSI/Distancia. En la figura 4-23 se observa la conexión de los dos dispositivos (Nodo Central y final) con las configuraciones mencionadas anteriormente para obtener los siguientes resultados visto en la tabla 4-03.

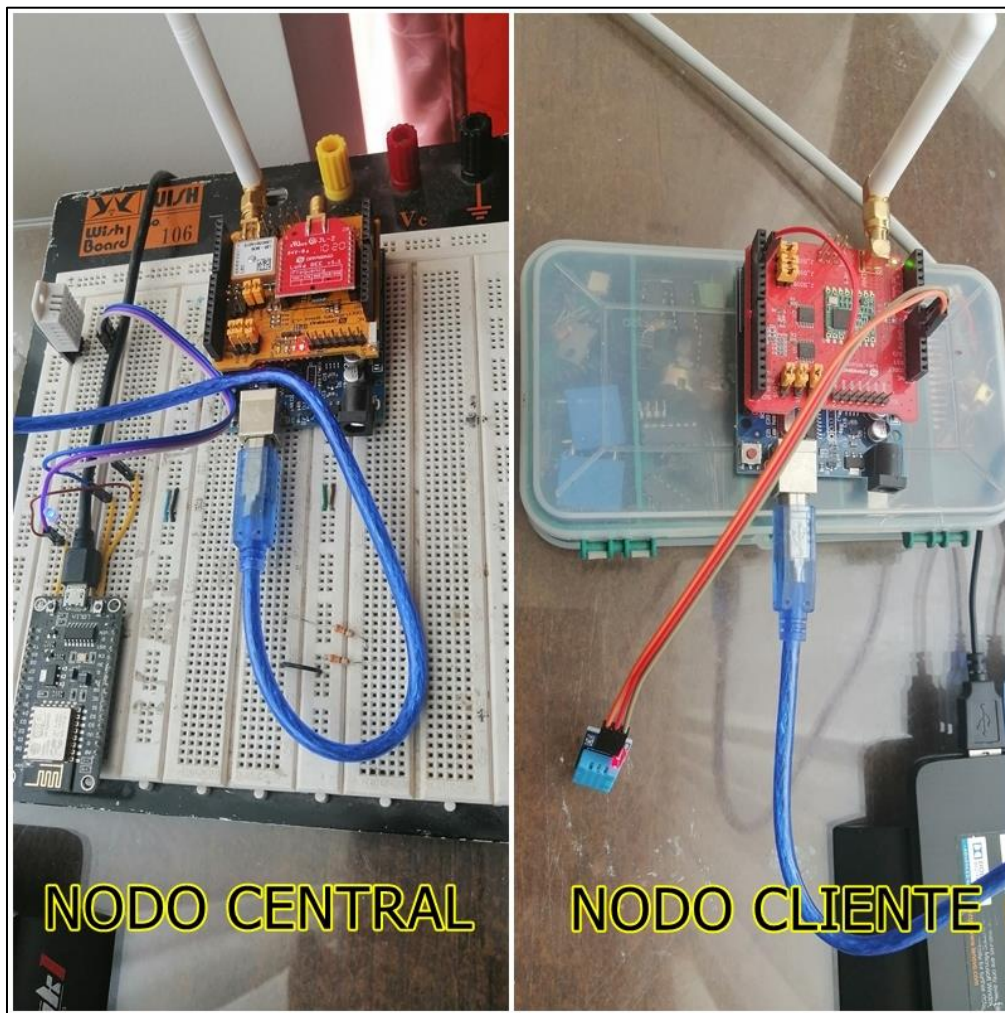


Figura 4-23. Prototipo de prueba del sistema Central/Cliente

Como se observa en la tabla 4-03 se tiene las pruebas de comunicación hasta 2000 metros receptando un nivel de potencial mínimo de -145 dbm, que, si se lo compara con los valores de funcionamiento establecidos, demuestra un valor estable para el sistema que tiene una distancia

aproximada de 1.48 Km de radio. También se puede mencionar que se llega a estos niveles de cobertura gracias a la configuración de Bit Rate en el sistema a 300 kbps, generando un consumo acorde a los datos que se transmiten y reciben hacia Nodo Central.

	Longitud (m)	Intensidad de señal (dbm)	Tiempo de respuesta(s)
1	5	-40 dbm	1s
2	25	-55 dbm	1s
3	50	-60 dbm	1s
4	100	-65 dbm	1s
5	150	-70 dbm	5s
6	200	-81 dbm	5s
7	250	-87 dbm	5s
8	300	-90 dbm	5s
9	350	-100 dbm	5s
10	400	-105 dbm	7s
11	450	-107 dbm	7s
12	500	-110 dbm	7s
13	550	-115 dbm	7s
14	650	-117dbm	7s
15	700	-118 dbm	7s
16	750	-119 dbm	8s
17	800	-120 dbm	9s
18	900	-122 dbm	9s
19	1000	-125 dbm	9s
20	1100	-128 dbm	9s

	Longitud (m)	Intensidad de señal (dbm)	Tiempo de respuesta(s)
21	1200	-130 dbm	15s
22	1300	-131 dbm	15s
23	1400	-131 dbm	18s
24	1500	-132 dbm	18s
25	1600	-134 dbm	20s
26	1700	-135 dbm	20s
27	1800	-140 dbm	22s
28	1900	-142 dbm	25s
29	2000	-145 dbm	25s

Tabla 4-03. Pruebas de comunicación LoRa hasta 2000m de distancia.

Las pruebas de cobertura y comunicación fueron realizadas a lo largo del área de estudio donde se evidencia el ecosistema del lugar, así como su geografía que es mayormente plana en el sector agropecuario, que si se lo analiza de este modo se tiene una línea de vista primordial para la radiación electromagnética que realiza el sistema inalámbrico, visto en la figura 2-24.



Figura 4-24. Sitio de estudio del sistema IoT del barrio La Merced Pujilí.

#### 4.6.2 Estudio del tiempo de respuesta del sistema Tx/Rx

Luego de realizar las pruebas de comunicación de la red inalámbrica se puede contextualizar que el sistema por características y diseño pretende niveles de respuesta mínimos entre un rango de 1 a 2 minutos, estos valores se los gestiona en base al tiempo que demora la comunicación Nodo Central/cliente, más la interpretación de los datos (sentencias de control), más la conexión hacia el servidor web y más la proyección de los datos en la interfaz de usuario (alertas).

En la figura 4-25 se tiene la gráfica “Distancia vs Tiempo” en referencia al periodo que se demora en comunicar los datos del Nodo Cliente hacia el Nodo central, donde se observar una relación directamente proporcional, más alejados se encuentren los dispositivos más tiempo de respuesta necesita el sistema para el traspaso de información, pero como el diseño tiene como finalidad reportar los cambios climáticos paulatinamente, se tiene contemplado un delay en la respuesta datos entre 1 a 2 minutos.



Figura 4-25. Gráfico proporcional de la distancia vs el tiempo de respuesta del sistema.

En la tabla 4-04, se tienen los valores del periodo de tiempo que realiza el sistema aproximadamente para obtener la conexión y administración, estos datos son analizados en base las pruebas de distancia vs tiempo y a la generación de parámetros que lo realiza Thinger en su sitio web en intervalos de 1 minuto. Si se lo compara con los valores predeterminados analizados en el sistema se tiene una respuesta estable de funcionamiento en términos generales, cabe recalcar que la principal necesidad del proyecto es tener un monitoreo permanente sabiendo que las

variables climáticas mantienen una variación de tiempo no instantánea la cual se adapta al diseño del sistema con un valor de 1.55 minutos en el lugar más alejado de la cobertura LoRa.

	Tiempos Valor Max
Comunicación TX	25s
Análisis de Datos	5s
Envío Datos THINGER	1 min
Comunicación RX	25s
<b>Total</b>	<b>1.55 min</b>

Tabla 4-04. Tiempos de respuesta del sistema total.

#### 4.6.3. Comunicación y envío de datos del Sistema Local-Servidor web Thinger

Con las configuraciones establecidas en el diseño y comunicación, en la figura 4-26 se aprecian los datos de conexión del sistema local con el servidor, partiendo de la transmisión y recepción de los datos climáticos, con valores de transmisión (descarga) de 7.5 Kbytes por segundo y una recepción (subida) de 355 bytes por segundo sabiendo que al cargar datos al servidor siempre va a tener una velocidad menor a la descargar. Mientras se mantengan estos valores en intervalos de tiempo de 1 minutos se establece una comunicación adecuada para el diseño planteado.

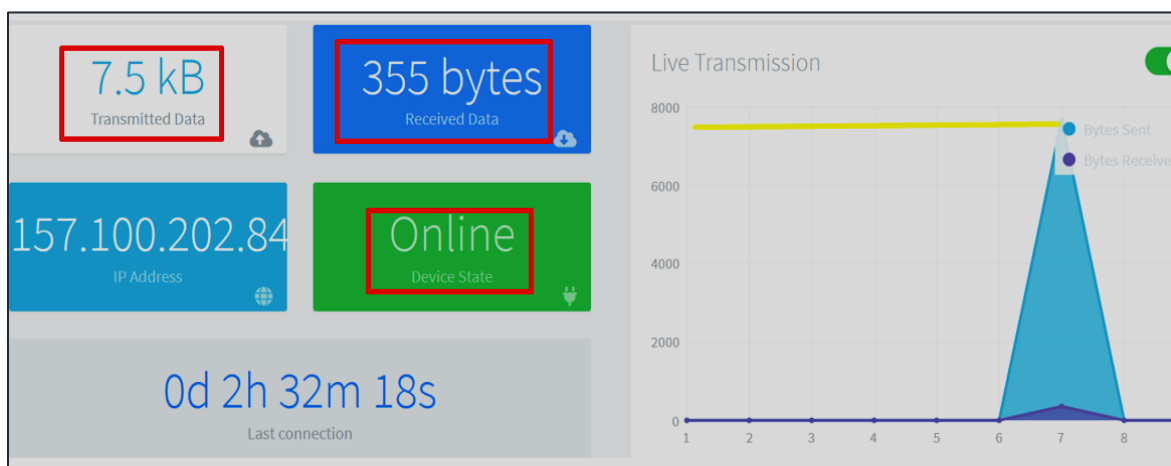


Figura 4-26. Pruebas de conexión del servidor web hacia el sistema interno.

Con los datos generados en el sistema local (Nodo Cliente/Central) se realiza la comunicación al servidor web mediante el envío y recepción de los parámetros de translación y datos (variables climáticas) como se observa en la figura 4-27, partiendo de eso se puede contemplar la recepción periódica de las variables climáticas del sistema y el almacenamiento en la base de datos del servidor de forma correcta, desde este punto se tiene la creación y control de la aplicación web del sistema de prevención y monitoreo climático en el barrio La Merced.

Date	HUMEDAD [%]	TEMPERATURA [C]
2022-01-13T23:47:03.240Z	60	23
2022-01-13T23:46:02.771Z	60	23
2022-01-13T23:45:02.183Z	60	23
2022-01-13T23:44:01.366Z	60	23
2022-01-13T23:43:00.731Z	60	23
2022-01-13T23:42:00.552Z	57	23
2022-01-13T23:41:00.148Z	57	23
2022-01-13T23:39:59.737Z	57	23
2022-01-13T23:38:59.243Z	57	23
2022-01-13T23:37:58.723Z	57	23
2022-01-13T23:36:58.223Z	57	23
2022-01-13T23:35:57.725Z	57	23
2022-01-13T23:34:57.183Z	57	23
2022-01-13T23:33:56.776Z	57	23
2022-01-13T23:32:56.325Z	57	23
2022-01-13T23:31:55.889Z	57	23

Figura 4-27. Almacenamiento del estado climático del ecosistema IoT.

#### 4.6.4. Pruebas de funcionamiento del sistema climático con el servidor IoT

Se realizó pruebas de conexión del sistema hacia el servidor (Aplicación Climática IoT) para observar cómo se generan los datos de los sensores de humedad y temperatura. Como se muestra en la figura 4-28, se tiene el Dashboard con sus respectivos ítems donde se registran las variables de temperatura, humedad, porcentajes climáticos, indicadores de medición, promedios, regulación del rango de alertas (setpoint), control de actuadores y la geolocalización del dispositivo en el área

de análisis. Las pruebas realizadas del funcionamiento de la aplicación fueron adecuadas para las pretensiones del diseño reflejando los ítems mencionados en la aplicación web del servidor.

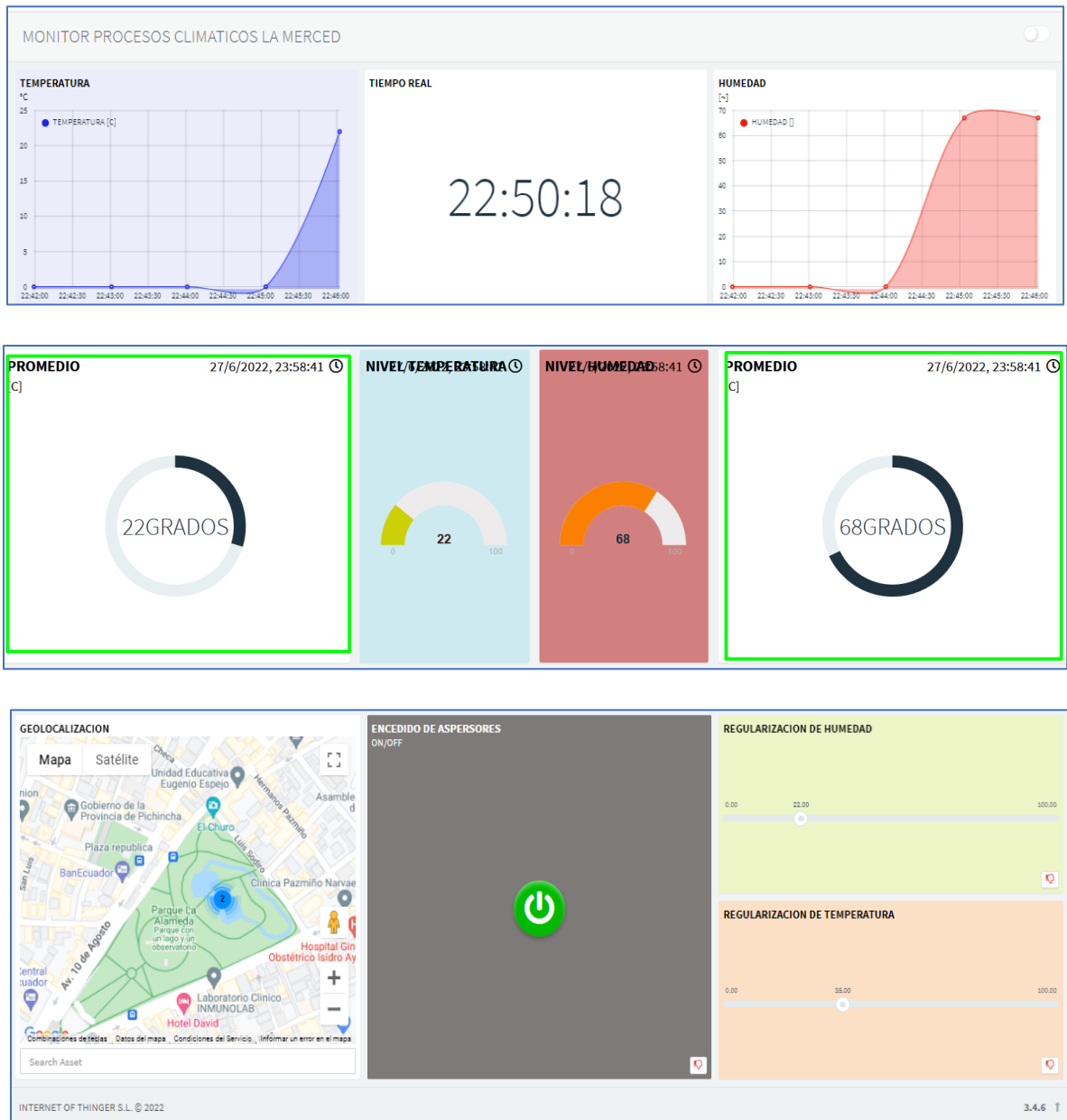


Figura 4-28. Pruebas en el Dahnboard de monitoreo del sistema Central/Cliente.

Además, en la figura 4-29 se observa cómo se encuentra la comunicación hacia el Nodo cliente, con ello se puede entender que el sistema está funcionando acorde a los requerimientos de diseño climático y monitoreo.

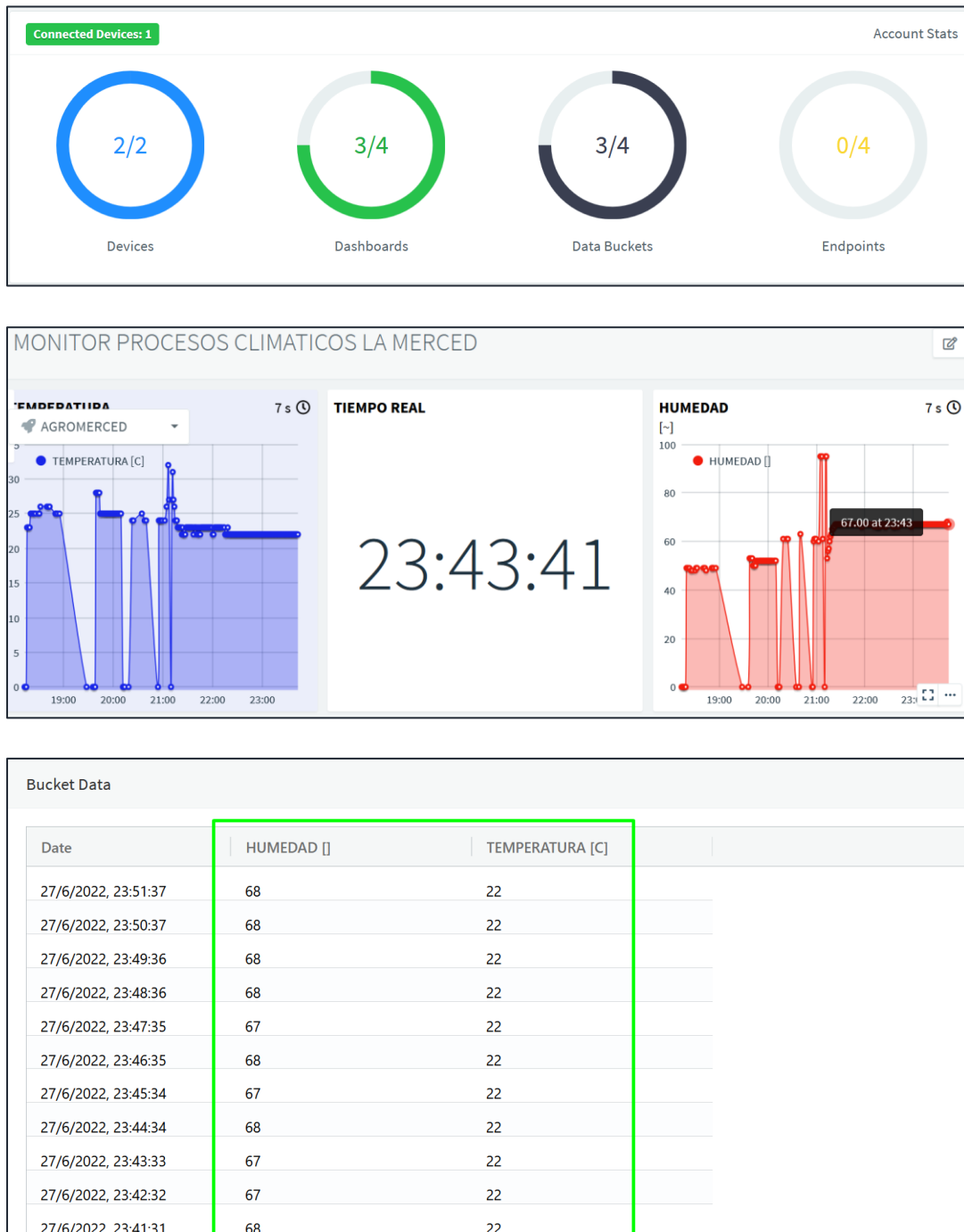


Figura 4-29. Monitoreo del ecosistema IoT mediante el portal web Thingiverse.io.

#### 4.6.5. Desarrollo de políticas y parámetros de funcionamiento del sistema climático

Una vez diseñado y construido el sistema climático en términos de hardware y software, se necesita desarrollar un esquema de funcionamiento el cual brinde un análisis tiempo a tiempo de cómo se encuentra el estado climático del Barrio La Merced, para lo cual se ha configurado controles en donde se pueden cambiar las variables de funcionamiento (setpoint), es decir ya que el clima en estos últimos tiempos se ha vuelto muy cambiante (impredecible), dependiendo las variables climáticas que se tiene en un promedio mensual o promedio semanal, se ajusta la referencia al valor que más convenga en dicho periodo de tiempo.

Partiendo de lo expuesto en la figura 4-30 se tiene las estadísticas y predicciones climáticas de los últimos años en la Merced, Pujilí. Los veranos son nublados y cortos, así como los inviernos son fríos y parcialmente nublados. También se refleja que, durante el transcurso del año, la temperatura varía de 7 °C a 18 °C y en ocasiones aisladas baja a menos de 6 °C o sube a más de 22 °C.

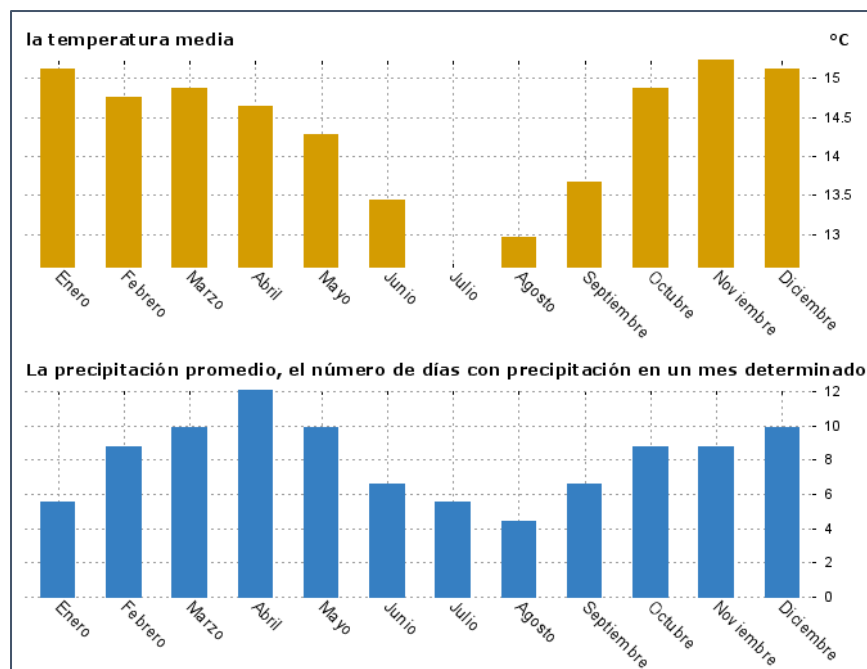


Figura 4-30. Análisis climático (Temperatura) anual del barrio La Merced (Pujilí). (INAMHI, 2022)

Así también se tiene lo largo del año las estadísticas de la humedad en el área de estudio, donde los meses con la humedad relativa más alta son febrero, abril, noviembre y diciembre con un valor

porcentual de 86 %, al igual que el mes con la humedad relativa más baja es septiembre con un valor porcentual de 75%. Como se aprecia en la figura 4-31.

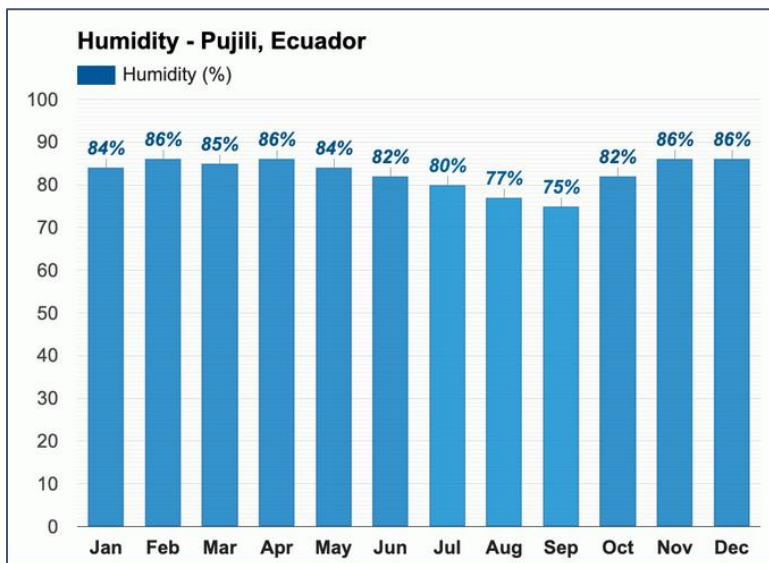


Figura 4-31. Análisis climático (Humedad) anual del barrio La Merced (Pujilí). (INAMHI, 2022)

Hecho el análisis en cuanto al estudio climático del sector, se puede generar un patrón de funcionamiento como base para el desarrollo del sistema, como se observa en la tabla 4-05.

Variable de funcionamiento	Valor Climático Promedio	Valor Climático Min	Valor Climático Max
Temperatura	13,5 °C	5 °C	22 °C
Humedad	82,75 %	40 %	90 %

Tabla 4-05. Valores referenciales en base al análisis del estado climático del sector. (INAMHI, 2022)

Con estos valores de funcionamiento se generan las políticas en base a la disminución de los efectos ambientales que se sufre el Barrio La Merced, si bien este diseño cuenta con la escalabilidad de análisis de varios sistemas contra los fenómenos ambientales, se generan las políticas para prevenir y disminuir el efecto que generan las heladas en el área de estudio.

Partiendo de eso se tiene que este fenómeno se produce cuando el aire tiene poco vapor de agua, humedad baja (humedad < setpoint) y la temperatura del punto de rocío es inferior a 0° C (temperatura < 0°) de modo que existe escasa condensación y mínima formación de hielo sobre la

planta genera una helada. Por ello como se observa en la tabla 4-06 se tiene los valores de control para precautelar e informar los eventos del estado climático. (ESPAC, 2019)

POLITICAS	EFEECTO AMBIENTAL	SIMBOLOGIA	TIPO DE ALERTA
Si $T < 0^{\circ}\text{C}$ y $H < 10\%$ (Setpoint)	HELADA		Máxima (Aspersores/Sirena (Max)/Notificación)
Si $T < 0^{\circ}\text{C}$ y $H < 5\%$ (Setpoint)	POSIBLE HELADA		Media (Sirena (Media)/Notificación)
Si $T < 0^{\circ}\text{C}$ y $H < 2\%$ (Setpoint)	PREVENCION HELADA		Baja (Notificación)
Si $T < 0^{\circ}\text{C}$ y $H > 5\%$ (Setpoint)	PRECAUCIÓN		Baja (Notificación)
Si $T < 5^{\circ}\text{C}$ y $H > 10\%$ (Setpoint)	POSIBLE LLUVIA		Baja (Notificación)
Si $T > 5^{\circ}\text{C}$ y $H > 10\%$ (Setpoint)	AMBIENTE HUMEDO		Media (Notificación)
Si $T > 15^{\circ}\text{C}$ y $H < 10\%$ (Setpoint)	AMBIENTE SECO		Media (Sirena (Media)/Notificación)

Tabla 4-06. Políticas de funcionamiento del sistema IoT diseñado.

Como se observa en la tabla 4-06, se tienen las políticas que se manejarán en cuanto a la prevención en contra de las Heladas, iniciando desde la alerta máxima hasta la alerta baja. Esos parámetros se los puede ingresar en el servidor web que se conecta directamente al Nodo Central y produce el cambio, así como la regulación de los setpoints en cuanto a la temperatura y humedad.

#### 4.6.6. Pruebas del funcionamiento de alertas y notificaciones del sistema diseñado

Para contemplar el arribo de alertas en el sistema se tiene los datos que son generados en el sistema para luego ser interpretados por las políticas y genera la alarma que corresponda en el proceso, como se puede apreciar en la figura 4-32 se tiene al arribo de alertas que anuncia el estado del sistema climático, como se tiene considerado el proyecto cuenta con la facilidad de configurar y construir mayores procesos que mejoren la prevención de los fenómenos ambientales, ya que este diseño abre una puerta para siguientes análisis climáticos.

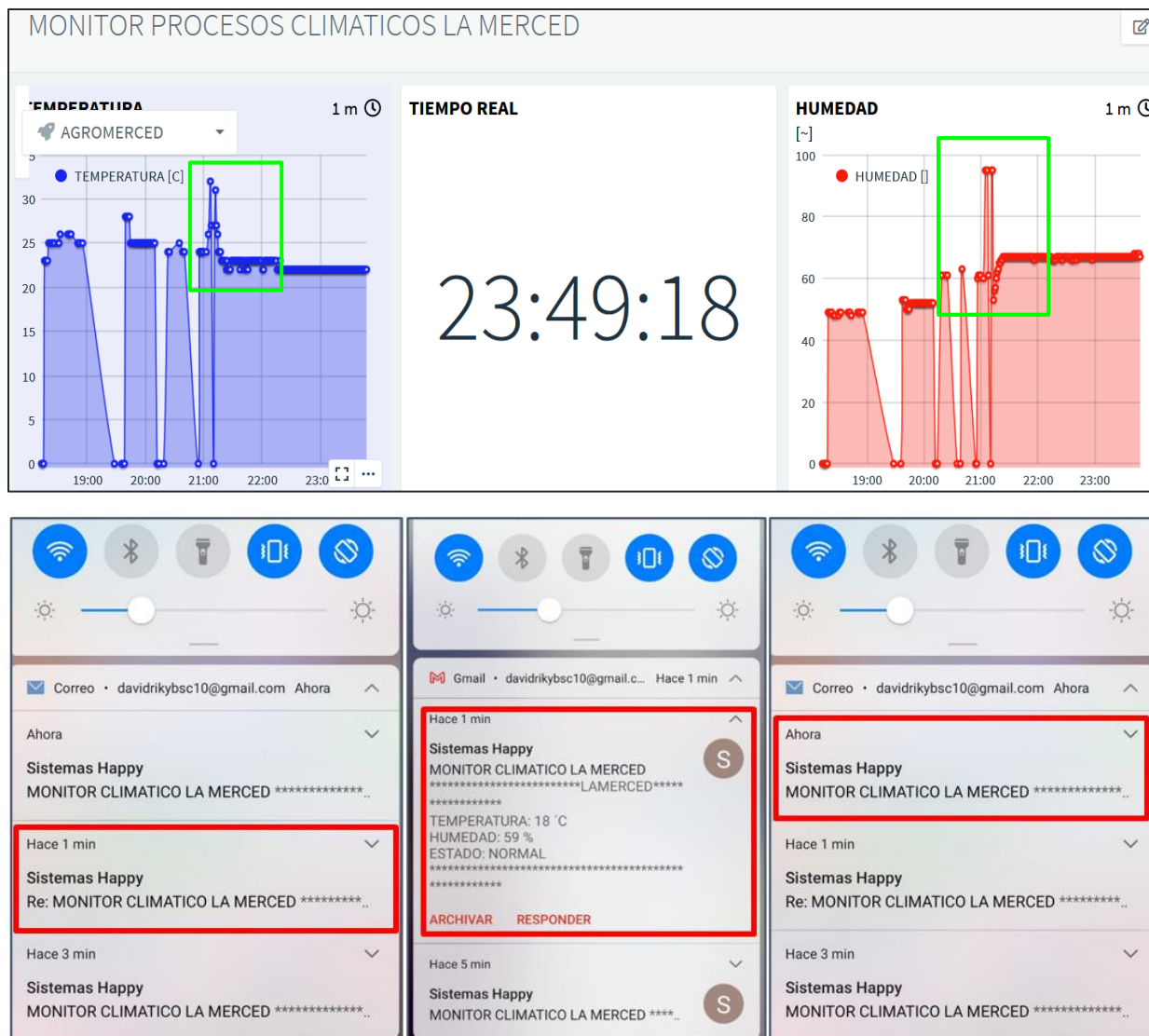


Figura 4-32. Envío y recepción de alertas Sistema de Monitoreo por correo.

#### 4.7 Análisis de resultados del proyecto diseñado

Luego de contextualizar, diseñar y analizar los elementos tanto en hardware como en software y generar las políticas de funcionamiento del sistema, se realiza un análisis crítico de los aspectos fundamentales que cuenta el proyecto para una futura implementación de acuerdo con las bases de diseño y respetando cambios para mejora.

En base a los objetivos que tratan sobre una red inalámbrica para prevenir efectos ambientales y con el diseño de una plataforma de control y monitoreo del sistema, como se muestra en la figura

4-33, se tienen visualizados los aspectos tratados en este proyecto partiendo de la red inalámbrica de tecnología LoRa, la cual genera una cobertura estable a lo largo del Barrio La Merced. Luego utilizando un servidor web en el Internet que interpretan los datos recibidos por los sensores climáticos, para luego gestionarlos y mediante las políticas generar una prevención con alertas sonoras y mediante la utilización de notificaciones web.

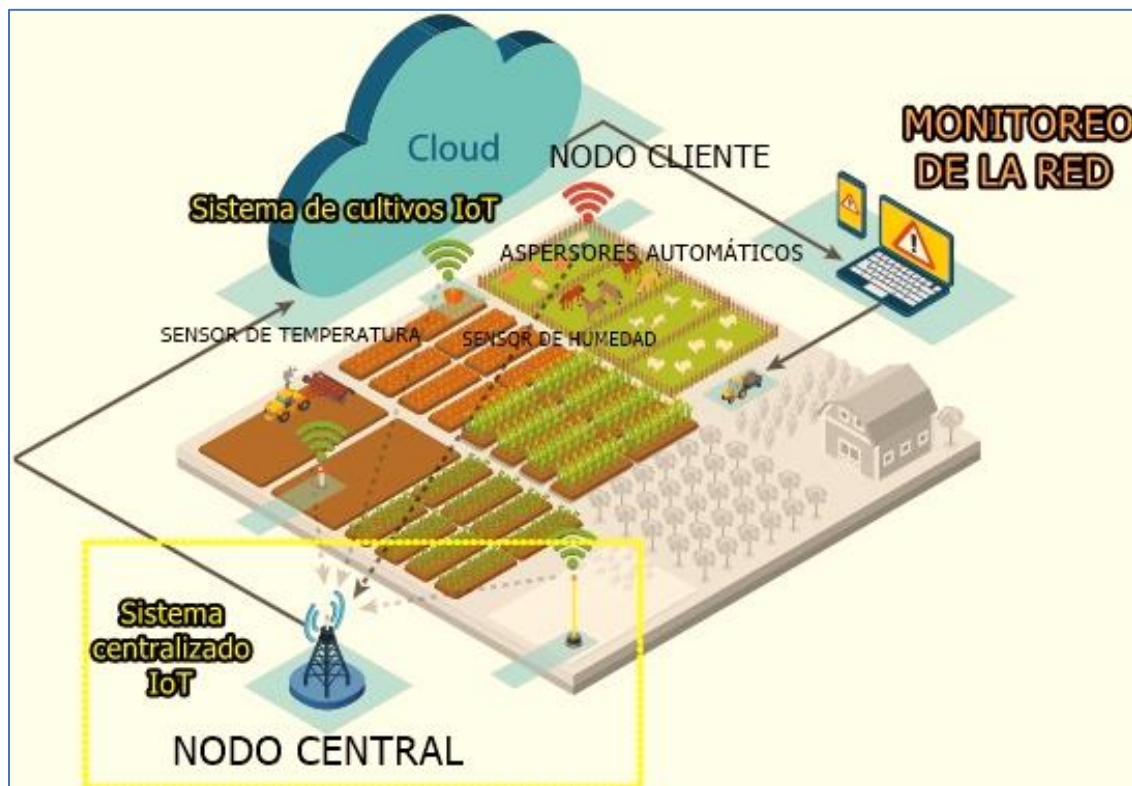


Figura 4-33. Diagrama Total de análisis del ecosistema IoT diseñado.

Todos estos aspectos analizados han sido oportunos para tener una visión clara del funcionamiento del sistema climático, en la siguiente figura 4-34 se muestra en resumen los procesos que tiene el proyecto en base a las características de diseño planteadas en el marco teórico.

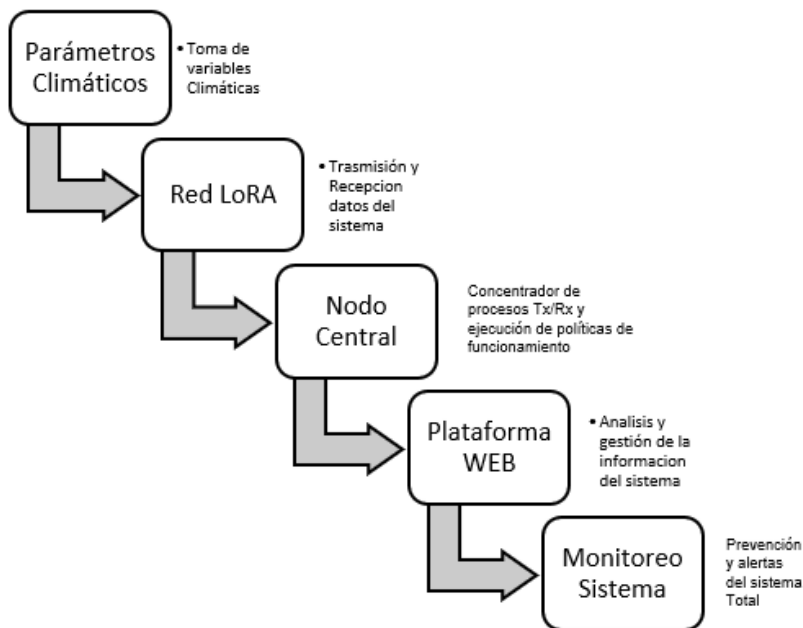


Figura 4-34. Contextualización de las etapas que tiene el ecosistema IoT diseñado.

Como se observa en la figura 4-34 se tienen los procesos que cumple el ecosistema IoT para llegar a conseguir los requerimientos de diseño, partiendo de la medición de las variables climatológicas con los sensores de temperatura y humedad que tiene el sensor DHT, luego mediante la red inalámbrica LoRa se genera la comunicación Cliente/Central, en donde se procesan los datos, se interconectan al sistema de monitoreo en el servidor web y se ejecutan las políticas de funcionamiento, estas políticas se realizan en base a el análisis de la información para luego tomar acciones de prevención y corrección (actuadores) que se muestra en el Dashboard del sistema y genera una alerta por notificación y sonora.

#### 4.8. Análisis costo beneficio

Ya establecidos todos los procesos que corresponden al diseño del sistema es importante realizar un análisis costo beneficio que ayude a obtener resultados enfocados a una pronta implementación buscando la mejor solución en cuanto a equipos, estructura y elementos tecnológicos en el mercado, como se observa en la tabla 4-07, se tienen los valores entorno al diseño realizado en este trabajo de titulación con un valor aproximado de 198 \$, si se lo compara con equipos ya existentes en el mercado con valores de 600 \$ y 1650 \$, existe un beneficio para la producción del sistema diseñado.

SISTEMA CLIMATICO IOT				SISTEMAS EXISTENTES EN EL MERCADO	
	Elementos	Cantidad	Valor		
NODO CLIENTE	Arduino Uno	1	15.00	Estación Meteorológica Conectividad Wifi/internet TecnoWeather TW1112. La estación meteorológica con conectividad WiFi le permite monitorear en tiempo real a través de Internet las condiciones meteorológicas.	Estación Meteorológica Vantage Pro2 Con Fan 6153 Pluviómetro. Vantage Pro2™ es el tope de gama de las estaciones meteorológicas de Davis Instruments.
	Sensor DHT21/DHT22	1	7.00		
	Dragino LoRa Shield	1	35.00		
	Caja Dexson IP55	1	6.00		
	Modulo Rele Relay 5v 2 Canales	1	4.00		
	Regulador 5v DC	1	4.00		
	Subtotal 1		71.00		
	NODO CENTRAL	Arduino Uno	1		
Sensor DHT21/DHT22		1	7.00		
Dragino LoRa Shield		1	35.00		
Nodemcu esp8266		1	7.00		
Sirena 30w Alarmas 2 Tonos		1	10.00		
Modulo Rele Relay 5v 2 Canales		1	4.00		
Rollo De Cable De Timbre 2x23 Awg 300 Metros		1	35.00		
Caja Dexson IP55		1	6.00		
Regulador 5v DC		2	8.00		
Subtotal 2			127.00		
		TOTAL		198.00 \$	600.00 \$

Tabla 4-07. Presupuesto económico del ecosistema IoT en comparación a sistemas en el mercado.

Partiendo de los valores analizados en la tabla 4-07, se puede comprender que la demanda de equipos clientes para cada familia, grupo o productor tiene un costo aproximado de 71 \$. Si se lo compara con un equipo que contenga las mismas características de funcionamiento, escalabilidad, cobertura y gestión se tiene en el mercado equipos con un valor de 600 \$.

En el área de diseño un productor puede llegar a adquirir un mayor número de dispositivos clientes, es decir por el número total que alcanza un Nodo Central se puede adquirir por la demanda un segundo Nodo central y aumentar la capacidad de diseño, es por eso que para el cálculo de costo beneficio que es la relación del valor actualizado de los beneficios (RB) sobre el valor actualizado de los costos (C), se pretende obtener cifras más reales de la implementación del sistema.

Donde el “RB” hace referencia al precio de los cultivos a proteger. Para este caso si se multiplica el territorio analizado que tiene un valor de 5.90 Km<sup>2</sup> correspondientes a 59300 hectáreas de terreno sabiendo que el 40 % es territorio es de utilidad agrícola y la inversión aproximada para producir una hectárea de cultivos en la zona de análisis es de 5000\$ anual, dicha por los productores del sector, se tiene un valor a cuidar con el sistema diseñado de 118.6 \$ millones de dólares. De igual manera “C” hace referencia al valor actualizado del costo que tiene el sistema, es decir el costo de la inversión inicial de 198 \$ por cada 2 km de cobertura, más los dispositivos clientes que si hacemos referencia un nodo cliente por cada hectárea de producción en el sitio de estudio que es de 23720 hectáreas se tiene un valor aproximado de 4.71 millones de dólares.

$$\frac{RB}{C} = \frac{\text{Valor de los Beneficios}}{\text{Valor de los costos}} \quad (4.1)$$

Si se realiza la relación costo beneficios visto en la formula con todos los valores mencionados se tiene lo siguiente:

$$\frac{RB}{C} = \frac{118.6}{4.71}$$

$$\frac{RB}{C} = 25.18$$

Con indican los resultados la relación costo-beneficio del proyecto tiene un valor significativo de 25.18, sabiendo que mientras el índice tenga un valor superior a la unidad ya se genera ganancia para el sistema. El análisis económico de VAN y TIR no se realiza en este diseño ya que el proyecto no genera una nueva fuente de ingresos para el tipo de negocio. Por ello y por los valores obtenidos a lo largo de la estructuración del diseño se puede definir que el sistema construido es el que más se adapta a las necesidades del sector agropecuario del Barrio La Merced de Pujilí.

## CAPÍTULO 5 Conclusiones y Recomendaciones

### 5.1 Conclusiones

- Existen antecedentes de años pasados sobre los efectos ambientales que se producen en el barrio La Merced, esto se debe principalmente a la gran cantidad de deforestación y al cambio climático que genera una inestabilidad productiva al encontrarse en una zona parcialmente seca produciendo que el sector tenga solo un índice del 38,26% de superficie apto para la producción agropecuaria. Esta problemática también se ve afectada por la falta de interés de la comunidad en generar un mejor desarrollo invirtiendo en nuevas formas de producción. Por estas razones se hace necesario la inserción de ecosistemas IoT con nuevas fuentes tecnológicas que ayuden a disminuir los efectos ambientales, mejorar la calidad del cultivo y al crecimiento económico del sector agropecuario del Barrio La Merced.
- Con el análisis tecnológico del diseño propuesto que hace referencia a los mecanismos actuales de monitoreo climático y con la investigación focalizada en el sector agropecuario, se concluye que el diseño del ecosistema IoT presenta los lineamientos acorde a las necesidades de producción del sector, ya que cuenta con una red global convergente que contiene múltiples aplicativos utilizando la tecnología LoRa, la cual por sus características de diseño y cobertura se adapta al sistema propuesto comparado con otros sistemas que no generan menores inversiones y poseen limitantes de configuración que en una red LoRa si se tiene activado para prevenir sequías, heladas y plagas que son los efectos ambientales que más se producen en el barrio La Merced.
- El ecosistema IoT para prevenir y disminuir efectos ambientales planteado se compone de una red inalámbrica LoRA, del análisis de datos y de un sistema de monitoreo en rangos de tiempo (Servidor Web). Para la red diseñada se utilizó un Nodo Central que recopila la información generada por el nodo cliente, el cual realiza la medición del estado climático donde se obtuvo una red centralizada y redundante para el traspaso de la información.
- Para prevenir y alertar el cambio climático se construyó una matriz que cuenta con las políticas de funcionamiento y producción. Mediante el aplicativo web utilizando Thinger.io se generaron las acciones a tomar dependiendo del nivel de incidencia en el ecosistema IoT. Por lo expuesto se concluye que el sistema garantiza el tomar acciones

notificadas a los agricultores, generar la prevención climática y la disminución de la problemática ambiental del sector en un porcentaje superior al 40% con el afán de introducir nuevas fuentes de gestión IoT.

- Para el funcionamiento del ecosistema IoT se realizaron pruebas de simulación, comunicación y cobertura de la red LoRA en el barrio La Merced, donde por características de propagación y gestión se estableció que el sistema funciona correctamente con un Nodo Central IoT que tiene una capacidad de recepción RSSI cliente/servidor de -146 dbm en los límites de análisis de los terrenos agrícolas y con un tiempo de respuesta de 25 segundos, con este análisis es adecuado utilizar la banda de 915 Mhz ya que genera mayor estabilidad al paso de la información en un rango de 980 bps a 21.9 Kbps, en este rango de RSSI se obtuvo niveles respuesta tanto en Tx como Rx estables para la generación de acciones en los Nodo Clientes (Cultivos IoT) con un porcentaje del 90% de fiabilidad del sistema, para luego alcanzar mediante el aplicativo Web un análisis climático acorde a las políticas establecidas teniendo en cuenta que se adaptan a cualquier modificación que se necesite configurar en la estructura de diseño y ser verificada mediante el monitoreo del sistema.
- Se concluye que el ecosistema IoT diseñado tiene como principal característica utilizar dispositivos y complementos que disminuyen los costos al mínimo con una inversión proyectada de \$ 198 para el sistema climático IoT central y un valor de \$ 71 por cada grupo, comunidad o productor agrícola que necesite una asistencia más focalizada, si se lo compara con otras tecnologías existentes en el mercado se obtiene un sistema más económico y mejor estructurado en propagación, diseño e infraestructura con la cualidad de compatibilidad a distintas aplicaciones, así como configurable a nuevos mecanismos de control climático, por ello y por el análisis costo beneficio que se generó con un valor significativo de 25.18 se estableció una rentabilidad del proyecto que garantiza una futura implementación en el Barrio La Merced, Pujilí.

## 5.2 Recomendaciones

- El sistema al encontrarse en un ambiente al aire libre tiende a sufrir perturbaciones, por ello se recomienda generar un plan de soporte y mantenimiento para la protección del sistema, este plan debe contemplar tanto la parte de hardware con los equipos en producción como la parte de software con las configuraciones (programación) y el servidor web.
- El proyecto tiene varios procesos que fortalecen la prevención de los efectos ambientales en el sector, por tal motivo se recomienda elaborar un manual de gestión de usuario que ayude a los administradores agricultores sobre el correcto uso del sistema, esta manual debe incluir configuración y estructura del Nodo Central IoT/Nodo Cliente, así como la gestión de procesos y políticas para el monitoreo en el servidor web.
- El sistema diseñado al contar con valores probabilísticos entorno al estado climático del Barrio La Merced tiene a sufrir cambios constantemente, por ello se recomienda que se realice un estudio trimestralmente de clima en la zona agropecuaria en análisis y así evitar cambios bruscos que afecte a los cultivos en general partiendo de las políticas de funcionamiento.
- Si bien el diseño planteado hace referencia al estudio de la temperatura y humedad del Barrio La Merced, se recomienda complementar con nuevos servicios para obtener un mejor control de la climatología, como puede ser el estudio de los suelos y abonos que mejoren la productividad de la zona agropecuaria.
- Al contar con un sistema IoT de largo alcance y con una gestión remota, se recomienda generar mayores habilidades con respecto al monitoreo de sistemas climáticos invirtiendo en maquinaria agrícola que pueda ser automatizada y obtener mayores beneficios para los agricultores del Barrio La Merced.
- Se recomienda realizar pruebas y simulacros cuando se tiene niveles altos de peligrosidad en cuanto a los cambios climáticos (Heladas) para tener una mejor organización entre los agricultores y poder combatir de mejor manera estos fenómenos ambientales.
- Se sugiere que se realicen más capacitaciones sobre ecosistemas IoT para la agricultura evaluando tecnologías y proveedores para un mejor costo/beneficio.
- Se sugiere que los minifundios, evalúen el uso de sistemas IoT en sus plantaciones para mejorar la eficiencia del uso de los regadíos y aspersión de fungicidas.

## BIBLIOGRAFIA

- Apple. (26 de Octubre de 2019). *Descripción general de la seguridad y la privacidad de Apple Pay*. Obtenido de Apple: <https://support.apple.com/es-es/HT203027>
- e-commerce-que-es*. (2015). Obtenido de way2ecommerce: <https://way2ecommerce.com/e-commerce-que-es>
- Educalingo. (Abril de 2020). *E-wallet*. Obtenido de Educalingo: <https://educalingo.com/es/dic-en/e-wallet>
- GAD, P. (27 de Abril de 2021). *GADMIC Pujilí*. Obtenido de GADMIC Pujilí: <https://www.municipiopujili.gob.ec/pujili/>
- Google Earth, G. (1 de Enero de 2022). *Google Earth*. Obtenido de Google Earth: <https://www.google.com/intl/es/earth/>
- Google presenta Android Pay, un reemplazo para su aplicación de billetera en dispositivos móviles*. (28 de Mayo de 2015). Obtenido de The Verge: <https://www.theverge.com/2015/5/28/8661867/google-introduces-android-pay-replace-wallet-app>
- Gutierrez, J. (Septiembre de 2006). *Que es un Framework*. Obtenido de Isi: [http://www.lsi.us.es/~javier/investigacion\\_ficheros/Framework.pdf](http://www.lsi.us.es/~javier/investigacion_ficheros/Framework.pdf)
- Hernandez, R. (2019). *PASARELAS DE PAGO PARA ECUADOR EN 2020*. Obtenido de ronaldcreate: <http://ronaldcreate.com/3-pasarelas-de-pago-para-ecuador-en-2019>
- Huidrobo, J. M. (2017). *Telecomunicaciones. Tecnologías, Redes y Servicios. 2ª edición actualizada*. Ra-Ma.
- Paypal, una historia de éxito*. (Abril de 2017). Obtenido de soltekonline: <http://news.soltekonline.com/a/paypal>
- Perez, A. (12 de Febrero de 2019). *Medios de pago: historia y evolución de todos los métodos*. Obtenido de Directivosyempresas.com: <https://www.directivosyempresas.com/empresas/reportajes/medios-de-pago-historia-y-evolucion/>
- Quelle, L. (Febrero de 2020). *Los métodos y pasarelas de pago más populares en el ecommerce*. Obtenido de ecommerce-news: <https://ecommerce-news.es/los-metodos-y-pasarelas-de-pago-mas-populares-en-el-ecommerce-114159>
- Rincón, E. (2018). *Manual de Buenas Prácticas de las Pasarelas de Pago en Colombia*. Obtenido de Observatorio eCommerce:

<https://www.observatorioecommerce.com.co/wp-content/uploads/2018/10/Manual-Buenas-Practicas-Pasarelas.pdf>

Solis, D., Roque, W., & Morilla, M. L. (2013). *PASARELA DE PAGOS PARA LA SEGURIDAD DE TRANSACCIONES BANCARIAS EN LINEA*. Obtenido de 3ciencias: <https://www.3ciencias.com/wp-content/uploads/2013/08/pasarela-de-pagos.pdf>

*Super Intendencia de Bancos*. (8 de Abril de 2020). Obtenido de Super Intendencia de Bancos: <https://www.superbancos.gob.ec/bancos/glosario-de-terminos/>

Thingier.io. (2021). *thingier.io*. Obtenido de thingier.io: <https://thingier.io/>

TPVVIRTUAL. (Junio de 2019). *¿Qué es una pasarela de pagos? ¿Cómo funciona?* Obtenido de TPVVIRTUAL: <https://www.tpvvirtual.net/es/blog/pagos-digitales/que-es-pasarela-pagos-como-funciona>

Xataka. (17 de Abril de 2017). *Amazon Pay llega a España: esto es todo lo que tienes que saber sobre él*. Obtenido de Xataka: <https://www.xataka.com/servicios/amazon-pay-llega-a-espana-esto-es-todo-lo-que-tienes-que-saber-sobre-el-sistema-de-pago-online>

Xataka. (19 de Junio de 2019). *Google Pay: qué es, cómo configurarlo y bancos compatibles*. Obtenido de Xataka: <https://www.xataka.com/basics/google-pay-que-como-configurarlo-bancos-compatibles-similar>