

**EVALUACIÓN Y ELECCIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE COMUNICACIÓN MÁS
ADECUADA PARA UNA RED DE SENSORES EN UN PROTOTIPO DE SISTEMA DE
RIEGO EN CULTIVOS DE FLORES TIPO INVERNADERO DE ASOFLORICA
MUNICIPIO DE PIENDAMÓ CAUCA**



NOMBRE:

HECTOR MAURICIO BOLAÑOS MUÑOZ

LUIS ALBERTO RIOS VICTORIA

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA DE POPAYÁN

INGENIERÍA DE SISTEMAS

DEPARTAMENTO DE SISTEMAS

POPAYÁN CAUCA COLOMBIA

2019

**EVALUACIÓN Y ELECCIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE COMUNICACIÓN MÁS
ADECUADA PARA UNA RED DE SENSORES EN UN PROTOTIPO DE SISTEMA DE
RIEGO EN CULTIVOS DE FLORES TIPO INVERNADERO DE ASOFLORICA
MUNICIPIO DE PIENDAMÓ CAUCA**



NOMBRE:

HECTOR MAURICIO BOLAÑOS MUÑOZ

LUIS ALBERTO RIOS VICTORIA

DIRECTOR:

JORGE AGUIRRE

COORDIRECTOR:

CRISTIAN CAMILO ORDOÑEZ

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA DE POPAYÁN

INGENIERÍA DE SISTEMAS

DEPARTAMENTO DE SISTEMAS

POPAYÁN CAUCA COLOMBIA

2019

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	7
1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	9
1.1. Descripción del problema.....	9
1.2. Formulación del problema.....	10
2. OBJETIVOS	11
2.1. Objetivo General	11
2.2. Objetivos Específicos.....	11
3. JUSTIFICACIÓN.....	11
4. METODOLOGÍA.....	12
4.1. Fase I (Revisión Sistemática Bibliografía y Elección de Tecnologías):	15
4.2. Fase II (Desarrollo de Prototipos):.....	15
4.3. Fase III (Comparación de Tecnologías):.....	16
5. Revisión o mapeo sistemático del estado del arte.....	17
5.1 Preguntas:.....	17
5.2 Selección de fuentes:.....	18
6. Marco conceptual y elección de las tecnologías a utilizar para el desarrollo de los prototipos.....	26
6.1 Contextualización (Población objeto):	26
6.2 Sistema de riego:	27
6.3 Riego por goteo:	28
6.4 IoT (Internet de las Cosas):.....	29
6.5 Comunicación de IoT:	29
6.6 Modelo de comunicación dispositivo a dispositivo:	30
6.7 Comunicación dispositiva a la nube:	31
6.8 Modelo de dispositivo a puerta de enlace:	32
6.9 Modelo de intercambio de datos a través del back-end:	32
6.10 ZigBee:	33
6.10.1 Características de ZigBee:.....	34
6.10.2 Ventajas:.....	34
6.10.3 Desventajas:	35
6.10.4 Arquitectura:	35
6.11 Lora:.....	36

6.11.1	LoRaWAN:.....	36
6.12	SigFox:.....	39
6.14	Sensores:	47
6.15	Arduino:.....	47
7.	Técnica bricks:	54
7.1.	Creación del Modelo Visual.....	54
7.1.1.	Modelo Visual ZigBee.....	54
7.1.2.	Modelo Visual SigFox.....	57
7.2.	Aplicación de reglas.....	59
7.3.	Deployment y/o simulación del proyecto	60
7.4.	Visualización de los datos:.....	75
8.	Comparación de las Tecnologías SigFox y ZigBee:.....	83
8.1.	Análisis de costos:	83
8.2.	Análisis de Consumo Energético por Miliamperios hora:	85
8.3.	Análisis por Cobertura y escalabilidad:	87
8.4.	Análisis de calidad:	88
9.	Conclusiones:.....	90
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	92

TABLA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 (Proceso de investigación) [03].	14
Ilustración 2 (Modelo Bricks)[05]	16
Ilustración 3 (Fuente: Rafael Fernández Gómez et al.)	29
Ilustración 4 (Categorización de tecnologías de comunicación) [08].	30
Ilustración 5 (Comunicación dispositivo a dispositivo) [07]	31
Ilustración 6 (Comunicación dispositivo a la nueva) [07]	31
Ilustración 7 (Modelo dispositivo a puerta de enlace) [07]	32
Ilustración 8 (Modelo de intercambio de datos a través del back-end) [07]	33
Ilustración 9 (Arquitectura de comunicación)[10]	36
Ilustración 10 (Arquitectura Lora WAM) [11].	37
Ilustración 11 (Características LoraWAN).	38
Ilustración 12 (Arquitectura de red Sigfox) [13]	40
Ilustración 13 (Esquema de Seguridad Sigfox) [14]	41
Ilustración 14 (Mapa cobertura SigFox) [15]	42
Ilustración 15 (Comparación Tecnologías Sigfox-LoRa-NB IoT) [16]	43
Ilustración 16 (Comparación Costos Tecnologías Sigfox-LoRa- NB IoT) [16]	44

Ilustración 17 (Proporción de comparación Tecnologías Sigfox-LoRa-NB IoT) [16].....	44
Ilustración 18 (Diagrama de conexión alimentación pin de datos) [17]	49
Ilustración 19 (Diagrama de conexión alimentación fuente externa)[17]	49
Ilustración 20 (Diagrama sensor YL-69)[18]	50
Ilustración 21 (Arduino NANO)[19]	51
Ilustración 22 (Arduino ESP32-S)[20]	51
Ilustración 23 (Arduino Soul One)[21].....	52
Ilustración 24 (Xbee Pro-S2C)[22]	53
Ilustración 25 (Modelo visual nodo final Zigbee)	55
Ilustración 26 (Modelo visual Controlador ZigBee).....	56
Ilustración 27(modelo visual de conexión ZigBee).....	57
Ilustración 28 (Modelo Visual Sigfox Soul One)	58
Ilustración 35 (Configuración Coordinador Zigbee)	61
Ilustración 36 (Configuración Router Zigbee).....	62
Ilustración 37 (Modo de transmisión Router, Coordinador).....	62
Ilustración 38 (Transmisión de los datos Arduino Nano)	63
Ilustración 39 (Segmentación de datos Arduino ESP32S)	64
Ilustración 40 (Conexión Cayenne).....	65
Ilustración 41 (Conexión Cayenne Recolección de datos)	65
Ilustración 42 (Nodo Router ZigBee Conexiones)	66
Ilustración 43 (Nodo Reuter ZigBee Terminado).....	66
Ilustración 44 (Nodo Coordinador ZigBee Conexión).....	67
Ilustración 45 (Nodo Coordinador ZigBee Terminado)	67
Ilustración 46 (Configuración Backend Soul One)	68
Ilustración 47 (Validación Backend)	69
Ilustración 48 (Obtención ID y PAC)	69
Ilustración 49 (Validación Conexión Backend)	69
Ilustración 50 (Código de Conexión SigFox)	70
Ilustración 51 (Dispositivo SigFox Conexión).....	71
Ilustración 52 (Dispositivo SigFox Terminado)	71
Ilustración 29 (Aplicación de reglas Arduino ESP32).....	72
Ilustración 30 (Aplicación de reglas Cayenne Humedad).....	72
Ilustración 31 ((Aplicación de reglas Cayenne Temperatura superior a 35°C))	73
Ilustración 32 (Aplicación de reglas Cayenne Temperatura inferior a 13°C)	73
Ilustración 33 (Aplicación de reglas Ubidots Temperatura)	74
Ilustración 34 (Aplicación de reglas Ubidots Humedad)	75
Ilustración 53 (DashBoard Cayenne).....	76
Ilustración 54 (Backend SigFox).....	77
Ilustración 55 (Configuración Callback).....	77
Ilustración 56 (DashBoard Ubidots)	78
Ilustración 57 (Notificaciones Celular)	78
Ilustración 58 (Modelo Invernadero)	79
Ilustración 59 (Sensor humedad YL-62 corroído).....	83
Ilustración 60 (Datos errados).....	89

TABLA DE GRAFICAS

Gráfica 1 (Websites-Tecnologías más Utilizadas).....	20
Gráfica 2 (Años-Tecnologías más Utilizadas).....	20
Gráfica 3 (Tecnologías más Utilizadas).....	21
Gráfica 4 (Websites -Tendencias a Futuro).....	23
Gráfica 5 (Años-Tendencias a Futuro).....	24
Gráfica 6 (Tecnologías-Tendencias a Futuro).....	25
Gráfica 7 (Temperatura Ubidots).....	80
Gráfica 8 (Humedad Ubidots).....	81
Gráfica 9 (Temperatura Cayenne).....	81
Gráfica 10 (Humedad Cayenne).....	82
Gráfica 11 (Costos Tecnologías).....	84
Gráfica 12 (Consumo Energético).....	86
Gráfica 13 (Dataset Sigfox).....	88
Gráfica 14 (Dataset ZigBee).....	88

CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 1 (Búsqueda 1-Resultados por Website).....	18
Tabla 2 (Búsqueda 2- Filtros por Titulo).....	19
Tabla 3 (Búsqueda 3- Análisis Artículos).....	19
Tabla 4 (Búsqueda 1-Tendencias a Futuro).....	21
Tabla 5 (Búsqueda 2-Tendencias a Futuro).....	22
Tabla 6 (Búsqueda 3-Tendencias a Futuro).....	22
Tabla 7 (Búsqueda 4-Tendencias a Futuro).....	23
Tabla 8 (Comparación de Costos LoRa - Sigfox contexto actual).....	44
Tabla 9(Costos de implementación ZigBee).....	53
Tabla 10 (Costos de implementación Sigfox).....	54
Tabla 11 (Costo Total Prototipo ZigBee).....	84
Tabla 12 (Costo Total Prototipo SigFox).....	84
Tabla 13 (Consumo Energético).....	85
Tabla 14 (Cobertura).....	87
Tabla 15 (Topología).....	87

RESUMEN

Los principales productos de exportación en Colombia son el café y las flores, las condiciones climáticas y de luminosidad hacen que el país cumplan con las características para suplir las exigencias de la producción de flores en el mercado internacional, por ende se deben adoptar procesos y tecnologías que tecnifiquen la producción, para ello en algunos casos se adopta el uso de sistemas de riego automatizados basados en tecnología Internet of Things (IoT) para cambiar los sistemas de riego artesanales, con los que puedan tener mejores resultados en la producción del producto. Teniendo en cuenta lo anterior, el objetivo principal de este estudio fue evaluar las tecnologías más utilizadas en las redes de sensores IoT para proponer una posible solución a través de un prototipo que se adapten al sistema de riego tradicional, teniendo en cuenta la mejor estructura de red que permita la transmisión de datos sin pérdida de información y que garantice el funcionamiento del cultivo, para ello se utilizó un tipo de estudio cuantitativo, en donde se realizó una revisión sistemática de la literatura para escoger la muestra de las tecnologías de redes de sensores IoT, las cuales fueron SigFox(tendencia a futuro) y ZigBee(la más utilizada), posteriormente se desarrollaron dos prototipos de sistemas de riego para realizar la comparación de las tecnologías mencionadas y definir la posible solución del sistema de riego artesanal. Con ello se obtuvo que, en lo referente a cobertura, costos, escalabilidad y número de datos recolectados fue la tecnología ZigBee, sin embargo, la calidad de los datos son mejores en SigFox. Por ende se concluye que la tecnología que mejor se adapta a la posible solución es ZigBee.

INTRODUCCIÓN

El sector agropecuario a nivel mundial se ha convertido en uno de los principales ejes económicos para diversos países adoptando el concepto de industria, por ende, la posición geográfica hace de Colombia un país privilegiado por sus recursos naturales y sus diversos ecosistemas que le dan un gran potencial en este sector, según las estadísticas del DANE [01], los principales productos de exportación relacionados con el agro son el café y las flores. Las condiciones climáticas y la luminosidad hacen parte de las principales características que deben tener los países para suplir las exigencias de la producción de flores en el mercado internacional, por lo que se hace indispensable la adopción de procesos productivos que cumplan con los estándares de calidad y la adopción de tecnologías que tecnifiquen la producción.

En este trabajo se abordó una de las tecnologías adaptadas para este sector agrícola, que en el proceso de producción de flores hace uso de sistemas de riego automatizados basados en tecnología Internet of Things (IoT), lo que hace posible esta tecnología son las innumerables redes de sensores que permiten la comunicación y transmisión de datos recolectados del ambiente y digitalizados a través de estos, donde se centró en comparar dos de estas tecnologías de redes de sensores, tomando variable del entorno físico como humedad y temperatura en un cultivo de flores en un ambiente controlado tipo invernadero ubicado en el corregimiento de Tunia, en el municipio de Piendamó, departamento del Cauca, donde actualmente cuentan con un sistema de riego artesanal.

En primera medida se hizo una revisión sistemática de las tecnologías más utilizadas y con mayor tendencia para la transmisión de información en redes de sensores IoT, posteriormente se escogieron dos de estas, con el fin de comparar resultados y evaluar cuál de estas tecnologías es la más apta para dar solución a la automatización de este sistema tradicional utilizado en la producción de flores de Tunia.

Para las pruebas y comparaciones se diseñó un prototipo basado en software y hardware libre, utilizando arduino, sensores y las dos tecnologías que surgieron de la investigación, por último, de acuerdo a los resultados se determinó la tecnología más apta para este tipo de sistemas.

I. CAPÍTULO 1 - PROPUESTA

En este capítulo se abordará todos los aspectos de la propuesta, en cuanto al planteamiento del problema, los objetivos, la justificación y la metodología a utilizar.

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Dentro de los sistemas de riego automatizados, se hace necesario una comparación entre las tecnologías de redes de sensores que permita definir cuál es la más conveniente para un sistema de riego en un cultivo de flores del municipio de Piendamó Cauca, Colombia

1.1. Descripción del problema

Los sistemas de riego son definidos[02] como un conjunto de estructuras que permiten la aplicación de agua en una respectiva área cultivada, estos sistemas pueden ser mecánicos (tradicionales) o automatizados, este último utiliza tecnologías de redes de sensores que permiten la transmisión de los datos recolectados, estas redes son basadas en IoT las cuales permiten la conexión de los objetos a internet que pueden ser operados por otras máquinas o por el hombre, en las redes de sensores existen diferentes tecnologías entre las que se encuentran LoRaWAN, SigFox, ZigBee, etc, las cuales permiten la interconexión de los sensores, estos tienen diferentes utilidades, sobre todo en el sector agrícola permitiendo la automatización de procesos de producción, en el caso de los cultivos de flores se dice que las condiciones climáticas y la luminosidad hacen parte de las principales características que deben tener los países para suplir las exigencias de la producción en el mercado internacional, por ende es indispensable la adopción de procesos productivos que cumplan con los estándares de calidad y la adopción de tecnologías que optimicen la producción.

Colombia es un país privilegiado por sus recursos naturales y sus diversos ecosistemas que le dan un gran potencial en el sector agropecuario, teniendo en cuenta que las flores son uno de sus principales productos de exportación; sin embargo, la producción de flores cuenta con muchas limitantes en el proceso,

debido a que la mayoría de cultivos son artesanales donde se utilizan métodos empíricos, con bajo conocimiento técnico y tecnológico. Por ejemplo, en el pacífico colombiano que incluye el departamento del Cauca, en las zonas con mayor tasa de pobreza y baja tasa de educación, la producción de flores es menor en comparación con el resto del país, como lo confirman algunas estadísticas que indican que los mayores productores de flores del país son los departamentos de Cundinamarca con 75%, seguido de Antioquia con 19% y Valle del Cauca con el 5%. No obstante, este último cuenta con las condiciones climáticas adecuadas para la producción, un ejemplo es el municipio de Piendamó, perteneciente a este departamento, con una población en su mayoría campesina, productora principalmente de café y flores, en donde existe una asociación de floricultores con razón social SOFLORICA, que actualmente cuenta con un sistema de riego artesanal, dado el crecimiento a la demanda de este producto ellos deben adoptar procesos que mejoren la producción con las tecnologías más aptas, se hace necesario automatizar este sistema de riego tradicional con una red de sensores, que garantice la correcta transmisión de los datos dado que de este dependerá el funcionamiento del sistema, es pertinente mencionar que existen muchas tecnologías de redes de sensores aplicadas al uso de IoT que generan soluciones de automatización a procesos.

1.2. Formulación del problema.

¿Cuál es la tecnología más apta en las redes de sensores IoT para dar una posible solución a través de un prototipo de sistemas de riego ubicado en el corregimiento de Tunia del municipio de Piendamó?

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

Evaluar las tecnologías más utilizadas en las redes de sensores IoT para proponer una posible solución a través de un prototipo que se adapten al sistema de riego tradicional, teniendo en cuenta la mejor estructura de red que permita la transmisión de datos sin pérdida de información y que garantice el funcionamiento del cultivo.

2.2. Objetivos Específicos.

- Realizar una revisión sistemática de las tecnologías más utilizadas y con más tendencia a futuro que se hallan aplicada a los sistemas de riego actuales y definir las tecnologías para el desarrollo del prototipo que dará una posible solución a la automatización del sistema de riego tradicional en el municipio de Piendamó.
- Desarrollar un prototipo de sistema de riego automatizado para evaluar las dos tecnologías seleccionadas de la revisión sistemática.
- Definir a partir de los resultados y datos recolectados cual sería la tecnología que mejor se adapta al contexto y pueda dar una posible solución a la automatización del sistema de riego tradicional en el municipio de Piendamó.

3. JUSTIFICACIÓN

La tendencia de utilización de tecnología IoT en el último siglo da una perspectiva mundial completamente distinta a la automatización de procesos, el gran crecimiento de dispositivos conectados a internet abre las puertas a la llamada industria 4.0 o cuarta revolución industrial, el espectro de este campo abarca todos los sectores de producción incluyendo el sector agrícola, generando la necesidad de la automatización de la producción.

Lo que hace posible estas tecnologías son las redes de sensores que permiten la recolección de datos del ambiente que posteriormente son digitalizados y almacenados para el análisis y procesamiento de los mismos, existen innumerables tecnologías que permiten la comunicación y interacción de los dispositivos con los seres humanos o entre ellos.

Colombia por su parte tiene un gran potencial en el sector agrícola, como se mencionó anteriormente los principales productos de exportación y producción son el café y las flores, a este último está orientado esta investigación, la brecha que existe en la producción de flores y la tecnología es muy grande dado que la gran mayoría de productores aplican técnicas empíricas y tradicionales como se puede evidenciar en la aplicación de agua y medición de suelo.

Este trabajo está orientado a la elección de la mejor tecnología de redes de sensores para la transmisión de datos en un prototipo de sistema de riego automatizado, para la mejora de un sistema de riego tradicional ubicado en el municipio de Piendamó, utilizado para el abastecimiento de agua necesaria en el cultivo de flores tipo exportación, en un ambiente controlado (invernadero), como es de conocimiento la adopción de tecnologías para la mejora de producción permite un mayor crecimiento en el campo donde se aplique, lo que se pretende es dar una posible solución, evaluando las diferentes tecnologías utilizadas en las redes de sensores para soluciones en este campo, la gran mayoría de soluciones dadas para este tipo de sistemas utilizan diferentes tecnologías de recolección de datos en IoT, pero no existe una base de evaluación que permita definir cuál de estas daría una mejor solución al problema.

4. METODOLOGÍA.

Este proyecto se desarrolló bajo la metodología cuantitativa, que cuenta con las etapas del método científico, que consta de:

- **Idea:** Elección de la tecnología que mejor se adapte a una posible automatización de un sistema de riego artesanal, como se mencionó anteriormente.
- **Problema:** Dentro de los sistemas de riego automatizados, se hace necesario una comparación entre las tecnologías de redes de sensores que permita definir cuál es la más conveniente para un sistema de riego en un cultivo de flores del municipio de Piendamó Cauca, Colombia, como se mencionó anterior mente en el planteamiento del problema.
- **Revisión de la literatura:** Se planteo una revisión sistemática que nos permitió elegir dos tecnologías de comunicación en las redes de sensores IoT, de la literatura como se mencionara a continuación.
- **Alcance:** Se desarrollaron dos prototipos que fueron la base para la comparación de las tecnologías que surgieron de la investigación.
- **Hipótesis:** Se planteó que la tecnología que nos podría dar mejores resultados seria la que surgiera de las tecnologías con más tendencia a futuro, puesto que estas tecnologías son las que tienen más probabilidades de consolidar lo que se conoce como IoT.
- **Diseño de investigación:** Para el diseño de la investigación se definió desarrollarla en 3 fases (revisión sistemática, desarrollo de prototipos y comparación de tecnologías), de igual manera se decidido hacer las pruebas en prototipos que nos permitieran medir y comparar las variables planteadas en la fase 3, para las pruebas se determina hacerlas en el invernadero de flores, esto último se mencionó en el planteamiento del problema.

- **Selección de la muestra:** la selección de la muestra surge de la revisión sistemática donde se eligen las dos tecnologías de redes de sensores en IoT, para su posterior análisis y comparación.
- **Recolección y análisis de datos:** Para la recolección de los datos y su posterior análisis se determina utilizar plataformas tecnológicas que ofrezcan la opción gratuita de almacenar y analizar gráficamente los datos, esto se mencionara en la fase 3.

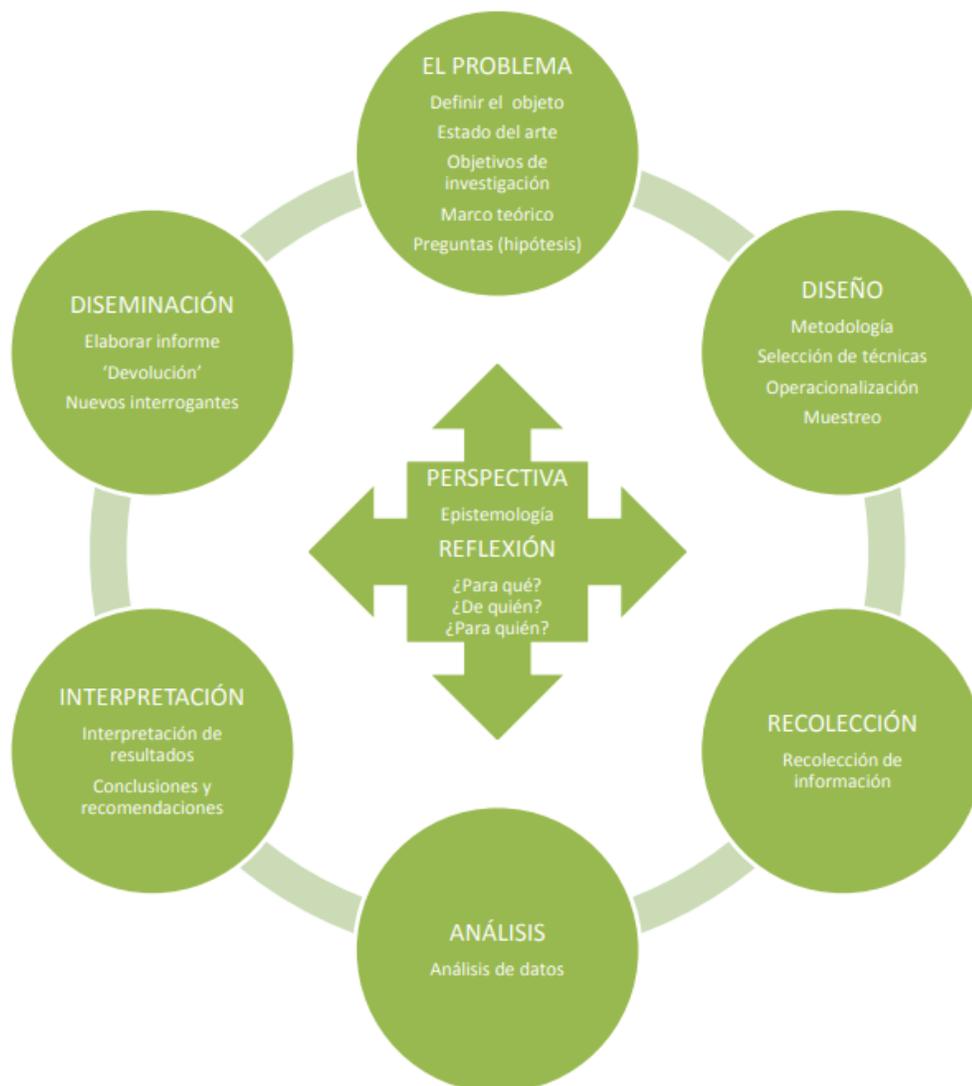


Ilustración 1 (Proceso de investigación) [03].

Este proyecto se realizó en tres fases correspondientes a los objetivos secundarios planteados:

4.1. Fase I (Revisión Sistemática Bibliografía y Elección de Tecnologías):

Se realizó una revisión sistemática sobre las tecnologías utilizadas para las redes de sensores IoT en el estado del arte, nos centraremos en las tecnologías más utilizadas en sistemas de riego actuales y con más tendencia a futuro en el uso de IoT, lo que permitió elegir dos tecnologías que fueron comparadas y evaluadas. La revisión sistemática tiene cuatro partes fundamentales [04]:

- Permite planificar cuidadosamente y anticipar posibles problemas.
- documentar explícitamente la planificación antes de comenzar la revisión, permitiendo a otros comparar el protocolo y revisión completa.
- Impide la toma arbitraria de decisiones con respecto a criterios de inclusión y la extracción de datos.
- Reducir la duplicación de esfuerzos y mejorar la colaboración.

4.2. Fase II (Desarrollo de Prototipos):

Se desarrolló el prototipo de sistema de riego automatizado basado en las dos tecnologías de redes de sensores que surgieron en la fase I, para el desarrollo del prototipo se hizo uso de hardware y software libre, como arduino, sensores y sistemas embebidos, se hizo uso de la técnica Bricks [05], la cual está compuesta por cuatro etapas.

- Creación del Modelo Visual.
- Aplicación de reglas
- Deployment y/o simulación del proyecto

- Visualización de Datos

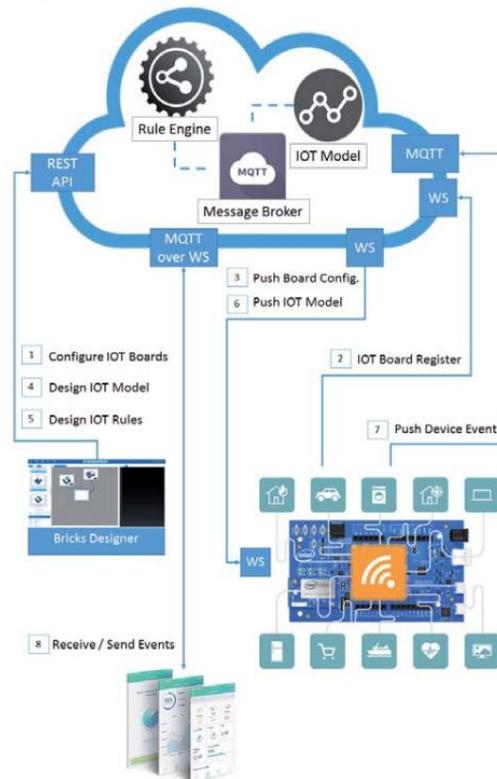


Ilustración 2 (Modelo Bricks)[05]

4.3. Fase III (Comparación de Tecnologías):

En esta fase se compararon los resultados de las dos tecnologías de redes de sensores utilizadas en el prototipo de sistema de riego automatizado. Para la evaluación de esta fase se tomarán las variables recolectadas de los sensores de humedad y temperatura, donde se evaluó el tiempo de recolección de datos, las diferencias en los valores recolectados, el consumo de energético, el costo por tecnología, la cantidad de datos recolectados y cobertura.

Para el análisis se utilizó estadística descriptiva, que se dedica a los métodos de organización, descripción y visualización de los datos recolectados de las variables propuestas y estadística inferencial, que permite sacar conclusiones sobre la población a partir de los datos de una muestra.

II. CAPÍTULO 2 – ELECCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS.

En este capítulo se abordará el marco conceptual dando una perspectiva general de las tecnologías a utilizar y el desarrollo de la fase I propuesta en la metodología. Primero se hablará de la revisión sistemática del estado del arte, como se realizó, los criterios de búsqueda y los resultados de los artículos, posteriormente se especificará todos los conceptos de las tecnologías utilizadas en el prototipo de sistema de riego.

5. Revisión o mapeo sistemático del estado del arte.

El mapeo sistemático está diseñado para dar una visión general de un área de investigación a través de la clasificación de la literatura con criterios de búsqueda dependiendo de las necesidades de la investigación, con el fin de saber los temas tratados [04].

Para dar comienzo a la revisión o mapeo sistemático se determinó proponer cuatro preguntas de investigación que permitieron establecer los criterios de selección de las tecnologías a utilizar en el desarrollo de los prototipos.

5.1 Preguntas:

R1: ¿En qué bases de datos científicas (websites) y en que eventos científicos se publican artículos sobre redes de sensores IoT para la automatización de sistemas de riego?

R2: ¿Cuáles son las tecnologías más utilizadas en las redes de sensores para la agricultura o en sistemas de riego?

R3: ¿Cuáles tecnologías son las que tienen más tendencias a futuro en las redes de sensores IoT?

R4: ¿Qué tecnologías son las adecuadas de acuerdo a los resultados para los prototipos de sistema de riego?

5.2 Selección de fuentes:

Las bases de datos académicas utilizan cadenas de búsqueda y criterios de inclusión o exclusión, donde se pueden utilizar operadores OR y AND, en primer lugar se decidió empezar la revisión de las tecnologías más utilizadas en soluciones para la automatización de sistemas de riego, para esta búsqueda se estableció la cadena “sensor and network and technologies and irrigation and systems”, para un mayor rango de resultados se determinó hacer la búsqueda con palabras en inglés, dado que la mayoría de los artículos científicos son publicados en este idioma, la ejecución de esta cadena se hizo en los websites con más relevancia en cuanto a publicaciones de carácter científico como lo son IEE, Science Direct y Springer dando como resultado las publicaciones relacionadas en la tabla 1.

Tabla 1 (Búsqueda 1-Resultados por Website)

1° Búsqueda	
Cadena: (sensor and network and technologies and irrigation and systems)	
Websites	N° Publicaciones Encontradas
IEEE	131
Springer	657
Science Direct	780
Total	1568

De acuerdo a los resultados de la búsqueda, los websites con más artículos publicados fue Science Direct con 780 publicaciones, seguido de Springer con 657 y por último IEEE con 131 publicaciones, para la inclusión de las publicaciones encontradas se determinó hacer un filtro de años de publicación, desde el año 2015 al 2019 seguido a este se analizó los títulos de los artículos con el fin de reducir los rangos de resultados obteniendo las publicaciones

relacionadas en la tabla 1, dando como resultado las publicaciones relacionadas en la tabla 2.

Tabla 2 (Búsqueda 2- Filtros por Titulo)

2° Búsqueda	
Filtro por titulo	
Websites	N° Publicaciones Encontradas
IEEE	80
Science Direct	40
Springer	20
Total	140

Con este filtro se logró reducir radicalmente los resultados en un 91% con relación a la búsqueda 1° relacionada en la tabla1, los websites con más resultados relacionados fueron IEEE con 80 artículos seguido de Science Direct con 40 publicaciones y por ultimo Springer con 20, de lo anterior se puede inferir que la cadena de búsqueda propuesta inicialmente genero mejores resultados en las bases de IEEE dado que se obtuvieron 131 artículos en el primer filtro y con el segundo 80 mientras que con las otras bases los resultados fueron demasiados y los artículos con la segunda búsqueda fueron pocos, lo cual nos lleva a deducir que la cadena no genero un buen filtro de búsqueda en las bases de Science Direct y Springer.

Tabla 3 (Búsqueda 3- Análisis Artículos)

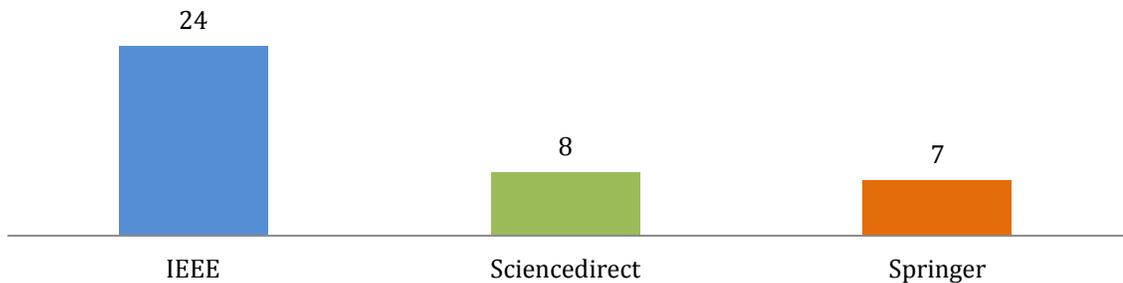
3° Búsqueda	
Análisis Artículos	
Websites	N° Publicaciones Encontradas
IEEE	24
Science Direct	8
Springer	7
Total	39

Finalmente se aplicó el ultimo filtro, en el cual se decidió hacer un análisis más detallado al contenido de los artículos generados del segundo filtro, dando como resultado final un total de 39 artículos que aplicaban diferentes tecnologías de transmisión y comunicación de datos, en el análisis se determinó identificar que

tecnología aplicaron para dar solución a la automatización del proceso, como se muestra en la tabla 3 (Análisis de artículos)

Gráfica 1 (Websites-Tecnologías más Utilizadas)

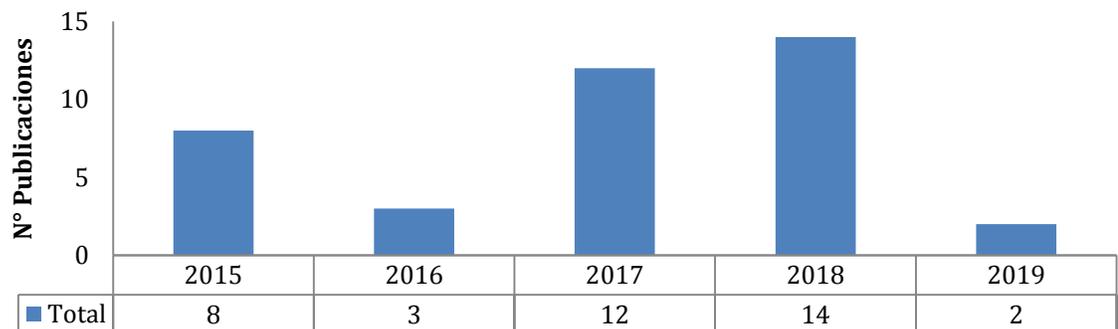
Webistes Publicación de Tecnologías más Utilizadas



Como se muestra en la gráfica 1 (Websites Publicación) el website con más resultados obtenidos al final de todos los filtros aplicados fue IEEE, teniendo como resultado 24 artículos relacionados con la utilización de tecnologías de comunicación en redes de sensores aplicadas al sector agrícola y sistemas de riego automatizados, esto nos indica que esta base de búsqueda nos podría dar mayores resultados para investigaciones relacionadas a esta.

Gráfica 2 (Años-Tecnologías más Utilizadas)

Años de Publicación de Tecnologías más Utilizadas

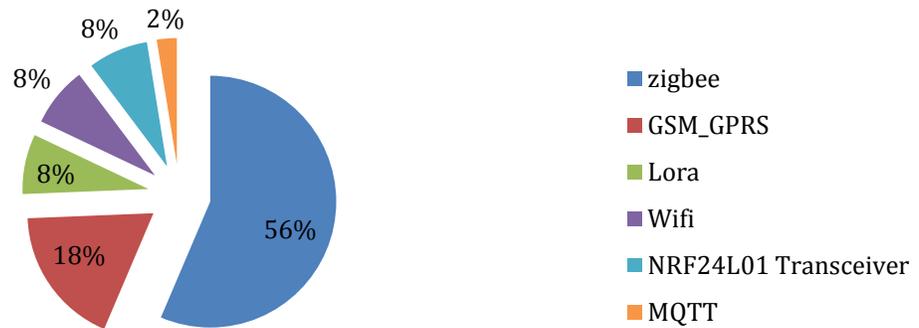


De igual forma se puede analizar que los años con más resultados en estas investigaciones relacionadas con la utilización de tecnologías de redes de

sensores son los años 2018 con 14 artículos y 2017 con 12 artículos, lo cual nos lleva a inferir que los resultados de las tecnologías más utilizadas son actuales.

Gráfica 3 (Tecnologías más Utilizadas)

Tecnologías Más Utilizadas



Por último, se logró identificar que la tecnología con mayor utilización en las redes de sensores aplicadas en el agro y sistemas de riego automatizados fue ZigBee con un 56% de utilización con respecto a las demás tecnologías.

Por lo tanto, se define desarrollar el primer prototipo con la tecnología de comunicación ZigBee.

Para la segunda parte de la revisión sistemática del estado del arte en la selección de la tecnología de comunicación con más tendencia a futuro en las redes de sensores aplicadas a IoT, se determinó hacer uso de la cadena de búsqueda “Future and trends and sensor and network and technologies and iot” la ejecución de esta cadena se hizo en los mismos websites antes mencionados, los resultados obtenidos fueron pocos dado a que son muy pocas las investigaciones relacionadas a la utilización de tecnologías futuras en este sector.

Tabla 4 (Búsqueda 1-Tendencias a Futuro)

1° Búsqueda	
Cadena:(Future and trends and sensor and network and technologies and iot)	
Websites	N° Publicaciones Encontradas
IEEE	81
Science Direct	2870
Springer	1150
Total	4101

Para la primera búsqueda con la cadena antes mencionada se encontraron un total de 4101 artículos, los cuales fueron demasiados para determinar que artículos se ajustan a resolver la pregunta planteada R3 ¿Cuáles tecnologías son las que tienen más tendencias a futuro en las redes de sensores IoT?, de igual manera se analizaron estos resultados de forma aleatoria con lo que se identificó que la mayoría de estos artículos no se ajustaban a lo esperado, por lo que se determinó ajustar la cadena con las tecnologías de área amplia (LPWAN) más reconocidas a nivel mundial, a la cadena se le adiciono SigFox or Lora or NB-IoT.

Tabla 5 (Búsqueda 2-Tendencias a Futuro)

2° Búsqueda	
Cadena:(Future and trends and sensor and network and technologies and iot and SigFox or Lora or NB-IoT)	
Websites	N° Publicaciones Encontradas
IEEE	0
Science Direct	40
Springer	54
Total	94

Con este último filtro se logró reducir el número de artículos significativamente, con lo que se logró analizar de forma más amplia los resultados, en el caso del Website IEEE esta cadena no arrojo ningún resultado por lo que se ajustó la cadena a solo el filtro de SigFox or Lora obteniendo como resultado lo relacionado en la tabla 6.

Tabla 6 (Búsqueda 3-Tendencias a Futuro)

3° Búsqueda	
Cadena:(SigFox or Lora or NB-IoT)	
Websites	N° Publicaciones Encontradas
IEEE	57
Total	57

Con el filtro antes mencionado se lograron obtener 57 artículos relacionados al uso de estas tecnologías e investigaciones relacionadas a tendencias a futuro,

seguidamente se empezó el análisis detallado de los 151 artículos relacionados a las búsquedas dando como resultado los relacionados en la tabla 7.

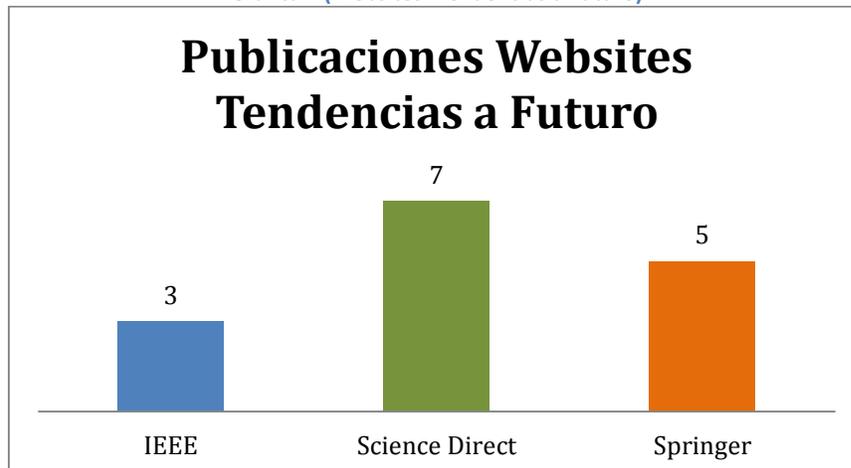
Tabla 7 (Búsqueda 4-Tendencias a Futuro)

4° Búsqueda	
Análisis Artículos	
Websites	N° Publicaciones Encontradas
IEEE	3
Science Direct	7
Springer	5
Total	15

Por último, después del análisis de los títulos, resúmenes y conclusiones se encontraron 15 artículos que determinan que tecnologías tienen más tendencias a futuro; de los cuales 7 se encontraron en el Website Science Direct, seguido del Website Springer con 5 y por último el Website IEEE con 3.

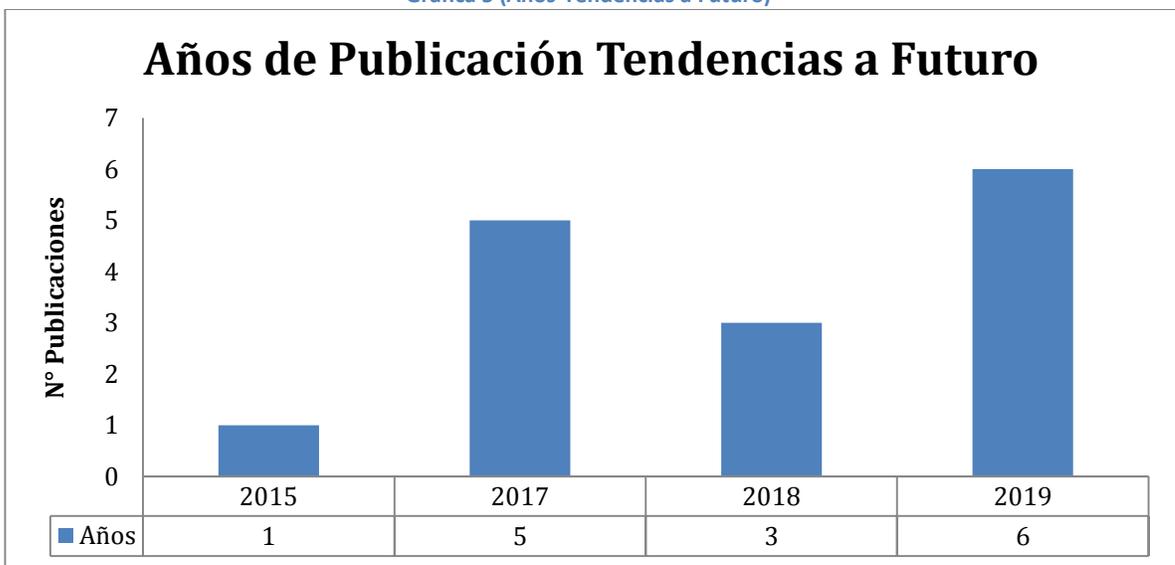
La mayoría de estos artículos se orientaban a investigación de tipo encuesta y revisiones bibliográficas de las tecnologías aplicadas a las redes de comunicación en internet de las cosas (IoT), con el análisis profundo se logró identificar y categorizar los artículos según sus resultados en cuanto a que tecnología tendría más alcance en las redes de sensores IoT, con el fin de determinar que tecnología tiene más artículos relacionados para seleccionar la mejor para la implementación de una red de sensores en IoT.

Gráfica 4 (Websites -Tendencias a Futuro)



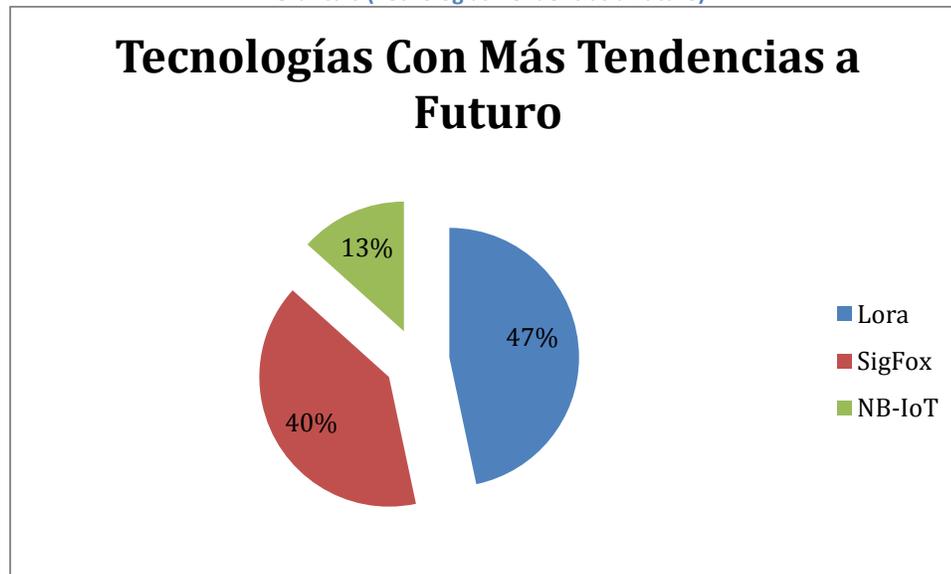
Como se mencionó anteriormente y lo corrobora la gráfica 4, el Website con más publicaciones relacionadas a la pregunta planteada R3 fue Science Direct con un total de 7 artículos en los cuales se pudo identificar diversas investigaciones que abordaban las redes LPWAN que determinan las tendencias a futuro de la aplicación de IoT a diversos campos, de igual forma en los otros Websites se encontraron investigaciones muy importantes que permitieron medir las ventajas y desventajas de cada tecnología.

Gráfica 5 (Años-Tendencias a Futuro)



Los años donde más artículos se encontraron fue el 2019 y el 2017 como se evidencia en el grafico 5, esto nos indica que de acuerdo a los resultados estas investigaciones son muy recientes y nos da un gran peso a elegir la tecnología que podría tener mejores resultados en la solución del prototipo de sistema de riego, planteado para la automatización del sistema de riego artesanal utilizado en el cultivo de flores en tunia.

Gráfica 6 (Tecnologías-Tendencias a Futuro)



Por último, como se evidencia en el gráfico 6, la tecnología con más artículos relacionados fue Lora con un 47% de todas las publicaciones, seguido de Sigfox con un 40% y NB-IoT con un 13%, esto nos indica que la mejor opción es Lora, dado que el 47% de las investigaciones indican que esta tecnología tiene mejores resultados en la implementación de redes para IoT.

Con toda esta investigación y revisión bibliográfica se pudo determinar que las tecnologías a utilizar para el desarrollo de los prototipos podrían ser ZigBee, Lora o SigFox, en el caso de las tecnologías más utilizadas en soluciones relacionadas a sistemas de riego y que resolvieron la pregunta R2: ¿Cuáles son las tecnologías más utilizadas en las redes de sensores para la agricultura o en sistemas de riego?, fue ZigBee con un 56% de todas las investigaciones por otro lado la tecnología que dio respuesta a la pregunta planteada R3: ¿Cuáles tecnologías son las que tienen más tendencias a futuro en las redes de sensores IoT?, fue Lora con un 47% de los artículos seguido de SigFox con un 40%. Lo que nos permitió dar respuesta a la última pregunta planteada R4: ¿Qué tecnologías son las adecuadas de acuerdo a los resultados para los prototipos de sistema de riego?, las tecnologías a utilizar serían ZigBee, Lora o SigFox.

6. Marco conceptual y elección de las tecnologías a utilizar para el desarrollo de los prototipos.

De acuerdo a la revisión sistemática las tecnologías a utilizar serian ZigBee, Lora o SigFox, lo que nos queda por determinar es si en el contexto estas tecnologías podrían aplicarse a la posible solución de la automatización de sistema de riego artesanal, por consiguiente se hizo una investigación más profunda de cada tecnología, determinando los costos, el alcance y facilidad de implementación, cabe mencionar que la población objeto de esta investigación son campesinos de bajos recursos y por ende la posible solución que se les plantee se debe adaptar a sus necesidades y capacidades.

Para el desarrollo de los prototipos se debe determinar cómo se harán y que tecnología se implementaran, por ende, se decide hacer uso de software y hardware libre como lo es arduino, dado que son circuitos electrónicos de bajo costo y de fácil configuración, por tal razón se especificara el marco conceptual cada tecnología y como podría adaptarse a lo que planteamos.

6.1 Contextualización (Población objeto):

La población objeto son un grupo de floricultores ubicados en el municipio de Piendamó corregimiento de Tunia, organización campesina denominada Asoflorica, dedicados al cultivo de flores tipo exportación, actualmente ellos cuentan con un sistema de riego artesanal tipo goteo y su principal producto son las flores crisantemos que tiene características especiales para ser cultivadas, se pretende que esta asociación sea competente dado el objetivo de exportación y que a nivel mundial estarían en desventaja, les es difícil identificar si el cultivo recibe la hidratación adecuada y determinar cuándo se está viendo afectado por los cambios de temperatura, según ellos los cambios bruscos de las temperaturas les generan demasiadas perdidas dado que los resultados con las heladas y temperaturas altas son enfermedades, las cuales son controladas con fungicidas pero es difícil determinar si el cultivo fue expuesto a este cambio dado que esto se

presenta a la madrugada regularmente o en días en los que ellos no se encuentran, si se tiene identificado el momento en que se afecta el cultivo con las determinantes ambientales se puede contrarrestar a tiempo con fungicidas que permitan controlar el impacto en el cultivo y mitigar las pérdidas.

Las especificaciones técnicas del cultivo dadas por el campesino Carlos Fernández, propietario del invernadero fueron; El cultivo tiene un área de $650 m^2$ con unas dimensiones de 13 metros de ancho con 50 de largo, actualmente cultiva 12.000 flores tipo crisantemos de color blanco y amarillo las condiciones de humedad óptima para el cultivo son de 60% de humedad del suelo y una temperatura mayor que 13 grados centígrados y menor que 35 grados centígrados.

Dadas las dificultades que enfrentan los campesinos se determina la medición de la humedad y temperatura a través de sensores que permitirán monitorear en tiempo real el estado de estas determinantes para abarcar toda el área se necesita una red de sensores que permita la recolección y medición de las variables y para el monitoreo y almacenamiento de la información, se determina para el prototipo el uso de plataformas libres que permiten la conexión y transmisión de los datos a través del protocolo MQTT y que son accedidas por medio de internet, con esto se hará un estudio más aplicado a lo que conocemos como internet de las cosas (IoT) dado que la información será almacenada en un servidor que posteriormente podrá ser accedida por cualquier dispositivo inteligente como celular o computadoras que le dará a los campesinos una solución ideal.

6.2 Sistema de riego:

Para el crecimiento del cultivo es necesario la absorción del agua contenida en la tierra de esto depende la producción, las carencias en algunas zonas de lluvia constante que mantenga la humedad óptima en los cultivos, ha llevado a

desarrollar sistemas que permite el suministro de agua de forma artificial, con el fin de reponer el preciado líquido que necesitan las plantas para su desarrollo.

Estos sistemas son desarrollados según las necesidades de los cultivos y constan de diferentes componentes que permiten el suministro de agua de forma manual o automatizada, existen diferentes métodos de riego y cada uno se ajusta según la situación particular con diferencias en la eficiencia de la aplicación de agua.

El objetivo principal de los sistemas de riego es el suministro de agua y reducción en su aplicación, haciendo un uso más eficiente de la misma, la eficiencia del riego es la cantidad de agua contenida en el suelo disponible para la planta después del riego en relación al total de agua suministrada, los métodos existentes para la aplicación de agua son riego por superficie y riego presurizado. En el riego por superficie hay diferentes formas de regar como riego por surco, riego tendido y riego melga mientras que en el riego presurizado este riego por aspersión, riego por micro aspersión y riego por goteo, cada método es aplicado según la necesidad propia del cultivo [06], para este caso nosotros usaremos el método presurizado con riego por goteo, dado que el cultivo objeto de la investigación ya utiliza este método de forma manual.

6.3 Riego por goteo:

Este método como antes lo mencionamos hace parte de los métodos presurizados que consiste en la aplicación de agua de forma de gotas de manera continua directamente en la zona que rodea la planta, en el suelo se forma un bulbo húmedo debajo de cada goteo, donde la planta desarrolla mayor cantidad de raíces [06].

Es necesario como en todo sistema de riego presurizado, realizar un diseño agronómico e hidráulico, previo a la instalación, este es el método más eficiente en cuanto a la aplicación de agua [06].

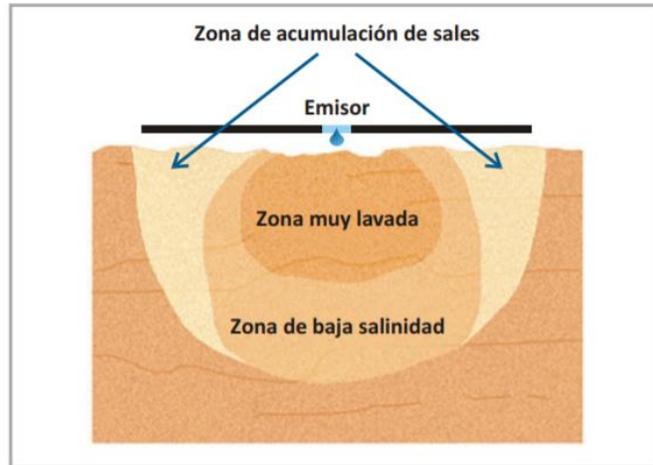


Ilustración 3 (Fuente: Rafael Fernández Gómez et al. Manual de riego para agricultores. Junta de Andalucía. 2010.)

6.4 IoT (Internet de las Cosas):

Nació en el año de 1999 por el pionero británico Kevin Ashton el cual descubrió que objetos del mundo físico se podían conectar a internet por a través de sensores [07], se ha popularizado para describir escenarios en los que la conectividad a internet y la capacidad de computo se extienden a una variedad de objetos, dispositivos, sensores y artículos de uso diario, lo que hace posible esta tecnología son las innumerables redes de sensores que permiten la recolección y transmisión de datos del entorno físico a internet.

6.5 Comunicación de IoT:

Desde un punto de vista operativo, es válido pensar cómo se conectan y comunican los dispositivos del IoT [07], en términos de sus modelos de comunicación, el comité de arquitectura de internet (IAB) dio a conocer un documento para guiar la creación de redes de objetos inteligentes (RFC 7452) que descubre un marco de cuatro modelos de comunicación como lo son: Comunicación de dispositivo a dispositivo, comunicación dispositivo a la nube,

modelo de dispositivo a puerta de enlace y modelo de intercambio de datos a través del back-end, estos modelos permiten todo el desarrollo de IoT.

6.6 Modelo de comunicación dispositivo a dispositivo:

Es representado por dos o más dispositivos conectados y comunicados entre sí y no a través de un servidor [07], estos se comunican a través de muchos tipos de redes y para establecer esta comunicación directa utilizan protocolos de comunicación como Bluetooth, ZigBee, Lora, LoraWAN, SigFox, etc, estos están categorizados:

CATEGORIZATION OF THE COMMUNICATION TECHNOLOGIES IN AN AMI					
Application in SGs	Technology	Data rate	Coverage	Frequency	Standard
LAN	ZigBee	250 kbps	0-100 m	2.4 GHz	IEEE 802.15.4
	Wi-Fi	54 Mbps	0-250 m	2.4 and 5 GHz	IEEE 802.11b/g/n
	Bluetooth	721 kbps	0-100 m	2.4 GHz	IEEE 802.15.1
	Z-wave	40 kbps	0-30 m	900 MHz	ITU-T G. 9959
NAN & WAM	NB-IoT	14.4 kbps (2G) 100 Mbps (4G)	10-100 km	824 MHz and 1900 MHz	GSM/GPRS/EDGE,(2G),UMTS/HSPA (3G). LTE (4G)
	Wi-SUN	300 kbps	500 m- 5 km	900 MHz	IEEE 802.15.4g
	SigFox	100 bps	30-50 km (Rural) 3-10 km (Urban)	868 MHz	SigFox
	LoRa WAM	50 kbps	10-15 km (Rural) 2-5 km (Urban)	900 MHz	LoRa WAM
	LoRa modulation	0.3 -37.5 kbps	10-15 km (Rural) 3-5 km (Urban)	900 MHz	LoRa modulation

Ilustración 4 (Categorización de tecnologías de comunicación) [08]

En esta comunicación se pueden intercambiar mensajes u órdenes que permiten ejecutar una determina acción en la siguiente ilustración se representa un modelo de comunicación dispositivo a dispositivo.

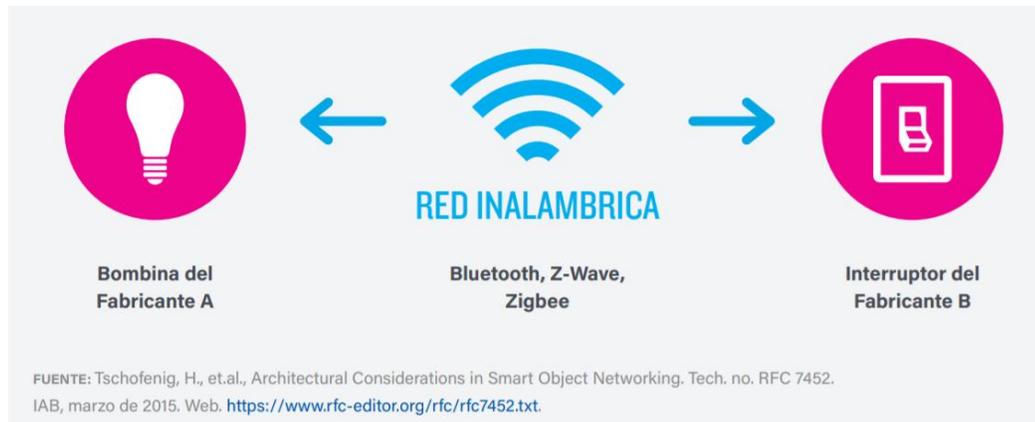


Ilustración 5 (Comunicación dispositivo a dispositivo) [07]

6.7 Comunicación dispositiva a la nube:

En este modelo el dispositivo se conecta directamente a un servicio en la nube [07], en este enfoque se suele utilizar las tecnologías de comunicación como conexiones Wi-Fi o Ethernet cableadas tradicionalmente, a través del protocolo MQTT utilizando una IP. Esta conexión permite que el usuario tenga una visualización de los datos en tiempo real que puede ser accedido desde cualquier dispositivo inteligente como teléfonos o computadoras un ejemplo de esta comunicación se ilustra en la siguiente figura.

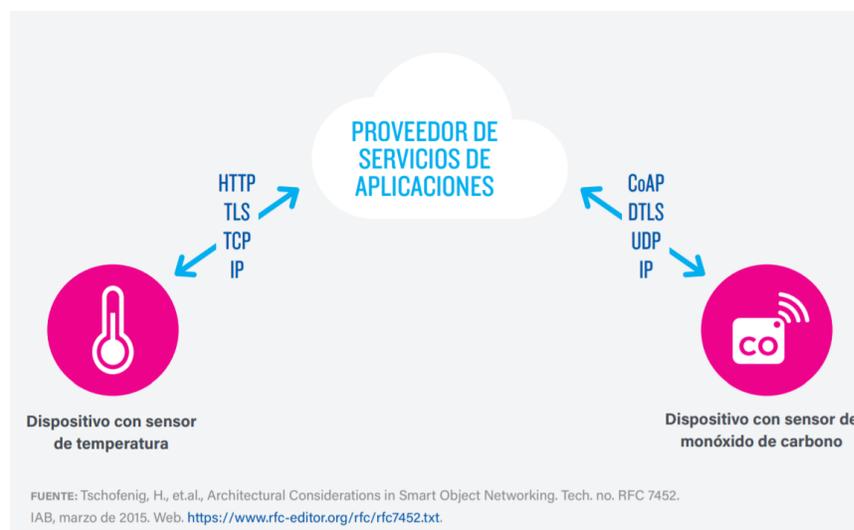


Ilustración 6 (Comunicación dispositivo a la nueva) [07]

6.8 Modelo de dispositivo a puerta de enlace:

Más conocido como modelo dispositivo a puerta de enlace de capa de aplicación (ALG) [07], este emplea los servicios (ALG) como una forma de llegar a un servicio en la nube, esto quiere decir que hay un Software de aplicación ejecutando en un dispositivo de puerta de enlace local, que es el intermediario entre el dispositivo y el servicio en la nube. Este modelo de comunicación se emplea en situaciones en donde los objetos deben interoperar con dispositivos que emplean diferentes protocolos de comunicación, la desventaja de este modelo es el elevado costo y la complejidad que implica el desarrollo del software que permita la comunicación de distintos protocolos, el ejemplo de esta comunicación se ilustra a continuación.

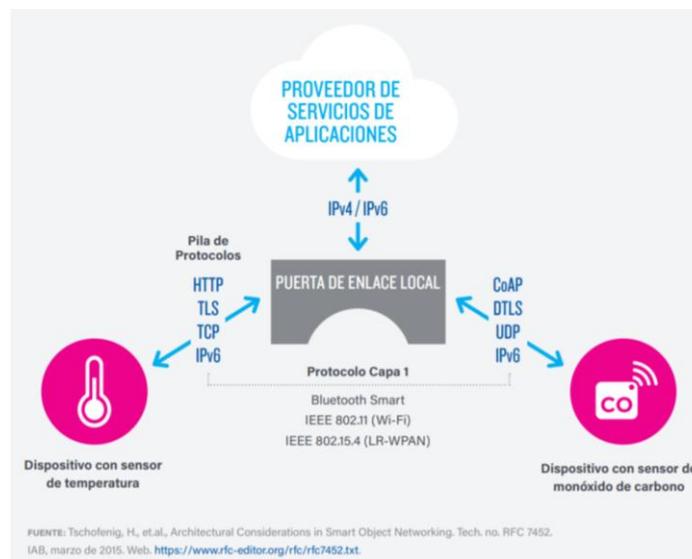


Ilustración 7 (Modelo dispositivo a puerta de enlace) [07]

6.9 Modelo de intercambio de datos a través del back-end:

Se refiere a una arquitectura de comunicación que permite que los usuarios exporten y analicen datos de dispositivos conectados a la nube en combinación con datos de otras fuentes [07], es decir que pueden integrar toda una serie de datos recolectados en diferentes plataformas en una sola esto se ilustra a continuación.

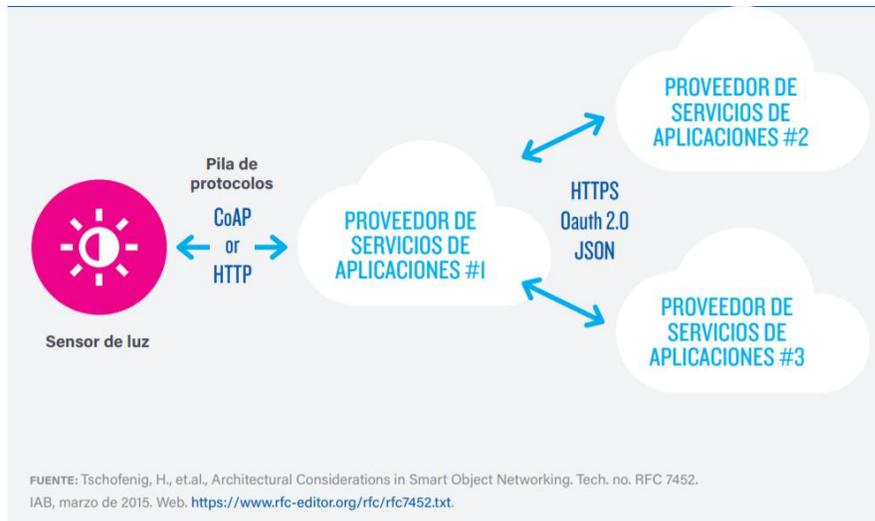


Ilustración 8 (Modelo de intercambio de datos a través del back-end) [07]

Para lo que estamos planteando es indispensable la adopción de estos modelos de comunicación dado las necesidades propias del prototipo, es de considerar que necesitamos la comunicación entre dispositivos dado que de este depende la recolección de los datos y la toma de decisiones en los actuadores que en primer lugar permitirán el censo de las variables del entorno físico y la automatización en el proceso de aplicación de agua, de igual manera la comunicación de los dispositivos a la nube o por medio de intercambio de datos a través del Back-end, para el almacenamiento y análisis de los datos recolectados que le permitirán al usuario final la toma de decisiones frente a su cultivo, por consiguiente, queda analizar las tecnologías de comunicación que surgieron de la investigación desarrollada en la fase I (Revisión sistemática de las tecnologías de comunicación).

6.10 ZigBee:

Es un protocolo de comunicación en las redes de sensores de baja potencia basado en las redes inalámbricas IEEE 802.15.4 fue creado por ZigBee Alliance, la cual está integrado por más de 100 compañías, este protocolo fue creado para el control y monitoreo con bajo consumo energético y bajo costo en

implementación la cual funciona por radio con modo bidireccional, es decir que puede enviar y recibir datos, esta tecnología puede emplear diferentes topologías de red como estrella, malla, punto a punto y árbol creando una red local, este protocolo es categorizado en las tecnologías LAN [09].

6.10.1 Características de ZigBee:

- Ofrece unas velocidades comprendidas entre 20 Kbps hasta 250 kbps
- El alcance entre dispositivos es de 0-100 m
- Opera bajo las frecuencias de 2.4 GHz
- Puede estar formada por hasta 255 nodos los cuales emplean transceiver ZigBee dormido con el objetivo de no consumir energía, es decir que no consume energía si no está transmitiendo o recibiendo información.
- Puede ser alimentado con dos pilas AA durante 6 meses y hasta 2 años.
- Pueden ser empleados en diferentes topologías como estrella, malla, punto a punto y árbol.
- Agilidad en frecuencia, es decir que las redes cambian los canales de forma dinámica en caso que ocurra interferencia.
- Escalabilidad de red, proporciona un mejor soporte para las redes más grandes, ofreciendo opciones de gestión, flexibilidad y desempeño.
- Recolección centralizada de datos, sintonización específica para optimizar el flujo de información en las grandes redes.

6.10.2 Ventajas:

- Ideal para conexiones punto-punto y punto multipunto.
- Opera en la banda libre ISM 2.4 GHz para conexiones inalámbricas.
- Óptimo para redes de bajas tasas de transferencia de datos.
- Reduce tiempos de espera en el envío y recepción de paquetes.

- Bajo consumo energético
- Soporta varias topologías de red.
- Esta red puede soportar hasta de 6500 nodos distribuidos entre subredes de 255 nodos.
- 128 bits AES de cifrado proporcionando conexiones seguras entre los dispositivos.
- Son de bajo costo y de fácil implementación.

6.10.3 Desventajas:

- La tasa de transferencia es muy baja con respecto a otras tecnologías.
- Solo permite la manipulación de textos pequeños comparado con otras tecnologías inalámbricas.
- La cobertura no está amplia dado que pertenece a las denominadas redes de área local LAN o WPAN.

6.10.4 Arquitectura:

En ZigBee hay tres tipos de dispositivos:

- Coordinador.
 - Sólo puede existir uno por red.
 - Inicia la formación de la red.
 - Es el coordinador de PAN.
- Router.
 - Se asocia con el coordinador de la red o con otro router ZigBee.
 - Puede actuar como coordinador.
 - Es el encargado del enrutamiento de saltos múltiples de los mensajes.
- Dispositivo final.
 - Elemento básico de la red.

- No realiza tareas de enrutamiento

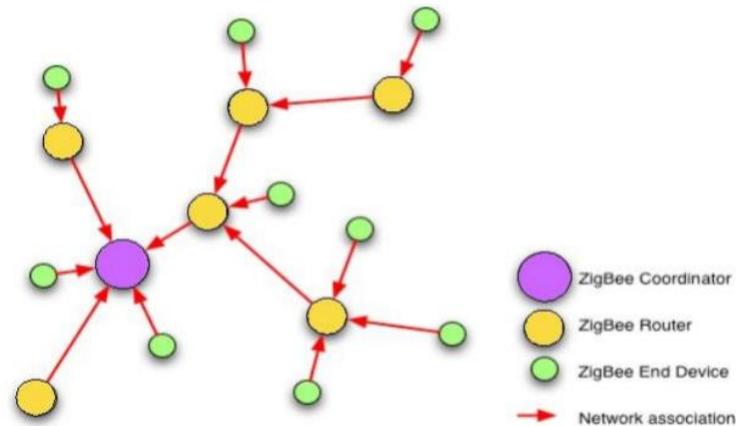


Ilustración 9 (Arquitectura de comunicación)[10]

6.11 Lora:

Es la capa física o la de modulación inalámbrica utilizada para crear largo alcance en rango de comunicación, muchos sistemas inalámbricos heredados usan desplazamiento de frecuencia de modulación incrustada (FSK), como capa física por la eficiencia de modulación para obtener poca potencia, Lora se basa en el espectro extendido de chirp modulación, que mantiene las mismas características de baja potencia que la modulación FSK, pero aumenta significativamente el rango de comunicación, chirp se ha utilizado en comunicaciones militares y espaciales durante décadas debido a su larga distancia de comunicación la cual permite una solides a la interferencia, Lora es la primera implementación de bajo costo para uso comercial [11].

6.11.1 LoRaWAN:

Define el protocolo de comunicación y la arquitectura del sistema para la red mientras que la capa física lora habilita el enlace, el protocolo y la arquitectura de red tienen mayor influencia en la determinación de duración de la batería de un nodo, la capacidad de la red, la calidad del servicio, la seguridad y la

variedad de aplicaciones atendidas por la red esta tecnología tiene cuatro elementos de red [11]:

- Los nodos finales recopilan datos de sensor, lo transmiten upstream y downstream, y reciben la comunicación desde el servidor de aplicaciones. Los dispositivos de Endpoint usan comunicación inalámbrica single-hop con una o varias compuertas.
- El Concentrador/Compuerta actúa como un puente transparente y retransmite los datos bidireccionales entre los nodos finales y los servidores upstream.
- El servidor de red se conecta a varias puertas de enlace a través de una conexión TCP/IP segura, ya sea por cable o inalámbrica; elimina los mensajes duplicados; decide qué compuerta debe responder a un mensaje de nodo final; y gestiona el nodo final, las velocidades de transmisión de datos con una velocidad de datos adaptable (ADR), destinadas a maximizar la capacidad de la red y extender la vida útil de la batería del nodo final.
- El servidor de la aplicación recopila y analiza los datos de los nodos finales y determina las acciones del nodo final.

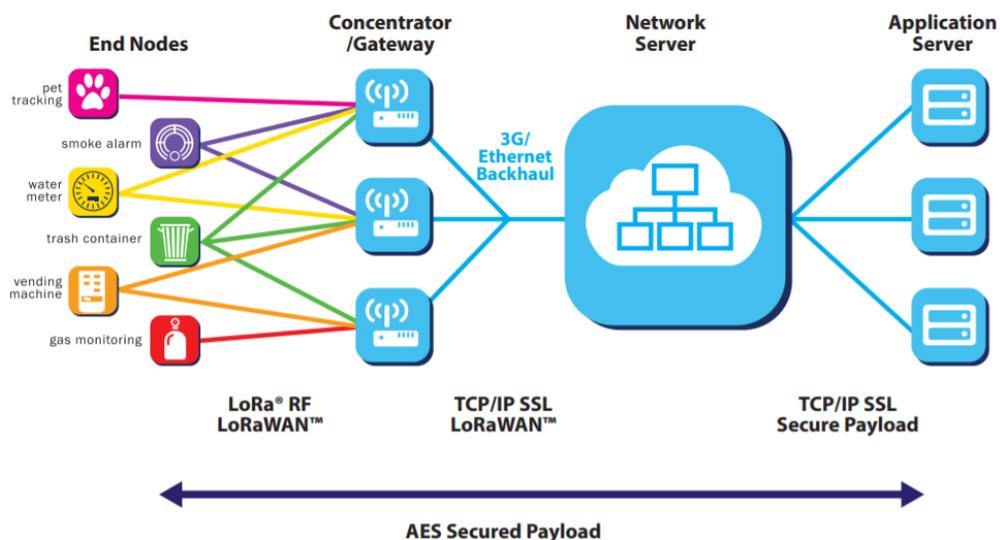


Ilustración 10 (Arquitectura Lora WAM) [11]

6.11.1.1 Características:

	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 típ (+30 dBm permitidos)
TX desconectar	+14 dBm	+27 dBm
SF Up	7-12	7-10
Velocidad de datos	250 bps - 50 kbps	980 bps - 21.9 kbps
Link Budget Up	155 dB	154 dB
Link Budget Dn	155 dB	157 dB

Ilustración 11 (Características LoraWAN)

6.11.1.2 Ventajas:

- Alta tolerancia a las interferencias
- Alta sensibilidad para recibir datos (-168dB)
- Basado en modulación “chirp“
- Bajo Consumo (hasta 10 años con una batería)
- Largo alcance 10 a 20 km
- Baja transferencia de datos (hasta 255 bytes)
- Conexión punto a punto
- Frecuencias de trabajo: 868 Mhz en Europa, 915 Mhz en América, y 433 Mhz en Asia.[12]

6.11.1.3 Desventajas:

- Debe administrar su propia red y gateways, dado que no cuenta con una infraestructura dada por un proveedor, ellos solo ofrecen

la venta de los chips que permiten la comunicación y los componentes para crear la infraestructura de la red.

- Alto costo de implementación de toda la infraestructura.
- La complejidad en la implementación y administración de la red.

6.12 SigFox:

Es una de las primeras tecnologías propuestas para la LPWAN fue fundada en 2009, con un enfoque basado en la topología de red celular, solo que proporciona bajo ancho de banda y bajo rendimiento, adopta la conexión inalámbrica de banda ancha ultra estrecha modulación (UNB), ofrece una comunicación basada en software, donde toda la complejidad de la red y la información se gestiona en la nube, en lugar de en los dispositivos, lo cual reduce drásticamente el consumo de energía y los costos por dispositivo conectado [13].

SigFox opera en los 200 khz de la banda disponible públicamente para intercambio de mensajes de radio de aire, cada mensaje tiene 100Hz de ancho y se transfiere a una velocidad de datos de 100 a 600 bits por segundo, dependiendo de la región lo que permite largo alcance siendo muy robusto contra el ruido, emplea un protocolo ligero para el manejo de mensajes pequeños, lo cual proporciona menos mensajes para el envío repercutiendo en un bajo consumo energético [13].

La desventaja que tenía SigFox era que solo permitía el censo de datos, es decir que no permitía una comunicación bidireccional, pero hoy en día esto fue mitigado gracias a la conectividad de enlace descendente y enlace ascendente, al igual que lora cuenta con una arquitectura en malla, donde el mensaje puede ser recibido por cualquier estación base en el rango, que es de 3 estaciones base en promedio, esto da una baja pérdida de datos durante el envío, ya que cualquiera de las bases puede recibir el mensaje y replicarlo a la Api principal de SigFox, la conectividad descendente es impulsada por dispositivos para minimizar el

consumo de energía, esto depende si el dispositivo pide a la red que reciba un mensaje de enlace descendente.

SigFox ofrece un acceso aleatorio al recurso de radiofrecuencia, es decir que el dispositivo transmite cada mensaje 3 veces y en 3 frecuencias distintas (salto de frecuencia), posteriormente las estaciones bases monitorean el espectro y buscan la señal UNB para demodular [13].

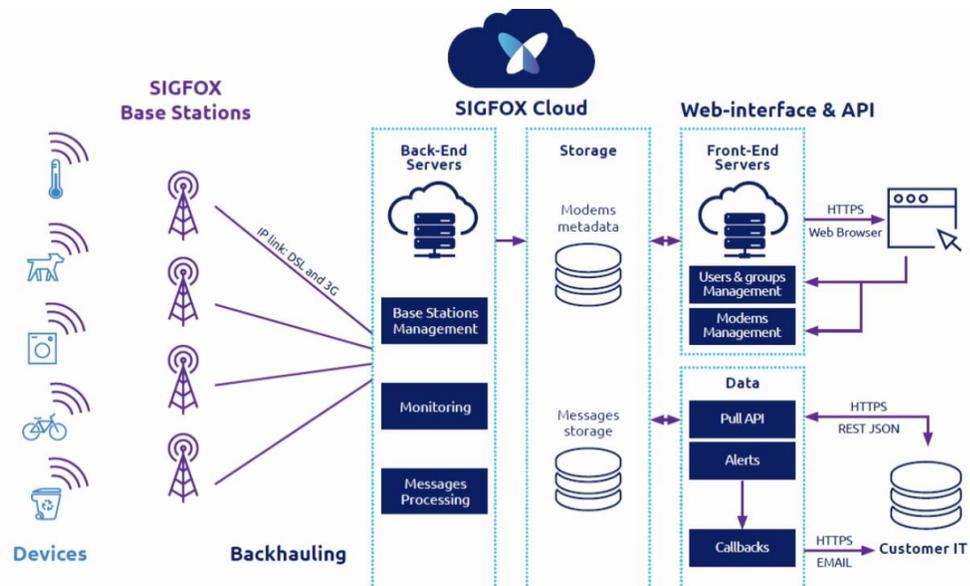


Ilustración 12 (Arquitectura de red Sigfox) [13]

La seguridad: los dispositivos SigFox no están conectados a ninguna red ni estación base, estos tienen un comportamiento incorporado, estos transmiten un mensaje de radio, este mensaje es recibido por varias estaciones de acceso que una vez reciben el mensaje este es transmitido a SigFox Core Network, lo cual determina que estos dispositivos no puedan ser manipulados dado que nunca tiene conexión directa con internet, mientras que los datos almacenados en SigFox tienen incorporado un cortafuegos muy estricto, cada dispositivo desde su creación tiene incorporada una llave única y cada mensaje tiene un token criptográfico que se calcula basado en esta clave, por consiguiente esta tecnología ofrece plena seguridad de la comunicación y la gestión de la información [14].



Ilustración 13 (Esquema de Seguridad Sigfox) [14]

6.12.1 Características:

- Frecuencias libres (ISM) resistentes frente a interferencias
- Conectividad Ultra Narrow Band (UNB) bidireccional
- Compatibilidad con los chips existentes
- Eficiencia energética: han logrado que la autonomía de algunos productos se prolongue hasta 15 años
- Conexión sencilla (plug & play)
- Gestión basada en la nube
- Cobertura internacional
- Libre de derechos y royalties
- Frecuencia 868 MHz
- Cobertura de 30 - 50 km Rural y Urbana de 3 – 10km

6.12.2 Desventajas:

- Servicio pago por suscripción.
- Ultra lento 100 bps
- Limite mensajes de subida 140x12 bytes y mensajes de bajada 4x8 bytes por día.

6.12.3 Cobertura:

para nuestro proyecto es indispensable la cobertura que nos pueda ofrecer esta tecnología, por tal motivo en el caso de LoRaWAN, no tiene limitaciones, pero el costo de implementación de toda la infraestructura tecnológica es muy elevado mientras que SigFox cuenta con toda una infraestructura ya montada y en el caso de nuestro país y específicamente para el municipio donde va dirigido nuestro prototipo existe cobertura y posibilidades de ampliar el rango de alcance de las estaciones base como se evidencia en la siguiente ilustración.

Sigfox service maps

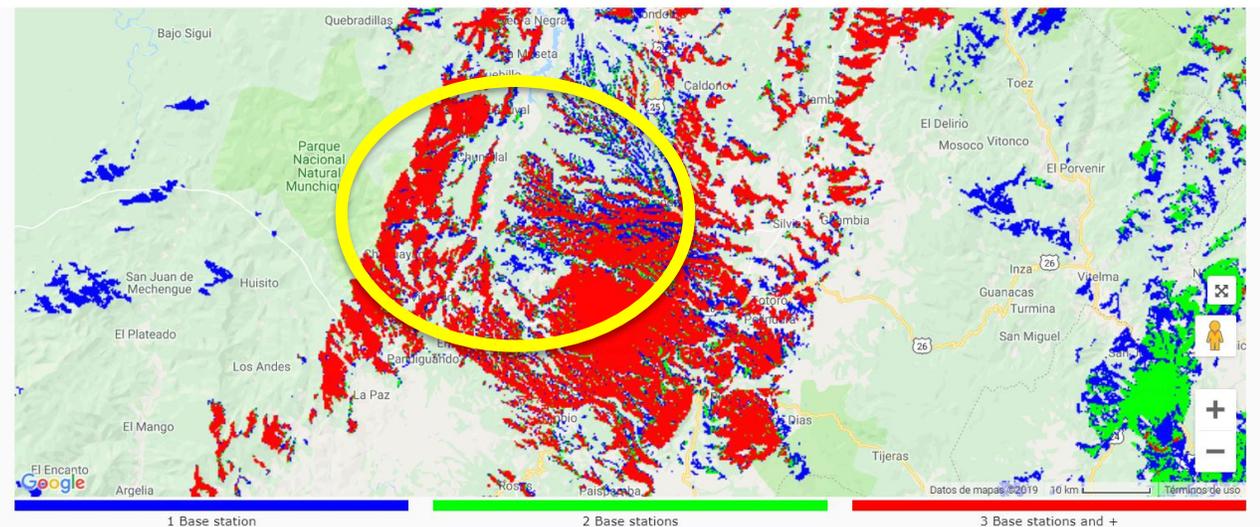


Ilustración 14 (Mapa cobertura SigFox) [15]

Como se puede observar en la ilustración la zona color rojo es donde existen 3 estaciones bases la zona de color azul indica 2 estaciones bases y la zona verde 1 sola estación base, para el caso de nuestro proyecto la zona delimitada con la circunferencia amarilla es donde se encuentra ubicado el cultivo de flores.

Existe una investigación que compara las tecnologías más destacadas en las LPWAN, donde define los criterios de evaluación y comparación de las tecnologías para la implementación de la IoT a gran escala, en este estudio comparan los protocolos LoRa, SigFox y NB-IoT, los criterios que definieron

para la comparación fueron: la calidad de servicio, duración de la batería, latencia, escalabilidad, longitud de la carga útil, cobertura, rango, implementación y costo, dando como conclusión que cualquiera de estas tecnologías tendría un buen resultado, en el caso de NB-IoT existe mucha incertidumbre dado que apenas se está implementando, esta investigación genero una tabla de comparación la cual se evidencia a continuación [16].

Table 1. Overview of LPWAN technologies: Sigfox, LoRa, and NB-IoT.

	Sigfox	LoRa	NB-IoT
Modulation	BPSK	CSS	QPSK
Frequency	Unlicensed ISM bands (868MHz in Europe, 915MHz in North America, and 433MHz in Asia)	Unlicensed ISM bands (868MHz in Europe, 915MHz in North America, and 433MHz in Asia)	Licensed LTE frequency bands
Bandwidth	100Hz	250kHz and 125kHz	200 kHz
Maximum data rate	100 bps	50 kbps	200 kbps
Bidirectional	Limited / Half-duplex	Yes / Half-duplex	Yes / Half-duplex
Maximum messages/day	140 (UL), 4 (DL)	Unlimited	Unlimited
Maximum payload length	12 bytes (UL), 8 bytes (DL)	243 bytes	1600 bytes
Range	10 km (urban), 40 km (rural)	5 km (urban), 20 km (rural)	1 km (urban), 10 km (rural)
Interference immunity	Very high	Very high	Low
Authentication & encryption	Not supported	Yes (AES 128b)	Yes (LTE encryption)
Adaptive data rate	No	Yes	No
Handover	End-devices do not join a single base station	End-devices do not join a single base station	End-devices join a single base station
Localization	Yes (RSSI)	Yes (TDOA)	No (under specification)
Allow private network	No	Yes	No
Standardization	Sigfox company is collaborating with ETSI on the standardization of Sigfox-based network	LoRa-Alliance	3GPP

Ilustración 15 (Comparación Tecnologías Sigfox-LoRa-NB IoT) [16]

En esta tabla definieron el costo de implementación de cada tecnología, para el caso de NB-IoT el costo es demasiado en comparación a SigFox y LoRa, en el caso de SigFox la implementación del Deployment es superior al de LoRa, pero el costo por dispositivo es muy inferior al de Lora.

Table 2. Different costs of Sigfox, LoRa, and NB-IoT.

	Spectrum cost	Deployment cost	End-device cost
Sigfox	Free	>4000€/base station	<2€
LoRa	Free	>100€/gateway >1000€/base station	3-5€
NB-IoT	>500 M€ /MHz	>15000€/base station	>20€

Ilustración 16 (Comparación Costos Tecnologías Sigfox-LoRa- NB IoT) [16]

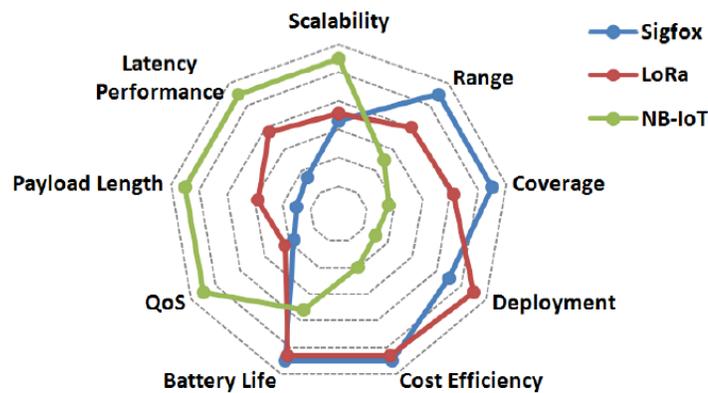


Figure 4. Respective advantages of Sigfox, LoRa, and NB-IoT in terms of IoT factors.

Ilustración 17 (Proporción de comparación Tecnologías Sigfox-LoRa-NB IoT) [16]

Es esta ilustración se evidencia la proporción en las tres tecnologías que denotan un mayor alcance en la tecnología SigFox.

En base a lo anterior se determinó profundizar en los costos de las tecnologías Lora y SigFox en relación a Colombia, se hizo una cotización en la ciudad de residencia en nuestro caso Popayán y las plataformas de venta por internet, encontrando lo relacionado en la siguiente tabla.

Tabla 8 (Comparación de Costos LoRa - Sigfox contexto actual)

Comparación de valores LoRa vs Sigfox		
Tecnología	Descripción de componentes	Valor
LoRa	Dragino Lora lot Development kit 915 MHz, Lora Gateway Lg01	\$925.000

SigFox	Dispositivo Arduino Leonardo con tecnología Sigfox incluida y suscripción por 1 año de almacenamiento en la plataforma de Sigfox.	\$180.000
--------	---	-----------

El valor está representado en pesos colombianos, y en el caso de la tecnología SigFox, es respaldada por la empresa colombiana The Soul Things (TST), cuya sede se encuentra en la ciudad de Popayán, la empresa es la desarrolladora del dispositivo titulado “THE SOUL ONE”, es una tarjeta Arduino Leonardo con la integración de SigFox.

Con estos datos, que determinan las características, costos, ventajas y desventajas de cada tecnología se decide desarrollar el segundo prototipo con la tecnología SigFox, dado que esta tecnología ofrece sus dispositivos a un costo más bajo y existe cobertura en la zona donde estamos proponiendo la posible solución.

Por consiguiente nos queda evaluar los protocolos de comunicación a utilizar para el primer prototipo, en base a la revisión sistemática la cual arrojo que este prototipo se hará con ZigBee pero para la recolección y análisis de los datos se debe determinar con que tecnología enviara esta información censada a internet, esta comunicación se hará con el protocolo MQTT (Message Queue Telemetry Transport) y Wi-Fi dado que se utilizara una plataforma tecnológica para el almacenamiento de la información.

6.13 MQTT:

significa MQ Telemetry Transport. Es un protocolo de mensajería de publicación, suscripción, extremadamente simple y liviano, diseñado para dispositivos restringidos y redes de bajo ancho de banda, alta latencia o poco confiables. Los principios de diseño son minimizar el ancho de banda de la red y los requisitos de recursos del dispositivo al mismo tiempo que se intenta garantizar la confiabilidad y cierto grado de garantía de entrega. Estos principios también hacen que el

protocolo sea ideal para el emergente mundo de dispositivos conectados "máquina a máquina" (M2M) o "Internet de las cosas", y para aplicaciones móviles donde el ancho de banda y la energía de la batería son muy importantes, esta tecnología comprende esta terminología.

6.13.1.1 Mensaje de solicitud:

Los datos transportados por el protocolo MQTT a través de la red para la aplicación. Cuando un mensaje de aplicación es transportado por MQTT, contiene datos de carga útil, una calidad de servicio (QoS), una colección de propiedades y un nombre de tema.

6.13.1.2 Cliente:

Un programa o dispositivo que usa MQTT. Un cliente:

- Abre la conexión de red al servidor
- Publica mensajes de aplicación que podrían interesar a otros clientes.
- Se suscribe para solicitar mensajes de aplicación que le interese recibir.
- Se da de baja para eliminar una solicitud de mensajes de aplicación.
- Cierra la conexión de red al servidor.

6.13.1.3 Servidor:

Un programa o dispositivo que actúa como intermediario entre Clientes que publican Mensajes de aplicación y Clientes que han realizado Suscripciones. Un servidor:

- Acepta conexiones de red de clientes.
- Acepta mensajes de aplicación publicados por clientes.

- Procesa las solicitudes de suscripción y cancelación de suscripción de los clientes.
- Reenvía mensajes de aplicación que coinciden con las suscripciones de clientes.
- Cierra la conexión de red del cliente.

6.14 Sensores:

Es un dispositivo electrónico o mecánico que convierte magnitudes físicas (luz, magnetismo, presión, humedad, temperatura, etc.) en valores medibles de dicha magnitud.

6.15 Arduino:

Es una plataforma de desarrollo basada en una placa electrónica de hardware libre que incorpora un microcontrolador reprogramable y una serie de pines hembra, los que permite establecer conexiones entre el microcontrolador y los diferentes sensores y actuadores de una manera sencilla.

Como conclusión se determina empezar el desarrollo de los prototipos, el primero con la tecnología ZigBee y el segundo la tecnología SigFox, todos bajo las placas de Arduino y para el almacenamiento y análisis de datos se determinan plataformas que ofrecen estos servicios.

III. CAPÍTULO 3 – DESARROLLO DE LOS PROTOTIPOS

En este capítulo se dará una perspectiva general del desarrollo de los prototipos en base a las tecnologías que surgieron de la fase I, teniendo en cuenta la técnica Bricks propuesta en la fase II, la cual está compuesta por las etapas; creación del Modelo Visual, aplicación de reglas, deployment y/o simulación del proyecto y visualización de Datos.

Para la implementación del prototipo se determinó el uso de las tecnologías de comunicación SigFox y ZigBee debido a la revisión sistemática y al análisis de estas expuestas en el capítulo 2, mediante estos dispositivos se establece la arquitectura, topología y protocolos de comunicación permitiendo la transmisión de los datos recolectados mediante sensores que miden las condiciones físicas del terreno en el prototipo a implementar, de igual forma los modelos de comunicación que permitirán la visualización de los datos censados.

Los sensores que captan las condiciones del terreno son el sensor de humedad YL-69 y el de temperatura DS18B20, estos realizan el censo de las variables antes mencionadas directamente en el suelo del prototipo, con el fin de monitorear el comportamiento de las variables en el prototipo y medir la evolución de las plantas con la automatización del riego, para codificar esta información se hizo uso de las placas de desarrollo Arduino nano, Arduino ESP32S y Arduino SOUL ONE.

Las placas de desarrollo reciben la información captada por los sensores para ser transmitida a las diferentes plataformas donde se almacenará la información y se visualizará el comportamiento de las variables en el cultivo.

Para la tecnología ZigBee se utilizó la tarjeta de comunicación XBee PRO S2C, dado su costo y accesibilidad.

Para la tecnología SigFox se adquirió la placa Soul One, dado que esta tarjeta ya tiene incorporado el Módulos Wisol SFM11R2D de SigFox que permite la comunicación y almacenamiento en la plataforma de SigFox Core Netware.

Las especificaciones técnicas de los dispositivos electrónicos antes mencionados son:

Sensor de temperatura DS18B20: este es un sensor digital de temperatura que utiliza 1-wire para comunicarse el cual solo necesita un pin de datos para la comunicación, este es fabricado por Maxim Integrated, con este sensor se pueden medir temperaturas desde los $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta los $125\text{ }^{\circ}\text{C}$, este sensor tiene dos formas de alimentarse:

- Alimentación a través del pin de datos: el sensor internamente obtiene energía del pin de datos esta energía se llama “Parasite Power” y se utiliza cuando el sensor se debe conectarse a grandes distancias o donde el espacio es limitado, este es el diagrama de conexión.

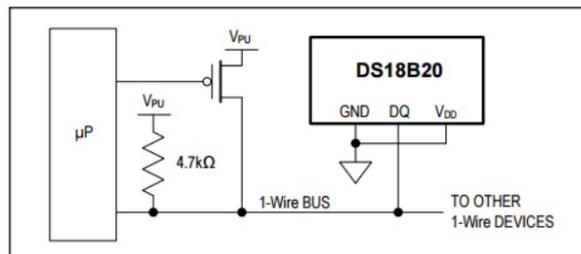


Ilustración 18 (Diagrama de conexión alimentación pin de datos) [17]

- Alimentación usando una fuente externa: el sensor se alimenta por el pin VDD, donde el voltaje es independiente del de tráfico de bus, el diagrama es:

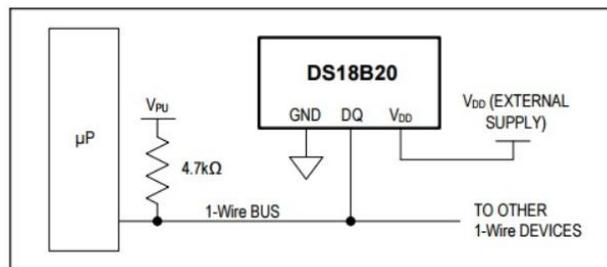


Ilustración 19 (Diagrama de conexión alimentación fuente externa)[17]

Sensor humedad YL-69: Este sensor mide la humedad del suelo aplicando una pequeña tensión entre los terminales, que al hacer pasar corriente genera resistencia en el suelo, al aumentar la humedad la corriente crece y al bajar la humedad la corriente disminuye, este consiste de una sonda YL-69 con dos terminales separados[18].

Especificaciones:

- Voltaje de entrada: 3.3 - 5 VCD

- Voltaje de salida: 0 ~ 4.2 V
- Corriente: 35 mA
- VCC: Tensión de alimentación
- GND: Tierra
- A0: Salida analógica que entrega una tensión proporcional a la humedad. Puede ser medida directamente desde un puerto analógico en un microcontrolador, con Arduino, CI, etc.
- D0: Salida digital; este módulo permite ajustar cuándo el nivel lógico en esta salida pasa de bajo a alto mediante el potenciómetro.
- Dimensiones YL-38: 30 x 16 mm
- Dimensiones YL-69: 60 x 30 mm

Diagrama:

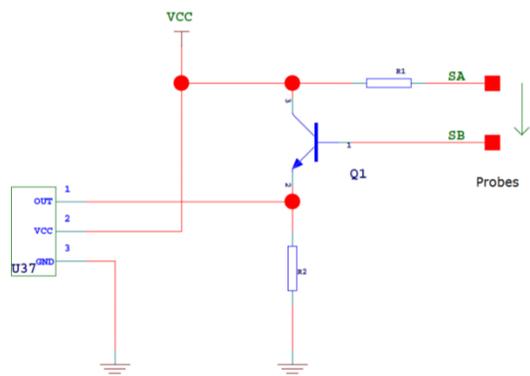


Ilustración 20 (Diagrama sensor YL-69)[18]

Arduino nano: Es un tablero pequeño basado en el ATmega328P, el cual tiene las mismas funciones que el Arduino Duemilanove pero carece solo de un conector de alimentación de CC, el diagrama de este dispositivo denota las especificaciones técnicas provistas por esta placa.

Arduino Soul One: Esta es una placa desarrollada por TST The Soul Of Things, una empresa de Popayán que desarrollo esta placa en base a la placa de arduino leonardo, pero con el módulo Wisol SFM11R2D de SigFox incorporado, las especificaciones técnicas se relacionan a continuación en la siguiente ilustración.



Ilustración 23 (Arduino Soul One)[21]

Tarjeta de Comunicación XBee Pro-S2C: Este es un módulo de bajo costo que permite la comunicación inalámbrica entre dispositivos, trabaja bajo la frecuencia de 2.4GHz, las cuales pueden ser configuradas en varias topologías de red como malla, estrella, punto a punto y árbol, dependiendo de la necesidad, esta placa posee un alcance de 90 metros en lugares con alta interferencia y hasta 3200 metros en lugares abiertos sin interferencias.

Especificaciones:

- Frecuencia de trabajo: 2.4 GHz
- Velocidad de datos (máx): 250.000b/s
- Técnica de modulación: DSSS
- Rango de alcance: Hasta 3200 metros
- Sensibilidad: -101 dBm
- Voltaje de la fuente: 2.7 V ~ 3.6 V
- Corriente – Recepción: 31 mA
- Corriente – Transmisión: 120 mA

- Interfaz de comunicación: SPI, UART
- Capacidad de memoria: 32kB Flash, 2kB RAM
- Tipo de montaje: Through Hole
- Temperatura de operación: -40°C ~ 85°C

El diagrama para esta placa es:

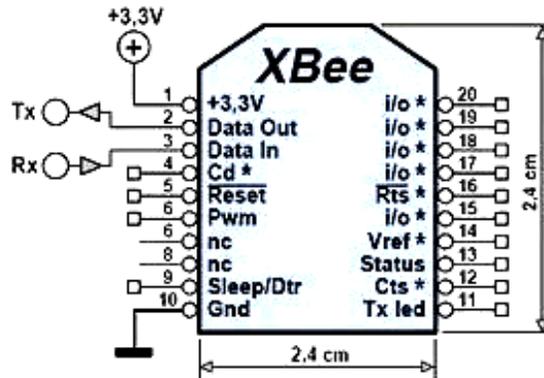


Ilustración 24 (Xbee Pro-S2C)[22]

Costos de Implementación ZigBee:

Tabla 9(Costos de implementación ZigBee)

Costo Prototipo Tecnología Zigbee			
Tecnología de comunicación	Descripción	Componentes Electrónicos	Costo
ZigBee	Nodo Coordinador	Placa Arduino ESP32S	\$ 25.000
		Tarjeta Xbee Pro S2C	\$ 80.000
		Adaptador USB	\$ 20.000
		Splorer	\$ 5.000
		Relé Actuador	\$ 1.200
		Cables conexión	\$ 30.000
		Caja Prototipo	\$ 15.000
	Nodo Router	Placa Arduino Nano	\$ 80.000
		Tarjeta Xbee Pro S2C	\$ 20.000
		Adaptador USB	\$ 6.000
		Splorer	\$ 5.000
		Sensor Temperatura DS18B20	\$ 1.800
		Sensor Humedad YL-69	\$ 30.000
		Cables conexión	\$ 30.000
Caja Prototipo	\$ 30.000		
Costo total implementación prototipo			\$ 319.000

Costos de Implementación SigFox:

Tabla 10 (Costos de implementación Sigfox)

Costo Prototipo Tecnología Sigfox			
Tecnología de comunicación	Descripción	Componentes Electrónicos	Costo
Sigfox	Devices Sigfox con almacenamiento por 1 año	Placa Arduino Soul One	\$ 180.000
		Sensor Temperatura DS18B20	\$ 6.000
		Sensor Humedad YL-69	\$ 5.000
		Cables conexión	\$ 1.800
		Caja Prototipo	\$ 30.000
Costo total implementación prototipo			\$ 222.800

7. Técnica bricks:

7.1. Creación del Modelo Visual

Para la creación del modelo visual se representa las conexiones entre las placas de desarrollo, las tarjetas de comunicación y los sensores a través de un diagrama de conexiones.

7.1.1. Modelo Visual ZigBee.

En la siguiente ilustración se representa el diagrama de conexión para el prototipo router de la tecnología ZigBee, donde se representan los siguiente dispositivos electrónicos: placa de desarrollo (Arduino NANO), tarjeta de comunicación (XBee Pro-S2C), fuente de alimentación, resistencia, sensores de temperatura y de humedad, la conexión entre los dispositivos se realiza mediante unos jumpers los cuales se identifican por unos colores, el jumper de color rojo nos representa la conexión del voltaje, en este caso el voltaje que se maneja para la alimentación de los dispositivos es de 5VDC, el jumper de color negro hace referencia a la conexión del GND o tierra, el jumper de color amarillo representa la transmisión de los datos (TX) interconectando el dispositivo de comunicación y la placa de desarrollo, el jumper de color azul nos hace referencia a los datos recolectados de los sensores.

La unión de todos estos dispositivos nos permite captar diferentes datos para ser transmitidos mediante las tarjetas de comunicación (XBee Pro-S2C), en esta ilustración mostramos el nodo router que funciona como si fuera un solo dispositivo.

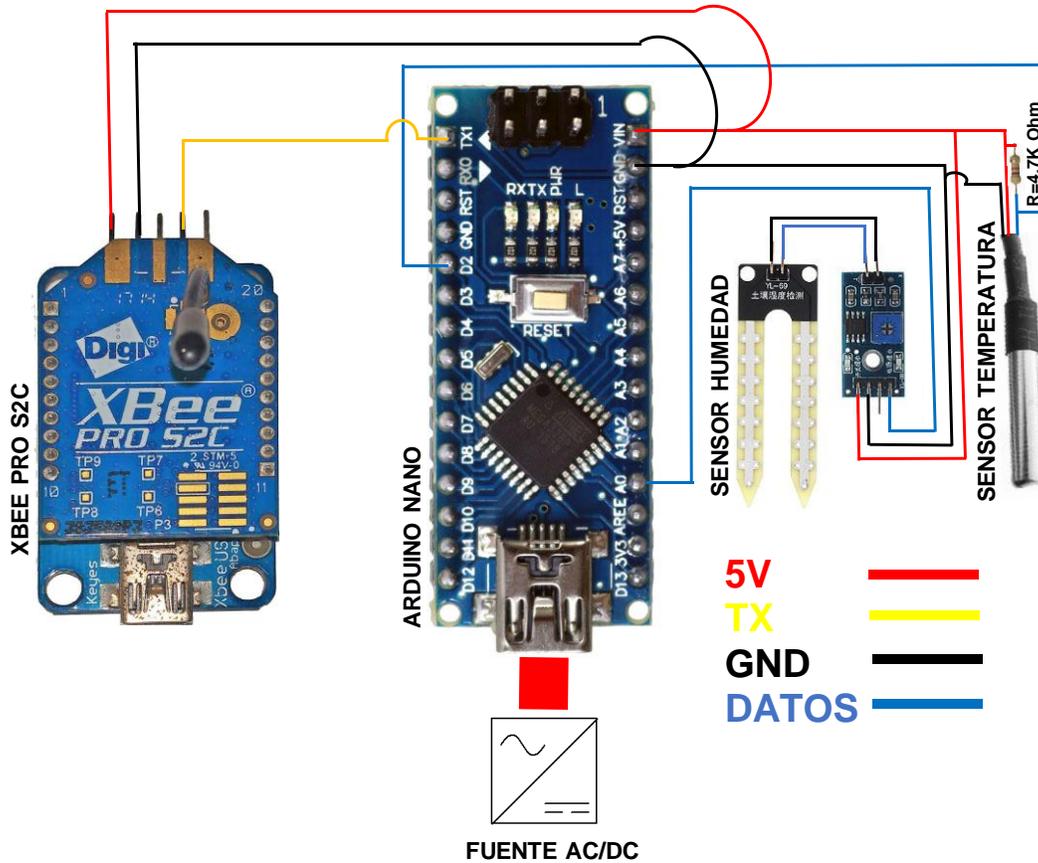


Ilustración 25 (Modelo visual nodo final Zigbee)

En la siguiente ilustración se representa el diagrama de conexión para el nodo controlador de la tecnología ZigBee, este diagrama está conformado por los siguientes dispositivos electrónicos; la placa de desarrollo (Arduino ESP32S), tarjeta de comunicación (XBee S2C), fuente de alimentación, bomba de agua y un relay, la conexión entre los dispositivos se realiza mediante unos jumpers los cuales se identifican por colores. el jumper de color rojo nos representa la conexión del voltaje, en este caso el voltaje que se maneja para la alimentación de los dispositivos es de 5VDC, el jumper de color negro hace referencia a la conexión del GND o tierra, el jumper de color verde representa la recepción de los datos (RX) interconectando el

dispositivo de comunicación y la placa de desarrollo, el jumper de color azul nos hace referencia a los datos u ordenes que se le envían al relay para que este encienda cuando el rango de humedad este por debajo del nivel permitido, accionando la bomba la cual realizara el riego al cultivo.

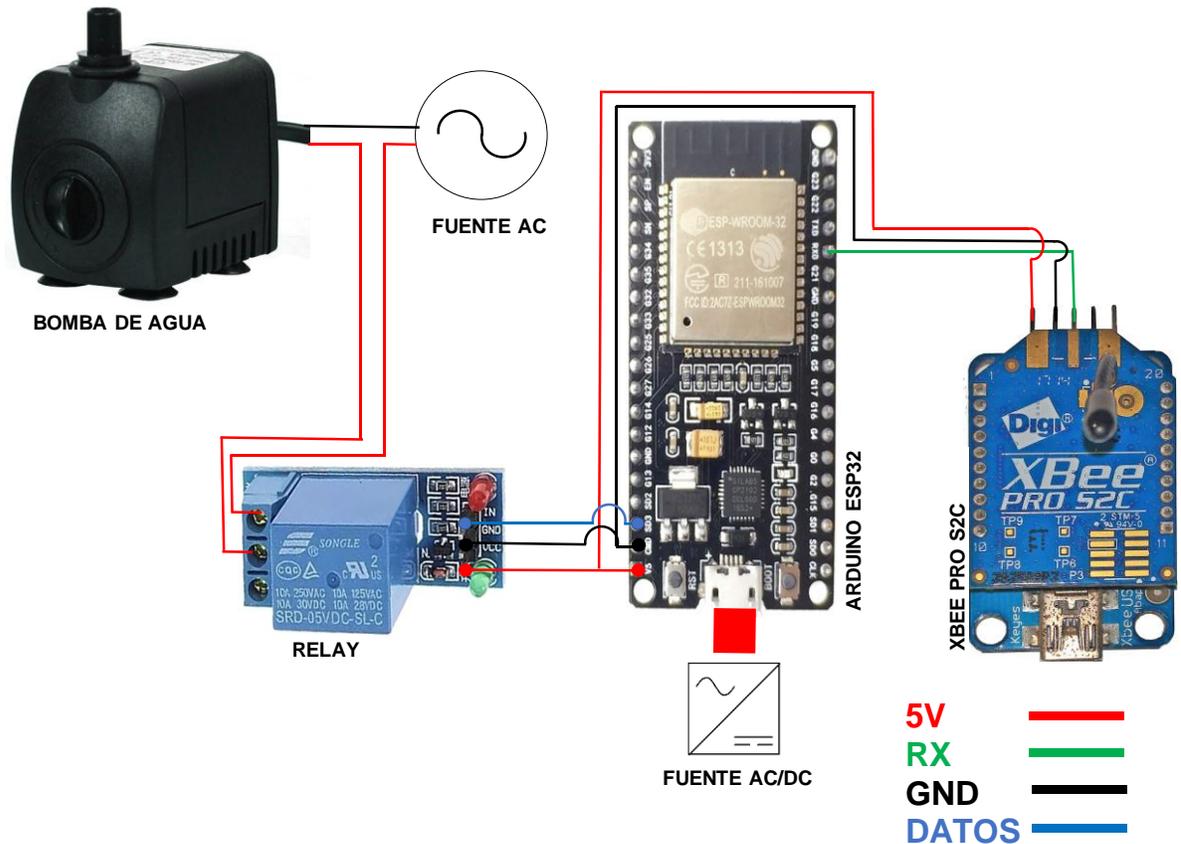


Ilustración 26 (Modelo visual Controlador ZigBee)

A continuación, se muestra el modelo visual de la red establecida para el desarrollo del prototipo de la tecnología ZigBee, en este diagrama el modelo de comunicación que se define es la comunicación de dispositivo a la nube la cual fue explicada anteriormente, se define una topología punto a punto, dado al presupuesto que se cuenta para el desarrollo, en la ilustración se denota el nodo End diviece y el nodo Coordinador, los cuales hacen la transferencia de los datos recolectados desde el módulo Reuter hasta el módulo coordinador, como el módulo coordinador está compuesto por una tarjeta arduino ESP32S, permite la transferencia de los datos a través del protocolo MQTT al Cloud server que almacenara los datos censados que posteriormente serán visualizados en la web (Client devices).

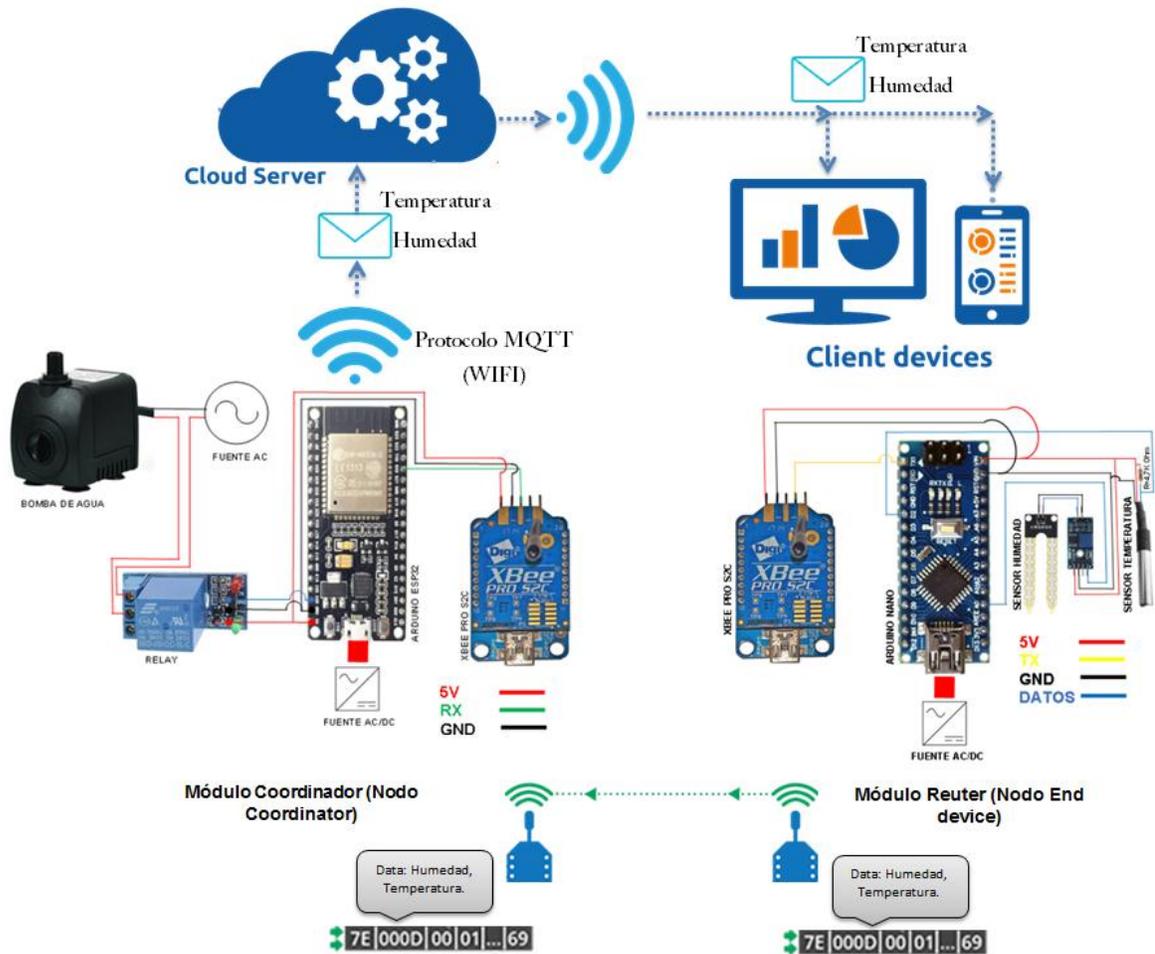


Ilustración 27(modelo visual de conexión ZigBee)

7.1.2. Modelo Visual SigFox.

En la siguiente ilustración se muestra el diagrama de conexión para el prototipo de la tecnología SigFox, que es desarrollada con los siguientes dispositivos electrónicos; la placa de desarrollo (Soul One), fuente de alimentación, resistencia, sensores de temperatura y de humedad, la conexión entre los dispositivos se realiza mediante unos jumpers los cuales se identifican por colores, el jumper de color rojo nos representa la conexión del voltaje, en este caso el voltaje que se maneja para la alimentación de los dispositivos es de 3VDC, el jumper de color negro hace referencia a la conexión del GND o tierra, el jumper de color azul y amarillo nos hace referencia a los datos recolectados de los sensores.

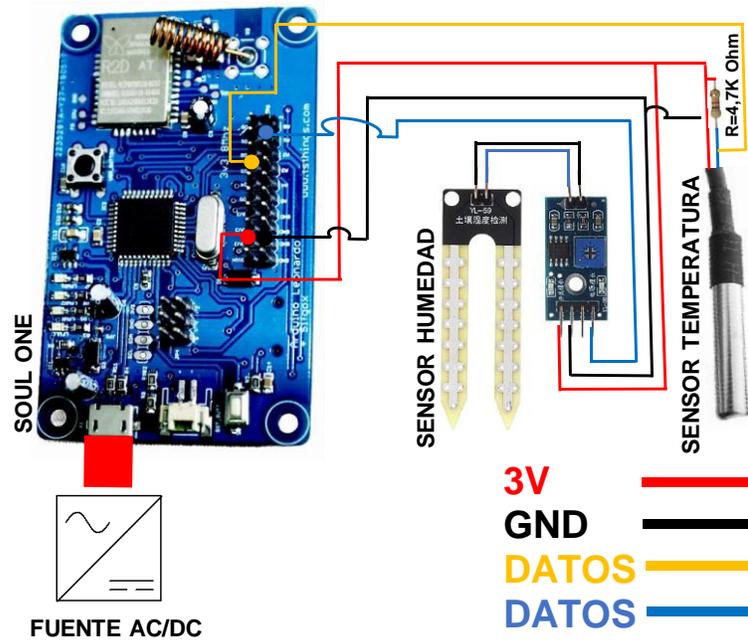
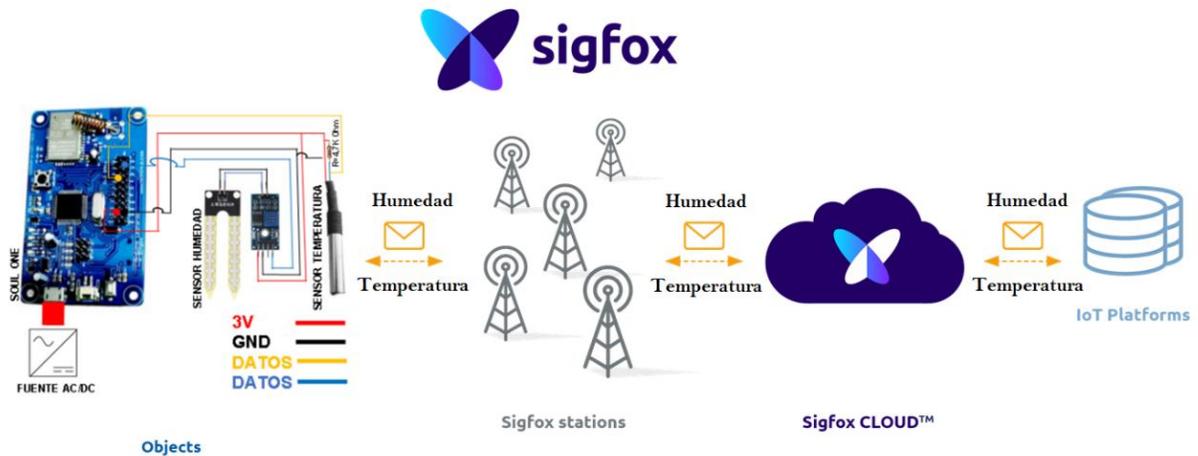


Ilustración 28 (Modelo Visual Sigfox Soul One)

En esta ilustración se muestra el modelo visual de la red en la tecnología SigFox, en esta tecnología se aplicó el modelo de intercambio de datos a través del back-end, como se evidencia en la imagen esta tecnología la integran los dispositivos u objetos, las estaciones que son las encargadas de recibir los mensajes desde los dispositivos y la plataforma web o back-end que almacena los mensajes recibidos desde las estaciones, esta tecnología no necesita estar conectado a internet como se mencionó anteriormente, utiliza su propio protocolo.



7.2. Aplicación de reglas

Una vez creado el modelo visual se hará uso de este para la aplicación de reglas en las diferentes placas de desarrollo, como también de comunicación, permitiendo definir un comportamiento al sistema mediante la interconexión de los sensores.

Para la aplicación de estas, se definen reglas aplicadas a los modelos de comunicación y reglas aplicadas a la codificación de las tarjetas que componen los prototipos, dado que el objetivo de este estudio es comparar y definir que tecnología daría una posible solución al sistema de riego artesanal, las reglas aplicadas a la codificación de las tarjetas será básica para que nos permitan medir las variables de temperatura del medio ambiente y humedad del suelo y comparar a partir de los resultados las dos tecnologías.

Reglas aplicadas a la red, se establece que para realizar la transferencia de los datos en el caso de la tecnología ZigBee se hará de forma inalámbrica y con una topología punto a punto, para ello se debe codificar las tarjetas Xbee uno como coordinador y el otro como reuter los cuales se encargarán de transmitir los datos recolectados de los sensores en un vector que será decodificado en las tarjetas de Arduino, para el módulo router o End device, se codificará los datos de los sensores en un vector concatenando unos caracteres que permitirán decodificar y separar los datos en el módulo coordinador.

Para el almacenamiento de la información censada se determina hacer uso de una plataforma gratuita que permite hacer la comunicación desde el nodo coordinador a la web por medio de la tarjeta ESP32S, para ello se debe tener en cuenta que tendrá que aplicarse el protocolo MQTT en WIFI, y ser codificada la frecuencia de transmisión a la plataforma de tal modo que ningún dato recibido desde el módulo End device se pierda, esto significa debe aplicarse la misma regla de frecuencia en los dos módulos.

En el caso de la tecnología SigFox, se debe tener en cuenta que la principal regla que se tiene que cumplir es estar inscrito en la plataforma web SigFox Core (back-end), para ello se debe adquirir un dispositivo donde el proveedor nos permita crear

esta cuenta, una vez creada dicha cuenta se puede proceder a la configuración de la tarjeta Soul One con el back-en de SigFox.

En la placa Soul One Arduino se define la regla de tiempo de trasmisión de datos dado que la tecnología SigFox solo permite hasta 140 mensajes diarios, para la aplicación de esta regla se debe establecer un tiempo estimado que no nos permita superar el número de mensajes diarios.

En base a las necesidades y requerimientos específicos del cultivo mencionados en el capítulo 1, se debe establecer una regla que permita definir cuando el riego debe ser accionado, según las especificaciones técnicas la humedad del suelo tiene que estar por encima del 60%, de lo contrario el riego debe accionarse, de igual manera se debe notificar de cuando el cultivo estuvo expuesto a temperaturas menores de 13 °C y mayores de 35°, dado que esto les permitirá identificar cuando deben proceder a la aplicación de fungicidas

7.3. Deployment y/o simulación del proyecto

Dadas las reglas y la creación de los diagramas del modelo visual se proceden a realizar la configuración en las diferentes placas de desarrollo, como también la aplicación de los modelos de comunicación para cada tecnología:

Para la configuración de las tarjetas de ZigBee, al puerto TX se le conectó el dispositivo XBee PRO S2C(router), que permite enviar la información por radio frecuencia hacia el Coordinador que también tiene la misma tarjeta XBee PRO S2C la diferencia es que este es el responsable de establecer el canal de comunicación y del PAN ID (identificador de red) para toda la red.

A continuación, se representa las configuraciones de los dispositivos XBee haciendo uso de la topología punto a punto, dado que solo contamos con dos tarjetas XBee PRO S2C, en este caso se configuro una tarjeta como coordinador y la otra como router.

Como se representa en la siguiente ilustración para la configuración del coordinador primero se conecta la tarjeta mediante el explorer por medio de USB al computador

haciendo uso del programa XCTU, el cual permite la configuración deseada para la red, para establecerlo como coordinador se habilita la opción CE Coordinator Enable definiéndolo como el responsable de establecer el canal de comunicación y un PAN ID que sería el identificador de la red por la cual se comunicaran las dos tarjetas.

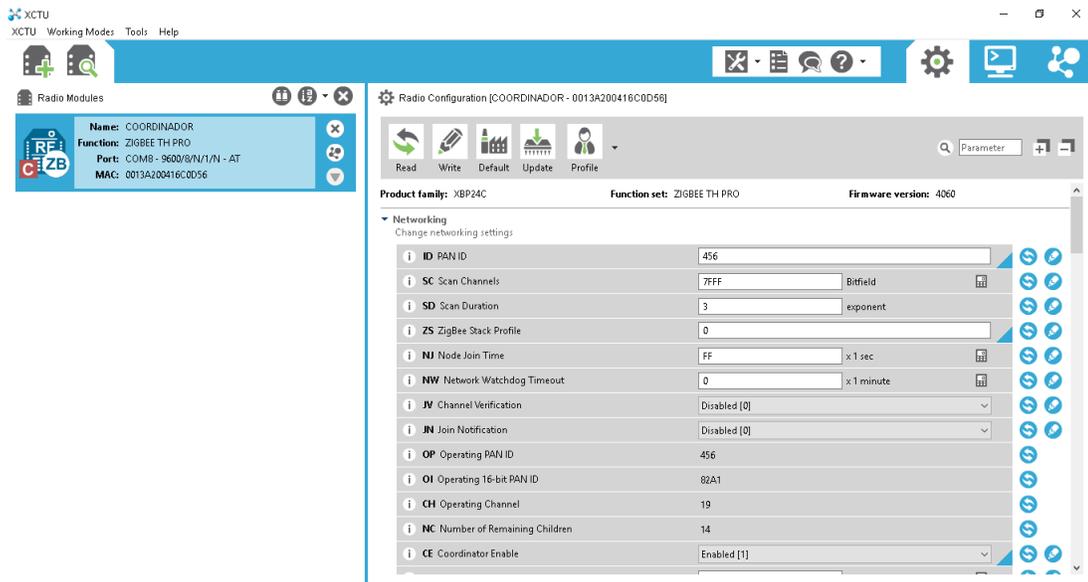


Ilustración 29 (Configuración Coordinador Zigbee)

La configuración para la tarjeta de comunicación XBee PRO S2C declarada como router se configura en el mismo programa se utiliza el mismo PAN ID la diferencia es que a este se lo declara como router dejando la opción CE Coordinator Enable (Deshabilitada) como se representa en la siguiente ilustración.

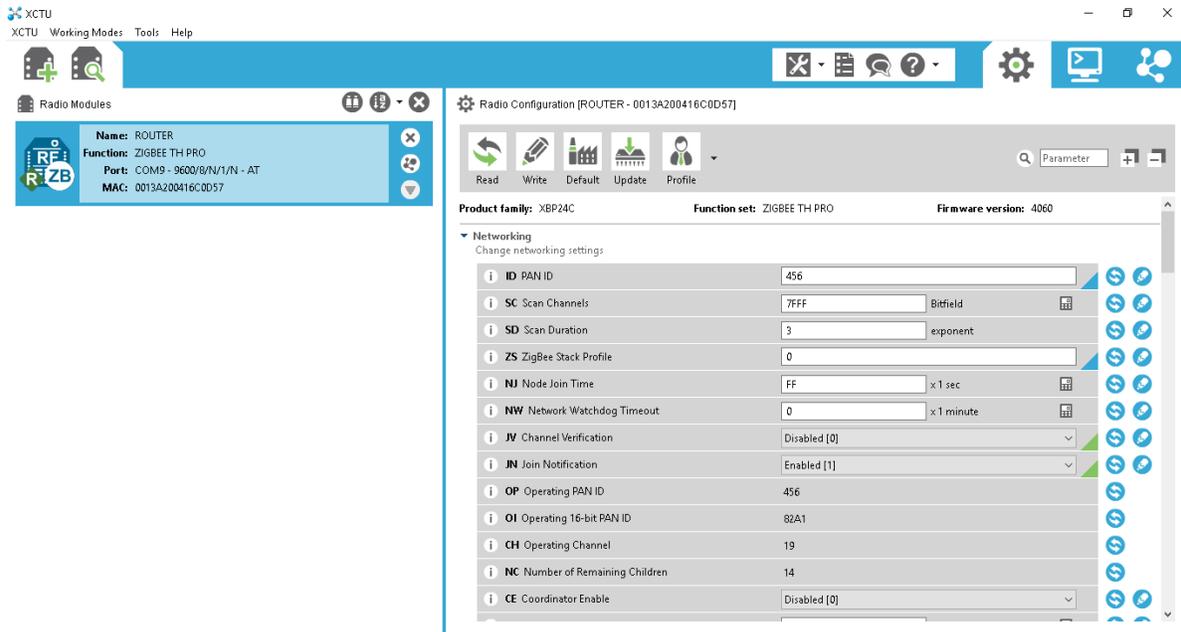


Ilustración 30 (Configuración Router Zigbee)

El modo de transmisión en el Coordinador como en el Router sería a través de un puerto serial en modo serial Transparente (Modo AT), el Router se encarga de crear la trama y el dato que llegue al pin TX será enviado de forma inalámbrica al coordinador tal y como se observa en la siguiente ilustración.

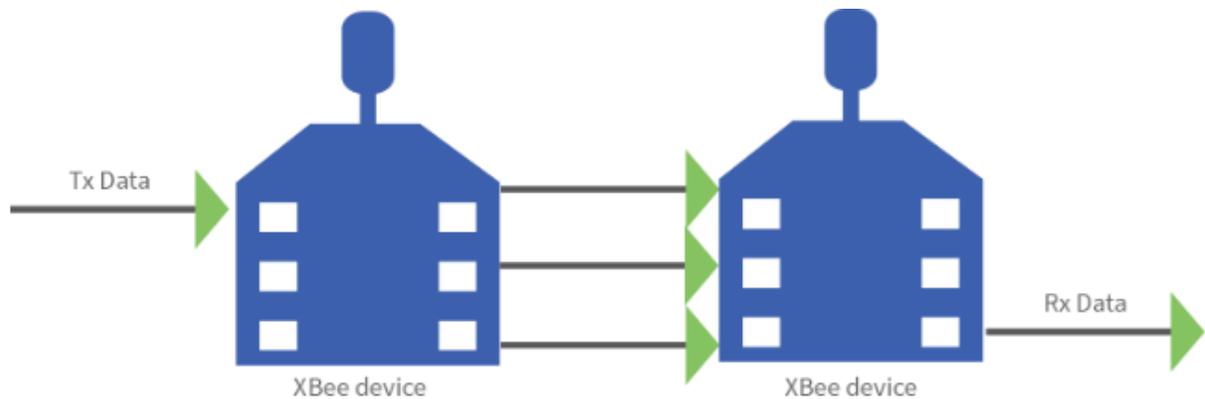


Ilustración 31 (Modo de transmisión Router, Coordinador)

En la placa Arduino nano, se desarrolla la configuración de los sensores en los puertos analógico 0(A0) y Digital 2(D2), lo primero que se realizó para captar la señal de la temperatura fue incluir las librerías (OneWire y DallasTemperature) las cuales se encargan de realizar la conversión de los datos del sensor y obtener una lectura digital del puerto D2. Para la captación de la humedad se utilizó el puerto analógico

A0, esta señal de humedad tuvo que ser transformada mediante la función `map()`, la cual realiza un ajuste de los valores leídos y los convierte a un porcentaje que es el que se va utilizar para ejecutar la regla principal, que es la encargada de accionar el riego.

El dispositivo XBee PRO S2C (Coordinador) es el encargado de la recepción de la información transmitida por el Router y hacerla llegar al Arduino ESP32S, el cual va conectado al puerto RX, una vez que los datos se encuentran en el Arduino, este se encarga de separarlos mediante las letras H y T como se mencionó anteriormente, para que puedan ser transmitidos mediante una red wifi a la plataforma Cayenne y así poder realizar un análisis de datos, monitoreo constante, alertas tempranas y accionamiento del sistema de acuerdo a las reglas anteriormente expuestas.

Una vez recolectados los datos estos son transmitidos mediante el puerto de TX, uniendo los datos numéricos de temperatura y humedad, concatenándolos por las letras H y T para enviar una sola cadena ejemplo: 74H23T para que esta cadena pueda ser separada fácilmente en el nodo Coordinador, esta separación se codifica en el Arduino ESP32S como se evidencia en las siguientes ilustraciones.

```
if((millis()-tiempo_tx) > 500) {  
    Serial.print(temperatura);  
    Serial.print("T");  
    Serial.print(humedad);  
    Serial.print("H");  
    tiempo_tx=millis();  
    delay(1000);  
}
```

Ilustración 32 (Transmisión de los datos Arduino Nano)

Como se observa en la siguiente ilustración, para la configuración de transmisión en el Nodo Router, se definió a partir de un tiempo de 500 milisegundos que corresponden a 5 segundos, como se mencionó anteriormente los datos fueron concatenados y transmitidos mediante el puerto serial TX.

```

while(Serial.available()>0) {
    delay(5);
    datos[posicion] = Serial.read();
    Serial.println(datos);
    posicion++;
    segmentacion=true;
}
posicion =0;
//SEGMENTACION DE DATOS
if(segmentacion==true){
    int index=0;
    resultado=strtok(datos,separador);

    while((resultado != NULL)&&(index < 2)) {
        valores[index++]=atoi(resultado);
        resultado = strtok(NULL,separador);
    }
    segmentacion = false;
}
TEMPERATURA=valores[0];
Serial.println(TEMPERATURA);
HUMEDAD=valores[1];
Serial.println(HUMEDAD);
}

```

Ilustración 33 (Segmentación de datos Arduino ESP32S)

Para la separación de la cadena transmitida por el nodo Router se realiza en el nodo coordinador, con el fin de visualizar por separado las variables recolectadas en los sensores de humedad y temperatura, para esta acción se definió un vector de tamaño 15, el cual captara los datos por el puerto RX, estos datos son separadas a partir de la segmentación, se hace uso de la función Strtok, la cual permite separar las cadena a partir de un carácter, como ya se mencionó estos caracteres vienen definidos desde el nodo Router, los caracteres definidos para esta separación son HT, con esto logramos la segmentación de la cadena y a partí de la posición capturamos la temperatura para el caso de la posición [0] y la humedad en la posición [1].

Par el almacenamiento de la información en la plataforma Cayenne se debe configurar en la placa de Arduino ESP32S, para esto se obtiene desde esta plataforma un usuario, una contraseña y un cliente, esta conexión se hace a través del protocolo MQTT, por lo tanto se procede a instalar las librerías de Cayenne descargadas de la plataforma las cuales tienen ya definido este protocolo, una vez instaladas se instancian y se les define las variables antes mencionadas para la

conexión, en este caso es necesario que el dispositivo se encuentre conectado a internet, esta conexión se hace por medio de Wi-Fi, el código de configuración y conexión se muestra en la siguiente ilustración.

```
#include <DetectDevice.h>
#include <CayenneMQTTESP32.h>
#define CAYENNE_DEBUG
#define CAYENNE_PRINT Serial

char ssid[] = "WIFI";
char password[]="*****";

char username[] = "*****";
char mqtt_password[] = "*****";
char cliend_id[] = "*****";

//#define VIRTUAL_CHANNEL 1
#define BAROMETER_VIRTUAL_CHANNEL 1
#define TEMPERATURE_VIRTUAL_CHANNEL 2
```

Ilustración 34 (Conexión Cayenne)

```
CAYENNE_IN(0)
{
  digitalWrite(2, !getValue.asInt());
}

CAYENNE_OUT(BAROMETER_VIRTUAL_CHANNEL)
{
  Cayenne.virtualWrite(BAROMETER_VIRTUAL_CHANNEL, HUMEDAD, "DIGITAL_SENSOR", "p");
}

CAYENNE_OUT(TEMPERATURE_VIRTUAL_CHANNEL)
{
  Cayenne.virtualWrite(TEMPERATURE_VIRTUAL_CHANNEL, TEMPERATURA, TYPE_TEMPERATURE, UNIT_CELSIUS);
}
```

Ilustración 35 (Conexión Cayenne Recolección de datos)

Para la recolección de los datos en la plataforma se definen unas variables virtuales, donde establecemos 3 variables, humedad, temperatura y acción_rele, con estas variables se pueden empezar a visualizar los datos en la plataforma.

Finalmente se logró desarrollar dos dispositivos para la tecnología ZigBee, los cuales fueron organizados en una caja de prototipo para una mejor presentación a continuación se muestran las fotos de los dispositivos terminados.

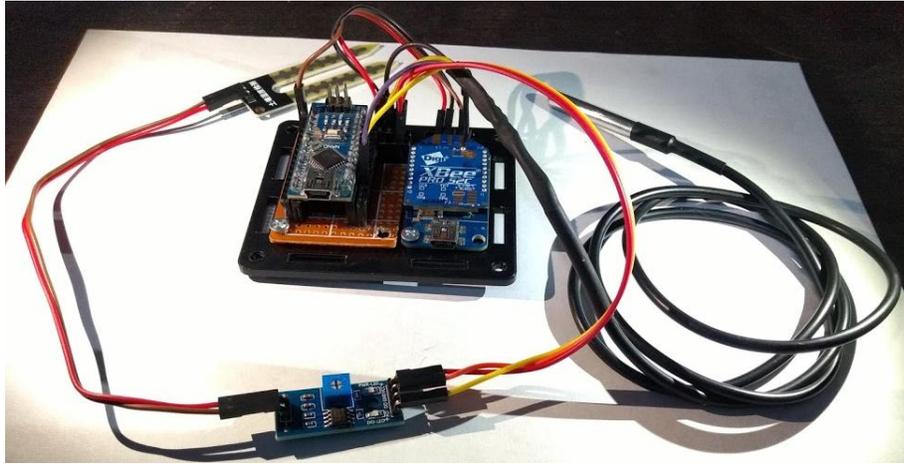


Ilustración 36 (Nodo Router ZigBee Conexiones)

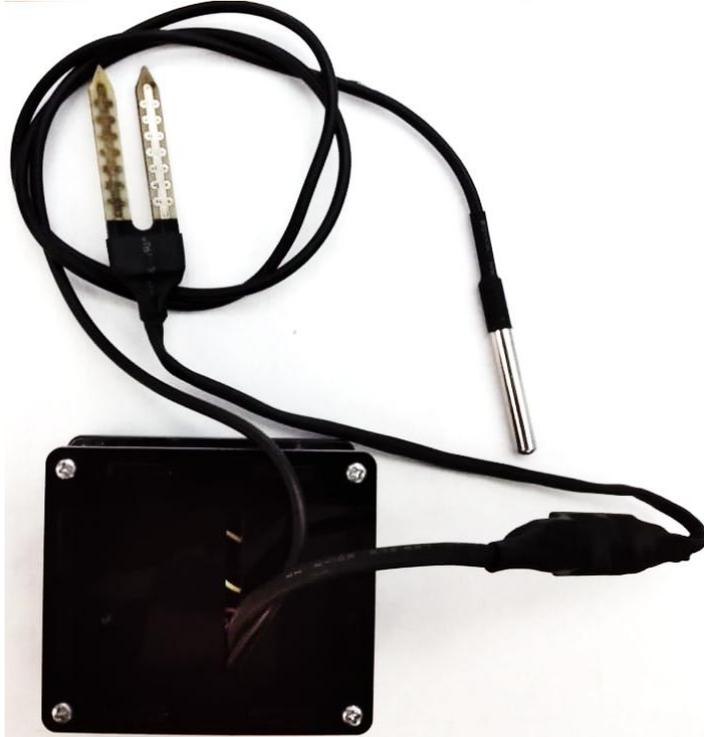


Ilustración 37 (Nodo Router ZigBee Terminado)

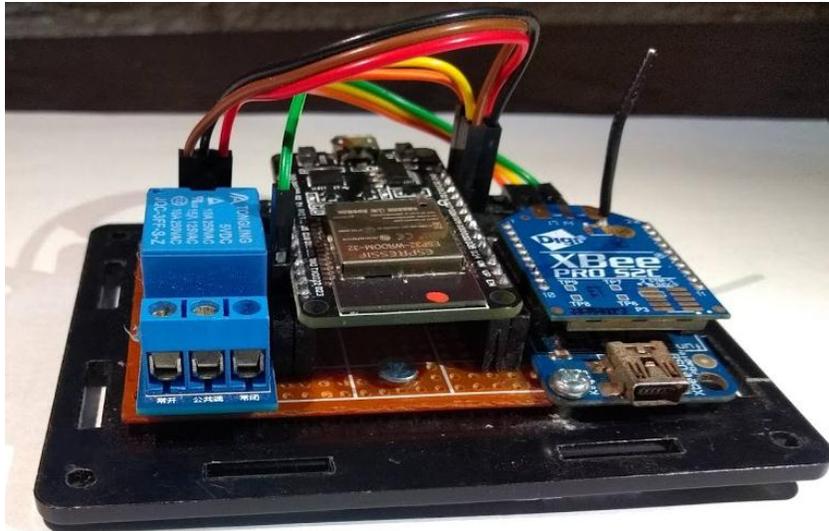


Ilustración 38 (Nodo Coordinador ZigBee Conexión)



Ilustración 39 (Nodo Coordinador ZigBee Terminado)

Para la placa de desarrollo Soul One se realizó la misma configuración para la captación de los datos de temperatura y humedad que la placa de Arduino nano, se utilizaron las mismas librerías y fórmulas de conversión, solo que en esta placa se adiciono la conexión y restricciones planteadas anteriormente para la transferencia de la información censada por medio de la infraestructura de SigFox dado que estos datos son almacenados directamente la plataforma SigFox Core Netware, con esta

tecnología se implementó el modelo de transmisión de datos a través del back-en, desde la plataforma de SigFox a la plataforma Ubidots.

para configurar la placa a la red de SigFox se tiene que tener un usuario registrado en el Back-en en SigFox, posteriormente se define la frecuencia de transmisión , idealmente se debe configurar a `AT$IF=920800000\n`, con los comandos AT se fija y se guarda la frecuencia de transmisión, una vez se configuran y calibren los sensores se define el tiempo de envío de los datos a la plataforma, idealmente se establece un rango de envío cada 10 minutos, dado que el rango máximo de mensajes diarios que permite es de 140, de igual forma se definen los valores enviados en una trama, a continuación se ilustra el código establecido para la conexión tanto en el Back-end y en el código en el Arduino.

Para la obtención del ID y el PAC de la tarjeta, necesarios para el registro en el Back-en de SigFox, se hace uso del software del módulo WISOL, en la interfaz SFM10R TEST LAB, lo primero que se debe hacer es suministrar el número del puerto COM.

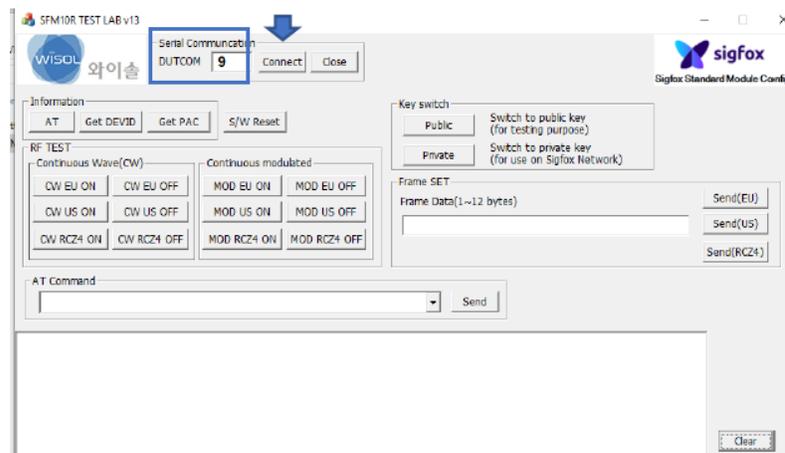


Ilustración 40 (Configuración Backend Soul One)

Seguido a esto le damos clic en el botón Connect, de esta forma validamos la conexión como se muestra en la siguiente ilustración.

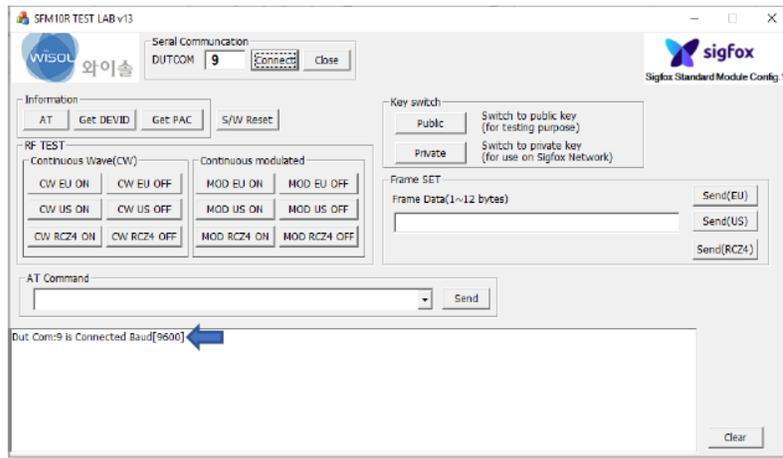


Ilustración 41 (Validación Backend)

Para la obtención del ID y el PAC solo es dar clic en el botón Get DEVID y en el botón GetPAC como se ilustra a continuación:

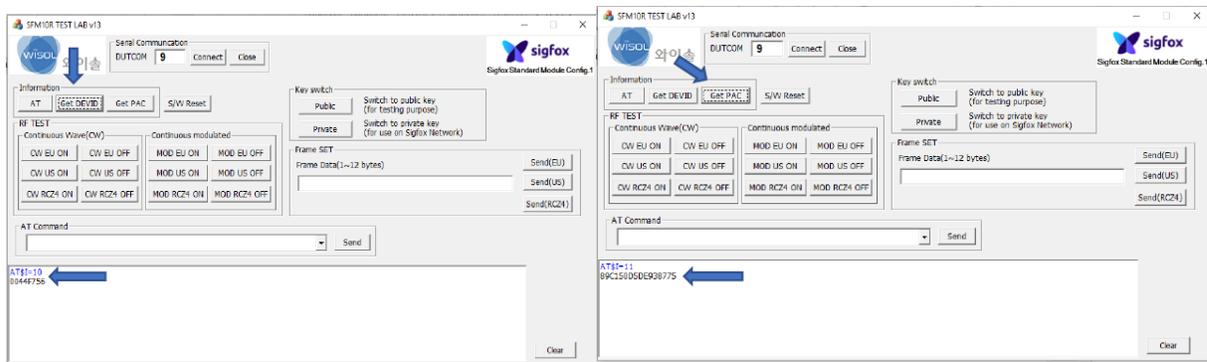


Ilustración 42 (Obtención ID y PAC)

Para verificar si se estableció comunicación validamos la conexión en la plataforma www.backend.sigfox.com como se muestra en la siguiente ilustración.

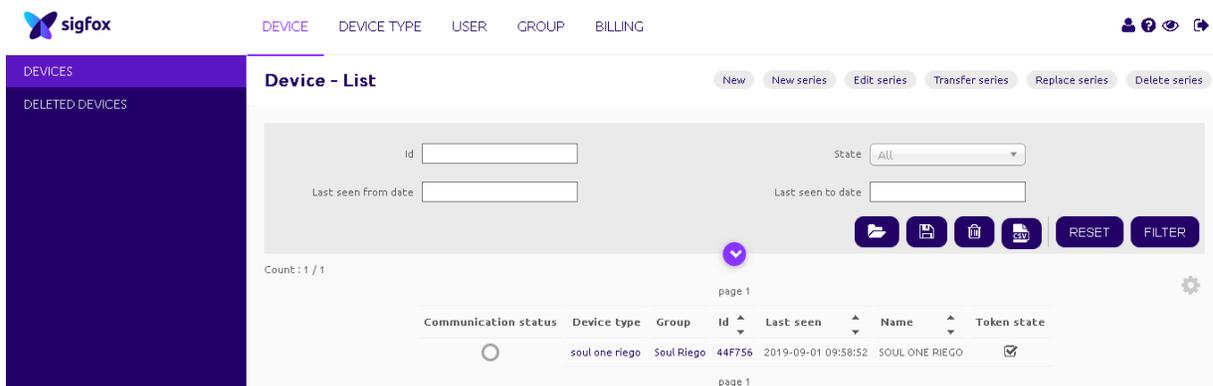


Ilustración 43 (Validacion Conexion Backend)

Seguidamente se configura en el código Arduino la comunicación, como se mencionó anteriormente, es importante saber que la comunicación se realiza por el puerto serial1, en la siguiente ilustración se evidencia la configuración de la comunicación al back-end de SigFox.

```

void setup()
{
  Serial1.begin(9600);
  sensorDS18B20.begin();
  Serial.begin(9600);
  tiempo_tx = millis();
  Serial1.print("AT$IF=920800000\n"); // fijación de frecuencia de tx
  delay(1000);
  Serial1.print("AT$CB=-1,1\n");
  Serial1.print("AT$WR\n"); // se guarda la configuración
  delay(1000);
}

if((millis()-tiempo_tx) > 600000){ // Envío de información por sigfox cada 10m=600000 1m=60000

Serial.print("valores a ser enviados");
  Serial.print(" Temperatura=");
  Serial.print(gradesCen);
  Serial.print("\n");
  Serial.print(" Humedad=");
  Serial.print(humedad);
  Serial.print("\n");
delay(50);
  sprintf(Tem, "%.4X",gradesCen);// Para garantizar que el envío de bytes es en pares
  sprintf(Hum, "%.4X",humedad);// Para garantizar que el envío de bytes es en pares
  Serial.print(Tem);
  Serial.print(" T");
  Serial.print("\n");
  Serial.print(Hum);
  Serial.print(" H");
  Serial.print("\n");
  Serial.print("\n");
delay(50);
  tiempo_tx=millis();
  delay(50);
  sigfoxTransmit();
}
}

void sigfoxTransmit(void) {
  Serial.println("Sigfox transmitting.. ");
  delay(1000);
  Serial1.print("AT$RC\n");// Se reinicia el canal de comunicación
  delay(1000);
  Serial1.print("AT$SF="); // Se envia la trama
  Serial1.print(Tem); // Variables enviadas
  Serial1.print(Hum); // Variables enviadas
  Serial1.print("\n");
  delay(3000);
  Serial.println("Done.. ");
}

```

Ilustración 44 (Código de Conexión SigFox)

Como se evidencia en el anterior código y como se mencionó anteriormente los comandos AT permiten establecer la configuración necesaria para definir la

transmisión y establecer la comunicación. A continuación, se muestra el prototipo terminado.

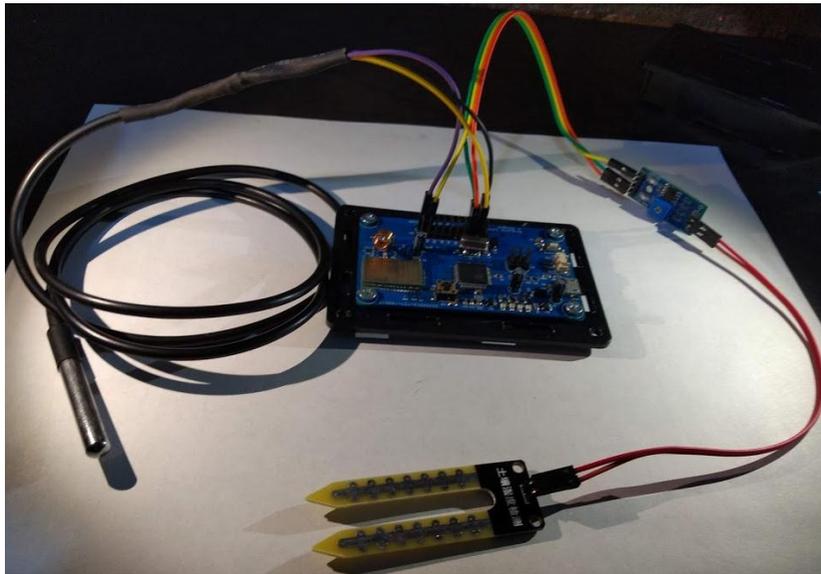


Ilustración 45 (Dispositivo SigFox Conexión)



Ilustración 46 (Dispositivo SigFox Terminado)

Para aplicar las reglas dentro de los prototipos se establece la configuración necesaria que permite una correcta configuración en el código fuente de las tarjetas de arduino y en las plataformas web.

En la siguiente ilustración se observa la principal regla a definir la cual permite accionar el riego a través de la humedad recolectada por el sensor, determinando si

la humedad se encuentra por debajo del 60%, enviando una señal al pin 13 de la placa de desarrollo (Arduino ESP32), a la cual se le declaro con el nombre de ACTUATOR_PIN, este permite el accionamiento del módulo relay el cual da el flujo de corriente y hace que se encienda la bomba de agua para regar el cultivo.

```
if (HUMEDAD<60) {  
    digitalWrite (ACTUATOR_PIN, LOW);  
}else{  
    digitalWrite (ACTUATOR_PIN, HIGH);  
}
```

Ilustración 47 (Aplicación de reglas Arduino ESP32)

Mediante la plataforma Cayenne recolectamos los datos de temperatura y humedad enviados por la placa de desarrollo (ESP32 ARDUINO), por medio de una conexión inalámbrica (WIFI), a través del protocolo MQTT, en este caso se empleó el modelo de comunicación dispositivo a la nube mencionado anteriormente, los cuales se almacenan para determinar una acción, esta plataforma es de gran utilidad ya que nos permite enviar notificaciones en tiempo real bien sea por correo electrónico o mensajes de texto, una vez configuradas las siguientes reglas que se definieron anteriormente, que permiten la notificación del estado del cultivo:

En la siguiente ilustración, se aplicó un disparador o regla que define si la humedad del cultivo se encuentra por debajo del 60% nos permite enviar una notificación a los correos electrónicos o mensajes de texto a los usuarios que queramos configurar.

Ilustración 48 (Aplicación de reglas Cayenne Humedad)

De igual forma se configuro que, si el nivel de temperatura supera los 35°C, nos envié automáticamente por correo electrónico y mensaje de texto una notificación diciendo que la temperatura se encuentra por encima del nivel permitido.

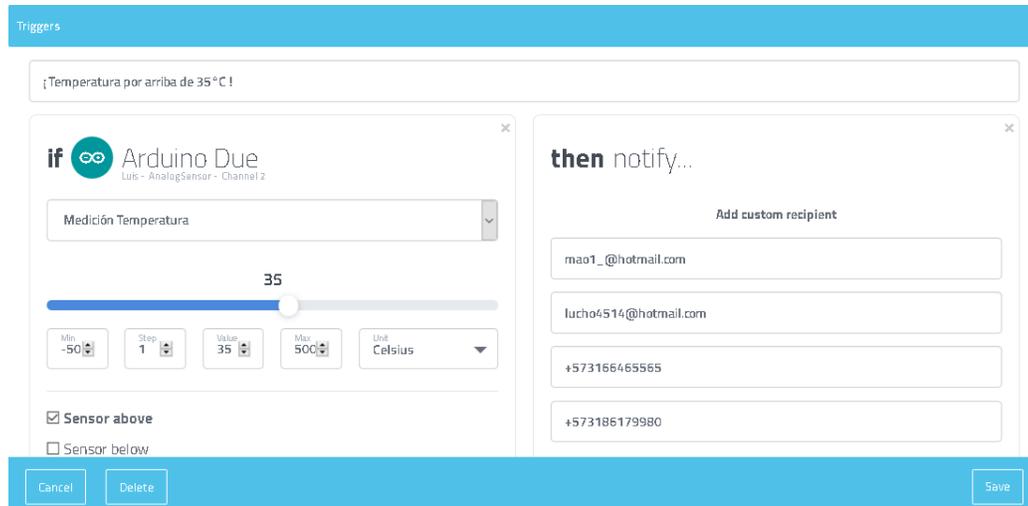


Ilustración 49 ((Aplicación de reglas Cayenne Temperatura superior a 35°C))

En la siguiente ilustración, se configuro que, si el nivel de temperatura se encuentra por debajo de los 13°C, nos envié automáticamente por correo electrónico y mensaje de texto una notificación informando que la temperatura se encuentra por abajo del nivel permitido.

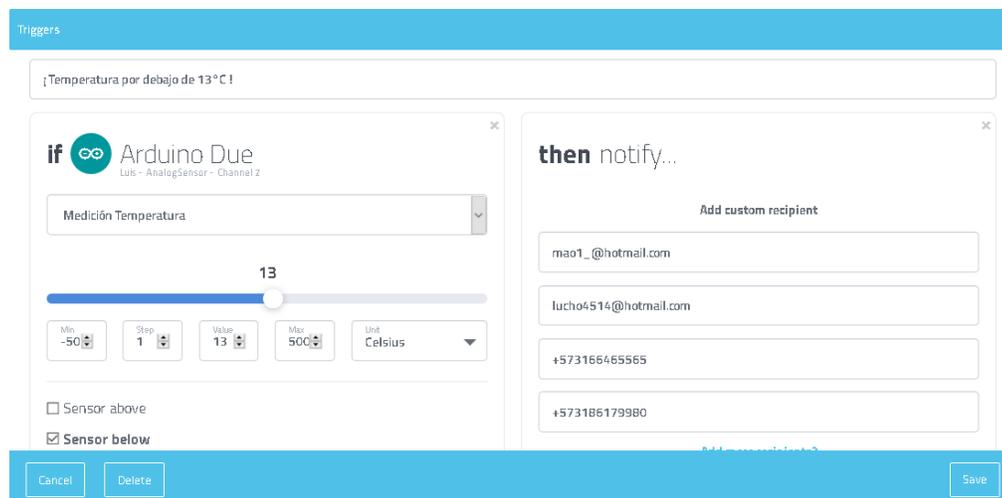


Ilustración 50 (Aplicación de reglas Cayenne Temperatura inferior a 13°C)

Para el caso de la tecnología SigFox se empleó el modelo de comunicación de transmisión de datos por medio del back-en, mencionado anteriormente, a la

plataforma Ubidots, en la cual recolectamos los datos de temperatura y humedad enviados por la placa de desarrollo (SOUL ONE ARDUINO), por medio de una conexión inalámbrica a través del protocolo definido por SigFox, que posteriormente son almacenados en la plataforma SigFox Core Netware y transmitidos por medio de un evento definido en el back-end a la plataforma Ubidots la cual almacena los datos para determinar una acción deseada, esta plataforma nos permite enviar notificaciones en tiempo real al igual que la anterior plataforma bien sea por correo electrónico o mensajes de texto, una vez configuradas las siguientes reglas:

Para la regla del tiempo de transmisión se determina codificar en la placa Soul One la regla de tiempo de transmisión de datos estimado de 600000 milisegundos que corresponden a 10 minutos, con el fin de no superar el límite de mensajes diarios que permite esta tecnología, a continuación se muestra el código de tiempo de transmisión.

```
if((millis()-tiempo_tx) > 600000){ // Envío de información por sigfox cada 10m=600000 1m=60000
```

En la siguiente ilustración, se aplicó la regla si el nivel de temperatura supera los 35°C, nos envíe automáticamente por mensaje de texto una notificación diciendo que la temperatura se encuentra por encima del nivel permitido.

The screenshot shows the Ubidots rule configuration interface. It starts with 'Select a Device' where 'AA4756' is chosen. Under 'Select a Variable', 'temperatura' is selected. The 'if' condition is set to 'greater' with a value of '35'. Below the condition, the 'Send SMS' action is chosen. The phone number is set to 'Colombia +57 3166465564' and the message is 'La temperatura se encuentra por encima de los 35°C'. The 'Finish' button is visible at the bottom.

Ilustración 51 (Aplicación de reglas Ubidots Temperatura)

En la siguiente ilustración, se aplicó la regla que, si el sensor capta una humedad inferior al 60% envíe una notificación automática por correo electrónico, informando que el riego se encuentra por debajo del nivel ideal para el cultivo.

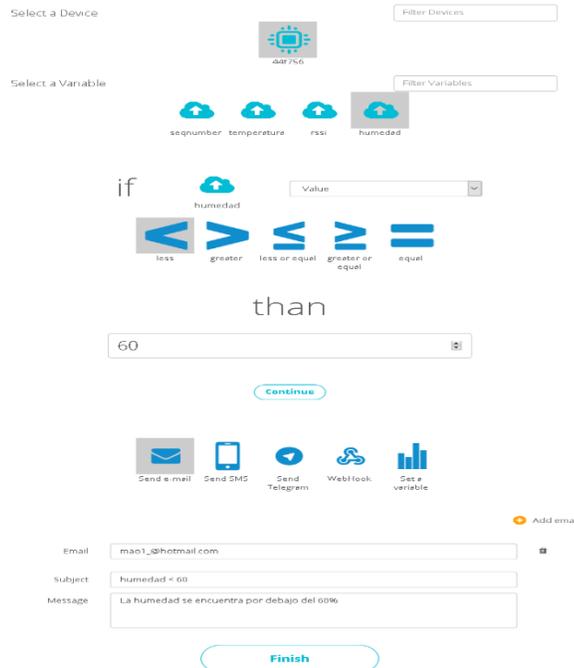


Ilustración 52 (Aplicación de reglas Ubidots Humedad)

De esta forma se puede proseguir al seco de los datos y su posterior visualización y análisis de la información almacenada en las plataformas configuradas.

7.4. Visualización de los datos:

Siguiendo la técnica Brikcs planteada en la metodología, para la visualización y análisis de los datos como se evidencio anteriormente se hizo uso de los servicios ofrecidos por las plataformas Cayenne y Ubidots, una vez conectado a el dispositivo arduino SP32S haciendo uso del modelo de comunicación dispositivo a la nueve, a través del protocolo MQTT y el Wi-Fi incorporado en esta placa, se logró recolectar la información censada por los sensores transmitida desde el nodo router al coordinador por el protocolo ZigBee, en la plataforma Cayenne, en esta plataforma se determinó

crear widget para humedad y temperatura y unas graficas para cada variable censada, dando como resultado:



Ilustración 53 (DashBoard Cayenne)

Para el caso de SigFox se hizo uso del modelo de intercambio de datos por medio de back-end dado que esta tecnología tiene su propia plataforma de almacenamiento, como se evidencio anteriormente el intercambio se da cada 10 minutos dado que desde el código se configuro, dado al límite de mensajes por día que permite hasta un máximo de 140 mensajes diarios, una vez el dispositivo transmite el paquete de datos censados este será recepcionado por las antenas más cercanas y enviados a la plataforma de SigFox Core Netware, cada vez que esta plataforma recibía estos paquetes, serán transferidos a la plataforma Ubidots donde se configuro la visualización de los datos, desde el Scrip enviado desde sigFox se le definían los datos a almacenar, y en la plataforma se configuraba la visualización de estos, como se muestra en las siguientes ilustraciones.

Time	Delay (s)	Data / Decoding	Base station	RSSI (dBm)	SNR (dB)	Freq (MHz)	Frames	Callbacks	Location
2019-09-01 00:48:14	1.8	000e0054 temperature:14 humidity:81	67ES 6403	-128.00 -128.00	12.00 15.55	920.7882 920.7881	3/3 3/3		
2019-09-01 00:38:14	1.6	000f0054 temperature:15 humidity:84	67ES 6403	-128.00 -129.00	12.57 14.41	920.7317 920.7850	3/3 2/3		
2019-09-01 00:28:12	2.3	000f0054 temperature:15 humidity:84	67ES 6403	-128.00 -129.00	13.18 14.62	920.7960 920.7959	3/3 2/3		
2019-09-01 00:18:12	2.1	000f0054 temperature:15 humidity:84	67ES	-130.00	10.44	920.7781	3/3		

Ilustración 54 (Backend SigFox)

En esta figura se evidencia los datos recolectados en la plataforma de SigFox Core Network, los cuales muestran las variables censadas, la fecha de recolección, el tiempo de retraso, la frecuencia de recepción las estaciones que recibieron el mensaje y los mensajes con una posible ubicación.

Estos mensajes son enviados a través de un evento definido en el Callback, como se muestra en la siguiente ilustración.

```

Type: DATA - UPLINK
Channel: URL
Custom payload config: temperature:0:uint:16 humidity:2:uint:16
Use HTTP method: POST
URL pattern: https://things.ubidots.com/api/v1.6/devices/{device}/?token=XXXX
ContentType: application/json
Body:
{
  "rssi": {rssi},
  "seqNumber": {seqNumber},
  "Temperatura": {customData#temperature},
  "Humedad": {customData#humidity}
}

```

Ilustración 55 (Configuración Callback)

Una vez envía los datos desde el back-en a la plataforma Ubidots se pueden configurar el modelo visual de los datos censados como se muestra en la siguiente ilustración:

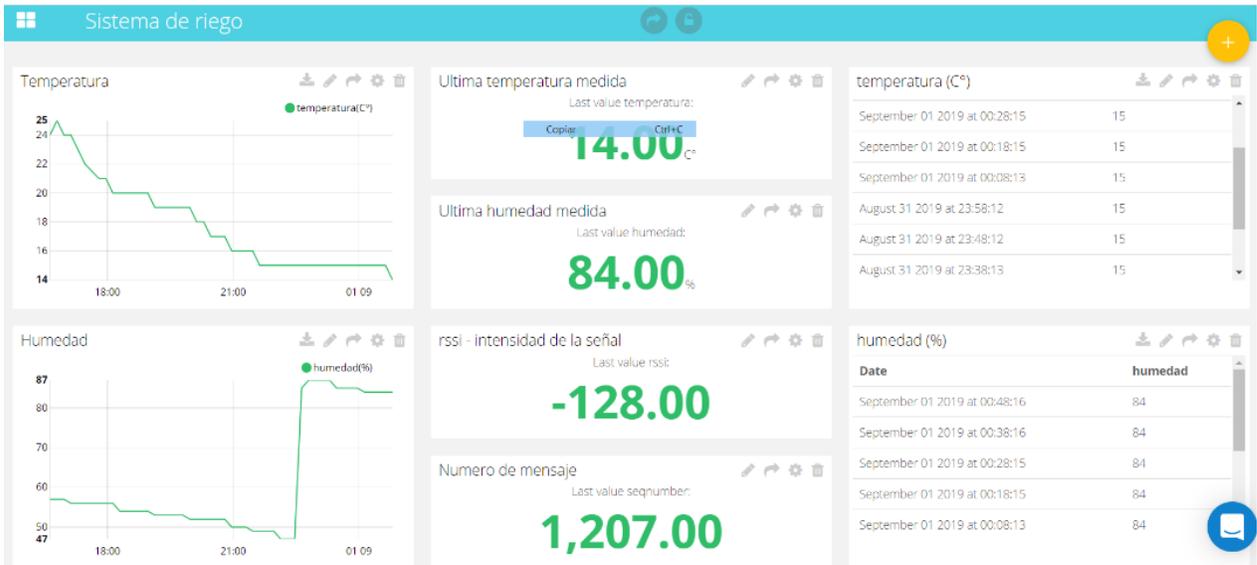


Ilustración 56 (DashBoard Ubidots)

Con las condiciones establecidas en estas plataformas se evidencio las notificaciones por mensajes de texto y correos electrónicos configurados, en las siguientes ilustraciones se muestra este reporte.

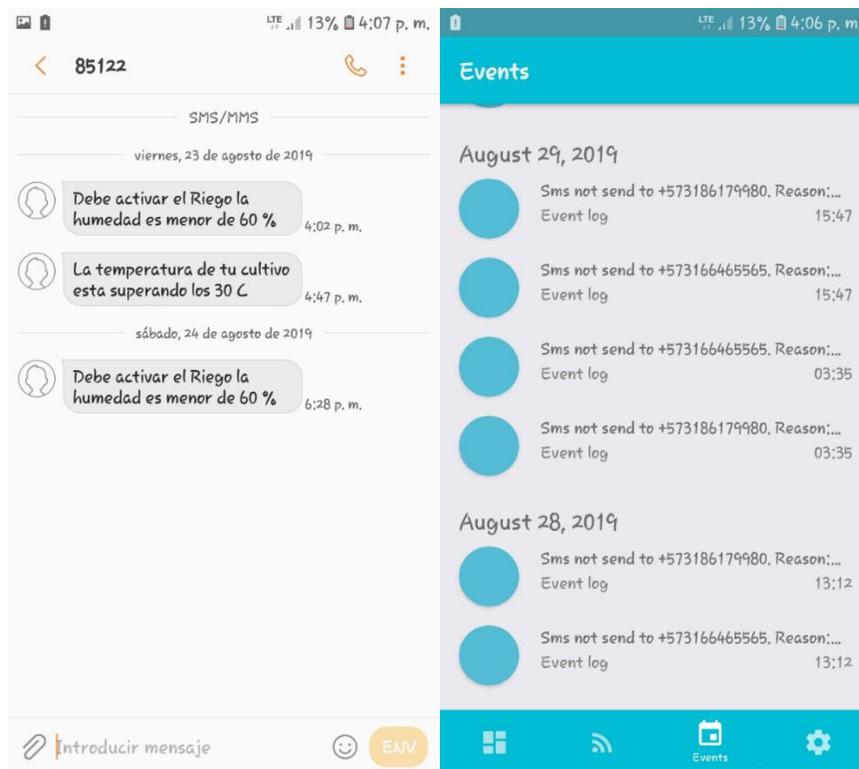


Ilustración 57 (Notificaciones Celular)

IV. CAPÍTULO 4 – ANALISIS Y RESULTADOS.

En este capítulo se especificará los resultados obtenidos del levantamiento de las variables recolectadas de los prototipos desarrollados, como se mencionó en el capítulo 1, para el análisis y resultados se utilizó estadística descriptiva, que se dedica a los métodos de organización, descripción y visualización de los datos recolectados de las variables propuestas y estadística inferencial, que permite sacar conclusiones sobre la población (tecnologías de redes de sensores) a partir de los datos de una muestra (SigFox, ZigBee), para esta comparación se definen análisis a partir de los costos de implementación, consumo energético, calidad de los datos, cobertura y escalabilidad.

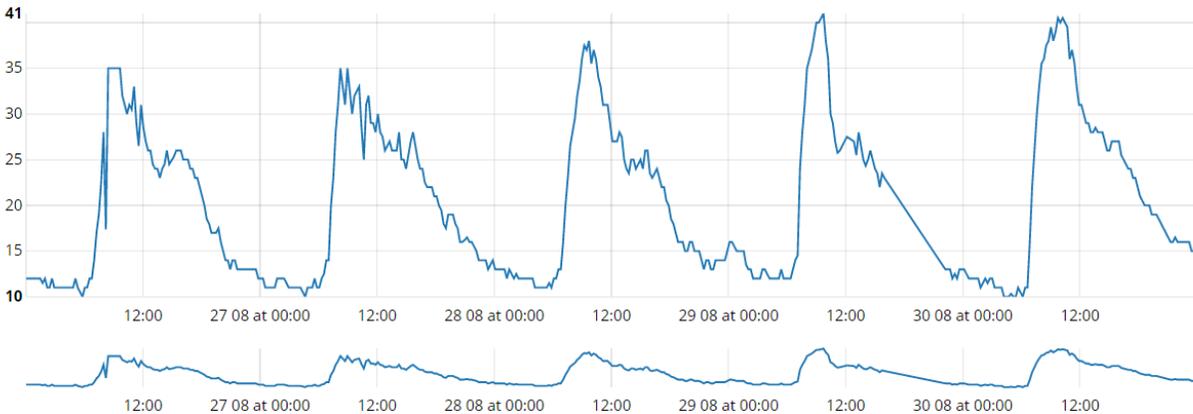
Para la recolección de los datos se decidió crear un modelo a escala pequeña del invernadero dado que en el momento de hacer pruebas en terreno (Municipio de Piendamó – Tunia) la cobertura del dispositivo SigFox no dio buenos resultados y en el caso del dispositivo ZigBee no se tenía acceso a internet, por tal motivo se creó un modelo a escala del invernadero para la recolección y análisis de los datos en la siguiente ilustración se muestra el modelo.



Ilustración 58 (Modelo Invernadero)

Para la recolección de los datos se determinó un ceso por un periodo de un mes, pero por el poco tiempo que se nos dio para las pruebas solo se logró censar 5 días, desde el

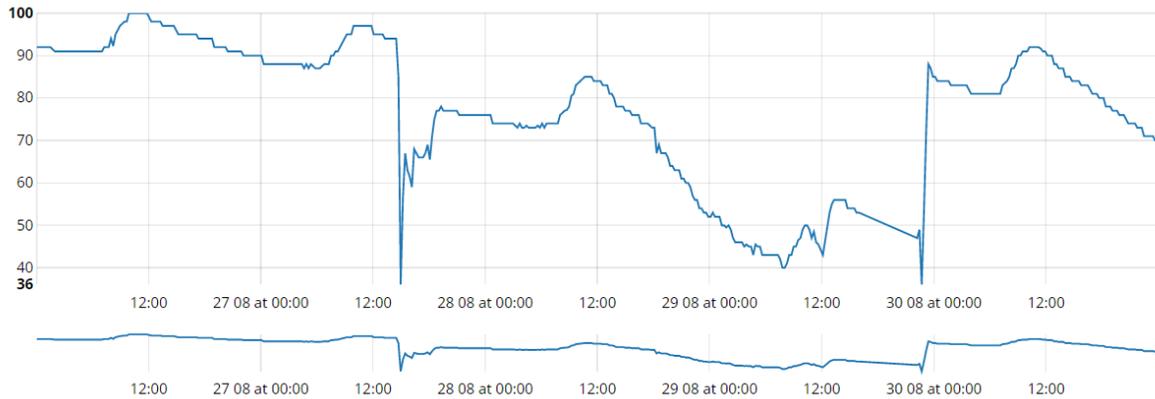
día 26 de agosto hasta el 30 de agosto, para el caso del dispositivo SigFox se lograron censar un total de 1,262 mensajes en las variables de humedad y temperatura, para el caso de temperatura se logró la siguiente estadística.



Gráfica 7 (Temperatura Ubidots)

En esta gráfica se evidencia los cambios de temperatura desde los picos más altos hasta los más bajos, con estos datos se pudo determinar los cambios bruscos de temperatura los cuales fueron notificados por medio de mensajes al celular y al correo determinados en la configuración inicial, las temperaturas más altas se registraron al medio día y el día con la temperatura más alta se dio el día 29 de agosto con 41 °C y las temperaturas más bajas se evidenciaron en horas de la mañana entre las 4 y 6 de la mañana con una temperatura mínima de 10 °C, con estos datos se logró establecer en qué momento el cultivo fue expuesto a temperaturas por fuera de los rangos normales, con esto los campesinos tendrían un sistema de alertas que les permitirá identificar el momento exacto en que las flores han sido afectadas.

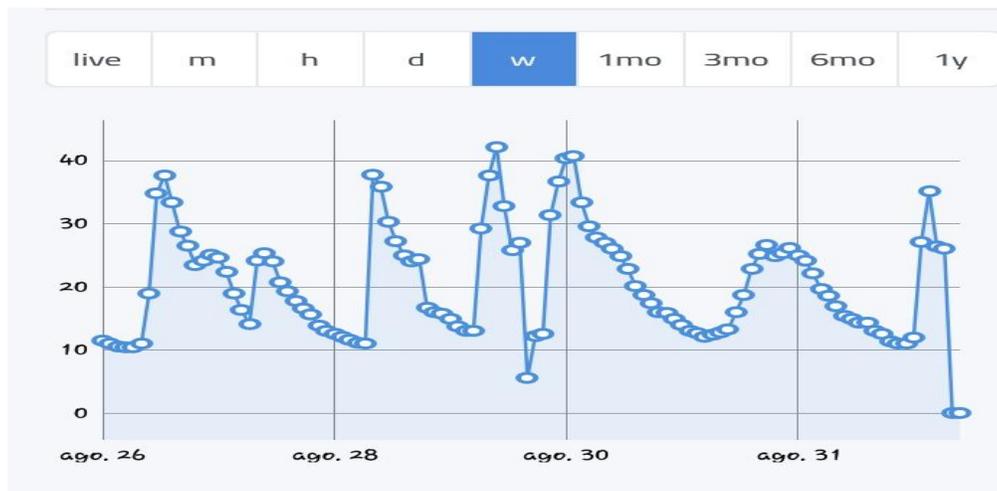
Para la humedad se logró censar los datos reflejados en la siguiente gráfica, que determina la fluctuación de las variables con respecto al tiempo.



Gráfica 8 (Humedad Ubidots)

En esta grafica se puede evidenciar la fluctuación de datos con respecto al tiempo, en las horas donde la humedad disminuyo considerablemente fue al medio día, esto nos indica que hay una correlación entre las temperaturas altas y la humedad baja, la humedad más baja que se obtuvo fue de 36 %.

Para la tecnología ZigBee, se lograron censar un total de 6,348 variables esto dado que el número de mensajes no es una limitante y depende del tiempo de transferencia que se defina en el código, para la comunicación dispositivo a la nube se configuro un censo cada 5 segundos, de esta forma se podía mostrar en tiempo real el estado del cultivo, en la siguiente grafica se representa los datos censados de temperatura en la plataforma Cayenne.



Gráfica 9 (Temperatura Cayenne)

Como se evidencia en la gráfica los censos de las temperaturas tuvieron las mismas proporciones que los censados por SigFox y representados gráficamente en la plataforma Ubidots, la diferencias se prestaron por la frecuencia de censado, dado que en sigFox se obtenía 2 datos cada 10 minutos y en ZigBee 12 datos por minuto, en 10 minutos se transferían 120 datos, de igual manera la tarjeta de arduino ESP32S, se desconectó por fluctuaciones de energía, dado que para la comunicación con la plataforma hizo uso de Wi-Fi, y cada vez que se perdía el fluido eléctrico se desconectaba de internet, esto ocasiono que por un lapso de tiempo no se recolectara información en la plataforma.



Gráfica 10 (Humedad Cayenne)

Para el caso de la humedad se evidencio que la fluctuación de humedad tiene similitud con la información censada en con la tecnología SigFox, pero hubo unas diferencias bien marcadas en algunos lapsos de tiempo, esto se dio dado que el sensor de humedad que utilizamos, dio muy malos resultados, ya que el material en que fue desarrollado era de muy mala calidad, ocasionando sulfatación en las láminas de cobre y generando datos desfasados como se muestra en la siguiente ilustración:



Ilustración 59 (Sensor humedad YL-62 corroído)

En tan solo unas horas expuestas a la humedad de la tierra se corrieron las placas de cobre de este sensor, generando lecturas erróneas, para la corrección de estas variaciones nos vimos obligados a cambiar constantemente de sensor.

8. Comparación de las Tecnologías SigFox y ZigBee:

8.1. Análisis de costos:

Para el análisis de los costos, se tomaron los valores de costo total de implementación y desarrollo de cada prototipo en base a los dispositivos electrónicos que componían cada prototipo, como se mostró en el capítulo 3, en la tabla 9 y 10 el detalle de cada componente del prototipo y su respectivo valor de compra, a continuación, se trae a colación el valor por dispositivo terminado.

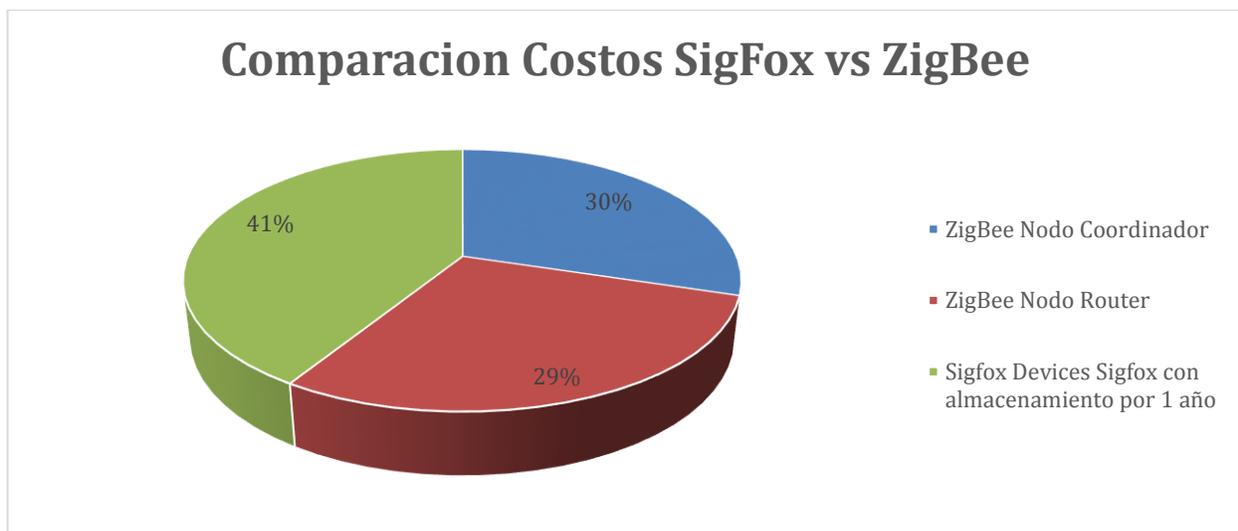
Tabla 11 (Costo Total Prototipo ZigBee)

Costo Prototipo Tecnología ZigBee		
Tecnología de comunicación	Descripción	Costo
ZigBee	Nodo Coordinador	\$ 161.200
	Nodo Router	\$ 157.800
Costo total implementación prototipo		\$ 319.000

Tabla 12 (Costo Total Prototipo SigFox)

Costo Prototipo Tecnología SigFox		
Tecnología de comunicación	Descripción	Costo
SigFox	Devices SigFox con almacenamiento por 1 año	\$ 222.800
Costo total implementación prototipo		\$ 222.800

Como se demostró en las tablas 11 y 12, el prototipo con mayor costo fue el dispositivo de la tecnología ZigBee, puesto que del total del presupuesto de desarrollo el 59% de este se utilizó para la compra de los dispositivos electrónicos, esto dado que para definir una red se necesitaba más de un prototipo, especialmente para esta tecnología, se implementaron dos prototipos, como se mencionó anteriormente se desarrolló un dispositivo como coordinador y el otro como router, por tal razón este prototipo genero un mayor costo, para el caso de la tecnología SigFox, el valor del costo corresponde al 41% del presupuesto planteado, esto se representa en la siguiente gráfica.



Gráfica 11 (Costos Tecnologías)

Con relación a la gráfica, se puede evidenciar que si miramos los costos individuales por cada dispositivo desarrollado el prototipo con mayor costo es el de la tecnología SigFox, dado que este corresponde al 41% del total de costo, mientras que los dispositivos; coordinador con un 30% y el Router con 29% correspondientes a la tecnología ZigBee, dado las necesidades de los campesinos y en base a las características del cultivo, por sus dimensiones se hará necesario desarrollar más de un dispositivo, por eso se debe evaluar de forma individual, mirando lo desde este punto, la tecnología que saldría con menor costo de desarrollo sería ZigBee, puesto que el dispositivo final o router saldría por un total de \$157.000, mientras que el dispositivo SigFox saldría por un valor de \$222.800.

8.2. Análisis de Consumo Energético por Miliamperios hora:

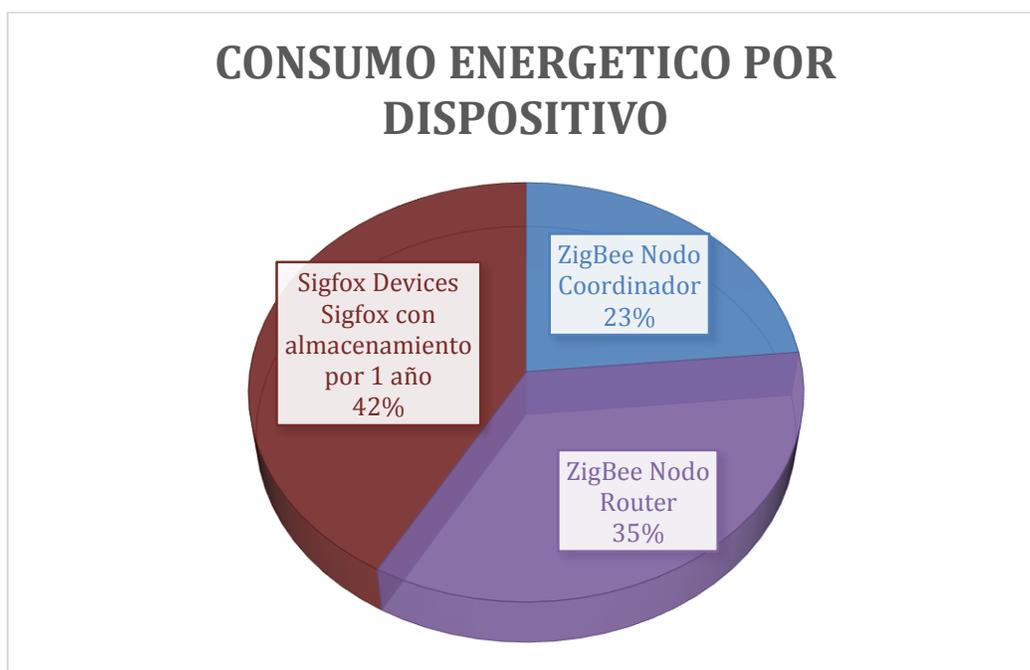
Para el análisis del comportamiento con respecto al consumo energético de los diferentes dispositivos obtuvimos que la tecnología con menor consumo fue SigFox con un total de 206,5 mAh de consumo, mientras que la tecnología de comunicación ZigBee genero el mayor consumo, con un total de 287,5 mAh, en este caso se comparan los datos según los componentes de desarrollo en el prototipo, donde se midieron por un tiempo determinado la fluctuación de corriente por cada dispositivo electrónico que conformaba el prototipo, posteriormente se sumaron los consumos para sacar el total consumido por el prototipo.

Tabla 13 (Consumo Energético)

CONSUMO ENERGETICO (MILIAMPERIOS/HORA) ZIGBEE VS SIGFOX					
Tecnología de comunicación	Descripción	Componentes Electrónicos	Consumo Componentes	Consumo Prototipo	Consumo Tecnología
ZigBee	Nodo Coordinador	Placa Arduino ESP32S	80,0	116,0	287,5
		Xbee Pro S2C (RX)	31,0		
		Relé Actuador	5,0		
	Nodo Router	Placa Arduino Nano	15,0	171,5	
		Xbee Pro S2C (TX)	120,0		
		Sensor T DS18B20	1,5		
Sensor Hum YL-69		35,0			
Sigfox	Devices Sigfox con	Placa Arduino Soul One	170,0	206,5	206,5

almacenamiento por 1 año	Sensor T DS18B20	1,5		
	Sensor H YL-69	35,0		

Como se evidencia en la tabla, haciendo un análisis por el total de consumo generado por tecnología, la tecnología de comunicación con mayor consumo es ZigBee con el 58% del total consumido, mientras que SigFox consumió el 42% del total, pero lo ideal sería analizar por prototipo, en el caso de ZigBee se evaluaron dos prototipos y se sumaron sus consumos, dadas las condiciones de estos prototipos se debería analizar cada prototipo de forma individual, de esta forma se logró identificar que la tecnología que genera mayor consumo energético es SigFox con un total de 42%, mientras los prototipos coordinador y router consumieron 23% y 35% respectivamente como se muestra en la siguiente gráfica.



Gráfica 12 (Consumo Energético)

Con lo anterior se puede deducir que en comparación de las dos tecnologías y en vista de las necesidades propias del cultivo a quien está orientado el proyecto es más viable la tecnología ZigBee en cuanto a consumo energético.

8.3. Análisis por Cobertura y escalabilidad:

Para este análisis se determinó el alcance, la adaptación a las dimensiones y necesidades del cultivo.

Tabla 14 (Cobertura)

COBERTURA Y ALCANCE		
Tecnología	Con Interferencia	Sin Interferencia
ZigBee	90 metros	1600 metros
SigFox	3- 10 Kilómetros	30- 50 Kilómetros

En vista de alcance de cada tecnología relacionada en la tabla, dadas las dimensiones del cultivo, las cuales comprenden un área de $650 m^2$ con unas dimensiones de 13 metros de ancho con 50 de largo y 16 eras sembradas con flores tipo crisantemos, por tales dimensiones el rango de cobertura no es amplio y por lo tanto no es necesario los alcances dados por SigFox, se puede determinar que esta plantación se puede manejar con una red local o LAN, dado que los nodos no se verán obligados a censar a distancias que superen los 100 metros.

Se puede analizar que la tecnología ZigBee ofrece una mejor adaptabilidad a las dimensiones del cultivo dado que esta tecnología permite la configuración de diferentes topologías como se relación en la siguiente tabla.

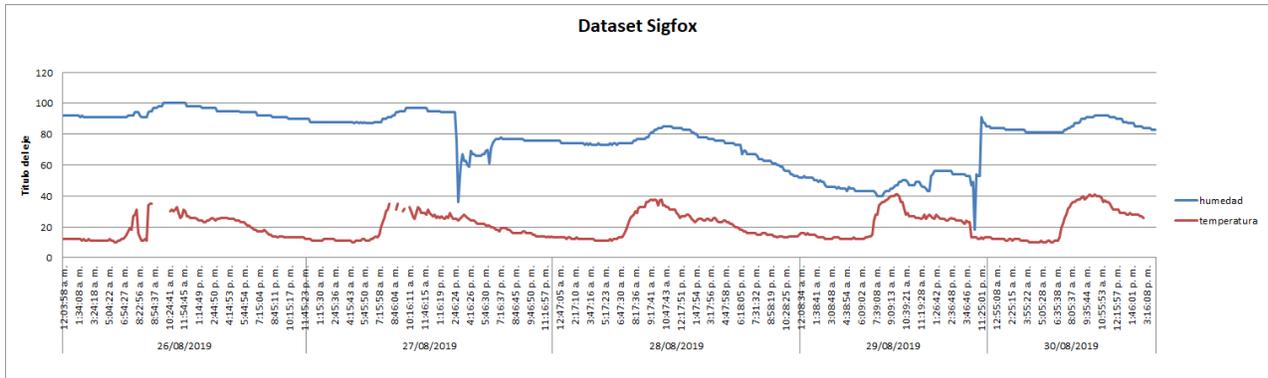
Tabla 15 (Topología)

Tecnología	Topología
ZigBee	Malla, estrella, punto a punto y árbol
Sigfox	Malla

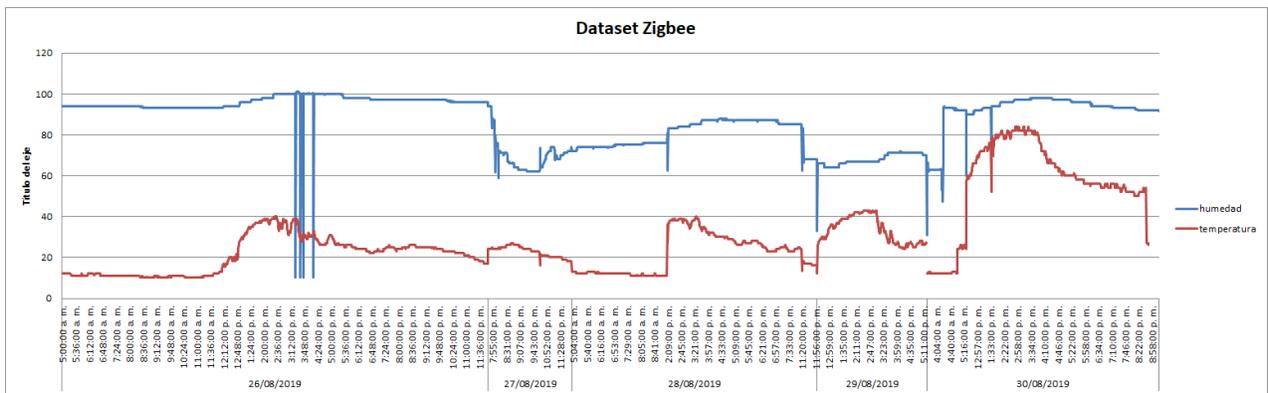
De igual forma la tecnología ZigBee se puede almacenar al ceso a través de una plataforma en la nube como se evidencio anteriormente, o crear un API que lo haga de forma local esto nos indica que puede ser escalable y adaptable según las necesidades, mientras que la tecnología SigFox solo permite el censo a través de Back-en cómo se mencionó anteriormente, el cual obliga a pagar un costo por suscripción anual.

8.4. Análisis de calidad:

Para este análisis se compararon los datos recolectados en las dos plataformas (Cayenne y Ubidots), estos dataset fueron descargados en excel y graficados, con el fin de medir la calidad de los datos censados con los dos prototipos y transmitidos a través de las tecnologías de ZigBee y SigFox, estas graficas se representan a continuación:



Gráfica 13 (Dataset Sigfox)



Gráfica 14 (Dataset ZigBee)

Como se muestra en las gráficas anteriores los datos censados en las dos plataformas tiene bastante diferencia, dado que en el caso de la plataforma Ubidots se utilizó la tecnología SigFox la cual envió los datos cada 10 minutos, mientras que en la plataforma Cayenne se recibían datos cada 5 segundos lo que nos indica que en 10 minutos esta plataforma almacenara 120 datos recibidos de la tecnología ZigBee, la variación de los datos también se dio en el caso de la humedad los sensores tuvieron problemas dado que los conductores se sulfataron y generaron datos errados, y en el caso de la

tecnología ZigBee se desconectó en varias ocasiones por problemas de conexión con internet de la placa ESP32S, de igual forma se evidencio que los datos censados con la tecnología ZigBee genero ruido en los datos, dado que se miraron datos con fraccionarios periódicos, y los datos estaban configurados en enteros.

fecha	hora	imes amp	DeviceID	Channel	SensorName	SensorID	DataTyp	Uri	Value
30/08/2019	5:16:00 a. m.	2019-08-30 05:16:00.000	4674abe0-49c	2	Gráfica Temperatura	62a134d0-b19b-11e9-80af-177b80d8d7b2	temperatu	c	12,3333333333
30/08/2019	3:44:00 a. m.	2019-08-30 03:44:00.000	4674abe0-49c	2	Gráfica Temperatura	62a134d0-b19b-11e9-80af-177b80d8d7b2	temperatu	c	12,3333333333
30/08/2019	5:16:00 a. m.	2019-08-30 05:16:00.000	4674abe0-49c	2	Gráfica Temperatura	62a134d0-b19b-11e9-80af-177b80d8d7b2	temperatu	c	12,3333333333
28/08/2019	5:40:00 a. m.	2019-08-28 05:40:00.000	4674abe0-49c	2	Gráfica Temperatura	62a134d0-b19b-11e9-80af-177b80d8d7b2	temperatu	c	12,6666666667
28/08/2019	6:10:00 a. m.	2019-08-28 06:10:00.000	4674abe0-49c	2	Gráfica Temperatura	62a134d0-b19b-11e9-80af-177b80d8d7b2	temperatu	c	12,3333333333
28/08/2019	6:22:00 p. m.	2019-08-28 18:22:00.000	4674abe0-49c	2	Gráfica Temperatura	62a134d0-b19b-11e9-80af-177b80d8d7b2	temperatu	c	25,3333333333
27/08/2019	9:08:00 p. m.	2019-08-27 21:08:00.000	4674abe0-49c	2	Gráfica Temperatura	62a134d0-b19b-11e9-80af-177b80d8d7b2	temperatu	c	25,6666666667
27/08/2019	9:16:00 p. m.	2019-08-27 21:16:00.000	4674abe0-49c	2	Gráfica Temperatura	62a134d0-b19b-11e9-80af-177b80d8d7b2	temperatu	c	24,3333333333
27/08/2019	10:55:00 p. m.	2019-08-27 22:55:00.000	4674abe0-49c	2	Gráfica Temperatura	62a134d0-b19b-11e9-80af-177b80d8d7b2	temperatu	c	20,6666666667
27/08/2019	11:33:00 p. m.	2019-08-27 23:33:00.000	4674abe0-49c	2	Gráfica Temperatura	62a134d0-b19b-11e9-80af-177b80d8d7b2	temperatu	c	19,3333333333
26/08/2019	5:25:00 a. m.	2019-08-26 05:25:00.000	4674abe0-49c	2	Gráfica Temperatura	62a134d0-b19b-11e9-80af-177b80d8d7b2	temperatu	c	11,3333333333
26/08/2019	6:26:00 a. m.	2019-08-26 06:26:00.000	4674abe0-49c	2	Gráfica Temperatura	62a134d0-b19b-11e9-80af-177b80d8d7b2	temperatu	c	11,6666666667
26/08/2019	8:32:00 a. m.	2019-08-26 08:32:00.000	4674abe0-49c	2	Gráfica Temperatura	62a134d0-b19b-11e9-80af-177b80d8d7b2	temperatu	c	10,2500000000
26/08/2019	8:43:00 a. m.	2019-08-26 08:43:00.000	4674abe0-49c	2	Gráfica Temperatura	62a134d0-b19b-11e9-80af-177b80d8d7b2	temperatu	c	10,2500000000
26/08/2019	8:44:00 a. m.	2019-08-26 08:44:00.000	4674abe0-49c	2	Gráfica Temperatura	62a134d0-b19b-11e9-80af-177b80d8d7b2	temperatu	c	10,3333333333
26/08/2019	8:45:00 a. m.	2019-08-26 08:45:00.000	4674abe0-49c	2	Gráfica Temperatura	62a134d0-b19b-11e9-80af-177b80d8d7b2	temperatu	c	10,2500000000
26/08/2019	9:05:00 a. m.	2019-08-26 09:05:00.000	4674abe0-49c	2	Gráfica Temperatura	62a134d0-b19b-11e9-80af-177b80d8d7b2	temperatu	c	10,2500000000

Ilustración 60 (Datos errados)

Como se muestra en la ilustración hay datos errados en la transmisión de los datos, esto genero diferencias entre los resultados obtenidos de las dos tecnologías, con esto se puede inferir que SigFox genera mejor calidad en los datos censados

V. CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS.

9. Conclusiones:

Con respecto a los objetivos planteados obtenemos las siguientes conclusiones:

A partir de investigación realizada en la revisión sistemática obtuvimos tres tecnologías una de las tecnologías más utilizadas en sistemas de riego y la otra las otras dos tecnologías con tendencia a futuro de la que se eligió 1 haciendo un análisis de cada una se logró obtener que la tecnología SigFox es más viable a implementar que la tecnología de LoRa, dado su costo y cobertura, se logró identificar que para la revisión sistemática es viable la aplicación de condiciones OR y AND, dado que con estas se obtienen mejores resultados.

De igual forma se logró definir que para que ZigBee se adapte a IoT, es necesario la utilización de otro tipo de protocolo dado que esta tecnología de por sí sola no podrá conectarse directamente a internet, es necesario un gateway, en nuestro caso utilizamos el protocolo MQTT que se adapta bien a este tipo de implementaciones IoT.

De acuerdo al desarrollo del prototipo la tecnología de SigFox es una tecnología muy estable, ya que el almacenamiento de los datos recolectados por los sensores es enviado directamente al Back-end plataforma propia de SigFox, sin necesidad de internet, lo cual es de gran importancia para las posibles soluciones que se demanden en el sector agrícola dado que el gran porcentaje de las zonas no tienen acceso a internet, la desventaja que se encontró es que en el caso de las pruebas en terreno no se pudo obtener cobertura necesaria para la implementación.

Como conclusión final se pudo identificar que la tecnología de comunicación mejor se adapta a la posible solución de automatización del sistema de riego artesanal del cultivo de flores en el municipio de Piendamó corregimiento de Tunia es la tecnología ZigBee, dado su costo, consumo energético, escalabilidad y alcance, es indispensable para estas comunidades que la solución se ajusten a sus capacidades económicas y esta tecnología se adapta muy bien a esta variable.

10. Trabajos Futuros:

Las siguientes investigaciones podrán abordar la adaptación de SigFox a cultivos que requieran la automatización de procesos, dado que en esta investigación esta tecnología solo se pudo configurar para que censar información y alertara los cambios de las variables establecidas.

De igual forma sería interesante que se profundizara en el modelo de comunicación de transferencia de datos a través del Back-en y como se podría consumir estos datos desde un dispositivo que permitiera almacenar la información censada.

En esta investigación solo se pudieron desarrollar dos nodos para el caso de la tecnología Zigbee, con una topología punto a punto, sería interesante modelar una red a gran escala con más nodos que permitan implementar otro tipo de topologías.

Nos gustaría que la propuesta que surgió de la investigación pudiera ser implementada en la zona donde estaba orientado nuestro proyecto y que a partir de estos prototipos se pudiera modelar toda la red necesaria para la automatización del riego.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [01] DANE, “Censo Nacional Agropecuario: cuarta entrega de resultados 2014,” *Página Web*, vol. 1, p. 57, 2014.
- [02] E. L. C. C. DIANA CAÑÓN QUIROGA, “PROTOTIPO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO DE RIEGO PARA JARDINES,” p. 121, 2018.
- [03] Andrés Hueso y M^a Josep Cascant,” Metodología y Técnicas Cuantitativas de Investigación”
- [04] theBMJ (2016). Research Methods & Reporting, Preferred reporting items for systematic review and meta-analysis protocols (PRISMA-P) 2015: elaboration and explanation:
- [05] Minig, Luciano Corniglione Alejandra, Gabriela Ramos, Beltramen,” Prototipado Rápido de Proyectos IoT”
- [06] Demin, P. (2014). Aportes para el mejoramiento del manejo de los sistemas de riego. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuario, 1-24.
- [07] La internet de las cosas — Una breve reseña. Rose, Karen, Eldridge, Scott y Chapin, Lyman. 2015, Internet Society, págs. 63-112.
- [08] A survey on LPWA technology: LoRa and NB-IoT. Sinha, Rashmi Sharan. 14-21, s.l. : ICT Express, 2017, Vol. 3.
- [09] Diseño Y Construcción De Un Nodo Concentrador En Una Red De Alarmas Para Hogares Utilizando Tecnología Inalámbrica Con El Estándar IEEE 802.15.4 Zigbee. Hidalgo Montesinos, Alejandro Hernán. 1-104, 2011.
- [10] J. M. Moreno and D. Ruiz Fernandez, “Informe Técnico: Protocolo ZigBee (IEEE 802.15.4),” p. 36, 2007.
- [11] A technical overview of LoRa ® and LoRaWAN ™ What is it? Workgroup, Technical Marketing. 2015.
- [12] CATSENSORS, “Tecnología LoRA y LoRAWAN.” [Online]. Available: <https://www.catsensors.com/es/lorawan/tecnologia-lora-y-lorawan>.
- [13] <https://www.sigfox.com/en/sigfox-iot-technology-overview>
- [14] Make things come alive in a secure way. sigfox. 1-10, 2017.
- [15] <https://backend.sigfox.com/welcome/coverage>

- [16] A comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment. Mekki, Kais. 1-7, s.l. : ICT Express, 2019.
- [17] "SENSOR DS18B20." [Online]. Available: <https://itp.nyu.edu/archive/physcomp-spring2014/sensors/Reports/DallasSemiconductorDS18B20DigitalThermometer.html>.
- [18] patagoniatec, "Sensor de Humedad de Suelo YL-69 – Soil Moisture." [Online]. Available: <https://saber.patagoniatec.com/2014/11/sensor-de-humedad-de-suelo-tierra-soil-moisture-arduino-yl-69-ptec/>.
- [19] L. Llamas, "Arduino Nano." [Online]. Available: <https://www.luisllamas.es/esquema-de-patillaje-de-arduino-pinout/>.
- [20] INFOOTEC.NET, "ESP32." [Online]. Available: <https://www.infootec.net/nodemcu-esp32/>.
- [21] T. S. of Things, "Soul one," 2019. [Online]. Available: <https://www.tsthings.com/>.
- [22] "XBee." [Online]. Available: https://www.researchgate.net/figure/ZigBee-Pin-description-Looking-at-the-ZigBee-pinout-we-can-see-right-away-the-different_fig3_308077185.