

Diseño e Implementación de un Entorno IoT en cultivos de Feijoa, en la vereda de Piedra-larga del municipio de Ciénega – Boyacá

Autor

FREDY ALEXANDER GONZALEZ PRIETO

Tutor

Dr. OCTAVIO JOSE SALCEDO

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

Maestría en Ciencias de la Información y las Comunicaciones

Énfasis en Teleinformática

Bogotá, Colombia

febrero de 2023

Contenido

RESUMEN 5

PALABRAS CLAVE 6

INTRODUCCIÓN 7

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN 8

1.1 Planteamiento del Problema 8

1.2 Formulacion del Problema 10

1.3 Sistematizacion del Problema 10

2. OBJETIVOS ..... **¡Error! Marcador no definido.**

2.1 Objetivo General 11

2.2 Objetivos Específicos 11

3. JUSTIFICACION 11

4. APROXIMACION AL ESTADO DEL ARTE 13

4.1 Revision sobre agricultura de precision e internet de las cosas (ioT) 13

4.2 Revision sobre trabajos con la tecnologia lorawan y wsn 25

4.3 Inteligencia artificial y redes neuronales artificiales para analisis y prediccion de variables 28

5. MARCO DE REFERENCIA 30

5.1 MARCO TEORICO 30

5.1.1 Sistema De Riego Por Goteo 34

5.1.2 Redes De Sensores 34

5.1.3 Raspberry Pi 35

5.1.4 Implementación Iot Y Cloud Computing 35

5.1.5 Sistemas Android 37

5.1.6 Producción Y Desarrollo De Los Cultivos 37
5.1.7 Iot Y Wpan – Redes Inalámbricas Área Personal 39
5.1.8 LoraWan Como Protocolo Para Iot 43
5.1.9 Radio Modems ..... **¡Error! Marcador no definido.**
5.1.10 Inteligencia Artificial. 45
5.2 MARCO CONCEPTUAL 47
5.2.2 Agricultura De Precisión 47
5.2.3 Sistema De Riego 47
5.2.4 Hardware Libre 47
5.2.5 Software 48
5.2.6 Dispositivo Móvil 48
5.2.7 Aplicación Móvil 48
5.2.8 Sistema Operativo 48
5.2.9 Protocolo 49
5.2.10 Estándar 49
5.2.11 Zigbee 49
5.2.1 Smartphone 49
6. MARCO METODOLOGÍCO ..... **¡Error! Marcador no definido.**
7. DISEÑO, DESARROLLO E IMPLEMENTACION 52
7.1 Análisis Espacial del Área del terreno 52
7.2 Descripción De Componentes Utilizados Y Diseño De La Red De Sensores 56
7.3 Recoleccion de requisitos y planteamiento de metodologia Scrum. 64
7.4 Diseño de componentes de proyecto 66
Diseño de la Red de Sensores WSN con Tecnología LoRaWan 66
Diseño de la Red Neuronal implementada 69

Diseño del Aplicativo móvil realizado para la usabilidad del proyecto 71
7.5 Validación de la propuesta de diseño mediante simulacion..... 75
Herramientas de Análisis de Simulación FLoRa en OmNet ++ 77
7.6 Desarrollo 79
Configuración de Sensor de Humedad y Temperatura 79
Configuración de Sensor de PH..... 81
Configuración Antena Lora 83
Instalación y Configuración servidor MQTT 85
Desarrollo de Aplicativo Móvil 86
7.7 Implementacion del proyecto 89
Implementación y evaluación de Red de Sensores..... 89
Implementación de servidor mqtt y node-js para raspberry..... 94
Implementación de red neuronal..... 94
Implementación de Aplicación Móvil 100
8. DISCUSION DE RESULTADOS..... 103
9. CONCLUSIONES..... 106
10. REFERENCIAS..... 108

RESUMEN

Este documento se hace la presentación del proyecto con énfasis de profundización en el área de telemática, denominado “Diseño e Implementación de un Entorno IoT en cultivos de maíz, en la vereda de Piedra-larga del municipio de Ciénega – Boyacá” el cual busca desarrollar un método de apoyar los medios de producción agrícola con un desarrollo tecnológico facilitando el cuidado a los cultivos por parte de los agricultores

En este trabajo se documenta la información necesaria para la implementación de un sistema de monitoreo de variables de suelo (por medio de IoT) para el control de un sistema de riego por goteo, este sistema hace la recolección de los datos entregados por sensores de temperatura, humedad relativa y Ph del terreno cultivado, implementados en diferentes sectores del cultivo en una parcela de la vereda de Piedra Larga del municipio de Ciénega. Este sistema asiste al agricultor de la siguiente manera:

a) La activación del sistema de riego por goteo buscando el uso eficiente del agua,
b) Mejorar la producción de frutos controlando el porcentaje de nutrientes para mejorar la producción del cultivo de feijoa.
c) Facilitar a los agricultores el acceso a la información del estado del cultivo.

En el desarrollo del sistema se diseñó una aplicación móvil que muestra datos en tiempo real monitoreo de variables ambientales y del suelo, para el análisis de resultados y las concentraciones de mezcla de nutrientes junto al control por goteo a aplicar al cultivo. Se realizó una estimación óptima de las concentraciones requeridas de nutrientes a partir de una red neuronal para simplificar y mejorar la eficiencia en las actividades agrícolas del agricultor como ahorro en el consumo de agua en un 40% y mejora de la producción de frutas hasta en un 30%.

PALABRAS CLAVE

Las palabras clave asociadas a este proyecto son:

- Ingeniería Agrícola (Agricultural Enginnering).
- Agricultura de Precisión (Precision Agriculture).
- Sistema de Sensores (Sensor System).
- Red de sensores inalámbricos de baja potencia (low-power wireless sensor network).
- IoT – Internet de las Cosas (Internet of Things).
- Actuadores.
- Raspberry Pi.
- LoraWan.
- Humedad relativa.
- Temperatura.
- PH del suelo.
- SNR.
- RSSI.
- Nodo.

INTRODUCCIÓN

Uno de los factores más importantes en el desarrollo el Colombia radica en el sector agrícola perteneciendo a los renglones primarios de la economía. El impacto de la pos pandemia ha traído una oportunidad para la mejora de la agricultura mediante el uso de la agricultura de precisión como clave para la mejora de la producción y el uso eficiente de agua.

Actualmente, en el sector rural del municipio de Ciénega – Boyacá, los agricultores realizan un seguimiento manual de los cultivos, lo que introduce un aumento en el desperdicio de agua y fertilizantes y trabajo adicional para la gente. Por otro lado, la gran mayoría de la población rural tiene pocos ingresos económicos por actividades agrícolas, lo que dificulta el desarrollo económico de la agricultura, adicionalmente, existe un bajo acceso a infraestructura de telecomunicaciones e información sobre desarrollo tecnológico en la agricultura en las zonas rurales del país, (Howland et al. 2016) y esa limitación reduce el desarrollo de la competitividad de la agricultura en el sector.

Por ello, en los últimos años, con la evolución de las redes inalámbricas y el desarrollo del IoT, se ha podido abordar diferentes áreas del desarrollo industrial, entre estas áreas se identifica la agricultura de precisión, buscando ayudar a los agricultores en sus labores diarias y buscando incrementar su productividad mediante la optimización de procesos en el cultivo.(Nóbrega et al. 2019) Sin embargo, este dominio de aplicación está rodeado de restricciones, ya sea asociadas con tecnologías o con las especificidades de los usuarios de la granja. A partir de lo anterior, en este trabajo propone la recolección de datos de humedad, temperatura y PH del suelo como factores determinantes en el análisis del estado del suelo a través de sensores controlados por un sistema Arduino.

Este estudio se hace un análisis de las tecnológicas IoT y así realizar la elección (de la tecnología LoraWAN) para la implementación de la red de interconexión de sensores (WSN) teniendo en cuenta la optimización el rango de comunicación, la duración de la batería de los dispositivos y los costos considerando una menor frecuencia de transmisión de datos.

Dado lo anterior, proyecto propone el uso del internet de las cosas con agricultura de precisión para implementar un sistema de monitoreo del sistema de riego (en una finca del municipio de Ciénega, Boyacá, Colombia), a través de una red de sensores de bajo costo. para permitir el uso eficiente de la cantidad de agua y fertilizantes utilizados en el suelo de cultivos frutales, además de facilitar el control de situaciones extremas en el cultivo, ya sea sequía, enfermedades, plagas, etc.

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Debido a los cambios climáticos presentes actualmente en el mundo, los habitantes de la vereda de Piedra larga del municipio de Ciénega - Boyacá han notado la disminución de la productividad de los cultivos y el incremento de los insumos para el cultivo, causando una disminución de las utilidades y en ocasiones perdida, adicionalmente muchos de estos agricultores son personas mayores por lo que les es problemático el desplazamiento a sus parcelas causándoles afectaciones físicas como dolores de pies y demás, pérdida de tiempo y esfuerzo.

Los problemas indicados anteriormente pueden ser abordados mediante el uso de las tecnologías actuales, que permiten la comunicación y el envío de información a grandes distancias de manera instantánea, por lo cual mediante este proyecto se busca acercar el área de la agricultura con el área de telecomunicaciones ya que son distantes en la situación actual del país.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Diagnóstico de la situación Actual:

Actualmente el cambio climático ha afectado la calidad y cantidad en la producción de productos agrícolas, dificultando cada día cultivar alimentos en los campos colombianos

por el aumento de costo de los insumos, el incremento de la mano de obra y el peligro en la pérdida del cultivo (López López 2020), Otro de los factores es la migración al sector urbano, los campos colombianos se encuentran compuestos por personas de la tercera edad, estas personas se encuentran limitadas físicamente para realizar un seguimiento riguroso a los sembradíos.

Dado lo anterior se puede definir como factores importantes para la evaluación del proyecto los siguientes:

Variables independientes

- Pluviosidad del sector
- Humedad de la tierra
- Temperatura del ambiente
- pH del suelo a cultivar
- Minerales del Suelo

Variables Dependientes

- Cantidad de planta de cultivo por m2
- Cantidad de fruto en el terreno (m2)
- Tiempo de siembra y cultivo
- Costo de insumos a utilizar en el cultivo
- Calidad de Producto

Pronostico:

Debido al progresivo calentamiento global y los cambios climáticos (exceso de lluvia, sequía, granizo, etc.), cantidad de suministro que llega en un momento determinado en un mercado, correspondientes a la producción de las parcelas rurales va disminuyendo tanto la calidad como la cantidad de producto cultivado. También cada vez va afectándose las características del suelo perdiendo sus cualidades para la siembra, esto hace que sea cada vez más difícil cultivar los diferentes productos de consumo, disminuyendo la vida útil de

productos perecederos y afectando económicamente al cultivador y a largo plazo a la región.(Shenoy and Pingle 2016)

Control al pronóstico:

En vista de la situación retratada anteriormente los agricultores han optado en la implementación de sistemas de riego, analizando las características del suelo con respecto a las necesidades del cultivo por zonas, el tiempo de siembra y cosecha de los frutos para su recolección, en estos sistemas de regadío utilizan abonos orgánicos y químicos para controlar el desgaste del terreno cultivado y la rotación de cultivos para así mantener los minerales y la humedad relativa en valores aceptables.

También cuantificar las necesidades de agua y el estrés hídrico del cultivo comparando el efecto de las estrategias seguidas durante los últimos años, Ubicar áreas que sufren de estancamiento de agua que aumentan el riesgo de plagas y hongos.(Libelium 2016)

En contra posición a las bondades otorgadas en el sistema de riego, existen un problema fundamental que radica en el desperdicio de agua como de insumo (abonos orgánicos).

1.2 FORMULACION DEL PROBLEMA

Basados en lo explicado anteriormente, nos planteamos la siguiente pregunta.

¿Cómo facilitar la gestión y el control del estado de humedad de los cultivos de vereda de Piedra larga del municipio de Ciénega – Boyacá por parte del agricultor mediante el uso de dispositivos móviles?

1.3 SISTEMATIZACION DEL PROBLEMA

De la pregunta anterior surgen las siguientes preguntas:

- ¿Cómo facilitar la gestión del agricultor?
- ¿Cómo se encuentra en la actualidad la humedad del suelo para el cultivo?
- ¿Cómo adquirir los datos de la humedad del suelo cuando se encuentre cultivado?
- Adquirida ya la señal de la humedad ¿Dónde y cómo administrar estos datos?

- ¿Cómo notificar al agricultor el estado de la parcela?
- ¿Cómo facilitar el acceso del cultivador a las herramientas tecnológicas?

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General

Implementar un sistema de control del estado de humedad, temperatura y Ph en los cultivos frutales, en la vereda de Piedra-larga del municipio de Ciénega – Boyacá utilizando internet de las cosas, permitiendo el control y la supervisión por medio de dispositivos móviles.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Diseñar una arquitectura basados en Internet de las cosas (IoT) en un sistema de riego por goteo, mediante el uso de protocolo LoraWan para la obtención de la información y control de las características del suelo como la humedad, temperatura y nivel de Ph para el cultivo de alimentos con el fin de prevenir daños por los cambios de temperatura como las heladas.
- Implementar una aplicación móvil que permita visualizar y gestionar los sensores de humedad, temperatura y nivel de Ph del cultivo.
- Validar mediante simulación utilizando herramientas informáticas y/o mediante la implementación de un sistema de riego en una fanegada de una finca ubicada en la vereda de Piedra Larga del municipio de Ciénega.

1.5 JUSTIFICACION

El presente trabajo se hizo con el fin de implementar, un sistema de control de riego del cultivo por medio de la medición de los parámetros de humedad, temperatura y Ph del suelo a cultivar en la vereda de Piedra larga de municipio de Ciénega – Boyacá, para poder así facilitarle herramientas al agricultor.

Con este sistema se pretende ofrece al agricultor un mayor conocimiento a nivel tecnológico para mejorar su producción y facilitándole el manejo de los cultivos, ofreciéndole un método que le permita conocer el estado del agua que necesita el terreno y así poder mejorar la producción y calidad del cultivo debido a que en la actualidad se está utilizando la

tecnología en pro de mejorar la calidad de los cultivos mediante el uso de las TIC's (Meola 2016), en la implementación de red de sensores, internet de las cosas o IoT o máquina a máquina, M2M e Cloud Computing.(Chen 2012)

Adicionalmente se busca disminuir el costo monetario y actividad física en el desplazamiento del cultivador esto se da ya que generalmente el lugar de hábitat es queda a una gran distancia y la gran mayoría de estas personas pertenecen a la tercera edad por lo cual ya encuentran difícil realizar actividades de desplazamiento y cultivo de alimentos.

Otra de las razones para implementar la automatización de los cultivos en sector rural del municipio de Ciénega se debe a que el mundo tendrá que producir 70% más de alimentos en 2050 que en 2006 para alimentar a la creciente población de la tierra(Meola 2016).

2. APROXIMACION AL ESTADO DEL ARTE

En la actualidad el rápido desarrollo de los diferentes tipos de tecnología de telecomunicaciones está impactando diferentes ramas de producción en el mundo, una de las ramas de la cual se ha beneficiado es el ramo de la agricultura, ya que, mediante la implementación de sensores de monitoreo de las diferentes variables que componen los diferentes tipos de cultivos, como lo son: los componentes del suelo, la longitud de las raíces, el consumo de agua necesario para el crecimiento adecuado y óptimo de la planta y la temperatura asociado al suelo y al ambiente del terreno donde se encuentra el cultivo, se ha podido aproximar las condiciones con la cuales intentar mejorar la productividad de los cultivos ya que el agricultor y/o usuario puede recolectar información relevante de área cultivada, con las variables anteriormente mencionadas y así tomar las medidas adecuadas para mejorar las condiciones en el transcurso desde la siembra a la recolección del producto sembrado.

Para el desarrollo de este proyecto, se realizó la recolección de información de trabajos similares que se enfocan tanto en desarrollo de las redes de sensores sobre plataformas de hardware y software open source, como también la implementación de inteligencia artificial como asesoría para los agricultores, los trabajos estudiados y analizados los presentamos a continuación:

2.1 REVISION SOBRE AGRICULTURA DE PRECISION E INTERNET DE LAS COSAS (IOT)

Como Primer paso se procedió a conocer los avances sobre el Área de Agricultura de precisión, sus conceptos y utilidades para este proyecto, acerca de este tema se resalta el trabajo de **"Evolution of Internet of Things (IoT) and its significant impact in the field of Precision Agriculture**" de Abhishek Khanna y Sanmeet Kaur, este artículo se encarga de hacer una revisión de estado actual del desarrollo de la tecnología sobre la agricultura de precisión y a su vez hace un estudio de algunos investigaciones con mayor impacto sobre el área. Este recopilatorio inicia abordando el concepto y origen del internet, sus periodos y como IoT entra como parte fundamental de la historia del internet en general como lo muestra la Figura 1 Evolución de Internet. Y como el internet de las cosas IoT es un área de interés para la academia y la industria y la constante búsqueda de nuevas metodologías para asociar el internet con más sensores.(Khanna and Kaur 2019)

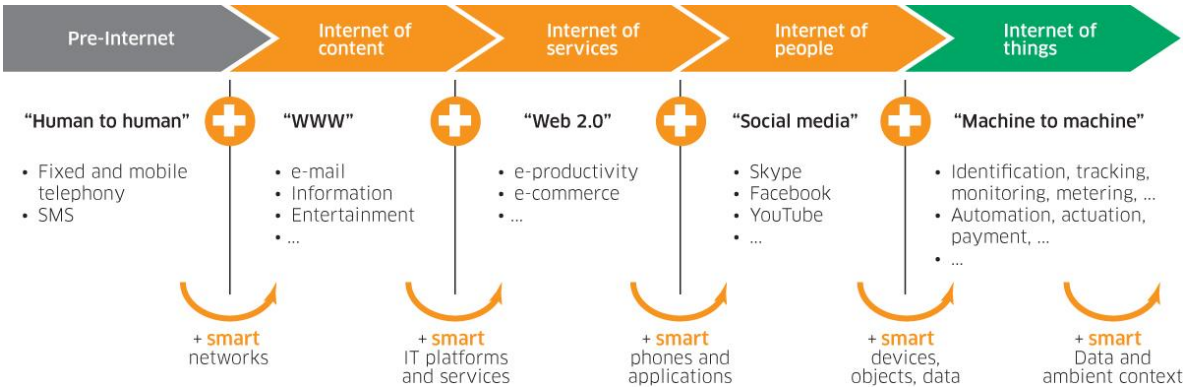


Figura 1 Evolución de Internet(Khanna and Kaur 2019)(Kumar 2017)

Habla también de la importancia del Iot y como este seguirá con el progreso debido a permite la integración de una mayor cantidad de sensores a través de internet. Esto conlleva al desarrollo de nuevas áreas de interés como lo son **Smart Mobility, Smart Grid, Smart Homes and Buildings, Smart Public Safety and Environment Monitoring, Medical and Health Care, Industrial Processing, Agriculture y Crianza**,(Khanna and Kaur 2019)

Debido a esto se desarrolla constante crecimiento de dispositivos conectados a internet mediante la tecnología IoT otorgando un gran tiempo para la investigación y desarrollo de la tecnología, como se muestra en la figura.

Además, menciona los Objetivos de Internet, los cuales son:

- capacidades de IPv4 a IPv6 y otros estándares relacionados para superar sus problemas de fragmentación existentes.
- Desarrollar una SOA basada en IPv6 altamente escalable
- Capaz de explorar formas innovadoras de interacción con:
  (i) Integración multiprotocolo.
  (ii) Auto interoperabilidad con dispositivos heterogéneos.
  (iii) Servicios de computación en la nube (IaaS, Paas y SaaS).
  (iv) Auto identificación de etiquetas RFID y otros servicios relacionados.
  (v) Sistemas de distribución inteligente.(Khanna and Kaur 2019)

En el análisis hace una revisión de las diferentes tecnologías utilizadas para la implementación del Internet de las cosas, a continuación, relacionamos la tabla donde los autores sintetizan la información básica de las diferentes opciones tecnológicas:

Tabla 1 Diferentes de frecuencias y distancias cubiertas por varios tecnologías usadas en IoT para comunicación (Khanna and Kaur 2019)

Technology	Standard	Year of discovery	Downlink/Uplink	Range (in metres)	Operating frequency (in MHz)
RFID	Wireless	1973	100 kbps	2	0.125–5876
IEEE 802.15.4	6loWPAN	2003	250 Kbps	30	826 & 915
Z-Wave	Wireless	2013	100 kbit/s	30	868.42 & 908.42
LTE	3GPP, LTE and 4G	1991	100 Mbps	35	400–1900
LoRa	Wireless	2012	0.3 37.5 (kb/s)	3000–5000	169, 433 & 868 (Europe) & 915 (North America)
NFC	ISO 18092	2004	106, 212 or 424 Kbits	< 0.2	13.56
UBW	IEEE 802.15.3	2002	11–55 Mbps	10–30	2400
M2M	Open to all communication protocols	1973	50–150 Mbps	5–20	1–20
6loWPAN	Wireless	2006	250 Kbps	30	915

Luego procede a explicar las Aplicaciones de IoT basándose de diferentes autores, las aplicaciones que referencia son mostradas en la Figura 2 Aplicaciones de IoT . Dentro de estas aplicaciones la que cobra importancia para este trabajo es el concerniente a la agricultura y cría del que habla sobre:

La agricultura de precisión es un enfoque de gestión agrícola que utiliza tecnología de la información (TI) para garantizar que los cultivos y el suelo reciban exactamente lo que necesitan para una salud y productividad óptimas. El objetivo de la Agricultura de Precisión es asegurar la rentabilidad, la sostenibilidad y la protección del medio ambiente. La Agricultura de Precisión también se conoce como Agricultura Satelital y Manejo de Cultivos Específicos del Sitio.(Khanna and Kaur 2019)

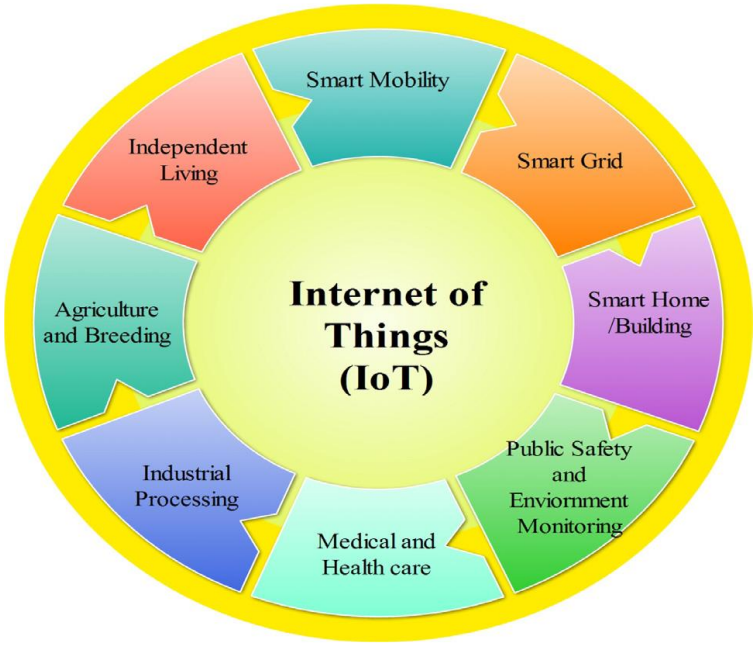


Figura 2 Aplicaciones de IoT(Khanna and Kaur 2019)

En “**Efectos de la aplicación de fertilizantes sobre el pH de suelos serie Oncativo**”de los autores (Baldoncini 2015), el autor un estudio sobre el cultivo de granos (soja, maíz, girasol, sorgo, trigo, cebada y maní) en Argentina, evaluó cómo los componentes de los fertilizantes determinan el estado del PH del suelo, evaluando 3 diferentes tipos de fertilizantes: fertilizantes nitrogenados (Urea y Urea Nitrato de Amonio (UAN)), fertilizantes fosfatados (SPS (Superfosfato Simple), SPT (Superfosfato Triple)), y fosfato monoamónico (MAP). El autor evaluó la interacción de los componentes químicos de cada tipo de fertilizante y su respuesta del suelo en un invernadero con un tipo de suelo de la serie Haplustolentic Oncativo. En conclusión, el control del PH del suelo está determinado por la composición nitrogenada de los fertilizantes que producen hidrólisis en el suelo. Además, la Urea incrementó la alcalinidad del suelo y la UAN produjo un incremento en la acidez del suelo, los fertilizantes fosfatados incrementaron la acidez del suelo y el fertilizante MAP no produjo ninguna variación en los valores de pH, los resultados de los análisis de los fertilizantes se dieron al efecto amortiguador presente en el suelo.

En el artículo de revisión hecho por los autores es de destacar que se centra sobre IoT aplicada sobre la agricultura de precisión y manifiesta los avances hechos por los investigadores:

- Zhao et al. (2010) En el cual se proyectó el proceso de automatización de actividades en un invernadero mediante la incorporación de IoT.
- Bo and Wang (2011) Quien propuso el uso de Cloud Computing como forma de resolver problemas como cuello de botella.
- Bandyopadhyay and Sen (2011) propusieron la implementación e IoT y apoyarse en propuestas de visualización de las herramientas en los cultivos.
- Kaloxylos et al. (2012) Destaco la importancia de la implementación de la agricultura de precisión y como mejoro las actividades agrícolas.
- TongKe (2013) destaco los problemas relacionados con la agricultura, y como la modernización del proceso agrícola con conceptos de IoT y técnicas de computación de la nube aporto a la solución de los problemas.
- Ojha et al. (2015) relaciono las técnicas de las WSN, como aporte de la agricultura de precisión y plantea desafíos en el área.
- Bauer et al. (2016) destaco el alcance del despliegue de WSN, y describe el uso de sensores de radiación fotosintética como factor de evaluación de cultivo.
- Ferrández-Pastor et al. (2016) planteo una plataforma de interconexión de redes sensor/actuador con dispositivos IoT bajo costo con M2M
- Jayaraman et al. (2016) relaciono la recolección de datos agrícolas por dispositivos IoT con WSN con el fin de mejorar el cultivo.
- Paustian and Theuvsen (2017) en su artículo de investigación destacaron la importancia de varias técnicas disponibles en la agricultura de precisión

- Balducci et al. (2018) relaciono la recolección de datos en virtud y como con el uso de Inteligencia Artificial mejorar la rentabilidad de las empresas.
- Hamad et al. (2018) destaco el uso de dispositivos móviles para el acceso de la información agrícola y mejora de los procesos agrícolas.

Por último, se habla de los desafíos y líneas de investigación de sobre el área de IoT en agricultura, los cuales son:

- Problemas Abiertos
    - Disponibilidad
    - Fiabilidad
    - Movilidad
    - Confidencialidad de datos
    - Interoperabilidad
    - Seguridad y privacidad
    - Red definida por software (SDN)
    - Virtualización
    - Proceso de estandarización
    - Capacidad de trabajo y rendimiento.
    - Compatibilidad con comunicación de quinta generación (5G)
- Y los desafíos son:
    - Comprensión completa de la arquitectura IoT.
    - Establecimiento de una interfaz de comunicación robusta
    - Correcta identificación e implementación de la tecnología de red.
    - Capacidad para identificar y emparejar con una red correcta.
    - Identificación correcta de los datos recibidos y posterior procesamiento de la señal
    - Estandarización

Otro artículo relacionado en este trabajo es el Articulo "**Smart Agriculture Based on Cloud Computing and IOT**" de (Fan TongKe 2013), relacionado en el anterior artículo de revisión, como aspecto importante en este trabajo, el autor Fan TongKe se enfoca en la modernización de los procesos agrícolas en China mediante la computación en Nube con el uso de la tecnología SOA (Arquitectura orientada a Servicios) y el IoT para implementar fábricas de cultivo y automatización del proceso de cuidado de las plantas.

En principio el autor define los conceptos de Computación en la Nube como un método informático que permite el acceso de la información en la nube y como permite agregar e intercambiar servicios TI, teniendo las siguientes características: *servicio bajo demanda,*

acceso a Internet, sondeo de recursos, elasticidad rápida y capacidad de cálculo.(Fan TongKe 2013).

También define IoT como: la tecnología que permite la recolección de datos y el control sobre ciertas variables de diferentes procesos por medio de internet hacia una computadora central. La tecnología IoT incluye *la tecnología de identificación por radiofrecuencia, la tecnología de sensores, la tecnología de redes de sensores y la comunicación entre redes, todas las cuales han estado involucradas en los cuatro eslabones de la cadena industrial de IOT*(Fan TongKe 2013).

Adicionalmente indica que el concepto de IoT varía de acuerdo a las diferentes características o partes que la componen ya que, al integrarse a la Computación en la nube, debido a que ***IoT = computación en la nube + red ubicua + red de detección inteligente*** (Fan TongKe 2013)**,** inidicando que en este caso, la computación en la nube es el "cerebro" de la tecnología por el proceso de gestión de nodo del servicio, la red oblicua define como " *incluye 3G, LTE, GSM, WLAN, WPAN, WiMax, RFID, Zigbee, NFC, bluetooth y otras tecnologías de protocolo de comunicación inalámbrica*."(Fan TongKe 2013).

Prosigue planteando la construcción del modelo de "agricultura inteligente" mediante la Informatización Agrícola, para esto, enuncia la importancia dela implementación de la agricultura de precisión en China, enunciando los proyectos realizados por el propio gobierno buscando ese fin, proyectos como: "*proyecto Golden Agriculture" y el "Proyecto Three Dian"* (Fan TongKe 2013).los cuales mejoraron la cobertura en la parte rural pero que aún existen problemas como la falta de información Agrícola a los agricultores para mejorar el control del cultivo, como solución sugiere el desarrollo de la IoT en la nube mediante la combinación de la tecnología IoT y RFID para lograr una "agricultura inteligente".

Continua con la construcción de un sistema en la nube con la información agrícola, que consta de 4 capas como se muestra en la Figura 3 Composición de las capas de la Arquitectura de la nube de información agrícola: capa de recursos físicos, capa de gestión de middleware, y capa construcción SOA:

1. La capa de recursos físicos, consta de servidores de recursos, memorias, internet, base de datos y software relacionado la información Agrícola.
   Estos recursos integrados buscan lograr que una transmisión de señal de pago, sea de manera isométrica
2. La capa de middleware, se ocupa de la gestión de recursos computacionales y la asignación de tareas y lo asocia al sistema SOA.
3. La capa construcción SOA: encapsula la información en una nube de servicios estándar y la maneja la difusión de la información a la web, adicionalmente encapsula la capacidad informática de la nube en servicios web estándar.

En el caso del Articulo " **An Overview of Internet of Things (IoT) and Data Analytics in Agriculture: Benefits and Challenges**" de los autores (Elijah et al. 2018) se Concentra en desde la introducción en mostrar la importancia que presenta el IoT dentro de la Agricultura, y como esta sigue siendo cada vez relevante y necesaria por la creciente demanda de alimentos en el mundo y como se ha ido logrando poco a poco con la adición de las redes de sensores inalámbricos (WSN) y asi empiezan a hablar sobre las partes en el Ecosistema IoT, las aplicaciones de la IoT en la agricultura, la importancia del IoT, los beneficios dados por la implementación de esta tecnología en la agricultura.

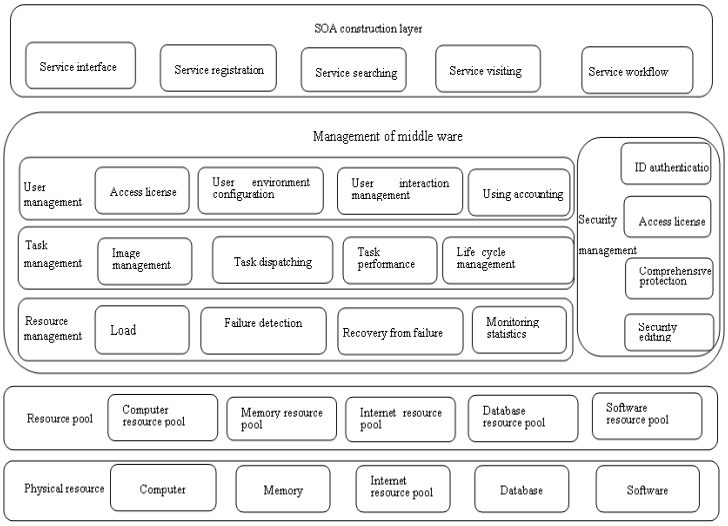


Figura 3 Composición de las capas de la Arquitectura de la nube de información agrícola

(Elijah et al. 2018)

En la sección de Ecosistema IoT presenta una descripción de 4 partes que intervienen en la implementación de un sistema IoT como lo son:

- Dispositivos IoT: Consisten en sistemas integrados (mostrados en Figura 4 Arquitectura de un Dispositivo IoT (Elijah et al. 2018)) que interactúan con sensores y actuadores, quienes requieren conectividad inalámbrica. Adicionalmente en la Tabla 2 Resumen de Sensores en Agricultura (Elijah et al. 2018), se muestra los diferentes tipos de sensores utilizados en IoT

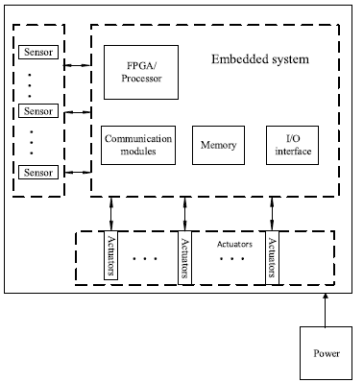


Figura 4 Arquitectura de un Dispositivo IoT (Elijah et al. 2018)

Tabla 2 Resumen de Sensores en Agricultura (Elijah et al. 2018)

Type of Sensors	Functions	Examples of Applications
Optical	Use of light to measure soil properties	Photodiodes and photodectors to determine clay, organic matter and moisture content of the soil
Mechanical	Use of probes to measure soil compaction or mechanical resistance	Tensiometers to detect the force used by the roots in water absorption and useful for irrigation interventions
Electrochemical	Use of electrodes to detect specific ions in the soil	Use of ion-selective electrodes (ISE) and ion-selective field effect transistor sensors (ISEFT) for detecting nitrogen phosphorus potassium (NPK) in soils
Dielectric soil Moisture	Use of electrodes to assess moisture levels by measuring the dielectric constant in the soil	Frequency domain reflectometry (FDR) or time domain reflectometry (TDR) to sense soil water content
Airflow	Measure soil air permeability	Properties such as compaction, structure, soil type, and moisture level of the soil can be measured
Location	Use of Global positioning system (GPS) satellites to determines the latitude, longitude and altitude	The GPS provides precise positioning for which is a corner stone for precision agriculture

- Tecnología de Comunicación, en este Aspecto procede a clasificar las tecnologías de comunicación según los estándares, espectros utilizados y escenarios de aplicación. Los estándares se pueden agrupar según el alcance de la comunicación (corto o largo alcance); el espectro depende del tipo usado ya sea con licencia o sin licencia, y por último los escenarios de aplicación depende de los sensores utilizados o red backhaul y escenarios de implementación.
    1. Espectro: para el uso del espectro sin licencia se hace uso de la banda de Rf científica conocida como banda ISM, que sufre interferencia y tiene problemas de seguridad.
    2. Estándar: existen varios estándares de comunicación inalámbrica, algunos enumerados en la tabla 1, los estándares de corto alcance

Tabla 3 Estándares para la comunicación en IoT

Type	Spectrum	Transmission Distance	Type of Network	Frequency Bands	Bi-directional link	Data Rate
802.11a/b/g/n/ac	Unlicensed	6 - 50 m	WLAN	2.4/5 GHz	√	2 Mbps - 7 Gbps
802.11ah	√	1000 m	√	various, sub -1 GHz	√	78 Mbps
802.11p	Licensed	<1 km	√	5.9 GHz	√	
802.11af (white space)	√	1 km	√	54-790	√	26.7 - 568.9 Mbit/s
SigFox	√	Rural: 30-50 km Urban: 3-10 km	LPWA	868 or 902 MHz	√	100 bps(UL), 600 bps(DL)
LoRaWAN	√	<20 km	√	various, sub-GHz	√	0.3-37.5 kbps
Ingenu/OnRamp	√	15	√	2.4 GHz	x	78 kbps (UL), 19.5 kbps (DL)
Telensa	√	1 km (Urban)	√	60 MHz, 200 MHz, 433 Mhz, 470 MHz, 868 MHz, 915 MHz	√	62.5 bps(UL), 500 bps(DL)
3GPP NB-IoT	Licensed (cellular)	<35 km	√	450 MHz - 3.5 GHz	√	250 kbps
3GPP LTE-MTC (Cat-M1)	√	<5 km	WWAN	1.4 MHz	√	200 kbps
EC-GPRS	√	√	√	GSM licensed bands	√	240 kbps
WiMAX	Licensed and Unlicensed	up to 50-80 km	√	2 - 11 Ghz, 10 - 66 Ghz	√	70 Mbps
Bluetooth	Unlicensed	< 100 m	WPAN	2.4 GHz	√	2 Mbps - 26 Mbps
ANT+	√	<30 m	√	2.4 GHz	√	
MiWi	√	<50 m	√	Sub-GHz, 2.4 GHz	√	256
ZigBee	√	< 1 km	WHAN	2.4 GHz	√	250 kbps
Z-Wave	√	< 100 m	√	900 MHz	√	100 kbps
Thread (6LoWPAN)	√	< 30 m	√	868/915/2450 MHz	√	250 kbps
Enocean/ (ISO/IEC 14543-3-10)	√	< 30 m	√	900 MHz	√	125 kbps
WirelessHART	√	< 228 m	WFAN	2.4 GHz	√	250 kbps
NFC	√	< 20 cm	P2P	13.56 MHz	x	424 kbit/s

pueden cubrir distancias de 100m y los de largo alcance pueden cubrir distancias de 10km

3. Escenarios de Aplicación: la elección de la tecnología de comunicación depende de la aplicación de los dispositivos IoT y como estos se conforman en rede blackhaul, en esta los nodos transmiten información de pocos datos en distancias cortas con bajo consumo de energía además depende de la topología de red a implementar ya sea Peer 2 peer (P2P), línea, malla, estrella anillo o árbol.

- Internet: En avance de los sistemas de comunicación inalámbricos, dispositivos móviles y servicios ubicuos conllevan a la conectividad masiva en Internet, ya que internet forma a capa central para formar rutas e intercambiar información de diferentes subredes, pero para a conexión de internet necesita seguridad adecuada, soporte de datos en tiempo real y facilidad de accesibilidad. (Elijah et al. 2018)

Al hablar de internet también se relaciona a la computación en la nube, esta implica gestión en interfaz de usuario, servicios, organización y coordinación de los nodos de red y procesamiento de datos, para la conexión de dispositivos heterogéneos se han desarrollado protocolos de e conectividad y middleware IoT como la arquitectura orientada a Objetos (SOA), la cual consiste en una arquitectura multicapa (detección, acceso redes, middleware y aplicaciones).

- Almacenamiento y procesamiento de datos: la agricultura basada en datos implica recolección de grandes datos, por lo que requiere almacenamiento y procesamiento, estos datos requieren están almacenados en la nube.

En la sección APLICACIÓN DE IOT EN LA AGRICULTURA, se enfoca en mostrar varios ejemplos del caso, como es son los cultivos y ganado, maquinaria, riego y seguimiento de la calidad del agua, seguimiento del tiempo, monitoreo del suelo, control de plagas y enfermedades, automatización y precisión, La aplicación de IoT se caracteriza por funciones como: monitoreo, seguimiento y localización, maquinaria agrícola, agricultura de precisión y producción de invernadero.(Elijah et al. 2018).

- Monitoreo: depende de diferentes factores, los cuales se discuten a continuación:
    1. Cultivos agrícolas: los factores ambientales como cantusad de lluvia, la humedad de las, hoja, la temperatura, la humedad del ambiente y del suelo, la salinidad, el clima, el circulo seco, la radiación solar, movimiento de plagas, actividades humanas, con estos factores determinar la exposición de las plantas y reducir las enfermedades.
    2. Acuaponia: es la combinación de acuicultura y la hidroponia, es importante monitora la calidad el agua, el nivel de agua y temperatura, la salud de los peces, la salinidad, el nivel de ph, la humedad y la luz solar.
    3. Silvicultura: esta área influye importante ne el ciclo del carbón, los factores a monitorear son, la temperatura y humedad del suelo y aire, el oxígeno, hidrogeno, metano, isobutano, amoniaco etanol, sulfuro de hidrogeno y dióxido de hidrogeno, para evitar incendios y monitorear las enfermedades del bosque.

4. Ganadería: depende de los animales, como por ejemplo las vacas pueden dar información sobre la salud de los mismo, la temperatura, la humedad, el rendimiento, ataque de plagas y calidad de agua.

- Seguimiento y localización: también se pude aplicar al seguimiento de activos para mejorar la cadena de suministro y logística de las empresas, IoT permite por medio de RFID Y GPS la ubicación de activos ayudando a la planificación de la empresa, adicionalmente permite al cliente realizar rastreo del producto dando confianza al cliente.

En el rastreo puede capturar, recopilar y almacenar datos relacionados con la cadena de suministro desde el inicio al final del trayecto, recolectando datos a lo largo de la cadena de suministros.

Dentro de los factores a rastrear incluyen (teniendo en cuenta que el objeto a rastrear consiste en productos agrícolas) el entorno de crecimiento, condiciones del producto, factores de plaga, factores de manejo, almacenamiento transporte y tiempo de comercialización

- Maquinaria de Agricultura: para esta área requiere un mapeo adecuado, uso de GPS y GNSS, para que a maquinaria se controle en piloto automático o por operación remota con la información recolectada por el sistema IoT, la recolección delos datos también pueden ayudar a los agricultores a mapear su campo para implementar actividades como fertilización, riego, nutrición.
- Agricultura de Precisión: La recolección de información agrícola para minimiza el impacto ambiental y reducir los costos, la agricultura de precisión se basa en varias tecnologías, como nodos de sensores, GPS, y big DA para el menos desperdicio de recursos, con el GPS y GNSS se pueden dar ubicaciones precisas con variable precisas para distribuir de manera óptima los recursos agrícolas.
- Producción de Invernadero: con esta tecnología permite optimizar las variables anteriormente mencionadas, pero en un entorno controlado como lo es un invernadero.

En otra sección denominada ANALSIS DE DATOS EN AGRICULTURA resalta que el análisis de datos es utilizado para mejorar la eficiencia centrándose en en el procesamiento de imágenes para la detección de enfermedades, calidad de frutos, la combinación de datos IoT e imágenes ayudan a incrementar la calidad de los frutos, adicionalmente muestra los diferentes métodos que se utilizan, los cuales son:

- Predicción: en base de los datos recolectados por los sensores, se puede desarrollar un algoritmo inteligente para predecir cambios ambientales y dar soluciones basadas en datos, también para prevenir enfermedades o condiciones climáticas extremas.

  - Administración de almacenamiento: Se pueden implementar sensores para monitorear las instalaciones de almacenamiento y las condiciones ambientales. Los datos se envían a la nube y se analizan. Se puede implementar un sistema de decisiones auto automatizado, que se basa en los datos analizados, para ajustar las condiciones ambientales. Además, se puede iniciar una alerta de advertencia a los agricultores cuando se alcanzan condiciones extremas o si se informa una plaga en la instalación de almacenamiento(Elijah et alza). 2018b).

- Decisión: La información de recolectada por los sensores ofrece oportunidades de aprendizaje para la toma de decisiones en factores ambientales en constante cambio, como el control de la temperatura y el suministro del agua en un sistema de riego.
- Gestión Agrícola: un sistema integrado de gestión permite que con el monitoreo impulsar la actividad y la gestión de riesgos, costo y rendimiento para maximizar la productividad.
- Aplicación Precisa: permite el uso eficiente de insumos en cada sector específico de la siembra mejorando la productividad.
- Seguridad: Con la implementación de IoT permite afrontar los cambios drásticos extremos de temperatura y asegurar su cultivo y ganado, mediante el monitoreo por medio de una red de sensores, enviar la información a la nube y generar una alarma al agricultor.

Además de lo anterior, (Elijah et al. 2018) habla de los beneficios que ofrece la instalación de IoT en la agricultura y los enumera así:

- Agricultura comunitaria: el IoT promueve la agricultura comunitaria, lo que permite que la comunidad haciendo uso de los datos recolectados por sus vecinos, puedan interactuar de manera más directa con los expertos en agricultura para asesoría o solución de problemas.
- Control de Seguridad y Prevención de fraudes: permite garantizar la integridad del producto y del proceso y así dar trazabilidad a los alimentos.
- Ventajas competitivas: Permite la reducción de costos y desperdicios de insumos agrícolas para aumentar la productividad, ya que el uso de datos en tiempo real dada por IoT permite adaptar mejores prácticas a los agricultores
- Reducción de Costos y Desperdicios: La inspección remota de grandes campos permite ahorrar tiempo de desplazamiento, ya que al saber el lugar específico para aplicar insumos reduce costos.
- Eficiencia Operacional: permite realizar mejor vigilancia del sector agrícola por parte del agricultor como del estado y así realizar planes de prevención sobre plagas, enfermedades, incendios y reducir las pérdidas.
- Conciencia: Se espera que se impulse las aplicaciones de bajo costo y acceso de servicios de red inalámbrica en el sector agrícola, por otro lado, los

consumidores de productos orgánicos y fresco podrán contactar de manera más fácil a los agricultores cuando haya productos frescos.

2.2 REVISION SOBRE TRABAJOS CON LA TECNOLOGIA LORAWAN Y WSN

Debido a la selección de la tecnología a implementar se realizó la revisión del estado del arte de algunos trabajos sobre la implementación de las redes LoRaWan para el monitoreo de redes de sensores con el fin de aprender metodologías y desarrollo para implementar el proyecto.

En el trabajo denominado "**Estudio en detalle de LoRaWan, comparación con otras tecnologías LPWAN considerando diferentes patrones de tráfico**" de la autora (Hernández 2020), se centra en realizar un análisis sobre las diferentes tecnologías desarrolladas sobre la tecnología LPWAN, mostrando las ventajas y desventajas en cada una de ellas.

Resalta también que debido al auge del Iot y el aumento del número de dispositivos conectados, apareció LPWAN una solución para la interconexión con bajo consumo de energía a mayor alcance.

En la Figura 5 Comparación de Tecnologías Inalámbricas (Hernández 2020). Se hace una comparación de las tecnologías inalámbricas teniendo en cuenta el ancho de banda y el alcance de la señal.

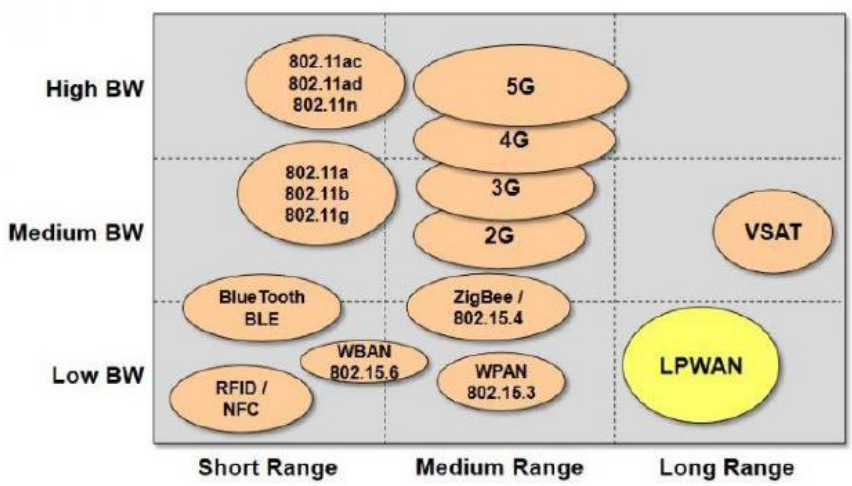


Figura 5 Comparación de Tecnologías Inalámbricas (Hernández 2020)

También abordo el concepto de las redes LPWAN y las ventas que presenta frente a las demás tecnológicas como son:

- Larga duración de la batería
- Baje coste
- Cobertura amplia
- Baja potencia
- Soporte para un gran número de dispositivos

Además, menciona entre las tecnologías LPWAN se dan en dos: las licenciadas donde están LTE y NB-IoT y las no licenciadas que son Sigfox y LoRaWan. De estos derivados, la autora habla de las características como la modulación:

a) Sigfox: Utiliza un sistema de tipo celular que permite que los dispositivos remotos se conecten usando tecnología de banda ultraancha (UNB). Sigfox utiliza las bandas de radio sin licencia ISM en el espectro de 868 MHz para Europa y 902 MHz para EEUU.

b) LoRa. tipo de modulación en radiofrecuencia, por tanto, es la capa física de la red LPWAN conocida como LoRaWAN, puede operar en cualquier frecuencia por debajo de 1GHz
c) LTE-M: es una tecnología de red móvil que reutiliza la red existente LTE, es decir, 4G. Para la modulación utiliza una técnica de modulación QPSK.
d) NB-IoT: NarrowBand Internet of Things) es una tecnología de banda estrecha que puede coexistir con GSM y LTE bajo bandas de frecuencia con licencia introducida por el 3GPP en lareléase 13, utiliza una técnica de modulación QPSK(Hernández 2020)

Luego procede a realizar una comparación dentre las diferentes tecnologías LPWAN mostrado en la Tabla 4 Comparativa de tecnología LPWAN(Hernández 2020).

Tabla 4 Comparativa de tecnología LPWAN(Hernández 2020)

	Sigfox	**LoRaWAN**	**LTE- M**	**NB-IoT**
MODULACIÓN	BPSK	CSS	QPSK	QPSK
FRECUENCIA	Bandas ISM sin licencia (868 MHz en Europa, 915 MHz en América del Norte y 433 MHzen Asia)	Bandas ISM sin licencia (868 MHz en Europa, 915MHz en América del Norte y 433 MHz en Asia)	Bandas de frecuenciaLTE con licencia	Bandas de frecuencia LTE con licencia y 2G
ANCHO DE BANDA	100 Hz	250 kHz y 125 kHz	1,4 MHz	200 kHz
VELOCIDAD MAX. DE DATOS	100 bps	50 kbps	1 Mbps	100 kbps
BIDIRECCIONAL	Half-duplex	Half-duplex	Full-duplex	Half-duplex
MÁXIMO MENSAJES / DÍA	140 (UL), 4 (DL)	Ilimitado	ilimitado	Ilimitado
LONGITUD MÁXIMADE CARGA ÚTIL	12 bytes (UL), 8bytes (DL)	243 bytes	27.2 (DL), 62.5 (UL)	1600 bytes
DISTANCIA	10 km (urbano), 40 km (rural)	5 km (urbano), 20km (rural)	1 km (urbano), 5km (rural)	1 km (urbano), 10 km (rural)
DURACIÓN BATERÍA	20 años	15 años	10 años	10 años
INMUNIDAD A INTERFERENCIAS	Muy alto	Muy alto	Medio	Bajo
AUTENTICACIÓN Y ENCRIPTACIÓN	No soportado	Sí (AES-128)	Sí (LTE)	Sí (LTE)

TASA DE DATOS ADAPTATIVA	No	Si	No	No
HANDOVER	Los dispositivosfinales no se unen a una sola estación base	Los dispositivos finales no seunen a una sola estaciónbase	Los dispositivos finales se unen a unasola estaciónbase	Los dispositivos finales se unena una sola estación base
COMUNICACIÓN EN TIEMPO REAL	No	No	Si	No
LOCALIZACIÓN	Sí (RSSI)	Sí (TDOA)	Sí	No (bajo
PERMITE RED PRIVADA	No	si	No	No
ESTANDARIZACIÓN	La compañía Sigfox está colaborando conETSI en la estandarización de la red basada en Sigfox	LoRa -Alliance	3GPP	3GPP

El trabajo de (Coello and Silva 2020) titulado "**Diseño E Implementación De Un Sistema De Monitoreo En Tiempo Real De Sensores De Temperatura, Turbidez, Tds Y Ph Para La Calidad Del Agua Utilizando La Tecnología Lorawan**" similar a este trabajo buscan monitorear variables que afectan el área de trabajo, para este el Agua, En este trabajo se habló del diseño de los nodos incluyendo la conexión del sensor de temperatura ds18b20, sensor TDS SEN0244, sensor de PH, la recolección de los datos en una base de datos no relacional en FireStore, la prueba de implementación la realizaron en 2 escenarios, un tanque de 10000 litros de agua pura y de agua procesada, teniendo resultados positivos para la identificación de agua potable.

2.3 INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA ANALISIS Y PREDICCION DE VARIABLES.

En este trabajo se planteó la implementación de inteligencia de artificial que sirva de apoyo al agricultor en la decisión de la activación o desactivación de sistema de riego, buscando optimizar el uso del agua. En los siguientes trabajos vamos a ver casos donde los usos de las redes neuronales también sirven de apoyo al desarrollo de diferentes actividades.

En el trabajo "**Análisis de suelos utilizando redes neuronales en las florícolas de Rosas del Sector Norte de la Provincia de Cotopaxi**" de (Escobar Iza, Maliza Bedon, and Cadena Moreano 2021) lo autores buscan implementar un sistema de inteligencia Artificial en el análisis del estado del suelo de un invernadero, para determinar dicho estado recolectan la información del ph del suelo y así poder determinar en conjunto con la temperatura y la humedad del suelo la presencia de enfermedades de las plantas. Para ello plantean el desarrollo de una aplicación móvil la cual suministra los valores de las variables con la que el suelo sea optimo, la adquisición de valores de las variables: Humedad, temperatura y Ph del suelo, después se procedo a la toma de datos del invernadero. Con dichos datos procedieron a programar la red neuronal bajo el algoritmo de back-propagation para poder establecer valores deseados de acuerdo a las medidas estables tomadas anteriormente.

Otro trabajo relevante es **"Diseño de un controlador basado en redes neuronales para la irrigación por goteo sobre cultivos en el distrito de Huacho**" de los autores (Gutiérrez Espíritu and Armas Valencia 2018), donde establece que por medio de la adquisición de datos de humedad del cultivo a 3 diferentes profundidades para determinar el tiempo de riego como de evotranspiracion de los cultivos, con estos datos recolectados implementar una red neuronal, entrenarla y determinar el tiempo de riego, y estimar el consumo hídrico adecuado de las plantas. Para la adquisición de los datos, proceden a diseñar un sensor de humedad Artesanal ya que los comerciales son muy pequeños para el balance fisico para las condiciones de la práctica, para la comunicación con el servidor, plante la implementación de una red inalámbrica mediante el uso del ESP8266 mediante la plataforma Arduino Uno, para la alimentación unificaron las estradas mediante el uso de un regulador de voltaje de 5 v.

Respecto de la red neuronal configuran una red de 3 entradas y 1 salidas, utilizando el módulo de Function Fitting Neuronal Network de Matlab que utiliza el algoritmo de Levenberg-Marquardt conocido también como el método de detección de error por método de minimos cuadrados para funciones no lineales o ínfimos cuadrados amortiguado.

Con ello realizaron una prueba con 95 min de lectura de datos para las 3 alturas, luego llevaron dicha información al módulo de Matlab para el entrenamiento incluyendo 20

neuronas ocultas para la aproximación de las funciones características obteniendo oscilaciones con factor del 0.99 del valor deseado.

Con el anterior desarrollo se incluyó los valores de la evotraspiracion para determinar el momento en que la planta hace mejor absorción de líquido y nutrientes

3. MARCO DE REFERENCIA

3.1 MARCO TEORICO

En la actualidad la tecnología es un factor importante para diferentes enfoques, uno de ellos es el de la agricultura, en donde se buscó minimizar los gastos de recuperación de cultivos y optimizar el uso los suelos y los recursos, surgió como solución la agricultura de precisión, tecnificando la agricultura. El objetivo de la agricultura de precisión es poder optimizar el uso y manejo del agua en cultivos agrícolas creando estrategias para el uso sostenible del agua, basadas en la ciencia y tecnología. El cual consiste en un sistema de riego automatizado basado en sensores de humedad y temperatura del suelo con una red inalámbrica de sensores, para determinar cuándo y cuánto se riega el cultivo, en donde se obtiene los resultados por medio de una aplicación web y también se puede ordenar un riego manual, únicamente se debe definir la duración del riego desde el computador y momentos después se efectuará el riego(Jagüey et al. 2012). Adicionalmente se ha visto que la tecnología móvil ha sido un desarrollo importante no solo en su área si no ha ayuda a evolucionar a diferentes áreas como la agricultura, la minería, la estadística, el manejo de información y demás; Este sistema fue implementado en un reservorio, permitido efectuar una adecuada gestión del recurso hídrico, maximizando los beneficios logrando un desarrollo económico y social respetuoso con el medio ambiente, el sistema de comunicación móvil GSM/GPRS permite realizar eficazmente el control y monitoreo remoto del prototipo permitiendo a cualquier usuario controlar la distribución, facilitando la gestión (Miranda Ruiz and Altamirano 2015). Unos de los estándares de comunicación de los sensores y los

dispositivos móviles es la norma IEEE 802.15.4, la cual fue utilizada por la RED SIPIA un grupo de investigación de la Universidad Nacional de La Plata de Buenos Aires en argentina(Mercado et al. 2011)

Igualmente se puede utilizar el protocolo Zigbee, con la implementación de hardware libre raspberry pi, para poder comunicar las redes sensoriales que permite cubrir una amplia extensión de terreno, con dispositivo móvil que posee el usuario

En la actualidad se maneja en gran parte de las personas el uso de Smartphone los cuales permiten muchas facilidades, a través de aplicaciones móviles dando una mejor usabilidad al usuario. Los agricultores ya han empezado a emplear algunas técnicas de cultivo de alta tecnología para mejorar la eficiencia de su trabajo cotidiano, los sensores colocados en campos permiten a los agricultores obtener las variables como la acidez y la temperatura del suelo.(Meola 2016)

Los dispositivos de sensores basados en Arduino ofrecen su accesibilidad conectándose a redes LAN. Esto se consigue integrando Módulos Ethernet o WiFi a dispositivos sensor, permitiendo así su interconexión. Para ello, Arduino ENC28J60 Ethernet Module se utiliza para Ethernet o módulo ESP8266 para sus conexiones de red inalámbrica. (Markovic et al. 2015)

En la implementación de los sistemas de red inalámbrico (WLAN) se presentan varios sistemas integrados que ofrecen diferentes prestaciones, es de tener en cuenta que ESP8266 es el predecesor de ESP32.

Tabla 5 Dispositivos utilizados en IoT(Maier, Sharp, and Vagapov 2017)

Chip (Module)	**ESP32 (ESP-WROOM-32)**	**ESP8266 (ESP8266-12E)**	**CC32 (CC3220MODSF)**	**Xbee (XB2B-WFPS-001)**
Details:				
CPU	Tensilica Xtensa LX6 32 bit Dual-Core at 160/240 MHz	Tensilica LX106 32 bit at 80 MHz (up to 160 MHz)	ARM Cortex-M4 at 80 MHz	N/A
SRAM	520 KB	36 KB available	256 KB	N/A
FLASH	2MB (max. 64MB)	4MB (max. 16MB)	1MB (max. 32MB)	N/A
Voltage	2.2V to 3.6V	3.0V to 3.6V	2.3V to 3.6V	3.14V to 3.46V
Operating Current	80 mA average	80 mA average	N/A	N/A

Programmable	Free (C, C++, Lua, etc.)	Free (C, C++, Lua, etc.)	C (SimpleLink SDK)	AT and API commands
Open source	Yes	Yes	No	No
Connectivity:				
Wi-Fi	802.11 b/g/n	802.11 b/g/n	802.11 b/g/n	802.11 b/g/n
Bluetooth®	4.2 BR/EDR + BLE	-	-	-
UART	3	2	2	1
I/O:				
GPIO	32	17	21	10
SPI	4	2	1	1
I2C	2	1	1	-
PWM	8	-	6	-
ADC	18 (12-bit)	1 (10-bit)	4 (12-bit)	4 (12-bit)
DAC	2 (8-bit)	-	-	-
Size	25.5 x 18.0 x 2.8 mm	24.0 x 16.0 x 3.0 mm	20.5 x 17.5 x 2.5 mm	24.0 x 22.0 x 3.0 mm
Prize	£8	£5	£16	£23

Para realizar flujo de información entre el invernadero y los dispositivos de monitorización, se ha desarrollado una aplicación servidor bajo código C++, capaz de administrar la información del invernadero en una base de datos MySQL y, de forma concurrente, atender las peticiones de los clientes Android registrados, proporcionándoles la información que soliciten, y ejecutando las acciones que reciben (García 2015).

La base computacional del nodo lote incluye la placa Arduino uno en la que se fijan varios escudos adicionales y sobre qué sensores se unen. Los sensores se utilizan para: temperatura y humedad relativa tales como DHT11, emisión del gas, detección del movimiento del ir, flujo de agua, intensidad de luz etc. Los datos obtenidos por estos sensores conectados a clavijas Arduino analógicas y digitales pueden almacenarse localmente o enviarse al servidor remoto. La placa principal está conectada al módulo Ethernet mediante la comunicación SPI, y puede enviar datos mediante el protocolo http. En este caso, el dispositivo de lote actúa como el cliente web y cuando los datos se obtienen de los sensores puede enviar una solicitud HTTP que transporta los datos al servidor Web en Internet. Otra función de los dispositivos de lote es la del destinatario que acepta las solicitudes de otros dispositivos. Esto significa que el servidor Web se está ejecutando en el dispositivo, sirviendo peticiones de la red. Los usuarios pueden acceder al dispositivo y

controlar los actuadores adjuntos como el motor de CC o la intensidad de la luz. (Markovic et al. 2015)

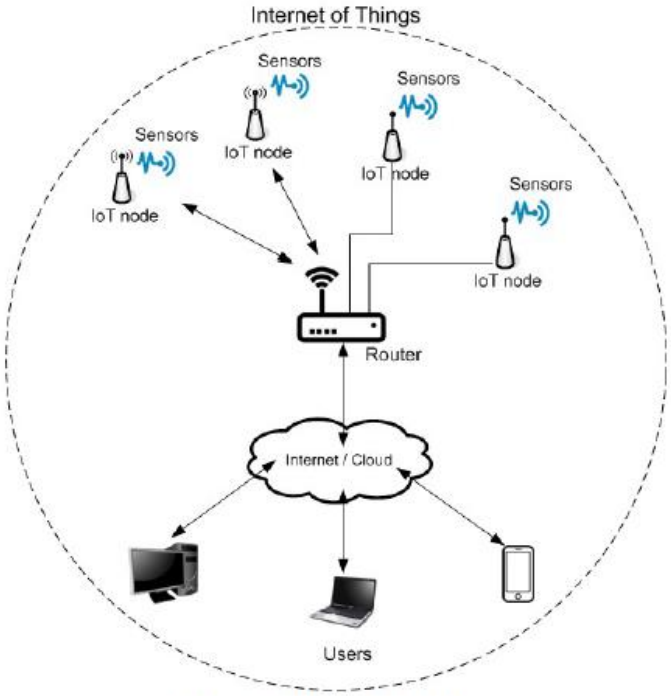


Figura 6 Internet de las cosas

Dado el tema explicado anteriormente se planea la implementación de la tecnología de Cloud Computing en conjunto con lo desarrollado con IoT (Internet de las cosas) el IoT puede conectar una enorme cantidad de objetos que crearán un tráfico masivo y se necesitará una gran cantidad de capacidad de datos. Además, IoT enfrentará numerosos desafíos, especialmente problemas de privacidad y seguridad. (Tuwanut and Kraijak 2015)

Los dispositivos de IoT y las máquinas con sensores y actuadores incorporados generan enormes cantidades de datos y los transmiten a inteligencia empresarial y herramientas de análisis la toma de decisiones. Estos datos se utilizan para descubrir y resolver problemas comerciales, como cambios en el comportamiento de los clientes y las condiciones del mercado, para aumentar la satisfacción del cliente y brindar servicios de valor agregado a los clientes.(Lee and Lee 2015)

3.1.1 Sistema De Riego Por Goteo

Es un sistema que es caracterizado por la utilización de agua en un ritmo lento y está localizado directamente en la planta. “El suministro de agua es de manera lenta y uniforme a baja presión a través de mangueras de plástico instaladas dentro o cerca de la zona radicular de las plantas”(Welch and Shock 2013).

Este sistema se comenzó a utilizar en Alemania y USA, se “puede afirmar que el riego por goteo, tal como lo conocemos en la actualidad, empezó en Inglaterra, después de la segunda guerra mundial, en invernaderos, semilleros y jardinería”(Cruz 2009).

Siendo así uno de los sistemas es más preciso ya que va directo a brindar agua a la planta (Cruz 2009). Los componentes de un sistema de riego por goteo son principalmente: filtros, inyectores, válvulas, medidor de agua, tuberías, conectores, etc.

Es buena la utilización de este sistema ya que permite reducir los gatos del agua innecesarios, mojando solamente al pie de la planta y crenado así un bulbo húmedo que cambia según las características del suelo, la cantidad de agua y el tiempo de riego. El bulbo se pude extender horizontalmente y verticalmente, por lo tanto las raíces se expanden al espacio húmedo (Eric and Asesor: 2009).

3.1.2 Redes De Sensores

Son un conjunto de sensores conectados entre sí, los cuales son un tipo de transductor que se encarga de convertir una señal de entrada analógica, generalmente fenómenos físicos (temperatura, presión, humedad, etc.), en una señal eléctrica a la salida puede ser voltaje o corriente. Algunos ejemplos de sensores son: Sensores de presión, Sensores de deformación: galga extensiométrica, Sensores de humedad y Sensores de pH (Cruz 2009).

“El tema de los sensores es actualmente uno de los aspectos de mayor relevancia en el área de Automatización Industrial ya que juegan un rol fundamental como generadores de información para los sistemas de control” (Miranda Ruiz and Altamirano 2015).

Una red de sensores de humedad se inserta debajo de la tierra para así obtener información de la humedad que contiene, utiliza una señal de salida la cual es digital al

integrar un pequeño micro controlador para hacer el tratamiento de la señal.(García 2015).

Para el diseño de la red de sensores se debe tener en cuenta el estándar IEEE 802.15.4 que define la capa física (PHY) y el control de acceso al medio (MAC) para redes inalámbricas de área personal (WPAN) con bajas tasas de transmisión de datos. En la figura 2 se observan las capas inferiores del modelo OSI, ya que el estándar se concentró en desarrollarlas.

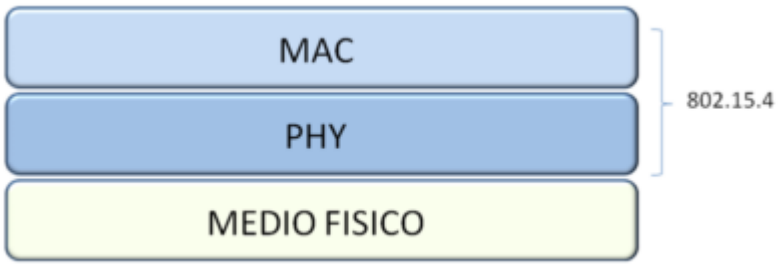


Figura 7 Pila de Protocolos para el Estándar 802.15.4 (García García 2015)

3.1.3 Raspberry Pi

“Es una plataforma de desarrollo; tiene incorporado en su estructura de hardware puertos USB, conector HDMI, conector de salida de video, puerto para comunicaciones TCP/IP, salida de audio de 3.5mm, slot para tarjeta SD, procesador de 700Mhz entre otros” (Xavier 2014).

La placa Raspberry pi, es similar a un computador ya que posee entradas de periféricos USB que generalmente son utilizadas para conectar el mouse y el teclado. Con respecto a la salida de video, el Raspberry pi posee 2 alternativas para el usuario, la salida HDMI para televisiones modernos o en su defecto la salida de video RCA para televisores analógicos(Cedillo and Cusme 2014).

3.1.4 Implementación Iot Y Cloud Computing

“Es un proceso que está pendiente de recibir órdenes de trabajo que provienen de otros procesos, que se denominan clientes. Una vez recibida la orden, la ejecuta y responde al peticionario con el resultado” (García 2015).

Un servidor web permite la recepción de datos que son obtenidos por el arduino y control del invernadero, almacenando los valores y poder ofrecer estos servicios para su posterior monitorización y control remoto. El servidor actúa como la capa de percepción que detecta y da información de ubicación. Ahora la segunda capa obtiene los datos de la capa de percepción y utiliza diferentes tecnologías como Wi-Fi, CDMA, 3G, etc para el propósito de transporte. A continuación, la tecnología de Cloud Computing se utiliza para el propósito de almacenamiento virtual. (Kiran R. Badua 2015)

La implementación de Cloud Computing permite los siguientes beneficios:

• mejoramiento en el uso eficiente de insumos como suelo, agua, fertilizantes, pesticidas, etc.

• costo reducido

• Monitoreo del ganado

• agricultura interior – invernaderos y establos

• piscicultura

• silvicultura

• monitoreo de almacenamiento – tanques de agua, tanques de combustible

• asignación de recursos a pedido sin límite

• mantenimiento y upgrades realizados en el back-end

• fácil desarrollo rápido, incluyendo la colaboración con otros sistemas en la nube (Kiran R. Badua 2015)

La integración de los procesos relacionados a la agricultura por medio de la implementación del internet de las cosas (IoT) y el manejo de la computación en la nube (Cloud Computing) permite el control de los siguientes datos acerca del cultivo:

1. Computación en la nube en la gestión de plantación: permite la gestión, almacenamiento y administración de los procesos específicos de la panta como el control del rendimiento de la producción, gestión de las variables del cultivo y recolección y análisis de datos de productividad.(Fan TongKe 2013)

2. Computación en la nube en la estimación del efecto de la productividad y las medidas de gestión: Mediante el uso de la simulación de variables del entorno, el uso de los recursos de la probabilidad y estadística para el planteamiento de estrategias de gestión del cultivo. (Fan TongKe 2013)
3. Computación en la nube en el rastreo y control de la seguridad de los productos agrícolas: Con este sistema mejora la supervisión de los productos en el proceso de cultivo de venta y disposición final para garantizar la calidad del producto. (Fan TongKe 2013)
4. Computación en la nube en el monitor del crecimiento de la planta: con la cual se implementa una tecnología de patrones de crecimiento y monitoreo dinámico de las plantas(Fan TongKe 2013)

3.1.5 Sistemas Android

Es un sistema operativo móvil que contiene una variedad de aplicaciones y es muy utilizado por desarrolladores para crear aplicaciones móviles nuevas. Gran cantidad de celulares manejan este sistema operativo, permitiendo el manejo de diferentes servicios y funciones que anteriormente eran estáticas, como es el caso de la agricultura de precisión en donde se puede monitorizar y supervisar el estado del invernadero y/o el campo (García 2015).

3.1.6 Producción Y Desarrollo De Los Cultivos

El objetivo más importante en los cultivos es la producción de frutos, por lo tanto, se pretende aumentar la productividad de las organizaciones y tener un control más eficiente sobre los activos.

La geografía única de Colombia y los climas variados respaldan una gran variedad de productos agrícolas. Por ejemplo, las áreas de baja elevación (<1000 m) están dominadas por banano, plátano, mandioca, arroz, caña de azúcar, maíz, palma, frutas tropicales y cítricos, entre otros. En elevaciones intermedias (entre 1000 y 2000 m), los

cultivos clave son café, plátanos, caña de azúcar, frijoles, algunas frutas y cítricos. En altitudes más altas (> 2000 m), el maíz, el trigo, las papas y las verduras son los principales cultivos. Como se muestra en la figura 3. (Creamer et al. 2014)

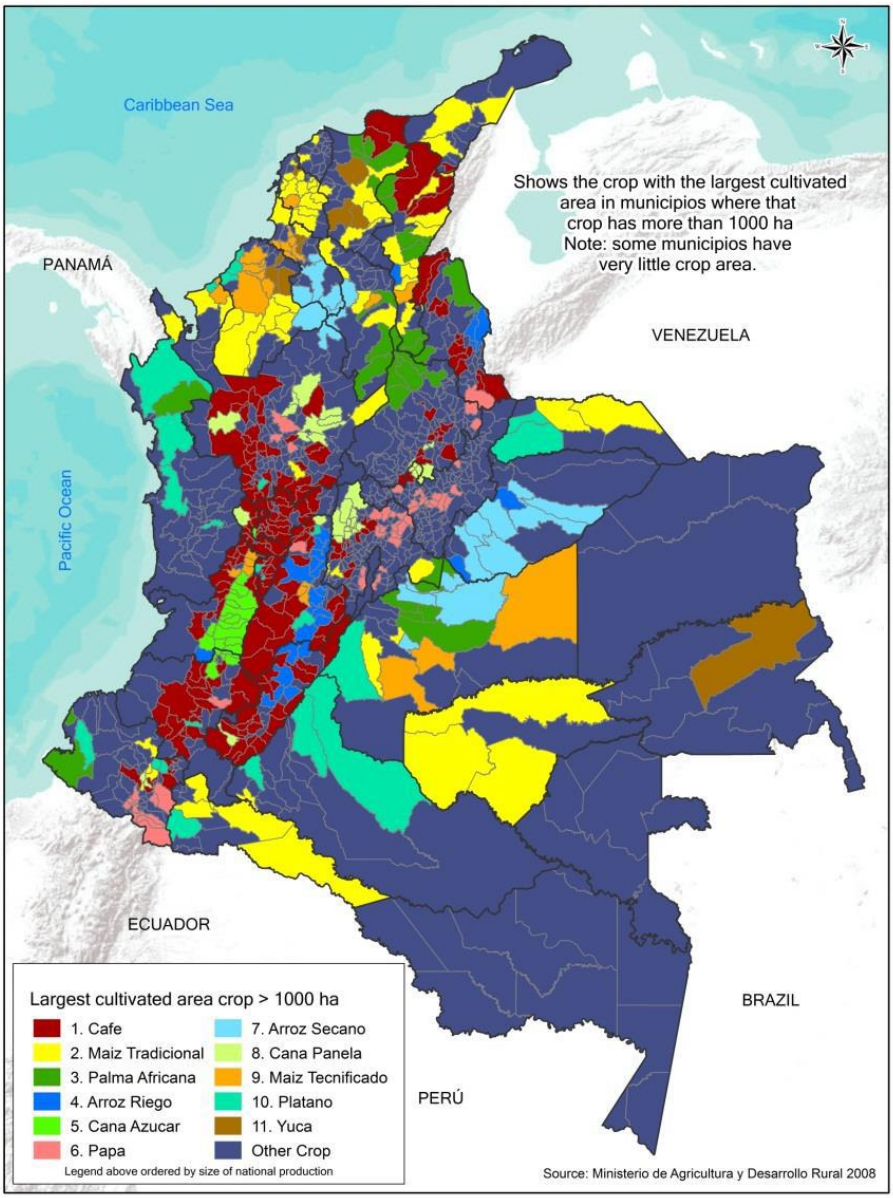


Figura 8 Cultivo predominante por municipio (Creamer et al. 2014)

3.1.7 Iot Y Wpan – Redes Inalámbricas Área Personal

De acuerdo a lo explicado en la sección RED DE SENSORES procedemos a explicar las capas superiores concernientes a los modelos Zig Bee, 6LowPan y LoraWAN la relación directa con el internet de las cosas (IoT).

La arquitectura típica de IoT se puede dividir en cinco capas, como se muestra en la Figura 4. Cada capa se describe brevemente a continuación:

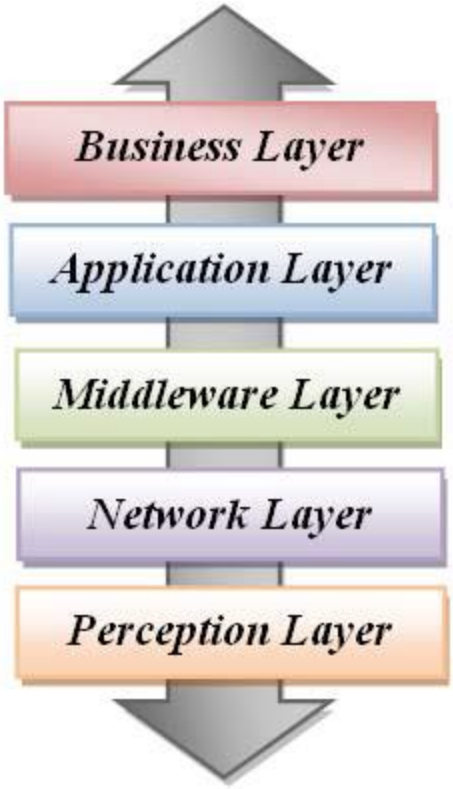


Figura 9 La arquitectura genérica IoT (Tuwanut and Kraijak 2015)

Capa de percepción: la capa de percepción es similar a la capa física en el modelo OSI que consiste en los diferentes tipos de sensores (es decir, RFID, Zigbee, código QR, infrarrojo, etc.) y elementos ambientales. Esta capa generalmente se enfrenta con la administración general del dispositivo; identificación y recopilación de información específica por cada tipo de dispositivo sensor., nivel de pH, humedad, etc. Esta información recopilada se transmite

a través de la capa de red para su comunicación segura hacia el sistema central de procesamiento de información.

Los estándares utilizados normalmente para las redes WPAN en esta capa son:

- Bluetooth: representado con IEEE 802.15.1, la cual ofrece una velocidad máxima de 10 Mbps con un alcance de 50 a 100 metros sin amplificador
- Zigbee: También conocido como IEEE 802.15.4, permite integra directamente en pequeños aparatos electrónicos (como, por ejemplo, electrodomésticos, sistemas estéreos y juguetes). (Mercado et al. 2011) Zigbee funciona en la banda de frecuencia de 2,4 GHz y en 16 canales, y puede alcanzar una velocidad de transferencia de hasta 250 Kbps con un alcance máximo de unos 100 metros.
- LoraWan: Capa de red: esta capa es la principal responsable de transferir la información de la capa de percepción a la capa superior.

Capa de Middleware: La capa de middleware tiene dos funciones esenciales, incluida la administración de servicios, y almacena la información de la capa inferior en la base de datos.

Capa de aplicación: la capa de aplicación es responsable de la administración de aplicaciones inclusivas basadas en la información procesada en la capa de Middleware.

Business Layer: Estas funciones de capa cubren toda la administración de aplicaciones y servicios de IoT.

Protocolos IoT

El protocolo es el conjunto especial de reglas y regulaciones que el punto final en una conexión de telecomunicaciones utiliza cuando necesitan comunicarse con otros puntos finales que están conectados a la misma / diferente red. En esta subsección se describirán brevemente los protocolos más utilizados para la comunicación entre máquinas (M2M). MQTT (Message Queue Telemetry Transport): MQTT es un servidor cliente que publica o suscribe el protocolo de transporte de mensajes. Es liviano, abierto, simple y diseñado para ser fácil de implementar. El protocolo se ejecuta sobre TCP / IP o sobre otro protocolo de red que proporcionó conexiones bidireccionales, sin pérdidas y ordenadas. El MQTT las

características incluyen: uso del patrón de mensaje de publicación / suscripción, un transporte de mensajes que es independiente del contenido de la carga útil. Además, el protocolo MQTT no solo minimiza la sobrecarga de transporte y el intercambio de protocolo para reducir el tráfico de la red, sino que también tiene un mecanismo extraordinario para notificar a las partes interesadas cuando ocurre una desconexión anormal.

CoAP (protocolo de aplicación de restricción): CoAP es un protocolo de transferencia web especializado para usar con nodos restringidos y redes restringidas (por ejemplo, de baja potencia, con pérdida). Los nodos a menudo tienen un microcontrolador de 8 bits con pequeñas cantidades de ROM y RAM, mientras que la red limitada a menudo tiene una alta tasa de error de paquetes y el rendimiento típico es de 10 kbps. Este protocolo está diseñado para aplicaciones de máquina a máquina (M2M), como Smart City y automatización de edificios. (Tuwanut and Kraijak 2015)

6LoWPAN es un estándar en desarrollo del Grupo de Trabajo 6LoWPAN de la IETF y fue diseñado desde el principio para ser utilizado en redes de sensores pequeñas. La infraestructura de configuración requerida del protocolo. Las implementaciones de 6LoWPAN caben fácilmente en partes de memoria flash de 32K (generalmente más pequeñas que Zigbee u otros protocolos). (Mulligan 2007)

La arquitectura del protocolo 6LowPan para una red mesh inicia desde el router conectado a internet, el cual funciona como Access Point habilitando el estándar IPv6 para los dispositivos que se encuentren dentro de la red (host).

Una red 6LoWPAN puede estar conectada a otras redes IP a través de una o más enrutadores de borde que reenvían datagramas IP entre diferentes medios. La conectividad a otras redes IP se puede proporcionar a través de cualquier enlace arbitrario, como Ethernet, Wi-Fi o 3G / 4G

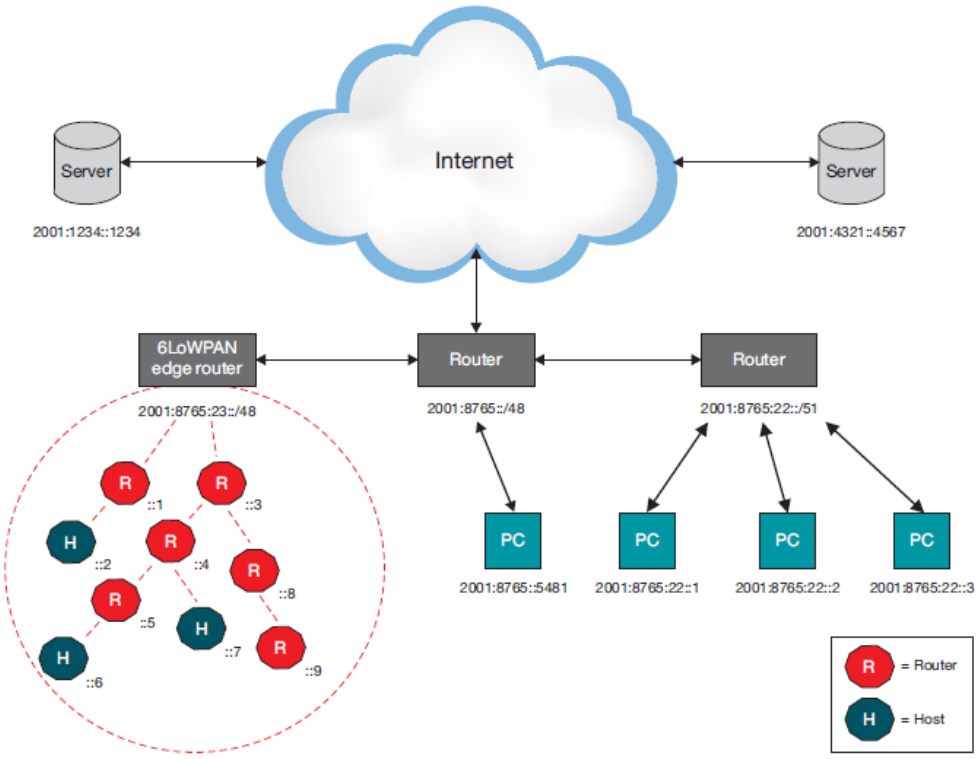


Figura 10 Red mesh con 6lowPan y protocolo IPV6 (Olsson 2014)

Visión general de pila del sistema

6LoWPAN resuelve este dilema al introducir una capa de adaptación entre el enlace de la pila IP y las capas de red para permitir la transmisión de datagramas IPv6 a través de enlaces de radio IEEE 802.15.4.

Todos los sistemas de comunicación usan un conjunto de reglas o estándares para formatear datos y controlar el intercambio. El modelo más común en los sistemas de comunicación de datos es el modelo Open Systems Interconnect (OSI), que, en un modelo simplificado, rompe la comunicación en cinco capas fundamentales, como se muestra en la Figura 6

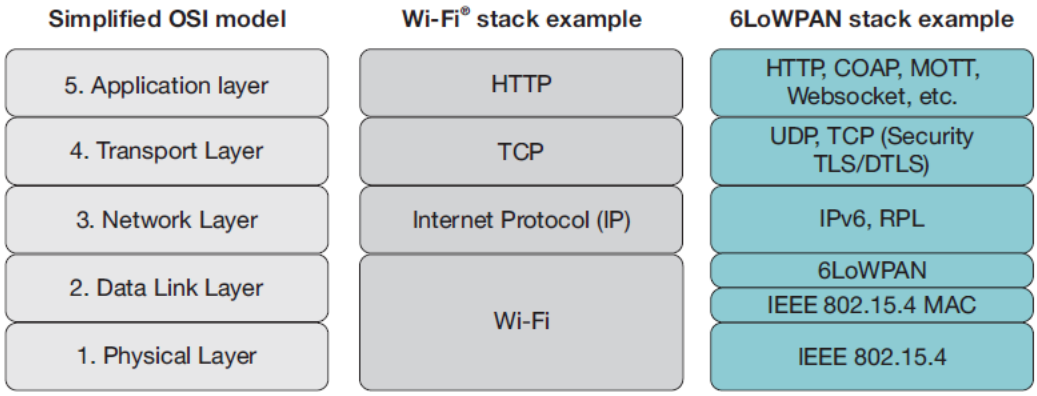


Figura 11 Comparación de Pilas de Protocolos OSI, WiFI y 6LowPan (Olsson 2014)

3.1.8 LoraWan Como Protocolo Para IoT

Las redes LPWAN, las siglas de Low Power Wide Area Network, son redes inalámbricas que transmiten pequeñas cantidades de datos a grandes distancias. Estas redes inalámbricas tienen un requerimiento de consumo de energías más bajo que el de otras redes de la actualidad, como las que se emplean en telefonía, que pueden cubrir grandes superficies, (Hernández 2020)

Actualmente, se pueden encontrar en el mercado diferente tecnologías LPWAN que cumplen los requisitos que necesita la industria IoT para poder conectar la gran cantidad de dispositivos que están apareciendo:

• Larga duración de la batería: la baja señalización permite una duración de las baterías de años.

• Bajo coste: los protocolos simplificados y livianos de LPWAN reducen la complejidad en el diseño hardware reduciendo los costes.

• Cobertura amplia: el alcance operativo de LPWAN varía desde pocos kilómetros en áreas urbanas hasta más de 10 km en entornos rurales. También permite una efectiva comunicación de datos en ubicaciones interiores y subterráneas

Los dispositivos LoRaWAN implementan varias funcionalidades para diferentes aplicaciones, estas funcionalidades varían según la Clase donde se ha configurado el dispositivo dentro del protocolo.

- Dispositivos finales de Clase A: estos dispositivos establecen comunicaciones bidireccionales, cada transmisión de enlace ascendente del dispositivo final esta seguida por dos ventanas cortas de recepción de enlace descendente, por lo que es idóneo para aplicaciones donde se necesita enviar información desde el dispositivo final con el menor uso energético.
- Dispositivos finales de Clase B: permiten la comunicación de enlace descendente del dispositivo final añadiendo ventanas de recepción. Las ventanas adicionales a las de clase A en el dispositivo final se consigue mediante el envío de balizas sincronizado en el tiempo por parte del gateway. La recepción continua de balizas hace que su consumo energético sea mayor con respecto a los dispositivos de Clase A.
- Dispositivos finales de Clase C: los dispositivos finales escuchan de manera continua siempre y cuando no estén transmitiendo. Ofrecen menor latencia en la comunicación entre el gateway y el dispositivo final a costa de mayor uso de energía(Carrion Sarmiento 2018)

Factor de Dispersión – Spreading Factor

Uno de los parámetros más importantes para la implementación de la red física es el factor de Dispersión (SF) es decir, la relación entre el ancho de banda de la señal y la velocidad de símbolos. Manteniendo el ancho de banda constante, es posible mejorar la sensibilidad del receptor aumentando el tiempo en aire (duración de la transmisión de un paquete). Más precisamente, cada incremento del SF en una unidad, en LoRa desde el valor mínimo 7 hasta el valor máximo 12, corresponde a una duplicación del tiempo en aire y una disminución de la sensibilidad del receptor de aproximadamente 3 dB.(Moya Quimbita 2018).

Seguridad LoRaWan

LoRaWan posee un cifrado AES (Advanced Encryption Standard) de 128 bits, presenta un cifrado y descifrado en cada trama. La seguridad LoRaWan posee 2 capas de seguridad son: *network sesión key* y *application sesión key.* La capa *network sesión key* se ocupa de la cnexion del dispositivo final o nodo y la *network sesión key* permite el acceso de los datos(Coello and Silva 2020).

3.1.9 Inteligencia Artificial.

En la actualidad los desarrollos de la inteligencia artificial en los procesos agrícolas han representado un gran avance en el sector ya que mediante su uso se enfoca en mejorar la productividad del sector buscando impactar en cada vez menos en la naturaleza.

Dentro del estudio de la Inteligencia Artificial resalta el tema de redes neuronales, ya que el objetivo principal de un Sistema Neuronal Artificial es la construcción de sistemas capaces de presentar un comportamiento inteligente, es decir, la capacidad de aprender a realizar una determinada tarea.(Vinet and Zhedanov 2018)

Dado lo anterior la red neuronal obtiene experiencia analizando de manera automática y sistemáticamente datos con el fin de determinar reglas de comportamiento y con base a esto se puede realizar ciertas predicciones sobre nuevos casos.(Escobar Iza et al. 2021).

Las neuronas artificiales se organizan en estructuras denominadas capas. De este modo, la información se encuentra distribuida a lo largo de las sinapsis de la red, dándole a este sistema cierta tolerancia a fallos. Las redes neuronales artificiales son capaces de adaptar su funcionamiento a distintos entornos modificando sus conexiones entre neuronas.(Gutiérrez. Espíritu and Armas Valencia 2018).

Dada la explicación anterior se debe tener en cuenta que existen diferentes tipos de neuronas, clasificadas por sus capas, esta clasificación es:

- Neuronas de Entrada: Se encargan de recibir la información para el aprendizaje y optimización.

- Neuronas Ocultas: Se encargan de recibir la información de las neuronas de entrada y asignarles valores (pesos y valores) para calcular cíclicamente la aproximación del comportamiento.
- Neuronas de Salida: Son las que se ocupan de adecuar la salida de los resultados

Explicado lo anterior se puede decir que el funcionamiento de una red neuronal sigue el patrón mostrado en la Figura 12 Descripción de una red neuronal

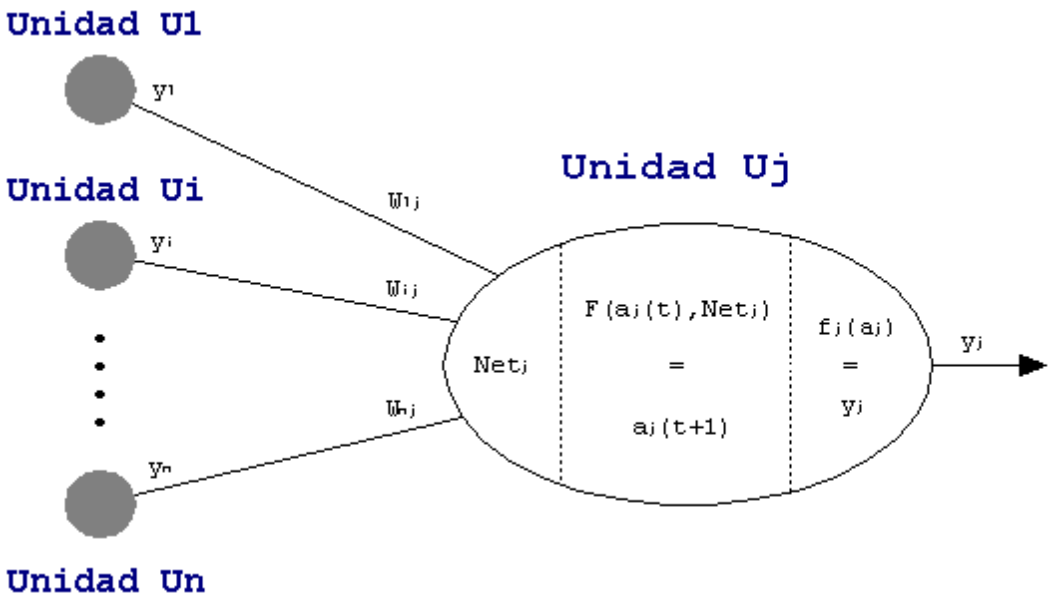


Figura 12 Descripción de una red neuronal (Molina 2019)

Dado el modelo mostrado en la Figura 12 Descripción de una red neuronal (Molina 2019), la neurona se puede simplificar de manera matemática, la neurona está caracterizada con el valor a_i, que funciona como su estado de activación, a su vez se asocia con una función de salida o de transferencia $f_i$que transforma su activación en un estado de salida y_i, que por ultimo interactúa con el valor del peso o sinapsis de la conexión $w_i$asociado a la regla seleccionada para el cálculo, realizando el ciclo hasta la j-esima señal, generando la entrada neta.

Ecuación 1 Entrada neta de una red Neuronal

$$Net_j = \sum_i y_i w_{ij}$$

Es importante resaltar el concepto general de aprendizaje. Se puede considerar que el conocimiento en una red neuronal artificial se encuentra representado en los pesos de las conexiones entre neuronas. Todo proceso de aprendizaje implica cierto número de cambios en estas conexiones. En realidad, puede decirse que se aprende modificando los valores de los pesos de la red. (Molina 2019).

3.2 MARCO CONCEPTUAL

3.2.2 Agricultura De Precisión

Es el uso de la tecnología de la información para adecuar el manejo de suelos y cultivos a la variabilidad presente dentro de un lote. Utilizando el sistema de posicionamiento global (GPS) y el sistema de información geográfica (SIG).

“la agricultura de precisión es uno de los cambios tecnológicos más importantes que ha vivido la agricultura en los últimos años” (Tolieng et al. 2014).

3.2.3 Sistema De Riego

Es el conjunto de estructuras, que permiten que un área determinada, pueda ser cultivada permitiendo optimizar el uso y manejo del agua en cultivos agrícolas(Jagüey et al. 2012).

3.2.4 Hardware Libre

Son dispositivo físico, en donde sus especificaciones y diagramas esquemáticos son de acceso público, a precios cómodos y la información necesaria para el uso del hardware y el software que se utiliza se encuentra en internet (Bustos 2015).

3.2.5 Software

Es un programa informático, que involucra algoritmos requeridos para el procesamiento de información, control, comunicación, acceso y el entorno grafico para interactuar de una forma cómoda y sencilla con el sistema (Capraro, Tosetti, and Vita Serman 2010).

3.2.6 Dispositivo Móvil

Son aparatos de tamaño pequeño, los cuales tienen una capacidad de funcionamiento para varias tareas que puede realizar, contienen una cierta capacidad de procesamiento y de memoria, cuyo propósito es de comunicar principalmente, pero se puede utilizar para algún otro propósito.

Su rasgo característico es de ser un dispositivo portable e inalámbrico ya que no requiere tipo de cableado para llevar una conexión a la red telefónica y/o internet. Los dispositivos móviles son cada vez más utilizando por la sociedad y permite que sus usuarios tenga un mayor control de la información que les resulta vital, ya que estos dispositivos (junto con las redes) posibilitan la conexión a veces de datos, y de esta manera la sociedad se beneficia (Basterretche 2007)

3.2.7 Aplicación Móvil

Es un programa que se puede descargar en la cual se accede directamente desde un teléfono o desde algún aparato móvil. Se crear aplicaciones móviles al gusto del consumidor, que integren estas funcionalidades y permitan llevar a cabo tareas (Bustos 2015).

3.2.8 Sistema Operativo

Es una colección de elementos y procedimientos que interactúan para cumplir una meta. Estos sistemas operativos se crean y modifican en repuesta a las necesidades del usuario, existe tres tipos estos son Android, Windows phone y Mac Os

3.2.9 Protocolo

Es el conjunto de reglas, que han sido previamente establecidas por diferentes organizaciones. Para así permitir la transmisión de la información entre 2 puntos a través de la red.

Teniendo como elementos básicos: un conjunto de símbolos llamados conjunto de caracteres, un conjunto de reglas para la secuencia, y un conjunto de procedimientos para determinar cuándo ha ocurrido un error en la transmisión y como corregir el error. (Cedillo Méndez, Rafael Esteban, and Ramírez Salas Linares 2012)

3.2.10 Estándar

Sirve como tipo, modelo, norma, patrón o referencia, que puede ser ofrecido por alguna organización o instituto. Este permite que los productos de diferentes suministradores se comuniquen entre sí, dando así mayor flexibilidad en la elección y uso de los equipamientos (García and Raya 2006).

3.2.11 Zigbee

El protocolo ZigBee es un estándar de las comunicaciones inalámbricas, el cual contiene un conjunto estandarizado de soluciones que pueden ser implementadas por cualquier fabricante. Se basa del estándar IEEE 802.15.4 de las redes inalámbricas WPAN (Wireless Personal Área Network), que tiene como objetivo se implementadas en donde se requiere una comunicación segura, confiable, de bajo consumo y costo (Durán and Iturriago 2011)

3.2.1 Smartphone

También conocidos como teléfonos inteligentes, es un teléfono móvil construido sobre alguna plataforma móvil, el cual contiene una mayor capacidad de almacenamiento de datos y realizar actividades, semejante a la de una minicomputadora, y con una mayor conectividad que un teléfono móvil convencional. (García 2015).

3.3. MARCO METODOLOGICO

En el desarrollo del presente trabajo, se emplea un análisis deductivo por que se utilizaran conceptos generales del funcionamiento del riego por goteo, hardware libre, servidores y aplicaciones móviles que controlen hardware, para llevarlos al caso particular del sistema de riego del cultivo de la vereda de Piedra Larga de municipio de Ciénega – Boyacá.

También se emplea un método descriptivo puesto que se transcribirá los resultados obtenidos de la humedad de la tierra y el agua necesaria para el cultivo, dando así una serie de datos que describa la situación de la humedad necesaria para el mejoramiento del cultivo. Se utilizará el método explicativo ya que se tendrá en cuenta los datos obtenidos, para realizar un buen funcionamiento del riego con hardware libre y que se puede controlar por medio de un dispositivo móvil, dando cumplimiento con los objetivos trazados en el presente proyecto.

Para el diseño del proyecto es necesario dividir en diferentes fases las cuales permiten segmentar de manera ordenada la recolección y análisis de datos para así organizar los pasos en la implementación de la aplicación con la cual realizar el control del sistema de riego. Los pasos a Seguir son:

1. Recolección de Información y estado de arte, sobre los temas de implementación de red de Sensores bajo protocolo LoRaWan, y demás tecnologías
2. Análisis Espacial de la ubicación donde se desarrolló el presente proyecto, características del terreno, descripción de los cultivos en el sector, factores climáticos y meteorológicos relacionados con el estado del suelo en la parcela.
3. Descripción de componentes utilizados y diseño de la red de sensores con la tecnología Inalámbrica, Diseño de requisitos para aplicación móvil en Servidor central.
4. Validación de la propuesta de diseño mediante el uso de Software de Simulación y diseño de Mockup de la aplicación utilizada.
5. Implementación de Prototipo diseñado, recolección de datos de evaluación de funcionamiento del sistema.
6. Recolección datos del monitoreo implementado en el proyecto y análisis matemático y predictivo por medio de IA.

En la Figura 13 Pasos metodológicos del proyecto y relación con los objetivos , se relaciona los pasos de la metodología con los objetivos específicos planteaos en este proyecto.

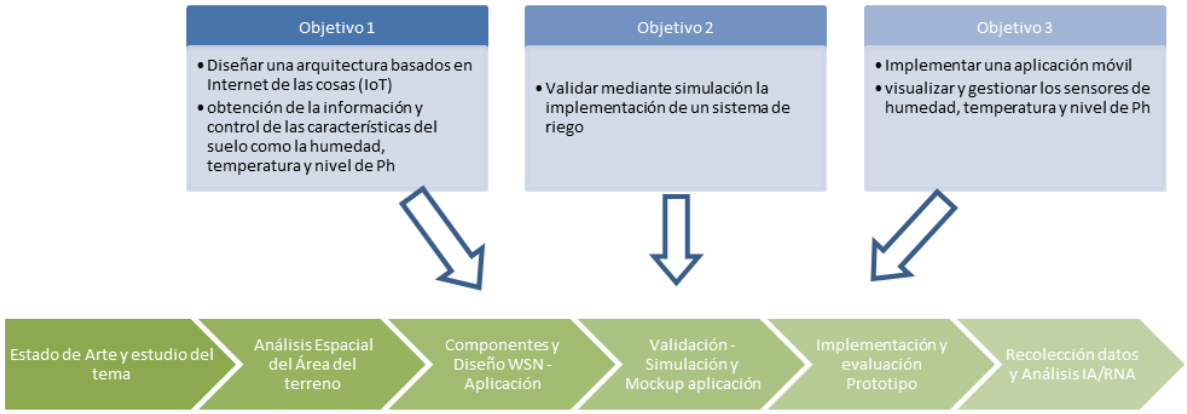


Figura 13 Pasos metodológicos del proyecto y relación con los objetivos específicos (Fuente Propia)

4. DISEÑO DEL SISTEMA DE MONITOREO

Según lo planteado en el marco metodológico de este proyecto descrito anteriormente después de la recolección hecha y sustentada en el estado de Arte, procedemos a realizar el análisis Espacial del sector donde se desarrolló este proyecto.

4.1 ANÁLISIS ESPACIAL DEL ÁREA DEL TERRENO

La implementación del proyecto se realiza en el municipio de Ciénega, departamento de Colombia, las actividades económicas de las personas están basadas principalmente en ganadería y agricultura a bajo y medio nivel; en el caso ítem es necesario precisar que depende en gran mayoría del estado climático de la región, la temperatura del sector varía entre 7°C y 19°C adicionalmente se debe tener en cuenta que presenta 2 temporadas climáticas, la temporada de invierno que en promedio a finales del mes de mayo y termina a inicios del mes de diciembre, y la temporada de verano que comienza en diciembre y termina a finales de Abril, en la Figura 14 La temperatura máxima (línea roja) y la temperatura mínima (línea azul) promedio diario con las bandas de los percentiles 25º a 75º, y 10º a 90º. Las líneas delgadas punteadas son las temperaturas promedio percibidas correspondientes, se ilustra lo anteriormente descrito basados en la recolección de los datos del departamento realizado por el servicio weatherspark.

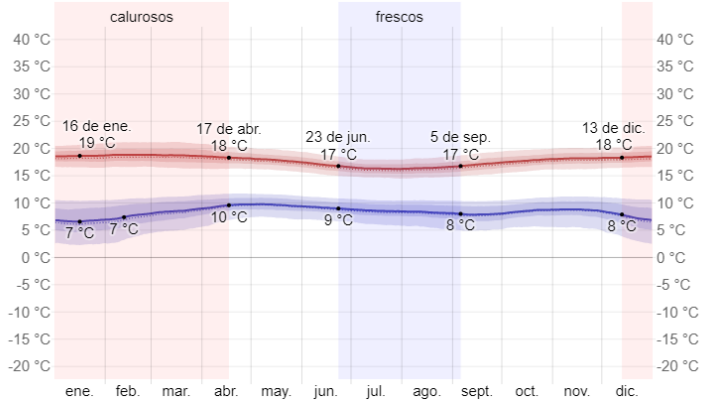


Figura 14 La temperatura máxima (línea roja) y la temperatura mínima (línea azul) promedio diario con las bandas de los percentiles 25º a 75º, y 10º a 90º. Las líneas delgadas punteadas son las temperaturas promedio percibidas correspondientes (Fuente: weatherspark)

Basándonos en lo escrito anteriormente sobre las estaciones climáticas, en la Figura 15 La lluvia promedio (línea sólida) acumulada en un periodo de 31 días en una escala móvil, centrado en el día en cuestión, con las bandas de percentiles del 25º al 75º y del 10º al 90º. La línea delgada punteada es la precipitación de nieve promedio correspondiente. se muestra la pluviosidad en el sector, dato necesario ya que usen encuentra relacionado con la humedad del suelo, valor clave para el sensor.

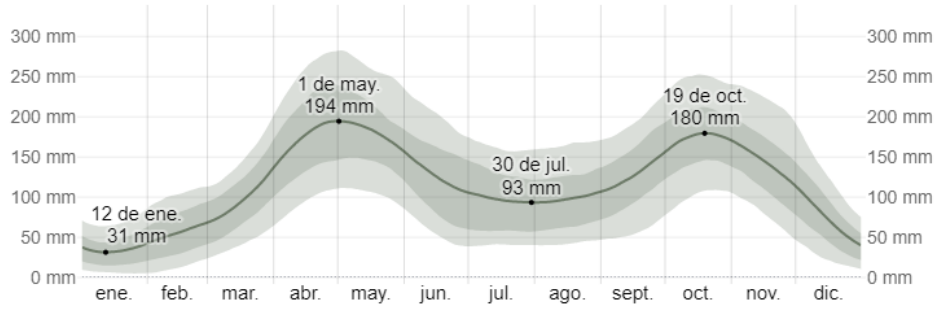


Figura 15 La lluvia promedio (línea sólida) acumulada en un periodo de 31 días en una escala móvil, centrado en el día en cuestión, con las bandas de percentiles del 25º al 75º y del 10º al 90º. La línea delgada punteada es la precipitación de nieve promedio correspondiente. (Fuente: weatherspark)

Por ultimo para determinar los valores de las variables del ph del suelo, nos basamos en un estudio de diagnóstico de suelos y aguas, dado los análisis de propiedades Fisicoquímico del terreno los datos mostrados en la Tabla 6 Propiedades Fisicoquímicos del terreno ,donde se muestra que el terreno está compuesto por Shale gris oscuro, caliza y arenisca y que el índice de ph del terreno presenta poca variación (5.1 a 5.7), demostrando que es un terreno acido.

Tabla 6 Propiedades Fisicoquímicos del terreno (Fuente Propia)

CONJUNTO Y TAXONOMIA	HORIZONTE	PROFUNDIDAD(CM)	GRANULOMETRIA (%)			TEXTURA	pH
			A	L	Ar		
PIEDRA LARGA	Ap	0-35	56	12	32	FArA	5.4
Argiustollic	Bs	35-54	40	12	48	Ar	5.2
Haplastalf	Bt	54-90	18	16	66	Ar	5.3
	C	90-140+	30	20	50	Ar	5.7

Los valores de Ph del suelo también dependen de la saturación de componentes químicos propios o aportados por los abonos al principio del cultivo, al deshierbe del cultivo o la rotación de cultivo muy usada por los cultivadores del sector. Estas condiciones afectan el terreno , como se muestra en la Figura 16 Influencia del pH sobre la disponibilidad de nutrientes, determinando el estado para el tipo de cultivo.

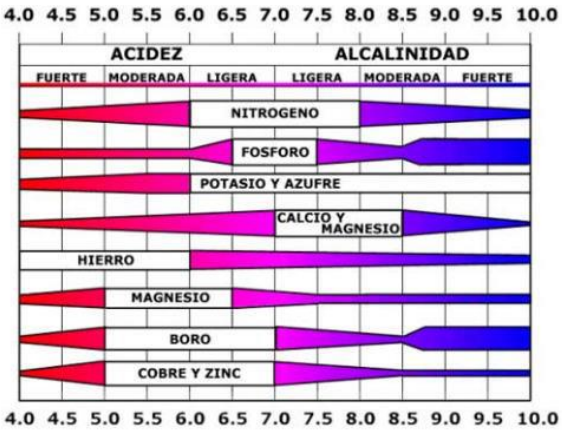


Figura 16 Influencia del pH sobre la disponibilidad de nutrientes(Baldoncini 2015)

Para la implementación de la red de sensores, se definió en primera medida la ubicación de los sensores y las electroválvulas las cuales para realizar una cobertura adecuada del terreno donde se encuentra el cultivo, para ello mediante el uso de Google Earth ® como se muestra a en la Figura 17 Finca donde se implementara la red de sensores para el cultivo Fuente Propia.se evidencia el área del cultivo el cual se encuentra ubicado en las coordenadas 5.4133632670636285, -73.31818539817661 correspondiente a un predio rural en la vereda Piedra Larga del municipio de Ciénega, Boyacá

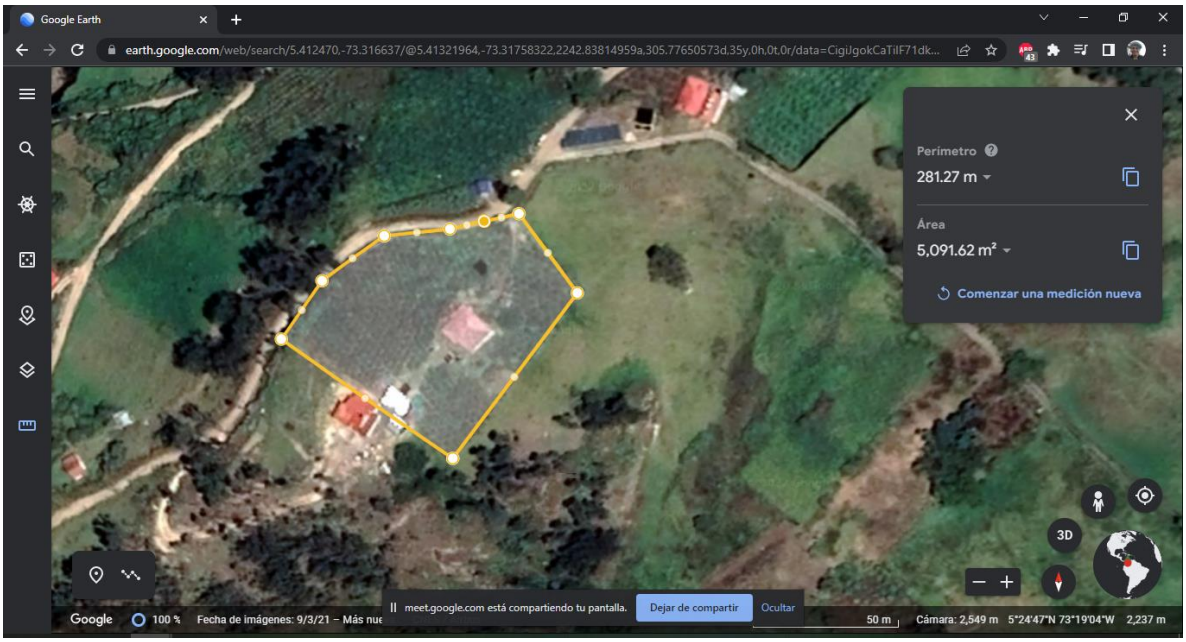


Figura 17 Finca donde se implementara la red de sensores para el cultivo Fuente Propia.



Figura 18 Perfil de elevación(altimetría) del terreno del proyecto, desde la vía anexa Fuente Propia.

Adicionalmente el terreno tiene una forma escarpada ya que como se muestra en la anexa presenta una elevación de 40 mts desde su punto más bajo a su punto más alto.

4.2 Descripción De Componentes Utilizados Y Diseño De La Red De Sensores

Dado lo anteriormente expuesto se determina la recolección de datos recolectados en el huerto datan 30 **días** distribuidos entre el mes **Marzo y abril**, esto debido a la disponibilidad por uso de agua del sistema de riego de la vereda, para la determinación del estado adecuado del suelo donde se encuentra el cultivo corresponden a las variables de:

- Humedad del suelo y Temperatura relativa del suelo
  Para la selección de sensores se tuvieron en cuenta 3 opciones, el sensor LM 393 SHT 10 y HR 202, los cuales se describen a
  continuación:
  1. El Sensor de humedad LM 393 consiste básicamente en amplificador operacional en etapa de comparación, en su hoja de especificaciones indica:
     - Salida con 2 Estados Binarios
     - Sensibilidad Ajustable

     Ocasionando que la respuesta a la lectura de la humedad en el suelo no sea tan exacta y su rango de operación.

  2. El Sensor de Humedad HR202 es un sensor resistivo basado en macromoléculas de materiales orgánicos, tiene bajo consumo de energía entre otros como se muestra a continuación.

     Technical Specification:
     Operating range: humidity(20-95%RH) temperature(0-60Celsius)
     Power supply: 1.5V AC(Max sine)
     Operating frequency: 500Hz-2kHz
     Rated power: 0.2mW(Max sine)
     Central value: 31kΩ(at 25Celsius, 1kHz ,1V AC, 60%RH)

Impedance range: 19.8-50.2kΩ (at 25Celsius, 1kHz ,1V AC, 60%RH)
Accuracy: +-5%RH
Hysteresis: +-1%RH
Long-term stability: +-1%RH/year
Response time: <10s
Dimensions: with case 12*15*5mm, without case 8*10*0.7mm

3. El sensor SH10 es un sensor capacitivo, resistente a ambientes semi-industriales y presenta las siguientes características
   Características:

   Consumo eléctrico: 0,15mW (Promedio).
   Tipo de interface: interfaz two wire (Digital).
   Rango de medición 0-100% RH.
   Rango de temperatura -10°C – 80°C.
   Precisión de humedad: ±5.0%RH.
   Precisión de Temperatura: ±0.5°C.
   Tamaño: 49mm x 14mm.

Dado lo anterior se opta con seleccionar el sensor SH10 para la implementación del proyecto.

- PH del suelo.

  Actualmente en el mercado hay pocas opciones para la selección de sensores de Ph en el suelo que sean asequibles para el desarrollo de proyectos académicos por lo que para este proyecto se seleccionó el sensor E201-BNC, mostrado en la Figura 19 Sensor EC201, ya que permite la captura y manipulación de los datos por medio del uso de las plataformas Arduino.



Figura 19 Sensor EC201 Fuente DataSheet

El Sensor presenta las características mostradas en la Figura 20 Características del Sensor EC201,estos datos son adecuados a los estándares del ambiente para la implementación del proyecto.

General Specifications:

Input supply voltage: 5V
Working current: 5 – 10mA
Detection concentration range: PH 0 – 14
Detection range of temperature: 0 – 80 degC
Response Time:: ≤ 5S
Stability Time: ≤ 60S
Output: Analog
Power Consumption: ≤ 0.5W
Working Temperature: -10 to +50 deg C
Working Humidity: 95%RH (nominal humidity 65%RH)
Weight: 25g
PCB Dimension: 42mm x 32mm x 20mm

Figura 20 Características del Sensor EC201 Fuente DataSheet

- Activación del sistema de sensores del sistema de riego.

Debido a las características descritas anteriormente se decidió la implementación de una red Lora basada en arquitectura Arduino, con el Modulo Lora Sx1278 3000m presenta una

relación adecuada entre calidad/costo, permitiendo una potencia adecuada con un consumo de energía bajo utilizando como servidor central un sistema embebido Raspberry Pi 3, el cual se encuentra en la vivienda donde tiene la alimentación eléctrica residencial apropiada.

Se seleccionó para la implementación de los nodos de la red el sistema Arduino 2560 Rev3 ya que permite varias entradas para sistemas Seriales, los cuales son utilizados por los sensores de humedad, temperatura, PH del suelo y el sistema, en la Tabla 7 Características Arduino ATmega 2560se enlista las características de Arduino comentado anteriormente.

Tabla 7 Características Arduino ATmega 2560 (Fuente store.arduino.cc)

MICROCONTROLADOR	**ATmega2560**
TENSIÓN DE FUNCIONAMIENTO	5V
VOLTAJE DE ENTRADA (RECOMENDADO)	7-12V
VOLTAJE DE ENTRADA (LÍMITE)	6-20V
PINES DE E/S DIGITALES	54 (de los cuales 15 proporcionan salida PWM)
PINES DE ENTRADA ANALÓGICA	dieciséis
CORRIENTE CC POR PIN DE E/S	20mA
CORRIENTE CC PARA CLAVIJA DE 3,3 V	50mA
MEMORIA FLASH	256 KB de los cuales 8 KB utilizados por el gestor de arranque
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
VELOCIDAD DE RELOJ	16 MHz
LED_CONSTRUIDO	13
LONGITUD	101,52 mm
ANCHO	53,3 mm
PESO	37 gramos

Para la implementación de los nodos se realizó el montaje del módulo ESP32 que sirve como modem para envió y recepción de los datos que a su vez esta implementado con una antena Lora Sx1278 3000m. en la Tabla y Tabla se enlistas las características del dispositivo Lora Sx1278 3000m y Esp 32 Respectivamente con el fin de determinar el gasto energético en cada nodo.

Tabla 8 Características de Funcionamiento de Lora Sx1278 (Fuente Datasheet Lora Sx1278)

Chipset		Semtech SX1278
Supply Power Voltage		3.3 V ~ 5.2 V, recommended to 5.0 V
UART Communication Level		2.5 V ~ 3.6 V, typical: 3.3 V
Frequency		410 MHz ~ 525 MHz, typical: 433 MHz
Transmit Power		+10.0 dBm ~ +20.0 dBm
Receiving Sensitivity		-148 dBm
Number of Channels		116
Default Channel		23 (433 MHz)
Module Address Number		65538 (default as 0)
Crystal		32 MHz
Package		SMT Packaging
Dimension		26.0 mm x 16.0 mm x (2.5 ± 0.1) mm
Antenna		Half-hole interface / IPEX connector
Operating Humidity		10% RH ~ 90% RH (no condensation)
Storage Humidity		10% RH ~ 90% RH (no condensation)
Operating Temperature		-40 ℃ ~ +85 ℃
Storage Temperature		-45 ℃ ~ +90 ℃
Data Interface Rate @ 3.3 V (TTL)		1200 bps ~ 115200 bps, typical: 9600 bps
Air Rate		0.3 kbps ~ 19.2 kbps (typical: 2.4 kbps)
Single Package Size		196 byte
Cache Size		512 byte
Transmission Distance		3000 m (Test conditions: sunny weather, empty, +20 dBm, antenna gain of 5 dBi, height of above 2.5 m, air speed of 2.4 kbps)
Operating Current @ 5 V	Tx Current	101 mA
	Rx Current	15 mA
	Sleep Current	3.4 μA

Tabla 9 Cifras de Consumo de energía del ESP32 en funcionamiento activo(Fuente Datasheet Lora Sx1278)

Mode	Min	Typ	Max	Unit
Transmit 802.11b, DSSS 1 Mbps, POUT = +19.5 dBm	-	240	-	mA
Transmit 802.11g, OFDM 54 Mbps, POUT = +16 dBm	-	190	-	mA
Transmit 802.11n, OFDM MCS7, POUT = +14 dBm	-	180	-	mA
Receive 802.11b/g/n	-	95 ~ 100	-	mA
Transmit BT/BLE, POUT = 0 dBm	-	130	-	mA
Receive BT/BLE	-	95 ~ 100	-	mA

Dado lo mostrado en las tablas Tabla 7 Características Arduino ATmega 2560, Tabla 8 Características de Funcionamiento de Lora Sx1278y Tabla 9 Cifras de Consumo de energía del ESP32 en funcionamiento activo podemos determinar aproximadamente el consumo promedio de cada nodo en la red Lora así.

Ecuación 2 Calculo de Consumo total del Nodo sobre la placa Arduino

$$C_{totalTx} = 7 * (Cpin_ard) + C_{LoraTx} + C_{esp32Tx} = 7 * (20mA) + 101mA + 100mA$$
$$= 341mA$$

$C_{esp32Tx}$=corresponde al consumo total aproximado de la transmisión de datos, ya que es la etapa de comunicación que más requiere consumo energético

$Cpin_ard$: corresponde al consumo dado por la conexión de los pines en el arduino mega, ya que para la transmisión requiere el uso de 5 pines y los sensores requieren 2 pines adicionales, el factor a multiplicar es 7.

C_{LoraTx}: Consumo del módulo Lora en Tx.

$C_{esp32Tx}$=corresponde al consumo del módulo Esp32 en transmisión con protocolo 802.11n.

Dado lo anterior es recomendable la utilización de una batería de litio recargable de 5v con capacidad de 3000mAh para que la duración del sistema de manera independiente por 8 horas.

En caso de los sensores se seleccionó para las mediciones: el Sensor de temperatura y humedad del suelo, FS200-SHT10, la particularidad de este sensor es que está configurado en i2C permitiendo la fácil comunicación de los datos adicionalmente posee una sonda con una cubierta protectora niquelada de cobre se puede insertar en un agujero con un diámetro de 0.472 in como se muestra en la Figura 21 Sensor FS200-SH10.



Figura 21 Sensor FS200-SH10 Fuente DataSheet

Adicionalmente permite el cálculo de la temperatura y humedad relativa utilizando los datos recolectados de la señal, ya que en la hoja de especificaciones (datasheet) describe una función para cada variable.

Ecuación 3 Calculo de la humedad relativa de acuerdo con la señal capturada Fuente Datasheet

$$RH = -6 + 125 \cdot \frac{S_{RH}}{2^{16}}$$

Para el cálculo de temperatura del terreno se aplica

Ecuación 4 Calculo de la temperatura relativa de acuerdo a la señal Fuente Datasheet

$$T = -46.85 + 175.72 \cdot \frac{S_T}{2^{16}}$$

Dado lo anterior el grafico de consumo de energía del sensor FS200-SHT10 se limitan a las expresadas en la hoja de datos de SHT10.

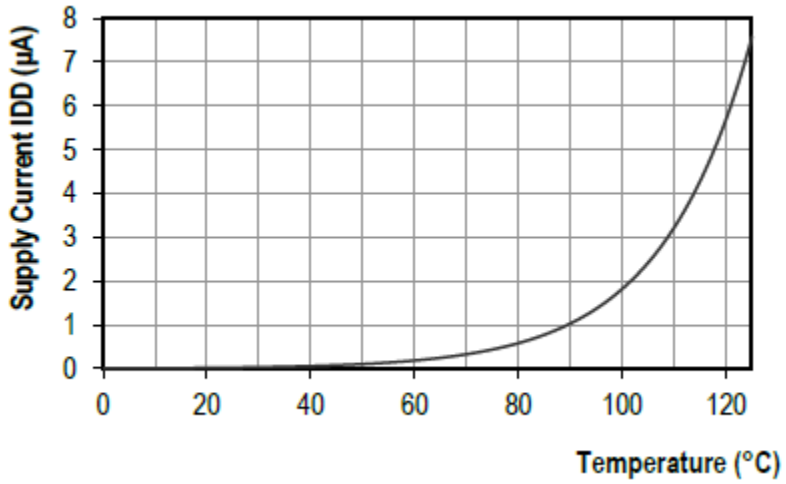


Figura 22 grafica de consumo de energía vs cantidad de temperatura medida Fuente Datesheet

Para la medición del Ph del suelo se utiliza el sensor E201-BNC con su módulo de adaptación para arduino, las especificaciones técnicas de este dispositivo se muestran en la Tabla 10 Especificaciones técnicas sensores de PH del suelo.

Tabla 10 Especificaciones técnicas sensores de PH del suelo (Fuente datasheet)

Electrode model	Measuring range	Measuring temperature	Zero point	Error	PTS	Response time	Internal Resistance	Repeatability	Noise
	PH	°C	PH	mV	-	min	MΩ	-	mV
65-1	0-14	0-80	7 ± 1	< 15	> 98	< 2	< 250	< 0.017	-
Bx-5	0-14	0-80	7x ± 1.1	< 15	> 98	< 2	< 250	< 0.017	-
E-201	0-14	0-80	7 ± 0.5	< 15	> 98	< 2	< 250	< 0.017	< 0.5
E-201-C	0-14	0-80	7x ± 0.5	< 15	> 98	< 2	< 250	< 0.017	< 0.5
95-1	0-14	0-80	7x ± 0.5	< 15	> 98	< 2	< 250	< 0.017	< 0.5
E-900	0-14	0-80	7x ± 0.5	< 15	> 98	< 2	< 250	< 0.017	< 0.5

Dada las especificaciones técnicas de los sensores se puede decir que se la aproximación de consumo dada anteriormente se cumple aproximadamente.

4.3 RECOLECCION DE REQUISITOS Y PLANTEAMIENTO DE METODOLOGIA SCRUM.

Requisitos

Estudio del entorno del trabajo de usuario, se realizó el levantamiento de la información del proyecto mediante observación del cultivo presente, el sistema de riego instalado en conjunto con la implementación de la red de sensores y servidor asociado al proyecto, donde se encuentra los datos de humedad, temperatura y PH recolectados; adicionalmente se entrevista al usuario acerca de los conocimientos TI y los dispositivos tecnológicos a los que tiene acceso.

Pasiva:

Se tomó notas de la cantidad de agua que da el sistema de riego actual al cultivo y, del clima que hay en Ciénega Boyacá. Tomando en cuenta la lectura de los datos dados por la red de sensores implementado en el proyecto

Activa:

Los problemas que manifiesta el usuario con el sistema de riego actualmente implementado y el resultado que desea tener en el futuro

Lista de requisitos

- Control de acceso para seguridad en el sistema, para que sea controlado por el dueño del terreno
- Un mapa en donde se ve el cultivo y la posición de los sensores
- La cantidad de sensores que hay en el terreno
- El detalle de la información suministrada por los sensores
- Tener una recomendación del sistema según el análisis realizado en la tierra U
- Ver de manera clara los resultados del análisis de los sensores durante 15 días
- Cerrar sesión para mantener la seguridad en la aplicación

Se utilizó la mitología SCRUM para así trabajar de la mano con el cliente y conocer las necesidades de usuario para el desarrollo de la aplicación en conjunto con el proyecto

implementado de monitoreo del sistema de riego en el terreno y realizar entregas con avances en donde él pueda controlar y ver el progreso de la aplicación

Historias de Usuario

- Como usuario quiero ingresar a la aplicación con mi identificación y contraseña para acceder al sistema
- Como usuario quiero ver un mapa que me describa la posición de los para poder determinar los sectores monitoreados
- Como usuario quiero conocer la cantidad de sensores que están activos para ver qué información traen
- Como usuario quiero ver los resultaos suministrados por cada sensor para poder ver la información que están obteniendo
- Como usuario quiero recibir una recomendación del sistema para dar mi decisión si cerrar o abrir la válvula
- Como usuario quiero tener la información suministrada por los sensores de una manera clara para así ver el análisis, y la viabilidad del suelo del cultivo que se tiene ahora o a futuro
- Como usuario quiero cerrar sesión para proteger el sistema de otras personas
- Como usuario quiero una aplicación en la que me permita no estar conectado a internet, pero en la puedo manejar y controlar el sistema

Este proyecto siempre estuvo a la mano del cliente visitando el terreno y recibiendo los feedback del cliente para mejorar la aplicación como lo necesitaba el usuario hasta por fin llenar a la versión beta.

Limitantes

- Google Maps no puede ser visto en las Tablet que no contenga la Play Store adicionalmente para ver los mapas de manera adecuada requiere una llave de acceso (api_key) que es paga
- Colocar un mapa open source no muestra el terreno de manera clara, debido a que es una zona rural
- En Google Maps y Google Earth el mapa del terreno se muestra en baja calidad

4.4 DISEÑO DE COMPONENTES DE PROYECTO

Diseño de la Red de Sensores WSN con Tecnología LoRaWan

Basados en la caracterización del terreno descrito anteriormente se definió el uso de la tecnología Lora ya que permite una estabilidad alta en la implementación de los nodos (sensores/actuadores) con un consumo relativamente bajo, por lo cual se decide realizar una red inalámbrica sobre la tecnología Lora de tal forma que la red quede distribuida como se muestra en la Figura 23 Disposición de la red implementada.

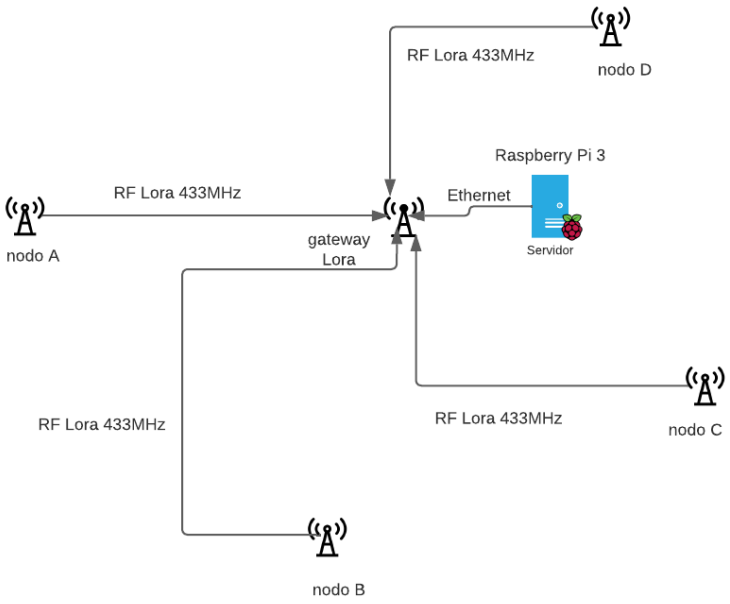


Figura 23 Disposición de la red implementada (Fuente Propia)

Mediante el uso de la herramienta de Google Earth , en Figura 24 Ubicación de los nodos y Servidor en el terreno.(Fuente Propia)se puede visualizar la ubicación en el terreno de los nodos implementados y el servidor en el hogar del propietario del terreno, donde se busca analizar como la diferente distribución respecto la altura transversal del terreno afecta los valores de humedad, temperatura y Ph del suelo para el cultivo de feijoa y a su vez mantener los valores estables para el uso de agua en el suelo y en la planta.



Figura 24 Ubicación de los nodos y Servidor en el terreno.(Fuente Propia)

Configuración del Nodo Sensor

Basados en Descripción De Componentes Utilizados Y Diseño De La Red De Sensores**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, los dispositivos utilizados son Arduino mega AT 2560, Modulo ESP 32 y la antena Lora Sx1278 3000m configurados como nodo de transmisión de datos mostrados en la Figura 25 Modelo de nodo con sus partes.

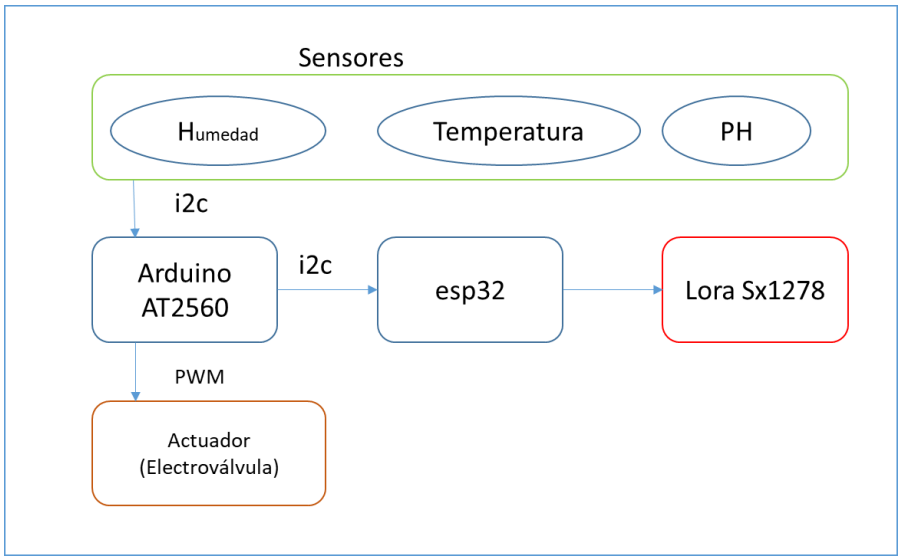


Figura 25 Modelo de nodo con sus partes (Fuente Propia)

Configuración del Nodo Gateway

Similar a los nodos sensores, el nodo Gateway es configurado con un Arduino Mega AT2560, un módulo ESP 32 y una antena Lora Sx1278, pero ya es necesario el uso de sensores ni actuadores ya que está conectada por medio serial vía Ethernet con el servidor Raspberry Pi 3 como se muestra en Figura 26 Modelo nodo Gateway.

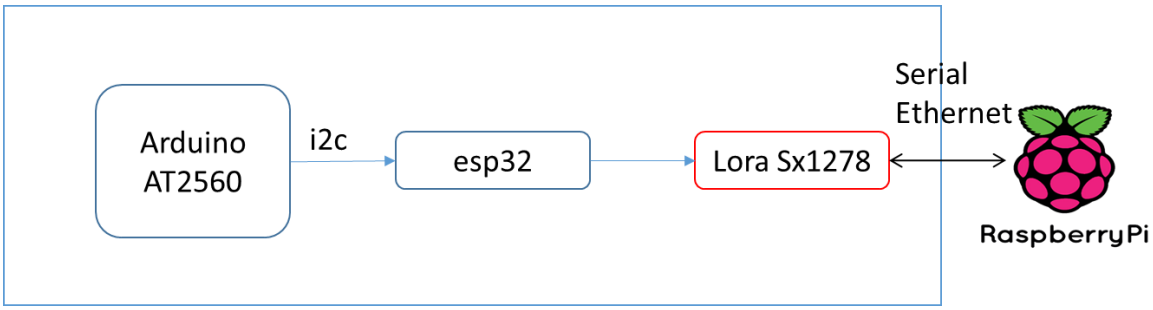


Figura 26 Modelo nodo Gateway(Fuente Propia)

Configuración de Servidor

El Servidor Lora WAN se encarga del almacenar los datos, configurar y administrar la red, este servidor se implementó sobre una Raspberry Pi 3 utilizando como parámetro de administración de red un servidor MQTT para la comunicación con el Gateway (por medio serial-Ethernet) y un servidor web para interfaz de usuario como se ve en Figura 27 Modelo de Servidor.

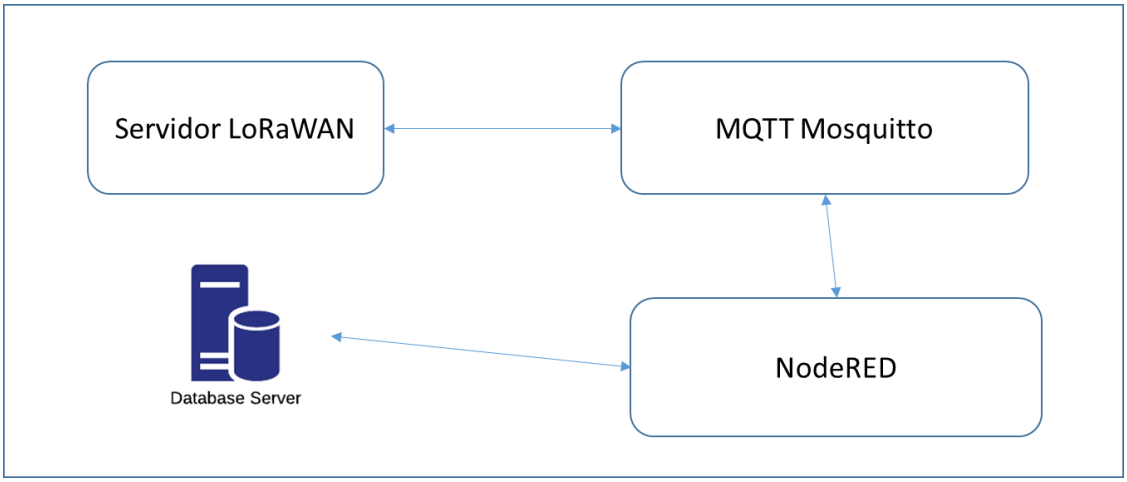


Figura 27 Modelo de Servidor (Fuente Propia)

Diseño de la Red Neuronal implementada

Para el análisis de datos recolectados por la red de Sensores se optó por la implementación de redes neuronal por cada nodo para la validación de los datos recolectados, estas redes neuronales tendrán 3 variables de entrada (humedad, temperatura, ph del suelo) suministradas por cada nodo y entran una variable de Salida que corresponde al estado de la electroválvula (abierta- semi cerrada-cerrada), el sistema descrito se muestra en la Figura 28 Modelo Red Neuronal Artificial.

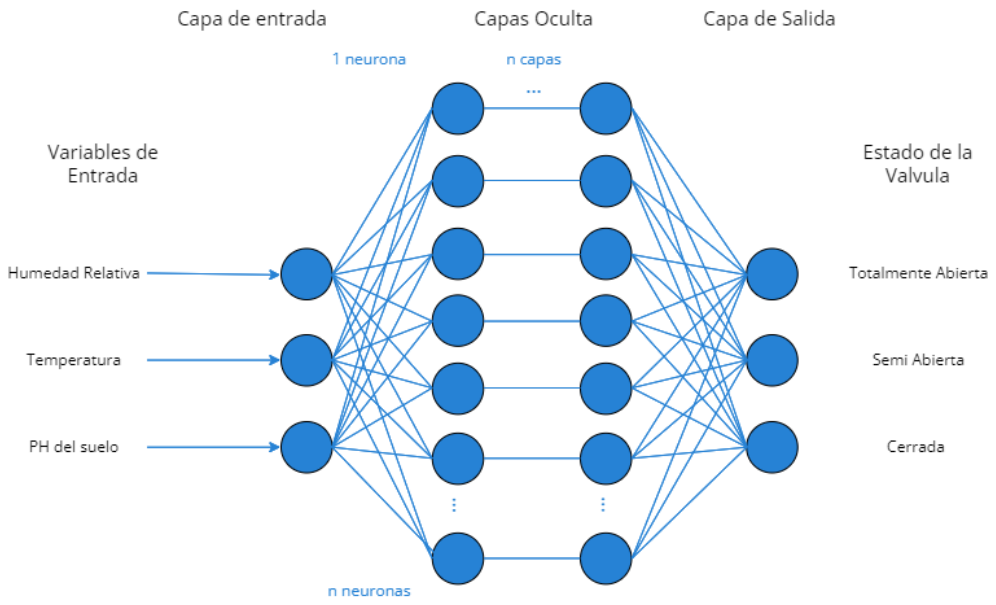


Figura 28 Modelo Red Neuronal Artificial Fuente Propia

Para el diseño de la red neuronal se decidió por el algoritmo de retro programación con método de aprendizaje Levenberg-Marquardt utilizado para resolver problemas de mínimos cuadrados no lineales, este método es una combinación de dos métodos el método de descenso de gradiente y el método de Gauss-Newton, que permite determinar el patrón del comportamiento de las capas ajustado la entrada y salida para determinar un patrón deseado.

Las funciones de Aprendizaje utilizadas para el entrenamiento de la red neuronal es la de gradiente descendiente con momento, debido a limitaciones estructurales del proyecto se planteó hacer un control de lazo abierto al sistema

La selección de Acción en el sistema se refiere a la apertura y cierre de la electroválvula, esta decisión está sometida a intervención del usuario final cumpliendo el estándar de control con lazo abierto, la razón de la selección de este estándar se debe a las siguientes razones:

- limitaciones asociadas al desempeño de la red Lora implementada en los sensores y actuadores
- Poder de decisión del usuario final mediante contrastación con respuesta de la predicción de la red neuronal.

Diseño del Aplicativo móvil realizado para la usabilidad del proyecto

Después de la adquisición de los datos dentro del servidor raspberry pi se procedió a diseñar una aplicación estilo Android permitiendo al usuario visualizar los valores capturados de los nodos y el resultado de la red neuronal como sugerencia de acción sobre la válvula del distrito de riego.

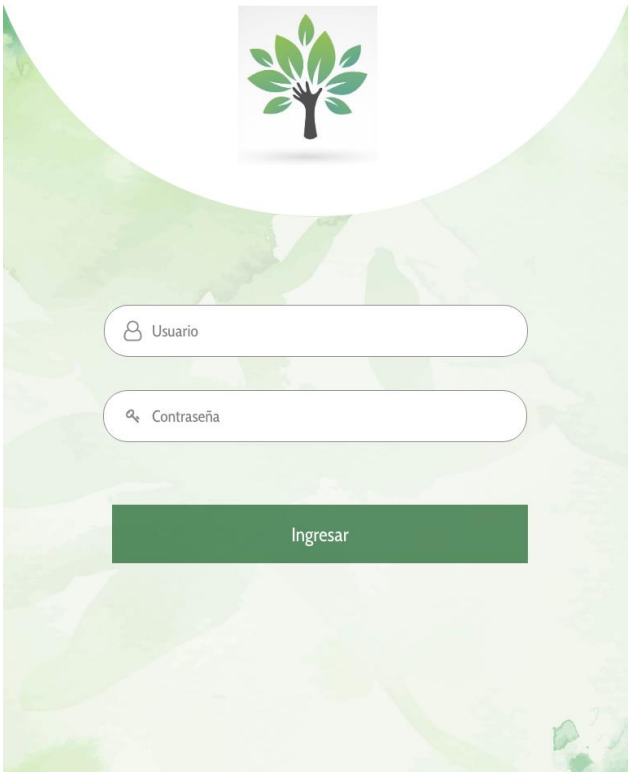


Figura 29 La pantalla de Inicio de la aplicación para que valide su registro

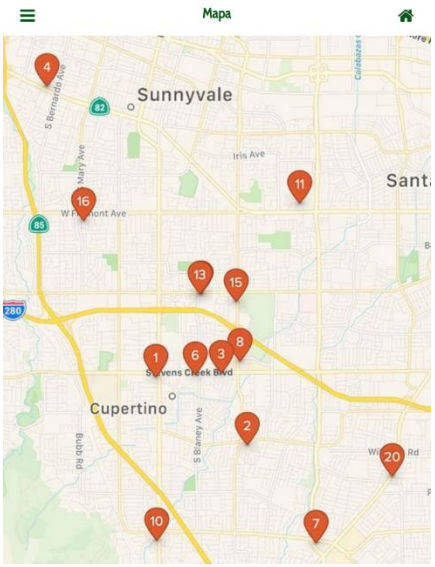


Figura 30 Pantalla de distribución de nodos en la finca Fuente Propia

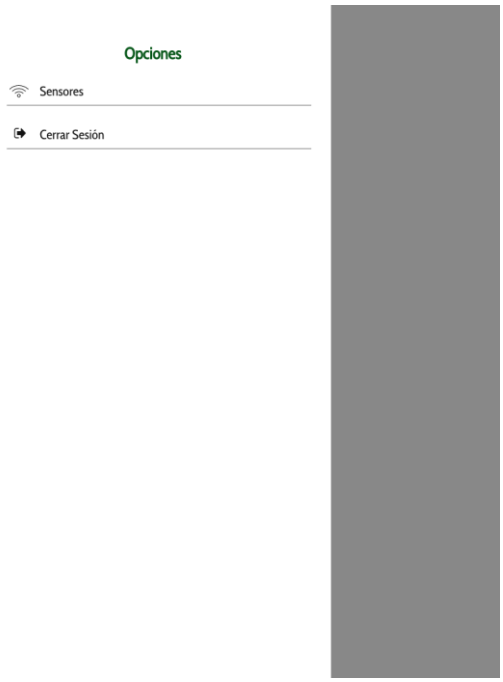


Figura 31 Menú Desplegable para selección de Sensores Fuente Propia

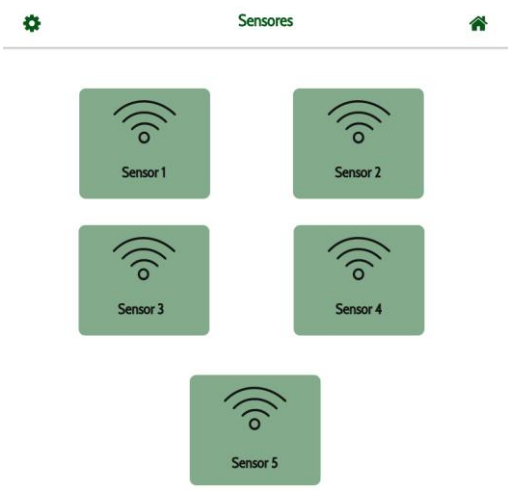


Figura 32 selección de nodo a revisar Fuente Propia

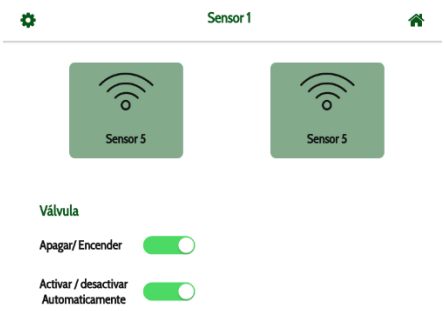
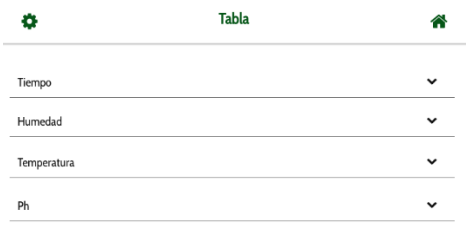


Figura 33 Pantalla de nodo seleccionado mostrando las variables a visualizar Fuente Propia



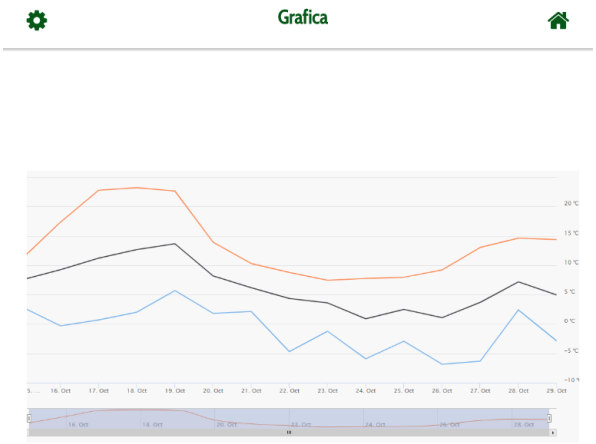


Figura 34 Pantalla mostrando los valores recolectados por los nodos Fuente Propia

Ilustración 1 Pantalla mostrando las gráficas de las variables del nodo

.

4.5 VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA DE DISEÑO MEDIANTE SIMULACION

En esta sección mostramos la implementación de la red de nodos bajo la tecnología lora wan con el programa de simulación de origen académico investigativo Omnet ++, este programa se encuentra desarrollado sobre plataforma de C++, en la investigación realizada sobre la tecnología lora se encontró que se ha desarrollado una librería llamado flora el cual hace uso de paquetes con datos de dispositivos wireless adaptados al ancho de banda de 994mhz utilizado por flora, estos paquetes son originarios del framework inet, framework básico de Onmet.

En la Figura 35 Configuración de Red sobre tecnología Lora en software Omnet++6 y disposición de nodos se muestra distribución de los dispositivos en una red lora con Gateway conectado a un servidor que a su vez implementa el servicio de la nube, en el modelo se ubicaron 4 nodos para emular el estado del diseño realizado en el proyecto.

El paquete flora permite de manera versátil ver la implementación de una red lora en una configuración de red malla configurada de manera predeterminada situación que no sucede en el pateamiento del proyecto, adicionalmente para la configuración del parámetro ADR en cada nodo flora requiere la implementación de un sistema de nube, como también para las mediciones de ganancia y de consumo de energía en los dispositivos de la red.

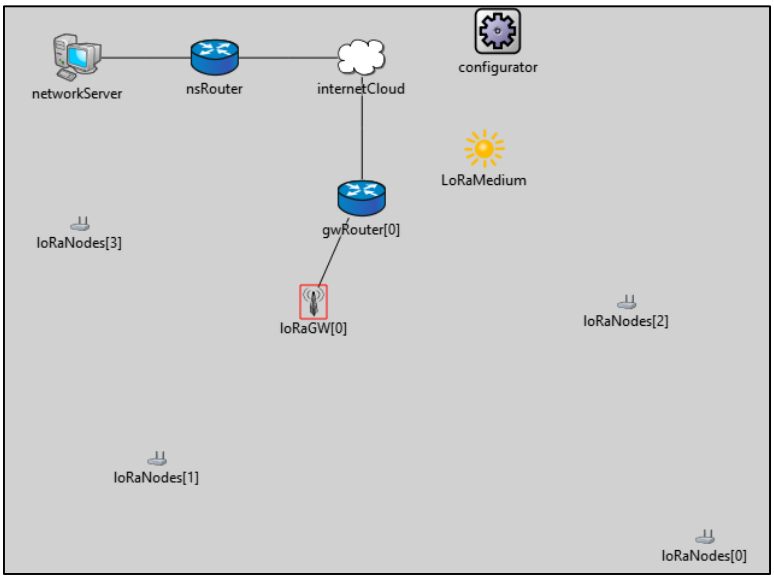


Figura 35 Configuración de Red sobre tecnología Lora en software Omnet++6 y disposición de nodos Fuente Propia

A pesar de ello el framework flora sirve como buen estimativo para la implementación y análisis de una red de LPWAN. En la Figura 36 Transmisión de paquetes de los nodos al Gateway vemos como los nodos realiza envió de paquete en forma malla buscando el Gateway de salida

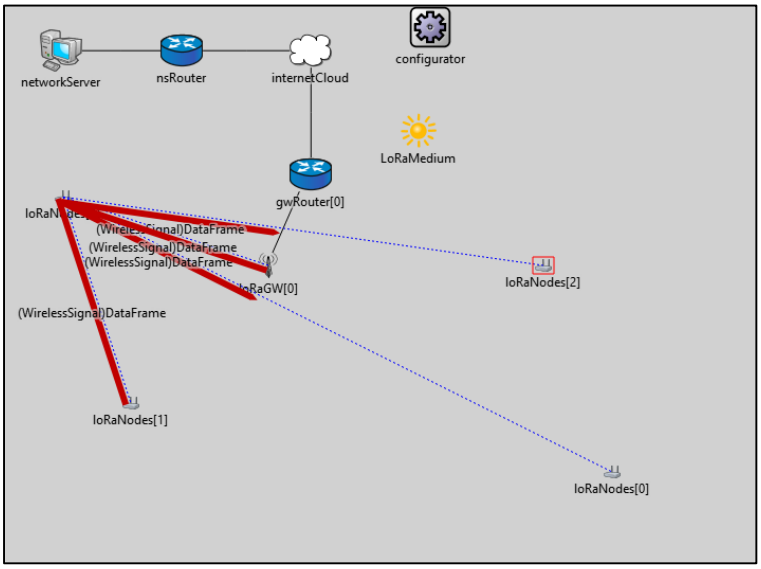


Figura 36 Transmisión de paquetes de los nodos al Gateway Fuente Propia

En la Figura 37 Simulación de transmisión de última milla de los paquetes de datos emitidos por los LoRaNodes se está enviando la información por medio de la nube hacia el servidor, ya con los datos de adr , consumo de energía, RSSI recibido por el servidor, y SNIR de la señal.

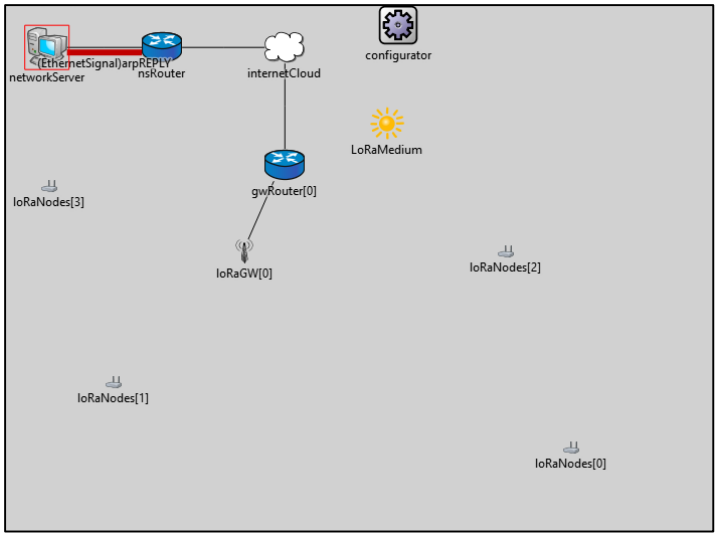


Figura 37 Simulación de transmisión de última milla de los paquetes de datos emitidos por los LoRaNodes Fuente Propia

Herramientas de Análisis de Simulación FLoRa en OmNet ++

Mediante el uso de este simulador también se puede generar valores aproximados estadísticos sobre los componentes de los nodos en la red Lora, mediante el uso de vectores con valores predeterminados de dispositivos reales utilizados en implementaciones de red y procesos teóricos sobre manejo de energía en una red.

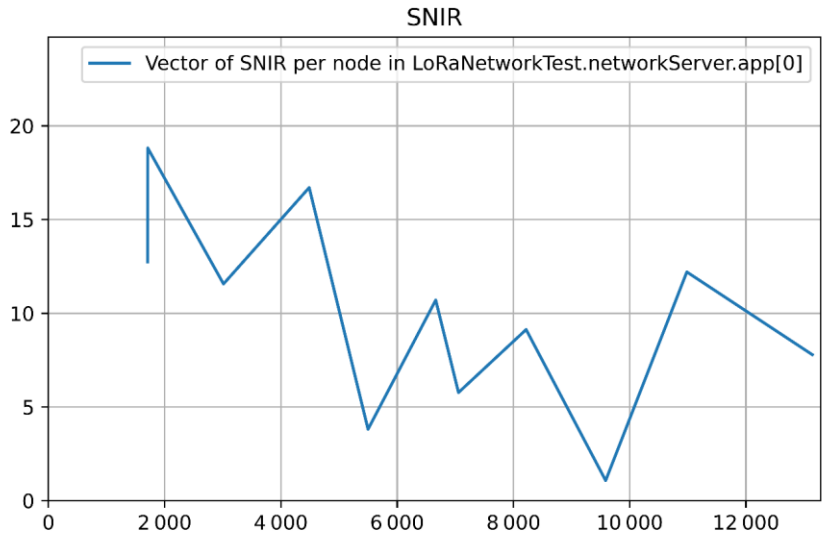


Figura 38 Resultado de la relación Intensidad – ruido en la simulación Fuente Propia

En la Figura 38 Resultado de la relación Intensidad – ruido en la simulación Fuente Propia, se muestra snir vs la cantidad de paquetes enviados por la red, la gráfica muestra como en la adaptación de la red se presenta perdidas que no afectan tan directamente al enlace, pero si puede generar perdida de paquete o información. Mientras se hace adaptabilidad del sistema y la entrada a cada nodo.

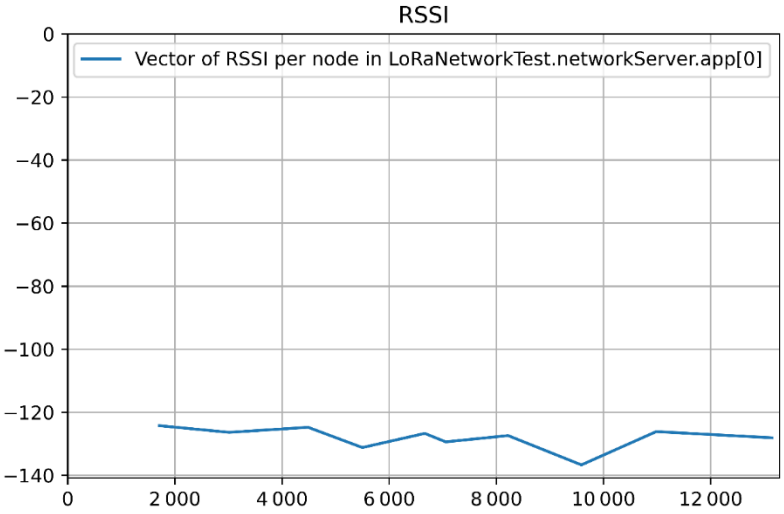


Figura 39 Relación potencia de la señal vs paquetes transmitidos en la simulación. Fuente Propia

A continuación, se muestra la Figura 39 Relación potencia de la señal vs paquetes transmitidos en la simulación. la relación de indicador de potencia de señal recibida (rssi) vs paquetes transmitidos como se puede ver dicho indicador tiende a tener un buen valor de potencia y ha variar un poco ya que el terreno es rural y las interferencias físicas son pocas y lo que afecta la señal es la resonancia de la señal de la transmisión de cadena en el gateway.

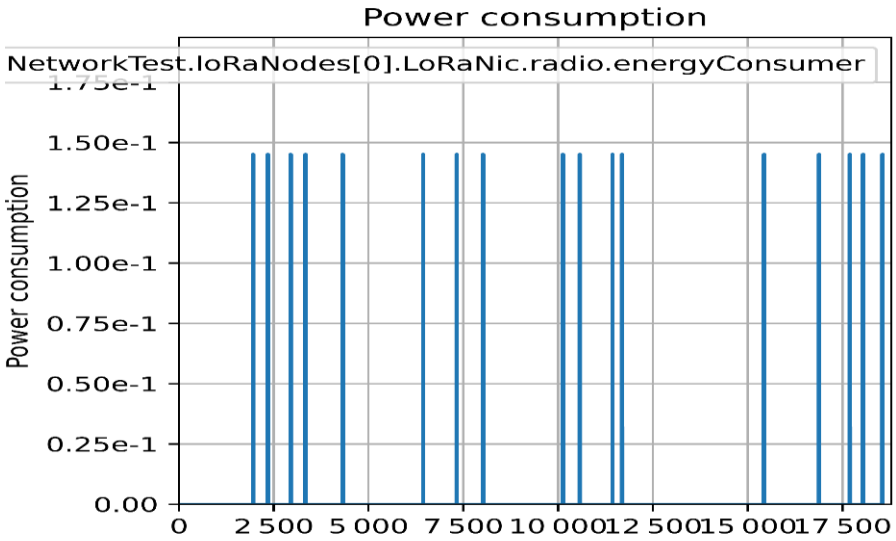


Figura 40 Consumo de Energía en los módulos Lora simulados Fuente Propia

En la Figura 40 Consumo de Energía en los módulos Lora simulados podemos ver el consumo de energía presente en un nodo en la red lora debido a que este es un sistema simulado no presenta perdidas de transmisión, por lo tanto, los valores mostrados son ideales respecto a cada nodo.

5. DESARROLLO E IMPLEMENTACION DE SISTEMA

5.1 DESARROLLO

Configuración de Sensor de Humedad y Temperatura

Debido a que el sensor seleccionado para la recolección de los valores de humedad y temperatura por medio del sensor FS200-SHT10 el cual utiliza como base la configuración del sensor SHT10 con una sonda de seguridad que permite enterrar en el área del cultivo



Figura 41 Sensor FS200-SHT10 Fuente Datasheet

Este sensor permite la conexión con la plataforma Arduino Mega mediante comunicación I2C y tiene resolución hasta 14 bits, adicionalmente es adecuado según las características relacionadas en la sección Descripción De Componentes Utilizados Y Diseño De La Red De Sensores, por ello se procedió a realizar la conexión del sensor como se muestra en la fig

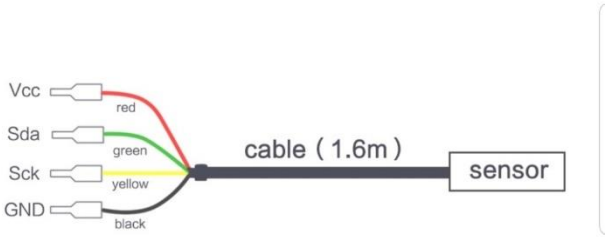


Figura 42 Conexión Sensor FS2000-SHT20 (Fuente GIThub)

Posteriormente se procedió a realizar el código en Arduino IDE como se muestra en la Figura 43 Configuración de Arduino y sensor de humedad y temperatura SHT20.

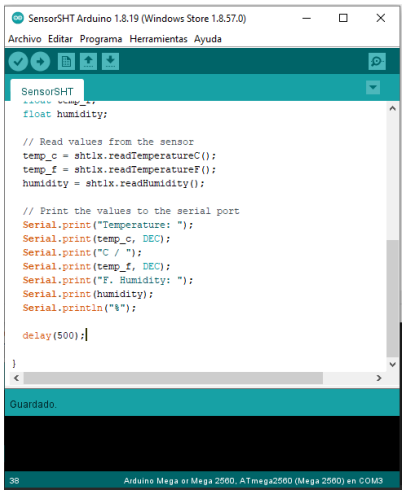


Figura 43 Configuración de Arduino y sensor de humedad y temperatura SHT20 Fuente Propia

Configuración de Sensor de PH

Como se comentó en la sección Descripción De Componentes Utilizados Y Diseño De La Red De Sensores, el sensor seleccionado para la implementación es el EC201 de DIY MORE, este sensor está conformado por punta de prueba de PH conectada a una interfaz

de conexión, dicha interfaz consta con una distribución de conexión de pines, mostrada en la figura

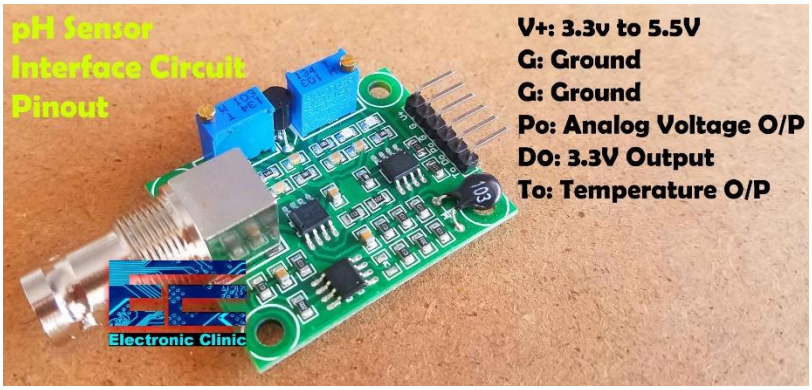


Figura 44 Distribución de Pines de conexión interfaz EC201(fuente: https://www.electroniclinic.com/ph-meter-arduino-ph-meter-calibration-diymore-ph-sensor-arduino-code/)

La particularidad de este sensor es que es necesario una calibración previa desde la interface, por lo cual es necesario el ajuste de los trimmers presentes en la interfaz.

Después de la calibración se procede a la implementación del código mostrado en laFigura 45 Configuración de Sensor EC201 en Arduino IDE, para el toma de valores de PH en el ambiente.

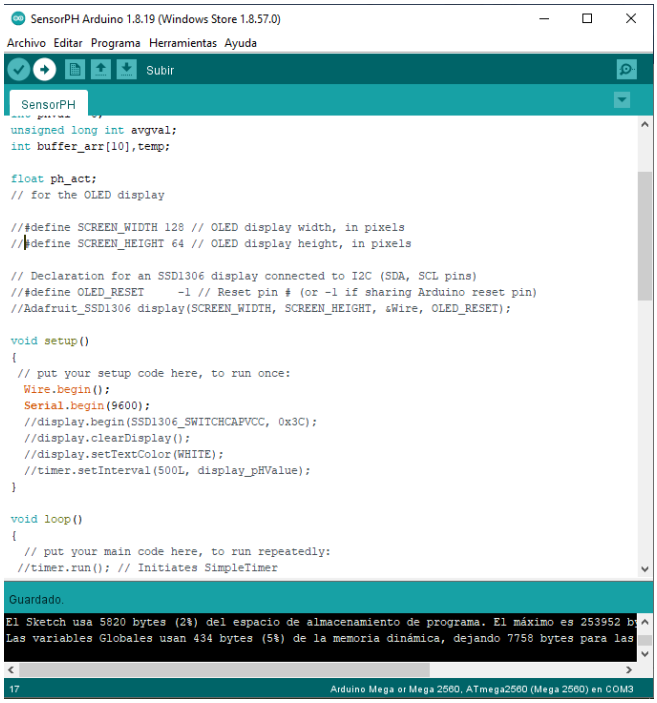


Figura 45 Configuración de Sensor EC201 en Arduino IDE Fuente Propia

Configuración Antena Lora

Para la configuración de los dispositivos de la red de sensores, se debe tener en cuenta que hay configuras la placa Arruino Mega 2560 con el módulo Sx1278 como transmisor de datos por red Lora para el caso de los nodos y receptor de datos en el caso del Gateway



Figura 46 Programación de Arduino Mega con módulo sx1278 en modo Nodo o emisor. Fuente Propia

Adicionalmente Arduino IDE permite la configuración del módulo Lora SX 1278 , para el caso del nodo Gateway, esta configuración se muestra en la Figura 47 Configuración del Módulo SX1278 como Receptor.

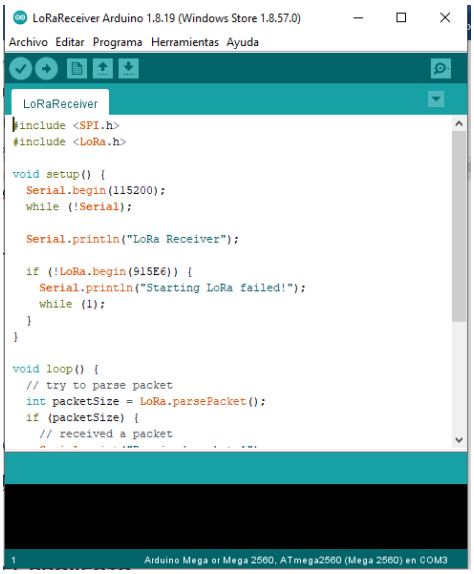


Figura 47 Configuración del Módulo SX1278 como Receptor Fuente Propia

Instalación y Configuración servidor MQTT

En el nodo Gateway compuesto por la placa Arduino Mega y el módulo SX1278 además de servir de receptor de la comunicación Lora de los nodos, es necesario la implementación de código con la cual se pueda comunicar con el servidor MqTT mosquitto implementado en la raspberry pi 3b, para ello en el nodo Gateway es necesario crear un cliente MQTT, en la figura, se muestra el código con el cual se hace la conexión.

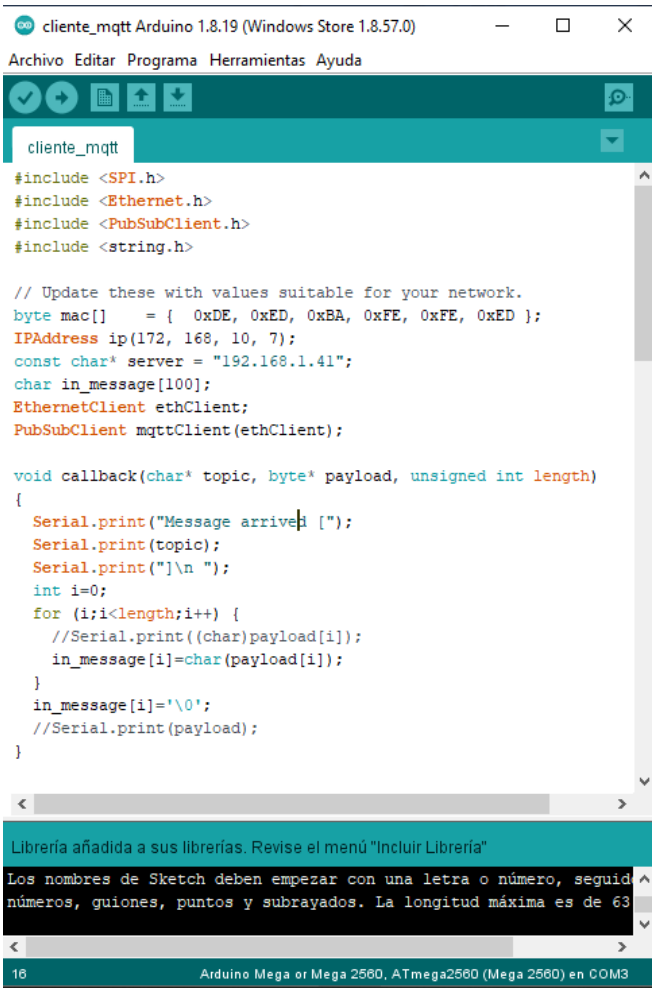


Figura 48 Configuración cliente MQTT en Nodo Gateway Fuente Propia

Adicionalmente se implementó un servidor bajo la plataforma SQLite para almacenar la información recolectada, en la Figura 49 Diseño de la base de datos en diagrama entidad , se muestra el diseño de la base de datos sobre el diagrama entidad-relación.

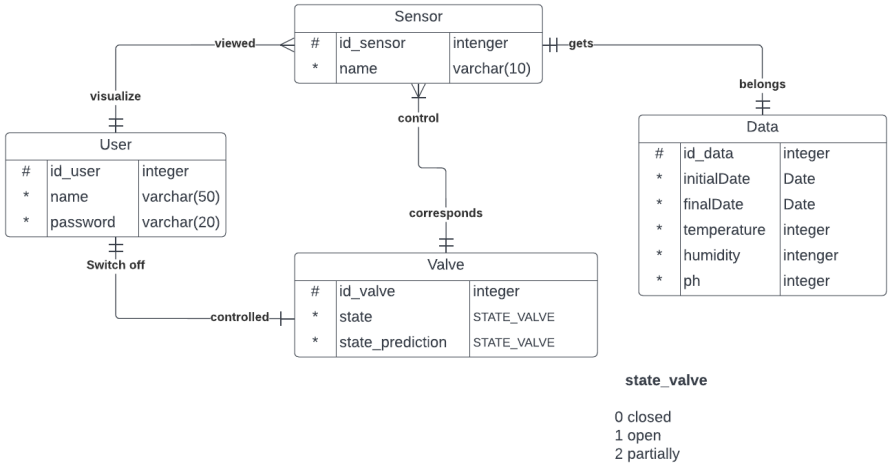


Figura 49 Diseño de la base de datos en diagrama entidad relación Fuente Propia

Desarrollo de Aplicativo Móvil

Para el diseño del aplicativo movil se decidió el uso de React Native con Hooks ya que este framework de JavaScript permite crear aplicaciones en Android y IoS al mismo tiempo, adicionalmente es más sencillo su configuración y uso, el desarrollo en esta plataforma es más rápido y requiere menos consumo computacional. En las Figura 50 Componentes reutilizables de la aplicación y ventanas correspondientes en React Native se muestra la Arquitectura de la aplicación basada en componentes y en ventanas, se usó UseContext que es hook que permite manejar la persistencia del login del usuario, garantizando la seguridad de la aplicación.

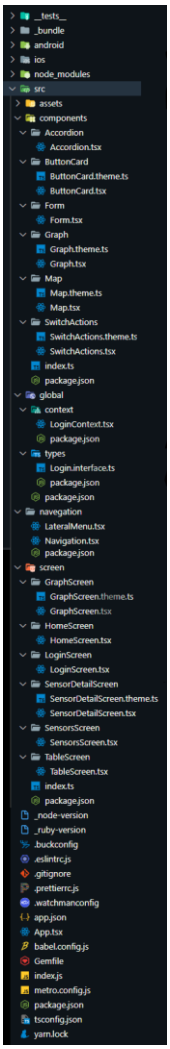


Figura 50 Componentes reutilizables de la aplicación y ventanas correspondientes en React Native Fuente Propia

En la Figura 51Componente grafico para aplicaciones se muestra un ejemplo de un componente reutilizable, en este ejemplo de muestra el componente gráfica, que utiliza librerías para realizar gráficos en desarrollo móvil, requiere como parámetros la información necesaria para hacer el entorno grafico



```
import React from 'react';
import PropTypes from 'prop-types';
import { Dimensions, Text, View } from 'react-native';
import { LineChart } from 'react-native-chart-kit';
import styles from './Graph.theme';

interface GraphProps {
  data: number[];
  description: string;
  graphColor: string;
  label: string;
  title: string;
  dataInfo: { time: string[] };
}

const Graph: React.FC<GraphProps> = ({ data, label, graphColor, title,
description, dataInfo }) => {
  return (
    <View>
      <View style={styles.contentText}>
        <Text style={styles.title}>{title}</Text>
        <Text style={styles.desc}>{description}</Text>
      </View>
      <LineChart
        data={{
          labels: dataInfo?.time || [],
          datasets: [
            {
              data: data,
            },
          ],
        }}
        width={Dimensions.get('window').width}
        height={220}
        yAxisSuffix={label}
        yAxisInterval={1}
        chartConfig={{
          backgroundGradientFrom: 'white',
          backgroundGradientTo: 'white',
          decimalPlaces: 10,
          color: () => graphColor,
          labelColor: () => 'black',
          style: {
            borderRadius: 16,
          },
          propsForDots: {
            r: '6',
            strokeWidth: '2',
            stroke: 'black',
          },
        }}
        bezier
      />
    </View>
  );
};

Graph.propTypes = {
  data: PropTypes.any.isRequired,
  description: PropTypes.string.isRequired,
  graphColor: PropTypes.string.isRequired,
  label: PropTypes.string.isRequired,
  title: PropTypes.string.isRequired,
  dataInfo: PropTypes.any.isRequired,
};

export default Graph;
```

Figura 51Componente grafico para aplicaciones móviles Fuente Propia

En la fig, se muestra el diseño de la ventana de la aplicación que hace uso del componente Graph, se utilizó para cada mostrar cada uno de los valores del servicio consumido desde el servidor y poder mostrarlo en las gráficas y tablas de la aplicación (Humedad, temperatura y Ph),



```
import React from 'react';
import PropTypes from 'prop-types';
import { Graph } from 'components';
import { View, Text } from 'react-native';
import { useRedData } from 'services';
import styles from './GraphScreen.theme';

const GraphScreen = () => {
  const { data } = useRedData();

  return (
    <View>
      <Text style={styles.desc}>
        Estas gráficas muestra los resultados obtenidos por semanas en
        {new Date(data?.initialDate).toLocaleString('es', { timeZone:
'UTC' })} -
        {new Date(data?.finalDate).toLocaleString('es', { timeZone: 'UTC'
 })} Dando información de
        la temperatura, humedad pH del terreno, para asi conocer el estado
del suelo para el
        cultivo.
      </Text>
      <Graph
        data={data?.temperature}
        label="°"
        graphColor="#FF0000"
        title="Temparatura"
        description=
"La gráfica de Temperatura: Muestra los cambios presentados en el ambiente
que afecta el suelo del cultivo"
      />
      <Graph
        data={data?.humidity}
        label="h"
        graphColor="#0000FF"
        title="Humedad"
        description=
"La gráfica de humedad: Muestra como ha cambiado la humedad del suelo dura
nte este tiempo"
      />
      <Graph
        data={data?.ph}
        label="ph"
        graphColor="#04B404"
        title="PH"
        description=
"La grafía de pH: Muestra como a cambiado los nutrientes del suelo durante
este tiempo"
      />
    </View>
  );
};

export default GraphScreen;
```

Figura 52 componente Graph para el consumo y despliegue de información en la aplicación móvil Fuente Propia

5.2 IMPLEMENTACION DEL PROYECTO

Implementación y evaluación de Red de Sensores

Dado lo anterior se procedió a implementar los nodos en el Sector rural de la tal forma que permitan tomar los valores de humedad, temperatura y Ph del suelo en el surco donde está sembrada la planta para así ver la variación de la temperatura y la humedad por el consumo de los nutrientes propios de la planta y la variación del Ph por la aplicación de abonos y la calidad del agua en el distrito implementado en el sector. En la Figura 53 Area del terreno para la implementación del proyecto y Figura 54 Cultivo presente en la parcela objeto del proyecto, se muestra el estado de la finca donde se realizó este proyecto.



Figura 53 Area del terreno para la implementación del proyecto(Fuente Propia)



Figura 54 Cultivo presente en la parcela objeto del proyecto (Fuente Propia)



Figura 55 Implementación Nodo para análisis del proyecto (Fuente Propia)

Dado el entorno mostrado en las figuras anteriores y recordando el diseño de la red y su distribución mostrada en la Figura 24 Ubicación de los nodos y Servidor en el terreno., se procedió a evaluar el estado de la transmisión de paquetes desde el nodo del servidor, donde se encuentra el Gateway y cada nodo sensor que hace la recolección de datos, esta evaluación se hizo desde los datos recopilados en el servidor LoRaWan se acercan a valores de SNR de 16 db y RSSI cercanos a -75 dBm, estos valores se presentan debido a la configuración de la vegetación del sector y depende también del estado climatológico, el cual hace variar la relación de señal a ruido y la potencia de recepción de las antenas. La potencia de transmisión utilizada en el sistema fue de 12 dB con una sensibilidad de -90 dBm, parámetros adecuados dentro del funcionamiento de la antena y para evitar un gran porcentaje de pérdidas.

Los factores de SNR (Relación señal a Ruido) y RSSI (Indicador de Potencia de Señal Recibida) de los 4 nodos, se muestran en las Figura 56 relación SNR a distancia para cada nodo de sensoresy Figura 57 Intensidad de Señal Recibida por cada nodo respectivamente.

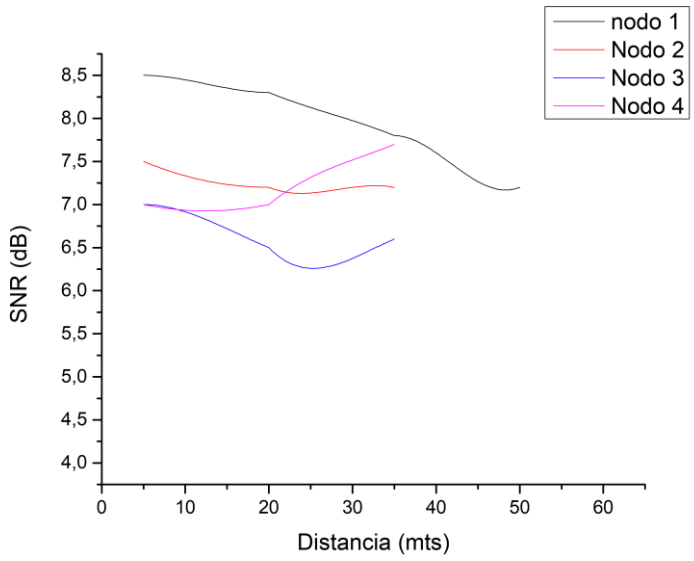


Figura 56 relación SNR a distancia para cada nodo de sensores (Fuente Propia)

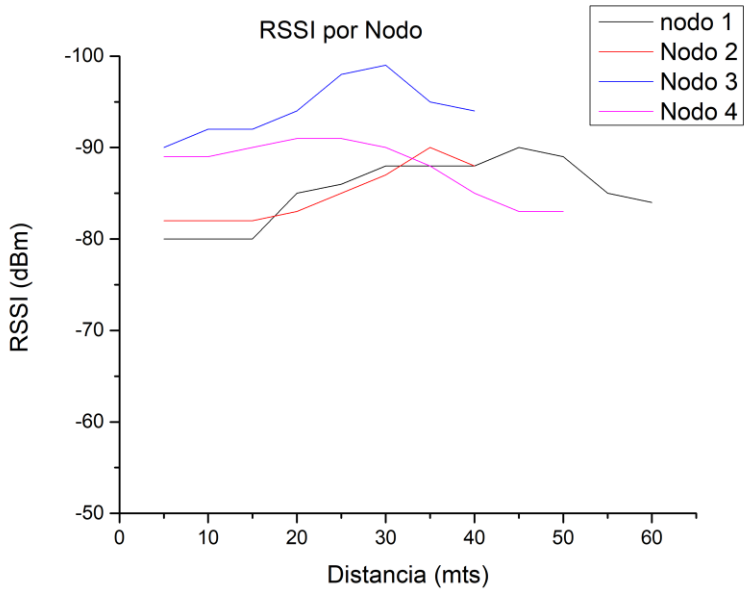


Figura 57 Intensidad de Señal Recibida por cada nodo (Fuente Propia)

Las variaciones de la medición de la SNR (Relación Señal a Ruido) y el RSSI (Índice de Intensidad Recibida), se deben a las condiciones ambientales presentes para el primer factor y la topología en el sector para el segundo factor, estas mediciones se hicieron a razón de 10 mts/captura en las trayectorias a las ubicaciones finales (mostradas en la Figura 23 Disposición de la red implementada) de los sensores para abarcar el área cultivada. Estos errores se deben generalmente por difracción de la señal debido a los variados cambios de clima, adicionalmente se de Dispersión de la señal ya que el terreno cuenta con inclinación lo cual los sensores con mayor altitud (Sensor 4) y Menor altitud (Sensor 3) sufren de dispersión de la señal debido al suelo; otro factor que influyen en la comunicación de los módulos es por solapamiento de la señal ya que en la llegada de todas las señales (que se mueven en la misma frecuencia) al Gateway generando efectos de cancelación.

Presente los factores explicados anteriores se procede a tasa de caída de paquetes en la transmisión/recepción de datos entre los notos y el Gateway mostrada en la Figura 58 tasa de Caída de paquetes de cada nodo, Donde se denota que la caída de los paquetes son debidas a las variaciones del SNR y RSSI en el sistema.

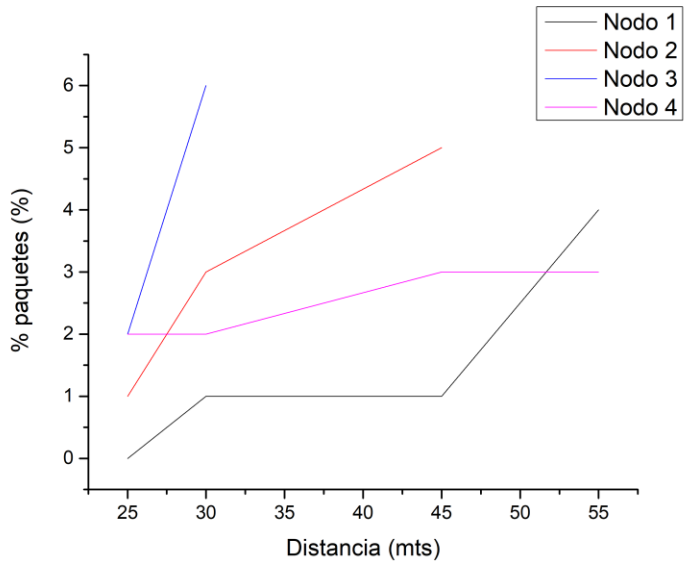


Figura 58 tasa de Caída de paquetes de cada nodo (Fuente Propia)

Las tomas de valores de para la determinación de la tasa de caída de paquetes se hicieron en distancias equivalentes en las 4 trayectorias de cada nodo según distribución mostrada en la Figura 23 Disposición de la red implementada.

Implementación de servidor mqtt y node-js para raspberry

Para la recepción de datos se implementó un servidor MQTT mediante el software Node-red, software presente en la distribución base de la Raspberry pi, para el manejo de datos recibidos desde el Gateway, como se muestra en la Figura 59 Adquisición de entrada de datos implementada por Node-Red.

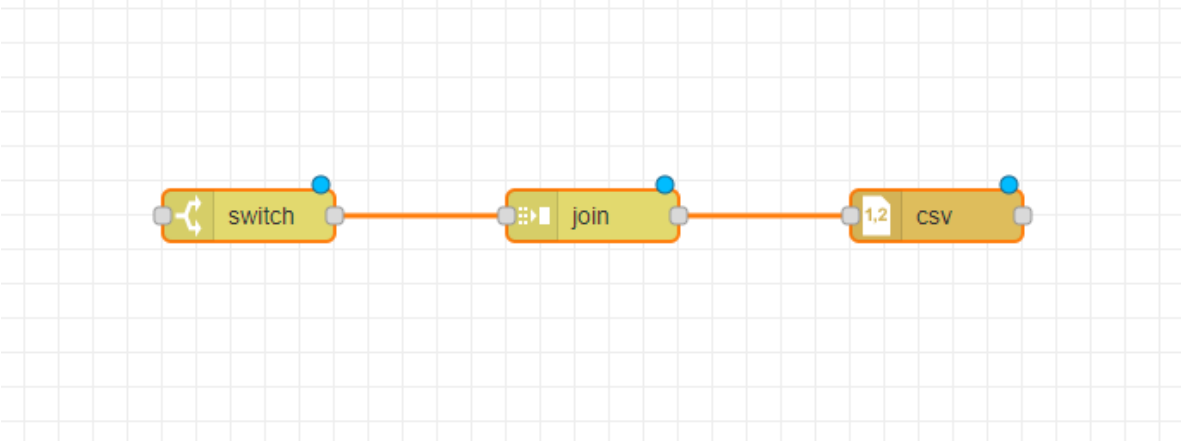


Figura 59 Adquisición de entrada de datos implementada por Node-Red Fuente Propia

Esta implementación permite exportar los datos ingresados a un archivo csv del cual se compone de los datos capturados para los análisis correspondientes.

Implementación de red neuronal

Como se describe en la sección Diseño de la Red Neuronal implementada, por medio del Software Matlab®, mediante el APP “Neural Net Fitting”, esta App de Matlab permite el diseño de una red Neuronal mediante un entorno grafico proveído por Simulink de Matlab, mostrado en la Figura 60 Herramientas de Análisis de Redes Neuronales de Matlab

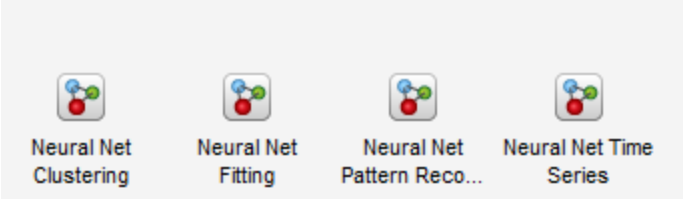


Figura 60 Herramientas de Análisis de Redes Neuronales de Matlab Fuente Propia

Posteriormente procedemos a ingresar los datos de las variables de entrada (Humedad Relativa, Temperatura y PH de Suelo), las variables ingresadas corresponden a una base de datos de 360 valores correspondientes 36 días que corresponden al periodo del 20 de marzo al 18 de abril, donde se realizaron 10 tomas de datos diarias, esta toma de datos se realizó con la manipulación manual de la válvula para determinar los patrones adecuados (límites de humedad, temperatura, precipitación, evotraspiracion de la planta) para la apertura de la válvula, se determinó 3 variables del salida de la red neuronal que representa el estado de la válvula así: (1,0,0) abierta, (0,1,0) semiabierta y (0,0,1) cerrada, siguiendo los patrones establecidos en el diseño de la red neuronal y mostrados en la Figura 28 Modelo Red Neuronal Artificial. El ingreso de las variables de entrada y salida se muestra en la Figura 61 Ingreso de entradas y Salidas de en la red neuronal

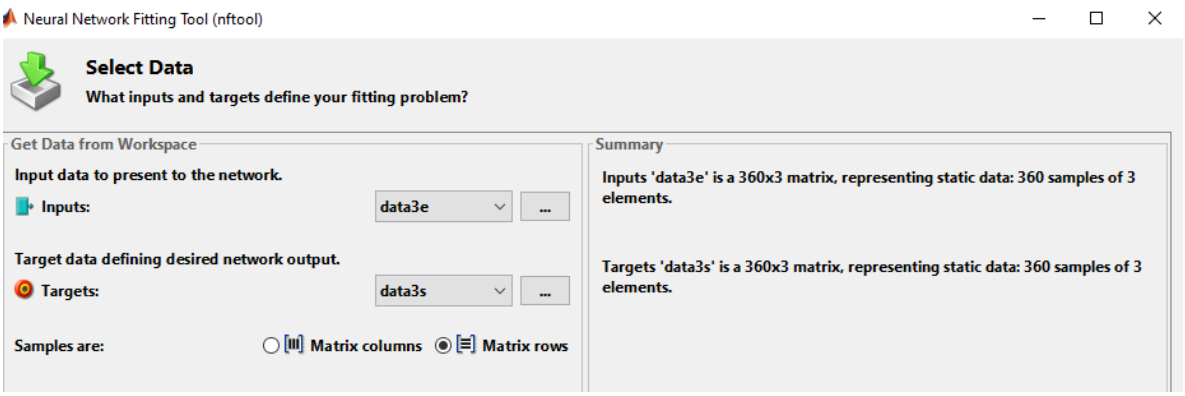


Figura 61 Ingreso de entradas y Salidas de en la red neuronal Fuente Propia

El siguiente paso, mostrado en la Figura 62 Asignación de Datos para el entrenamiento, fue determinar el porcentaje de los datos ingresado para realizar el entrenamiento, la validación y el testeo de la red neuronal y así determinar los valores significativos del análisis para la predicción de los datos mediante la aproximación de una función no lineal.

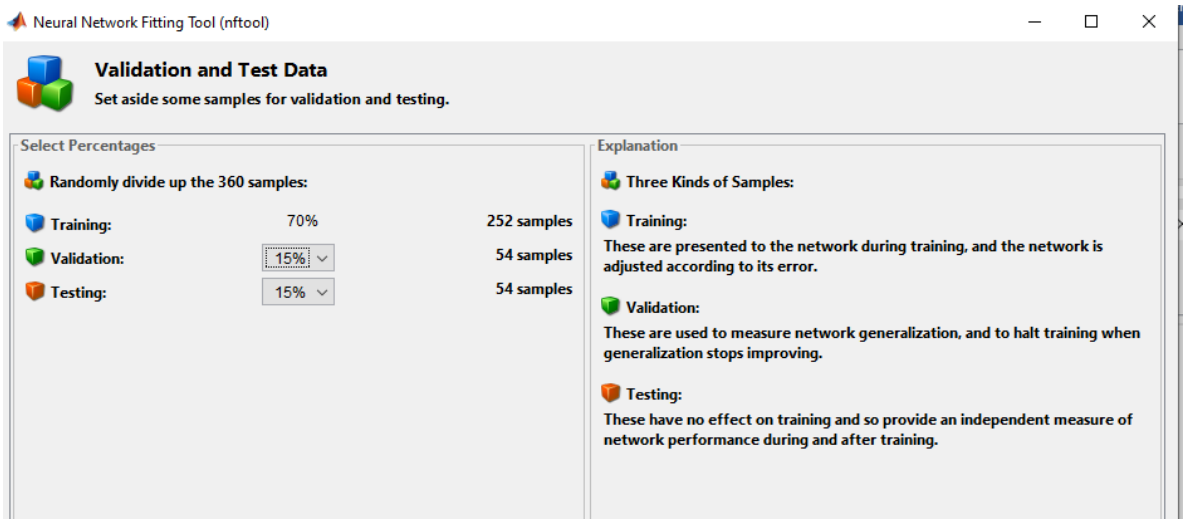


Figura 62 Asignación de Datos para el entrenamiento Fuente Propia

A continuación en Figura 63 Configuración Red neuronal, se determina la cantidad de neuronas en la capa oculta para el análisis de pesos, se seleccionó una capa oculta de 20 neuronas, con el fin de distribuir el análisis de propagación y retro propagación y mantener el desempeño de la red neuronal aceptable

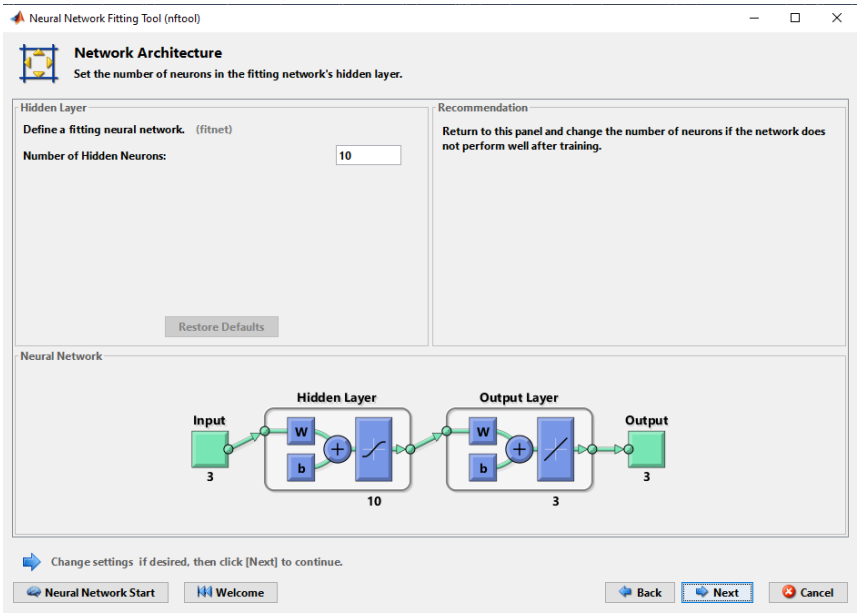


Figura 63 Configuración Red neuronal Fuente Propia

Se procedió luego a realizar la fase de aprendizaje de la red neuronal, como se muestra en la Figura 64 Graficas de Análisis de desempeño de la red neuronal y comportamiento de las funciones de activación, dado el aprendizaje de la red neuronal, el entorno grafico de Matlab nos permite ver los valores representativos del desempeño de la red, el estado de entrenamiento, la distribución de errores, y los valores de la regresión de los datos.

En el proceso de cálculo hacia adelante, y devolución se realizaron 17 épocas, o ciclos de itinerancia de la red neuronal para determinar el comportamiento del sistema.

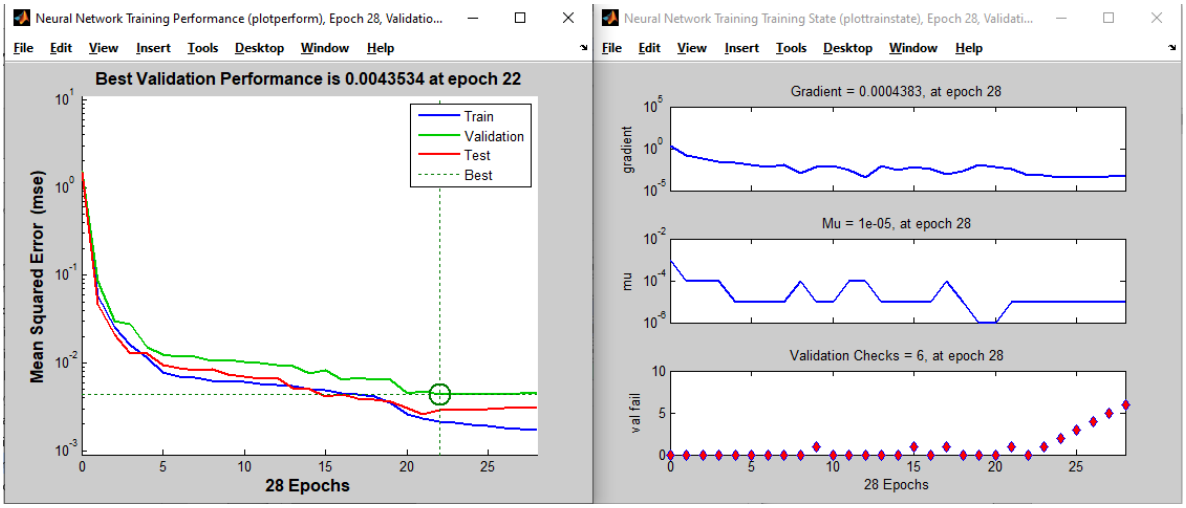


Figura 64 Graficas de Análisis de desempeño de la red neuronal y comportamiento de las funciones de activación Fuente Propia

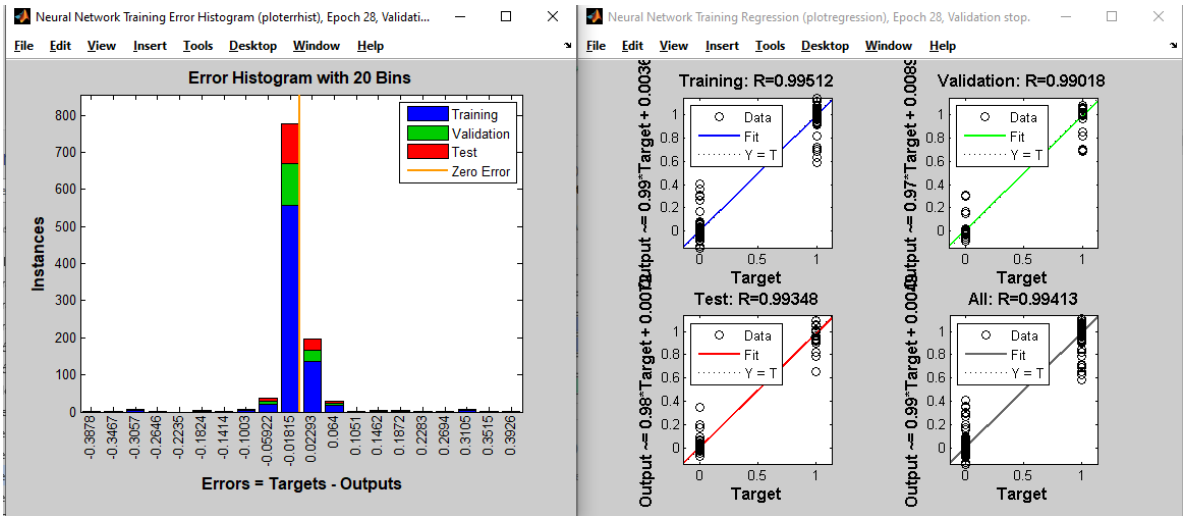


Figura 65 Graficas del Histograma del error cuadrático medio y cálculo de regresión del entrenamiento de la red. Fuente Propia

Por ultimo Matlab permite exportar el conjunto de asignación de pesos y funciones de Activación de la red neuronal por medio de un Script, el cual al ejecutar determina el entrenamiento y la ejecución de los valores, explorando el código de puede determinar la

matriz “net“, que contiene la matriz de transferencia, en donde se ve el desempeño del sistema.

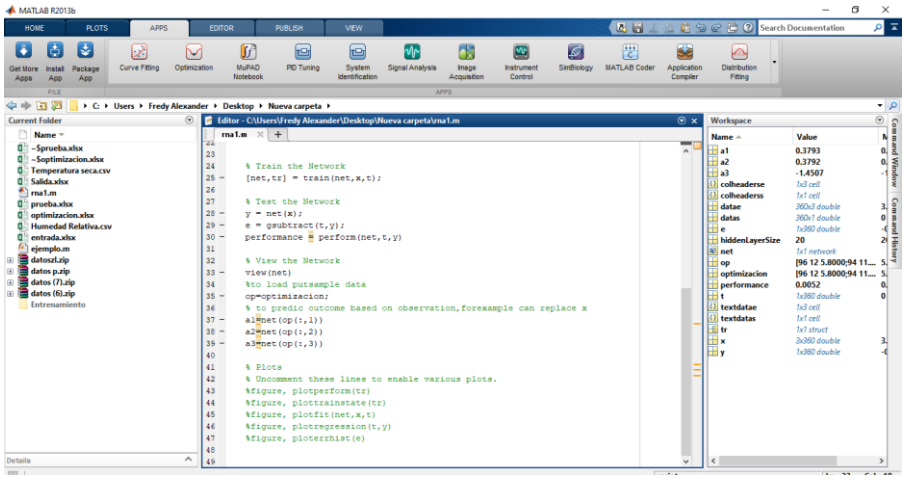


Figura 66 Algoritmo generado para implementación de red neuronal Fuente Propia

Dentro de la matriz “NET“, podemos ingresar los valores e optimización visibles en la f, con los cuales evaluamos el funcionamiento de la red neuronal, la matriz de optimización ingresada es.

Tabla 11 Resultados de Valores de Optimización Red Neuronal Fuente Propia

Humedad Relativa	**Temperatura Seca**	**PH**	**Resultado Deseado**			**Resultado Obtenido**		
96	12	5,8	1	0	0	1,6213	1,3103	-2,171
94	11,2	5,8	1	0	0	0,9171	0,8359	0,3739
57	18,4	6	0	0	1	-1,4913	-0,7462	2,4095

Dado lo anterior es de notar que el control del sistema completo de red de sensores es abierto ya que muchas veces , los valores dados por la red neuronal no corresponden adecuadamente a la respuesta deseada, ya que como lo vimos en Figura 65 Graficas del Histograma del error cuadrático medio y cálculo de regresión del entrenamiento de la red.**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, los valores de temperatura del sector y PH del suelo tienden a repetirse constantemente, esto afecta al aprendizaje de la

red neuronal y su funcionamiento adecuado, aunque los valores obtenidos como resultado de la optimización de la red neuronal mantienen un comportamiento relativamente aceptable ya que los estados sugeridos por el algoritmo corresponden a aproximadamente un 70% del comportamiento deseado por el agricultor para activación de la válvula de sistema de riego por goteo, funcionando como un apoyo adecuado en la toma de decisiones en tiempo real para el usuario.

Implementación de Aplicación Móvil

Por último se procedió a implementar la aplicación Móvil en una Tablet , propiedad del agricultor , con la que permite acceder a ver los datos recolectados dentro del servidor, clasificados según el cada nodo desplegado con los variables de humedad temperatura y PH, en la aplicaciones muestra la pantalla principal, se optó por incluir el mapa del sector con la ubicación de los sensores mostrada en Figura 24 Ubicación de los nodos y Servidor en el terreno.(Fuente Propia)debido a que los servicios de conectividad móvil en el área son limitados para el uso de datos y los mapas generados por Google Maps solo permite el manejo de la capa de mapa de manera gratuita y al ser un terreno rural no muestra ninguna característica, adicionalmente facilita al usuario la visualización de la ubicación de los sensores en el terreno .



Figura 67 Pantalla principal aplicación Fuente Propia

En la Figura 68 Pantalla con información de nodo dentro de la , se muestra la pantalla donde se encuentra la configuración de recolección de datos para el nodo 4, como se puede observar, permite que el agricultor reciba la información recolectada por los sensores en cada nodo en forma de tabla y para facilitar también en forma gráfica.

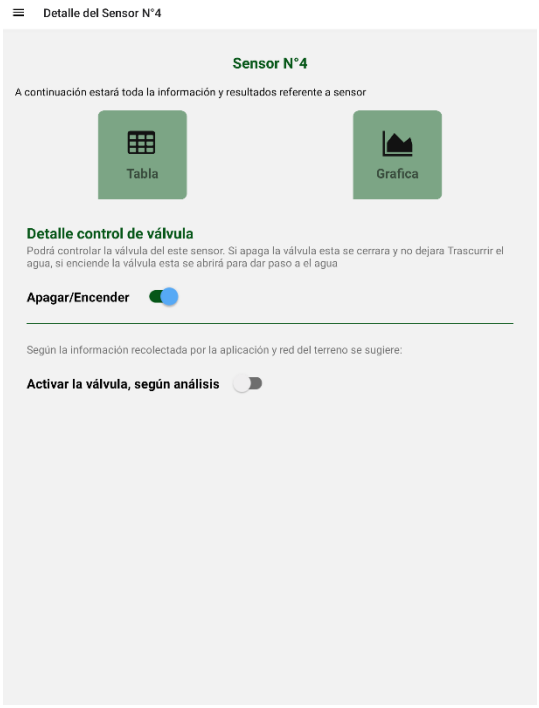


Figura 68 Pantalla con información de nodo dentro de la aplicación Fuente Propia

En la Figura 69 Pantalla con gráficos sobre las variables propias a monitorear se muestra la graficas de los valores capturados y procesados por la red de sensores, la implementación de esta pantalla o modulo se hizo para que el usuario tenga una perspectiva ampliada sobre las condiciones del terreno y permita apoyar a la decisión de activación de sistema de riego.

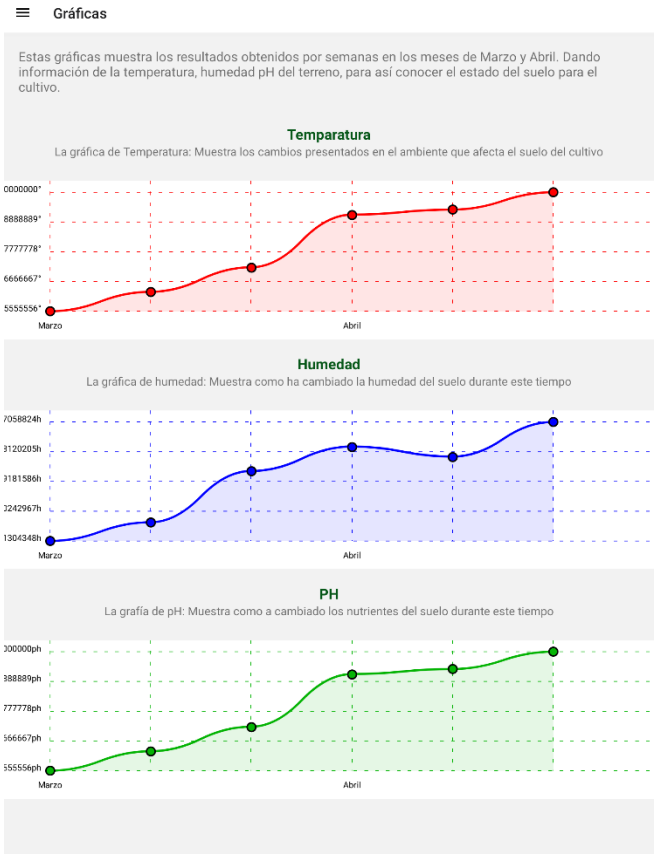


Figura 69 Pantalla con gráficos sobre las variables propias a monitorear Fuente Propia

6. DISCUSION DE RESULTADOS

Referente a la revisión de los demás proyectos en la sección del estado del arte en demás proyectos frente al resultado de este sistema de monitoreo decir que:

- Acerca del trabajo de “Estudio en detalle de LoraWAN. Comparación con otras tecnologías LPWAN considerando diferentes patrones de tráfico.” De (Hernández 2020) podemos ver que efectivamente el uso de las tecnológicas LPWan son una solución efectiva para la implementación de sistemas IoT, respecto al sistema monitoreado en este proyecto, la tecnología más adecuada por costo/rendimiento es LoraWan. Aunque en este proyecto solo se utilizó un Gateway con una WSN a lo largo de un área pequeña se presentaron colisiones que se ven reflejadas en las gráficas de SNR y RSSI
- De acuerdo a los resultados mostrados por el autor (Carrion Sarmiento 2018) en “Evaluación del rango de transmisión de LoRa para redes de sensores inalámbricos con LoRaWAN en ambientes urbanos” podemos ver que el efecto de las pérdidas de la señal están intrínsecamente conectados al medio donde se desempeña, y en el caso del presente proyecto con claridad se puede decir que se presentan menos perdidas por estar en zona rural, aunque hay que tener en cuenta la capacidad y diferencia de dispositivos utilizados.
- Al igual que el proyecto mencionado en el anterior punto, el autor (Moya Quimbita 2018) en su trabajo "Evaluación de pasarela LoRa / LoRaWAN en entornos urbanos" realiza mediciones de RSSI como evaluación de rendimiento de la comunicación LoRa en ambientes urbanos, generando resultados similares, pero teniendo en cuenta que este autor utiliza hardware propietario, llegando a la conclusión que la interferencia por el ambiente y la colisión de paquetes afecta en gran medida la calidad de la señal, cuestión que también fue evidenciada en este proyecto.
- Remitiéndonos al trabajo de (Gutiérrez Espíritu and Armas Valencia 2018), que se enfoca en el análisis de los datos desde los resultados de los análisis de las redes neuronales se puede contrastar el uso de la cantidad de neuronas en capa oculta ya que esto determina el consumo computacional de proceso, es cierto que la red

neuronal si ayuda a predecir los datos pero al ser un proceso heurístico recurrente, a veces la predicción no es precisa.

- Con la implementación del sistema de monitoreo implementado por la parcela presente en la vereda de Piedralarga en el municipio de Ciénega, y la recolección de datos se determinó las siguientes características del terreno: i) El suelo correspondiente a la parcela es parcialmente húmedo y sus valores oscilan entre el 70% y 90%, la temperatura del suelo está entre 3.0ºC y 23.6ºC y el PH del suelo es parcialmente ácido con valores que están entre 5.8 y 6.3.
- El seguimiento e implementación de la red neuronal asesora al agricultor para determinar la cantidad de agua y fertilizante necesaria para mantener cada sector del sistema de riego por goteo con niveles de humedad y temperatura evitando la falta de agua, evitando que se seque el cultivo o tenga exceso de agua, que puede marchitar la planta y propagar enfermedades a otras plantas frutales de alrededor (Baldoncini 2015).
- La implementación en este proyecto de la red neuronal con 3 capas de entrada, corresponden a las variables estudiadas (humedad, temperatura y PH del suelo) y 3 capas de salida equivalentes al estado de las válvulas (abierta-semicerrada-cerrada),como se muestra en la Figura 28 Modelo Red Neuronal Artificial, tuvo un comportamiento aceptable como apoyo al agricultor ya que, gracias al continuo reaprendizaje de dicha red llego a presentar un rendimiento 70 % de confiabilidad con respecto al concepto emitido por el usuario sobre la práctica de la aplicación de agua y nutrientes en el cultivo. Los erFigura 65 Graficas del Histograma del error cuadrático medio y cálculo de regresión del entrenamiento de la red.rores restantes son en parte contemplados según el algoritmo de aprendizaje implementado por el software Matlab mostrado en la figura
- Se evalúo el nivel de PH para evitar que el suelo presente escasez o saturación de nutrientes en el suelo cultivado, alterando la evo-transpiración de la planta, y saturando el suelo.
- Como observación final y como retroalimentación del agricultor, durante 4 meses de uso del WSN basado en IoT, el consumo de agua disminuyó cerca de un 40 % y la producción de frutos aumentó un 30 %. Este es un punto clave que estimula la

implementación para mejorar el sistema al incluir otros parámetros del suelo como Potasio, Fósforo y Nitrógeno.

- Según lo comentado en las anteriores discusiones y análisis de los resultados, los valores a resaltar en la implementación del sistema IoT para el monitoreo y control del sistema de riego en la parcela rural de Ciénega –Boyacá se hacen de acuerdo al periodo de cosecha del cultivo de feijoa (4 meses), los cuales se muestra en la Tabla 12 Tabla Comparativa de Resultados de periodos de tiempo sin el Sistema de Monitoreo y el con el sistema implementado

Tabla 12 Tabla Comparativa de Resultados de periodos de tiempo sin el Sistema de Monitoreo y el con el sistema implementado

	Sin IoT		**Con IoT**	
Periodos de Análisis	Noviembre – diciembre 2021	Enero – febrero 2022 (Cosecha del cultivo)	**Marzo-abril 2022 (tiempo Implementación del sistema de monitoreo)**	Mayo-Junio 2022 (Cosecha del cultivo)
Consumo de Agua (litros/día)	1900	1850	1100	800
Uso de Fertilizante (bultos – 50 Kg)	-	2	-	1.5
Producción de Cultivo (arroba – 12.5Kg)	-	60	-	75

7. CONCLUSIONES, TRABAJOS FUTURO Y RECOMENDACIONES

En este trabajo se realizó una revisión de las diferentes plataformas tecnológicas para la implementación de IoT en sectores productivos rurales, se tuvo en cuenta la potencia de la señal, el alcance de transmisión de los datos y el coste asociado a la implementación para los agricultores, en la revisión de la literatura se optó por la selección de las tecnologías LPWAN, específicamente Lora ya que dicha tecnología permite un buen alcance (mayores a 100 mts) y buena potencia (RSSI promediado en -85 dbi al aire libre) para implementaciones en áreas rurales, teniendo en cuenta que el Municipio de Ciénega – Boyacá es una zona con una humedad relativa ambiental medio alta y el terreno donde se realizó en proyecto se encuentra en una pendiente de altura considerable.

En el diseño e implementación de la red de sensores se pudo observar que en el mercado hay poca disponibilidad de sensores de PH de suelo no industriales, para este proyecto se seleccionó el EC201 para su implementación, aunque de recordar que este sensor está diseñado para detección de PH en líquidos, dificultando la medición constante del sensor ya que es necesario la revisión y limpieza constante.

En el diseño de la red neuronal Artificial para la predicción de los datos se tuvo en cuenta las diferentes configuraciones y se optó por el método de aprendizaje de backpropagation siendo uno de los más utilizados en los diferentes proyectos estudiados, pero al implementarlo en el Software Matlab®, este recomendó cambiar el enfoque en las funciones de activación ya que los datos ingresados se acomodan mejor utilizando como activación el método de regresión de funciones no lineales, frente a la función sigmoid.

En la implementación de la red neuronal se pudo ver que, aunque el sistema de inteligencia artificial otorga valores predictivos adecuados, al ser un sistema heurístico realiza reconfiguraciones por cada medición, no siempre generando resultados esperados aceptables.

Con el fin de reducir gastos adicionales, se buscará implementar las redes Neuronales en sistemas de software libre y con ello adicionalmente reducir la carga del consumo de hardware en el sistema Arduino.

Para la simulación de las redes neuronales se revisó las diferentes opciones como Cisco Packet Tracer, LoRaPy y demás, pero se optó por Omnet++ por ser un software que integra mayores características frente al diseño de la red, pero aun así presenta diferentes dificultades a la hora de la configuración ya que la documentación de la librería Flora es reducida.

Los agricultores generalmente disponen de dispositivos móviles de gama baja con pocas prestaciones, a lo que lleva a limitar la implementación tecnológica del proyecto adicionalmente la cobertura de conectividad móvil y el préstamo del servicio de internet en las zonas rurales es limitado, ya que presenta problemas de cobertura imposibilitando la conexión a internet del proyecto.

El sector rural donde se realizó la implementación del proyecto sufre de fallas eléctricas periódicas por lo cual la independencia eléctrica del proyecto fue afectada, limitando la cantidad de tiempo en el monitoreo del sistema.

Para el monitoreo del sistema de riego de la parcela, se tuvo en cuenta la disponibilidad del servicio del agua prestado por la asociación de cultivadores del sector, este servicio depende de las variables climáticas del sector como también de la presión presente en la tubería

En la implementación del Nodo Gateway se presentó colisiones y caídas ocasionales de los paquetes ya que los nodos de los sensores se manejan bajo el mismo ancho de banda, esta pérdida de paquetes se encuentra relacionada con las medidas mostradas en la Figura 58 tasa de Caída de paquetes de cada nodo (Fuente Propia) .

Como nota adicional, la región Andina en general, está compuesta por una gran cantidad de minifundios por lo que el desarrollo de la Agricultura de Precisión representa un reto unido a la disponibilidad económica del agricultor, la cual es baja, proyectos como este trata

de presentar soluciones a bajo costo que apoyen a la inclusión de la tecnología en el Campo.

8. REFERENCIAS

Baldoncini, Andrés. 2015. “Efectos de La Aplicación de Fertilizantes Sobre El PH de Suelos Serie Oncativo.” Universidad Nacional De Cordoba.

Basterretche, Juan Felix. 2007. *Dispositivos Móviles*. Corrientes - Argentina.

Bustos, Freddy Daniel Carrillo. 2015. “Analizador de Espectro Con Hardware Libre.” UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO.

Capraro, Flavio, Santiago Tosetti, and Facundo Vita Serman. 2010. “Laboratorio Virtual y Remoto Para Simular, Monitorizar y Controlar Un Sistema de Riego Por Goteo En Olivos.” *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial RIAI* 7(1):73–84.

Carrion Sarmiento, Carola Liseth. 2018. “Evaluación Del Rango de Transmisión de LoRa Para Redes de Sensores Inalámbricos Con LoRaWAN En Ambientes Urbanos.” Universidad de Cuenca.

Cedillo, Jairo Andrés Rayo and José Alfonso Chimbo Cusme. 2014. “Utilización de La Minicomputadora Raspberry Pi Para La Adquisición y Evaluación de Datos de Consumo de Energía Eléctrica de Equipos a 220 Voltios.” *Revista Tecnológica ESPOL* xx.

Cedillo Méndez, José Luis, Fernando Rafael Esteban, and Luis Octavio Ramírez Salas Linares. 2012. “Optimización de Ancho de Banda Para Sistemas GSM.” Universidad Nacional Autónoma de México, Mexico.

Chen, Yen-Kuang. 2012. “Challenges and Opportunities of Internet of Things.” Pp. 383–88 in *17th Asia and South Pacific Design Automation Conference*. IEEE.

Coello, Jaffet Isaac and David Andres Silva. 2020. “Diseño E Implementación De Un Sistema De Monitoreo En Tiempo Real De Sensores De Temperatura, Turbidez, Tds Y Ph Para La Calidad Del Agua Utilizando La Tecnología Lorawan.” Universidad Politécnica Salesiana SEDE GUAYAQUIL.

Creamer, Bernardo, Glenn Hyman, Man Li, Ho-young Kwon, Jhon Brayan, Valencia Garcia, Alejandro Castro Coca, Jesus David Martinez, and Jesus David Hoyos. 2014. “Low Emission Development Strategies for Agriculture and Other Land Uses : The Case Of.” *International Food Policy Research Institute (IFPRI) and International Center for*

Tropical Agriculture (CIAT), 1–56.

Cruz, Carlos. 2009. "Diseño de Un Sistema de Riego Por Goteo Controlado y Automatizado Para Uva Italia." PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ.

Durán, Cristhián and Ali Xavier Iturriago. 2011. "Automatización de Un Sistema de Suministro de Agua Potable a Través de La Tecnología ZIGBEE." *Procedia Engineering* 1(39):43–47.

Elijah, Olakunle, Tharek Abdul Rahman, Igbafe Orikumhi, Chee Yen Leow, and Mhd Nour Hindia. 2018. "An Overview of Internet of Things (IoT) and Data Analytics in Agriculture: Benefits and Challenges." *IEEE Internet of Things Journal* 5(5):3758–73.

Eric, Granda Flores Jimmy and López Jácome Cristian Santiago Asesor: 2009. "ESTUDIO DE LOS SISTEMAS DE RIEGO LOCALIZADO POR GOTEO Y EXUDACIÓN, EN EL RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE LECHUGA (Lactuca Sativa L. Var. Alface Stella), BAJO INVERNADERO." PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR SEDE - IBARRA.

Escobar Iza, Rubén Dario, Daniel Steven Maliza Bedon, and José Augusto Cadena Moreano. 2021. "Análisis de Suelos Utilizando Redes Neuronales En Las Florícolas de Rosas Del Sector Norte de La Provincia de Cotopaxi." *RECIMUNDO* 5(2):316–30.

Fan TongKe. 2013. "Smart Agriculture Based on Cloud Computing and IOT." *Journal of Convergence Information Technology* 8(2):210–16.

García, Andrés Barroso. 2015. "Control y Monitorización de Un Invernadero a Través de Una Aplicación Móvil." UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID.

García, Diego A. López and Manuel Sánchez Raya. 2006. *TEMA 1 Fundamentos de Comunicaciones y Redes de Datos*.

García García, Daniel. 2015. "Estudio de 6loWPAN Para Su Aplicación a Internet de Las Cosas 6LoWPAN Study for Application to the Internet of Things." Universidadde la Laguna.

Gutiérrez Espíritu, Joel and Johan Armas Valencia. 2018. "Diseño de Un Controlador Basado En Redes Neuronales Para La Irrigación Por Goteo Sobre Cultivos En El Distrito de Huacho." Universidad Tecnologica del Peru.

Hernández, Silvia. 2020. "Estudio En Detalle de LoraWAN. Comparación Con Otras Tecnologías LPWAN Considerando Diferentes Patrones de Tráfico." Universitat Oberta de catalunya.

Howland, Fanny, Luis Armando Muñoz, Simone Staiger-Rivas, Cock James, and Alvarez Sophie. 2016. "Data Sharing and Use of ICTs in Agriculture: Working with Small Farmer Groups in Colombia." *Knowledge Management for Development Journal* 11(2):1–10.

Jagüey, Joaquín Gutiérrez, Miguel Ángel Porta Gándara, Eduardo Romero Vivas, and José Francisco Villa Medina. 2012. *" Innovación Tecnológica de Sistemas de Producción y Comercialización de Especies Aromáticas y Cultivos Élite En Agricultura Orgánica Protegida Con Energías Alternativas de Bajo Costo " SISTEMA DE RIEGO AUTOMATIZADO*. Vol. 1. La Paz, Baja California Sur,Mexico.

Khanna, Abhishek and Sanmeet Kaur. 2019. “Evolution of Internet of Things (IoT) and Its Significant Impact in the Field of Precision Agriculture.” *Computers and Electronics in Agriculture* 157(December 2018):218–31.

Kiran R. Badua, Dr. Chahaya N. Pate. 2015. “Internet of Things and Cloud Computing for Agriculture in India.” *International Journal of Innovative and Emerging Research in Engineering* 2(12):27–30.

Kumar, Suraj. 2017. “Evolution of Internet of Things(IoT).” *Evolution of Internet of Things(IoT)*. Retrieved December 18, 2022 (https://codeforbillion.blogspot.com/2017/10/evolution-of-internet-of-thingsiot.html).

Lee, In and Kyoochun Lee. 2015. “The Internet of Things (IoT): Applications, Investments, and Challenges for Enterprises.” *Business Horizons* 58(4):431–40.

Libelium. 2016. *Precision Farming to Control Irrigation and Improve Fertilization Strategies on Corn Crops*.

López López, Oscar Hernán. 2020. “Efectos Del Cambio Climático En El Rendimiento Del Trigo, El Maíz y El Arroz En América Latina.” Pontificia Universidad Javeriana.

Maier, Alexander, Andrew Sharp, and Yuriy Vagapov. 2017. “Comparative Analysis and Practical Implementation of the ESP32 Microcontroller Module for the Internet of Things.” Pp. 143–48 in *2017 Internet Technologies and Applications (ITA)*. IEEE.

Markovic, Dusan, Ranko Koprivica, Uros Pesovic, and Sinisa Randic. 2015. “Application of IoT in Monitoring and Controlling Agricultural Production.” *Acta Agriculturae Serbica* 20(40):145–53.

Meola, Andrew. 2016. “Why IoT , Big Data & Smart Farming Are the Future of Agriculture.” 1–4. Retrieved (http://www.businessinsider.com/internet-of-things-smart-agriculture-2016-10).

Mercado, Gonzalez, Ortiz, Diedrichs, Farreras, Aguirre, Battaglia, Tabacchi, and Tromer. 2011. “RED SIPIA : Red de Sensores Inalámbricos Para Investigación Agronómica.” Pp. 1–5 in *XIII Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación*. Mendoza, Argentina.

Miranda Ruiz, Helen and Gustavo Chafla Altamirano. 2015. “Diseño y Construcción de Un Prototipo Para Control y Monitoreo de Reservorios de Agua Con El Empleo de Comunicación Móvil GSM/ GPRS En Sistemas de Riego.” *SATHIRI* 9(9):193.

Molina, F. Gonzalez. 2019. “Aplicación de Redes Neuronales En El Cálculo de Sobretensiones y Tasa de Contorneamientos.”

Moya Quimbita, Michael Andrés. 2018. “‘Evaluación de Pasarela LoRa / LoRaWAN En Entornos Urbanos.’” Universidad Politecnica de Valencia.

Mulligan, Geoff. 2007. “The 6LoWPAN Architecture.” Pp. 78–82 in *Proceedings of the 4th workshop on Embedded networked sensors*. New York, NY, USA: ACM.

Nóbrega, Luís, Pedro Gonçalves, Paulo Pedreiras, and José Pereira. 2019. “An IoT-Based Solution for Intelligent Farming.” *Sensors* 19(3):603.

Olsson, Jonas. 2014. “6LoWPAN Demystified.” *Texas Instruments* 13.

Shenoy, Jeetendra and Y. Pingle. 2016. “IOT in Agriculture.” Pp. 1456–58 in *2016 3rd International Conference on Computing for Sustainable Global Development (INDIACom)*. New Delhi, India.

Tolieng, Vasana, Budsabathip Prasirtsak, Jaruwan Sitdhipol, Nuttha Thongchul, and Somboon Tanasupawat. 2014. “Summary for Policymakers.” Pp. 1–30 in *Climate Change 2013 – The Physical Science Basis*. Vol. 13. Cambridge University Press.

Tuwanut, P. and S. Kraijak. 2015. “A Survey on IoT Architectures, Protocols, Applications, Security, Privacy, Real-World Implementation and Future Trends.” Pp. 6 .-6 . in *11th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing (WiCOM 2015)*. Institution of Engineering and Technology.

Vinet, Luc and Alexei Zhedanov. 2018. “A ‘Missing’ Family of Classical Orthogonal Polynomials.” Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Welch and Shock. 2013. “Riego Por Goteo: Una Introducción.” March, 1–8.

Xavier, Herrera Acosta Eduardo. 2014. “Estudio, Diseño e Implementación de Un Prototipo de Entrenador de Módulo Raspberry Pi.” UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL.