



“Evaluación de tecnologías LPWAN para guiar el planteamiento de soluciones de comunicación de largo alcance para el sector agrícola del Ecuador. Estudio de caso: monitoreo de calidad del suelo”

Enriquez Hernández, Karla Yazmín

Palacios Cevallos, Melany Jazmín

Departamento de Ciencias de la Computación

Carrera De Tecnologías De La Información (Sistemas e Informática)

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero En Sistemas e Informática

PhD Fonseca Carrera, Efraín Rodrigo

25 de agosto del 2021



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN
CARRERA DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN (SISTEMAS E
INFORMÁTICA)

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, "**Evaluación de tecnologías LPWAN para guiar el planteamiento de soluciones de comunicación de largo alcance para el sector agrícola del Ecuador. Estudio de caso: monitoreo de calidad del suelo**" fue realizado por las señoritas **Enriquez Hernández, Karla Yazmin** y **Palacios Cevallos, Melany Jazmin** el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 23 de agosto de 2021

Firma:

.....
PhD Fonseca Carrera Efraín Rodrigo







CC: 1710979574

Original

Document Information

Analyzed document	Enriquez-Palacios-Proyecto-Titulación-V9-URKUND.docx (D111440856)
Submitted	8/19/2021 12:06:00 AM
Submitted by	Efrain R. Fonseca C.
Submitter email	erfonseca@espe.edu.ec
Similarity	1%
Analysis address	erfonseca.espe@analysis.orkund.com

Sources included in the report

W	URL: https://www.usmp.edu.pe/campus/pdf/revista29/articulo10.pdf Fetched: 8/19/2021 12:07:00 AM	 1
SA	1560581039_680__PROYECTO_FINAL_LORENA_CHASI-SEMINARIO_DE_TITULACION_II.docx Document 1560581039_680__PROYECTO_FINAL_LORENA_CHASI-SEMINARIO_DE_TITULACION_II.docx (D53873367)	 2
W	URL: http://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/9998/5/15628.pdf Fetched: 1/30/2021 3:42:33 AM	 1
W	URL: https://fup.edu.co/micrositios/sistemas/wp-content/uploads/EVALUACION-Y-ELECCION-DE-LA-TECNOLOGIA-DE-COMUNICACION-MAS-ADECUADA-PARA-UNA-RED-DE-SENSORES-EN-UN-PROTOTIPO-DE-SISTEMA-DE-RIEGO-ENCULTIVOS-FLORES-TIPO-INVERNADERO-DE-ASOFLORECA.pdf Fetched: 12/16/2020 4:43:57 PM	 1
SA	TESIS LORA ACH sin imagenes.pdf Document TESIS LORA ACH sin imagenes.pdf (D62496268)	 1
SA	Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE / Tesis_Ramirez_Ruales.pdf Document Tesis_Ramirez_Ruales.pdf (D109308890) Submitted by: aoramirez@espe.edu.ec Receiver: drrivas.espe@analysis.orkund.com	 1

Firma:



.....

PhD Fonseca Carrera Efrain Rodrigo



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN
CARRERA DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN (SISTEMAS E
INFORMÁTICA)

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Nosotras, **Enriquez Hernández Karla Yazmín**, con cédula de ciudadanía Nro. 172406781-2, y **Palacios Cevallos Melany Jazmín** con cédula de ciudadanía Nro. 172189259-2 declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“Evaluación de tecnologías LPWAN para guiar el planteamiento de soluciones de comunicación de largo alcance para el sector agrícola del Ecuador. Estudio de caso: monitoreo de calidad del suelo”** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 25 de agosto del 2021

Enriquez Hernández Karla Yazmín

C. C. 172406781-2

Palacios Cevallos Melany Jazmín

C. C. 172189259-2



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN
CARRERA DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN (SISTEMAS E
INFORMÁTICA)

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Yo, **Enriquez Hernández Karla Yazmín**, con cédula de ciudadanía Nro. 172406781-2, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **Evaluación de tecnologías LPWAN para guiar el planteamiento de soluciones de comunicación de largo alcance para el sector agrícola del Ecuador. Estudio de caso: monitoreo de calidad del suelo** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 25 de agosto del 2021

Enriquez Hernández Karla Yazmín

C. C. 172406781-2



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN
CARRERA DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN (SISTEMAS E
INFORMÁTICA)

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Yo, **Palacios Cevallos Melany Jazmín**, con cédula de ciudadanía Nro. 172189259-2, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **Evaluación de tecnologías LPWAN para guiar el planteamiento de soluciones de comunicación de largo alcance para el sector agrícola del Ecuador. Estudio de caso: monitoreo de calidad del suelo** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 25 de agosto del 2021

Palacios Cevallos Melany Jazmín

C. C. 1721892592

DEDICATORIA

Dedico el trabajo de titulación a mi mamá, papá y hermanas que han sido la fuerza, apoyo y guía en cada paso que di a lo largo de este transcurso, a mis abuelitas que aún están conmigo viendo como sigo adelante mientras me brindan su cariño, a mis abuelitos que se adelantaron en el camino de la vida y me cuidan desde el cielo, a toda mi familia que ha estado conmigo independiente de las circunstancias.

También lo dedico a mis amigos, los que conocía antes de esta etapa, pues sin importar los distintos caminos que elegimos, siguieron junto a mí y los amigos que hice a lo largo del estudio de mi carrera profesional, han sido grandes compañeros que hicieron la estancia en la universidad algo inolvidable.

Karla Yazmín Enriquez Hernández

DEDICATORIA

El presente trabajo lo dedico en primer lugar a mis padres quienes han sido ejemplo de esfuerzo y dedicación, y con su eterna calidez y amor han sido la más grande inspiración para seguir mis sueños.

Lo dedico a mis hermanos, abuelitos, tíos y demás familiares quienes han sabido darme la fuerza necesaria para culminar mis estudios con cada palabra de aliento, con su apoyo incondicional y con toda la confianza que depositaron en mi durante este proceso.

Lo dedico a mis amigos quienes han caminado junto a mi a pesar de las dificultades y me han brindado años de muchas risas y momentos de alegría que me han dado el entusiasmo para seguir en cada etapa del proceso.

Melany Jazmín Palacios Cevallos

AGRADECIMIENTOS

Al concluir esta maravillosa etapa quiero agradecer de la manera más sincera a quienes me permitieron hacer realidad este sueño.

En primer lugar, a mi familia por brindarme todo lo necesario para seguir mis estudios superiores, además de apoyarme en las decisiones que tome a lo largo de la misma, demostrándome todo el amor que me tienen estando conmigo en los buenos y malos momentos de esta trayectoria, principalmente mi madre Jaqueline, mi padre Milton y mis hermanas Evelyn, Stefany y Sheylee.

En segundo lugar, a la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE por prepararme como una buena profesional, a todos los docentes que a lo largo de la carrera me otorgaron sus copiosos conocimientos, a mi director de tesis y mis compañeros con los que compartí los salones de clase.

En tercer lugar, a mi compañera de tesis, Melany, por su excelente desempeño ya que formamos un increíble equipo desarrollando este trabajo de titulación y a su familia por todo su apoyo.

En cuarto lugar, a todos mis amigos que estuvieron conmigo en los días buenos y malos, los que brindaron recuerdos únicos y en los que siempre pude encontrar una mano extendida cuando lo necesité.

En quinto lugar, a Dios por darme la salud, bienestar, coraje y sabiduría para culminar esta etapa, además de poner en mi vida a las personas mencionadas anteriormente.

Karla Yazmín Enriquez Hernández

AGRADECIMIENTOS

Agradezco en primer lugar a mis padres Xavier y Johanna y a mis hermanos Xavi y Dani, por ser el mas grande apoyo en todo momento, por siempre creer en mis capacidades y contagiarme de esa confianza en los momentos más difíciles, por los sacrificios y la paciencia que han tenido conmigo, y sobre todo por su amor incondicional que me ha impulsado a cumplir mis sueños.

A mis abuelitos Ceci, Carlos, Isabel y Hernán que me han brindado su sabiduría y han vivido junto a mi de la manera más empática y tierna este proceso. Gracias por su gran entusiasmo, por su ayuda y por brindarme todo lo que estuvo en sus manos para cumplir esta meta. A mis tíos, primos y demás familiares que con su cariño incondicional y sus pequeños detalles han sabido darme ánimos y fuerza en este proceso.

A Karlita, que ha sido la mejor amiga y compañera de tesis que pude elegir, gracias por aportar con tu amplia inteligencia, con tu firmeza y con tu amistad y por no rendirte a pesar de las dificultades. Gracias a tu familia por su apoyo y paciencia.

A mis amigos y pareja que han hecho de esta etapa de mi vida una gran experiencia, que han sabido acompañarme en todo momento, y que me han enseñado a disfrutar de la vida y me han regalado tantos momentos de alegría.

A la ESPE, a mis docentes y a mi tutor de tesis que han sabido brindarme sus conocimientos y dedicación, que han sido de vital importancia para mi formación profesional.

A Dios y a la vida por las oportunidades, por la salud y por la fuerza que ha sido indispensable para llegar a cumplir este sueño.

Melany Jazmín Palacios Cevallos

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	6
DEDICATORIA.....	7
AGRADECIMIENTOS	8
AGRADECIMIENTOS	9
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	10
ÍNDICE DE TABLAS.....	11
ÍNDICE DE FIGURAS	12
RESUMEN	2
Abstract.....	3
Capítulo I.....	4
Introducción	4
Antecedentes	6
Problemática	10
Justificación.....	13
Objetivos	14
Objetivo General.....	14
Objetivos Específicos.....	14
Alcance	15
Hipótesis	18
Capítulo II.....	19

	11
Marco Metodológico.....	19
Selección de Estudios Primarios	33
Red de Categorías	46
Fundamentación Científica de la Variable Independiente.....	48
Tecnologías de la información y la comunicación.....	48
Redes de comunicación	49
Redes inalámbricas.....	51
Fundamentación Científica de la Variable Dependiente.....	55
Tecnologías de la información en la agricultura.....	55
Soluciones de comunicación para el sector agrícola	56
Comunicación de largo alcance en el sector agrícola.....	56
Soluciones de largo alcance para el monitoreo de suelo.....	57
Capítulo IV	59
Caso de Estudio para Evaluación de Tecnologías LPWAN.....	59
Capítulo V	84
Evaluación de Tecnologías LPWAN.....	84
Descripción	84
Bibliografía	116

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Preguntas de investigación	15
Tabla 2 Grupo de Control.....	21
Tabla 3 Versiones cadena de búsqueda	24

Tabla 4	Palabras ordenadas por contexto.....	28
Tabla 5	Selección de Estudios Relevantes	33
Tabla 6	Selección de Estudios Primarios	34
Tabla 7	Estudios primarios.....	34
Tabla 8.	Aplicación de Design Science	45
Tabla 9	Variables por analizar en el monitoreo del suelo	60
Tabla 10	Características de los sensores.....	62
Tabla 11	Características de los nodos	63
Tabla 12	Características de los Gateway	64
Tabla 13	Datos tabulados en el primer punto.....	91
Tabla 14	Datos tabulados en el segundo punto	94
Tabla 15	Datos tabulados en el tercer punto.....	97
Tabla 16	Datos tabulados en el segundo punto	101
Tabla 17	Tabla de equivalencias RSSI Sigfox.....	105
Tabla 18	Tabla de equivalencias RSSI LoRaWAN.....	107

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Cobertura de la Operadora CLARO.....	7
Figura 2.	Árbol de problemas.....	12
Figura 3	Proceso de Selección	31
Figura 4	Búsqueda de estudios candidatos	32
Figura 5.	Ciclo de ingeniería de Wieringa	43

Figura 6	Red de categorías variable independiente	47
Figura 7	Red de categorías variable dependiente.....	48
Figura 8	Arquitectura General.....	61
Figura 9	Subsistema de recolección de datos.....	66
Figura 10	Código Arduino para el procesamiento de datos.....	67
Figura 11	Código Arduino para la comunicación con sensor digital	68
Figura 12	Subsistema de procesamiento de datos	68
Figura 13	Subsistema de transmisión de datos	69
Figura 14	Sistema LG01-N	70
Figura 15	Subsistema de monitoreo de datos.....	71
Figura 16	Campos creados en el canal.....	72
Figura 17	Gráfico de los datos de humedad	72
Figura 18	Gráfico de los datos de temperatura	73
Figura 19	Diagrama de Arquitectura General.....	73
Figura 20	Arquitectura general de Sigfox.....	74
Figura 21	Subsistema de recolección y procesamiento de datos.....	75
Figura 22	Inicio del formulario para registro en Sigfox	76
Figura 23	Continuación del formulario para registro en Sigfox.....	76
Figura 24	Página de inicio de sesión	77
Figura 25	Características del equipo registrado.....	77
Figura 26	Librerías en Python para Sigfox.....	78
Figura 27	Subsistema de transmisión de datos	79
Figura 28	Datos transmitidos de Sigfox	80

Figura 29 Información del dispositivo.....	81
Figura 30 Configuración del callback, parte 1	82
Figura 31 Configuración del callback, parte 2	82
Figura 32 Resultados de las mediciones en thingspeak	83
Figura 33 Vista superior parroquia Leitillo	85
Figura 34 Mapa de cobertura de la red Sigfox sector Ambato	86
Figura 35 Ubicación de la parroquia Leitillo	86
Figura 36 Distancia entre el primer punto y el origen	88
Figura 37 Vista tramo nodo-Gateway.....	88
Figura 38 Datos LoRAWAN en Thingspeak.....	89
Figura 39 Datos Sigfox en Thingspeak	90
Figura 40 Datos recibidos en el backend de sigfox	90
Figura 41 Ubicación y distancia punto dos.....	92
Figura 42 Datos LoRAWAN en Thingspeak.....	93
Figura 43 Datos Sigfox en Thingspeak	93
Figura 44 Datos recibidos en el backend de Sigfox	94
Figura 45 Ubicación y distancia punto tres	95
Figura 46 Datos LoRAWAN en Thingspeak.....	96
Figura 47 Datos Sigfox en Thingspeak	96
Figura 48 Datos recibidos en el backend de sigfox	97
Figura 49 Ubicación y distancia punto uno	98
Figura 50 Ubicación y distancia punto dos.....	99
Figura 51 Datos LoRaWAN en Thingspeak	100

Figura 52 Datos Sigfox en Thingspeak	100
Figura 53 Datos recibidos en el backend de sigfox	101
Figura 54 Ubicación y distancia punto tres	102
Figura 55 Ubicación y distancia punto cuatro.....	103
Figura 56 Análisis RSSI Sigfox	104
Figura 57 Análisis RSSI LoRaWAN	106

RESUMEN

El monitoreo del suelo en el sector agrícola es de vital importancia para evitar la degradación del suelo y la afectación al medio ambiente que aparecen como consecuencia de prácticas agrícolas insostenibles. Un sistema de monitoreo enfocado en la evaluación continua de las propiedades del suelo podría ser de gran ayuda, proporcionando datos para que los agricultores tomen medidas preventivas y correctivas con respecto a su uso.

Los retos que se presentan para desplegar sistemas de monitoreo son debido a las características de los lugares donde se desarrolla, pues son áreas extensas de terreno donde las redes de comunicación tradicional no tienen cobertura. Existen propuestas en las que se sugiere el uso de las diferentes tecnologías de largo alcance LPWAN.

En el presente trabajo se estableció lineamientos para guiar el planteamiento de soluciones de monitoreo del suelo en el sector agrícola, para esto se planteó una evaluación comparando las características de tecnologías LoRaWAN y Sigfox en diferentes escenarios mediante dos prototipos (uno para cada tecnología), que recogían datos de temperatura y humedad del suelo.

Al finalizar la investigación se pudo concluir que los factores que más influyen sobre el rendimiento de estas tecnologías son los obstáculos y la distancia en el tramo nodo-gateway. La tecnología con mejor rendimiento en la mayoría de los escenarios planteados fue Sigfox, presentando una mejor confiabilidad y mayor área de cobertura llegando a 4km sin la presencia de obstáculos, mientras que LoRaWAN llegó a 1.5km bajo las mismas condiciones.

Palabras clave: Agricultura, Suelo, LoRaWAN, SigFox, LPWAN

Abstract

Soil monitoring in the agricultural sector is of vital importance to avoid soil degradation and damage to the environment that appear as consequence of unsustainable agricultural practices. A monitoring system focused on the continuous evaluation of soil properties could be of great help, providing data for farmers to take preventive and corrective measures regarding its use.

The challenges that arise to implement soil monitoring systems are due to the places' characteristics where agriculture is developed, since they are extensive areas of land where traditional communication networks do not have coverage. There are proposals in which the use of different LPWAN long-range technologies is suggested.

In the present work, guidelines were established to guide the approach to soil monitoring solutions in the agricultural sector, for this an evaluation was proposed comparing the characteristics of LoRaWAN and Sigfox technologies in different scenarios through two prototypes (one for each technology), which collected data on soil temperature and humidity.

At the end of the investigation, it was possible to conclude that the factors that most influence the performance of these technologies are the obstacles and the distance in the node-gateway stretch. The technology with the best performance in most of the scenarios proposed was Sigfox, presenting better reliability and greater coverage area reaching 4km without the presence of obstacles, while LoRaWAN reached 1.5km under the same conditions.

Palabras clave: agriculture, soil, LoRaWAN, SigFox, LPWAN

Capítulo I

Introducción

El aparecimiento de la agricultura se remonta al periodo neolítico, constituyéndose como el arte de cultivar la tierra, con el propósito de responder a la necesidad de producir alimentos (Marcos, 2018). A lo largo de la historia los humanos han buscado la manera de aumentar dicha producción para satisfacer sus necesidades básicas de alimentación (Vasey, 2002), los primeros pasos en este contexto fueron la observación y la práctica, creando como resultado diferentes técnicas agrícolas (Vasey, 2002). Con el pasar del tiempo la agricultura ha ido evolucionando, convirtiéndose en un referente de la economía global, pues representa un tercio de su producto interno bruto (PIB), y es considerada como una de las herramientas más efectivas para la lucha contra la pobreza (Preneuf, 2019).

No obstante, con el incremento exponencial de la población la agricultura se ha visto obligada a emplear prácticas inadecuadas como la sobre explotación de la tierra, la deforestación y el riego deficiente (Abraham, 2008). Como consecuencia, el medio ambiente y en particular la calidad del suelo se ven amenazados (Mbow, Reisinger, Canadell, & O'Brien, 2017). Un informe de la Comisión Europea y del Programa de Medio Ambiente de la ONU (PNUMA) (Mbow, Reisinger, Canadell, & O'Brien, 2017) indica que la agricultura es uno de los sectores que más deteriora el medio ambiente debido a la utilización desmedida del suelo, lo que provoca su erosión.

La degradación del suelo representa un obstáculo para lograr la productividad biológica sostenible (producir sin perder sus propiedades), mantener la calidad ambiental y favorecer a la salud de los cultivos (Cruz, Barra, del Castillo, & Gutiérrez,

2004), por lo que su protección es básica para la supervivencia de la vida en el planeta (Ragnarsdóttir & Banwart). Para proteger el suelo se precisa de análisis que permitan a los agricultores reaccionar oportunamente ante cambios en sus parámetros, tales como nivel de humedad, fertilidad y nutrientes (Villasanti, Román, & Pantoja, 2013). Sin embargo, la manera tradicional de evaluar la calidad del suelo es llevando muestras al laboratorio periódicamente para que se realicen dichos análisis, lo que impide la respuesta oportuna que se precisa (Hassan, et al., 2019).

Pese a la existencia de sistemas automatizados para realizar el monitoreo y la evaluación de parámetros del suelo en tiempo real, que generalmente son utilizados en granjas agrícolas industriales (Hassan, et al., 2019), su aplicabilidad es improcedente en granjas pequeñas de ubicación marginal, debido a que la cobertura de las redes tradicionales es pobre o inexistente y la conexión efectiva a través de cables es imposible debido a las condiciones naturales (Borrero, Fernández, & Rodríguez, 2019). Respecto a conexiones inalámbricas hay algunas con limitaciones para zonas alejadas, como conectividad satelital; otras con mayor capacidad como las alternativas de la tecnología LPWAN. Esta variedad de alternativas representa un reto al momento de identificar la tecnología más adecuada para aplicar en diferentes contextos agrícolas donde se requiere un monitoreo en tiempo real de la calidad del suelo.

Esta situación nos motivó a evaluar dos de las tecnologías LPWAN más utilizadas que son Sigfox y LoRa mediante prototipos planteados bajo una arquitectura base y aplicados al monitoreo de la calidad del suelo. Como resultado de la evaluación se consiguió plantear lineamientos para conocer que tecnología es la óptima en los diferentes escenarios propuestos pertenecientes al caso de estudio.

Antecedentes

El apareamiento de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) ha incidido profundamente en la sociedad de diferentes formas. Por ejemplo, reduciendo los costos relacionados con la gestión de la información, creando nuevos modelos de colaboración para aumentar la eficiencia de los trabajadores (Fuentes, Jurado, Marín, & Cámara, 2012), promoviendo la innovación y mejorando la educación (Erazo H. A., 2010), mejorando diferentes industrias como la agricultura, entre otras.

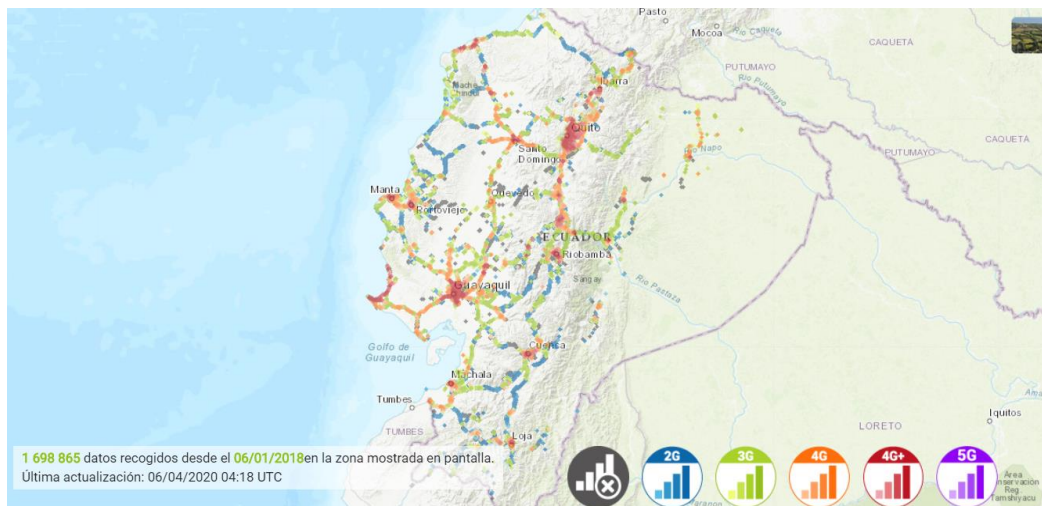
Esto da a notar la presencia de una creciente necesidad de comunicación entre las personas y los servicios ofrecidos a través de las TIC (Arellano & Cámara, 2017); lo cual, representa un reto para los países, puesto que esto significa una creciente demanda de infraestructura tecnológica.

De acuerdo con un informe publicado por el Banco de desarrollo de América Latina CAF a finales de 2017, “la inversión en infraestructura de telecomunicaciones per cápita PPA acumulada de cinco años en América Latina y el Caribe es de US\$462.80, exactamente la mitad de los países de la OCDE¹ (US\$852.18)” (de América Latina, 2017), lo que indica que en América Latina aún no se hace la inversión necesaria para alcanzar la cobertura de comunicación de los países desarrollados. Esto es muy evidente en varias zonas de su territorio; de hecho, según la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL)² en 2017 el acceso a internet en zonas rurales en los países en vías de desarrollo se encontraba entre el 10 y 40% (Agudelo, y otros, 2020).

El Ecuador no es la excepción. Según el boletín publicado por Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL)³ en febrero del 2020, al finalizar el año 2019 existían 18.279 radio bases instaladas, en donde la tecnología que predominaba era 3G con un 50.99%, seguida de 4G con un 30.04% y finalmente la tecnología 2G con un 18.97% (ARCOTEL, 2020). ARCOTEL indica que la operadora con más porcentaje de mercado hasta noviembre del 2019 es CLARO. Como se muestra en la Figura 1, gran parte del territorio tiene cobertura de las diferentes generaciones móviles, pero aún hay áreas en las que no existe implementación de este medio de comunicación.

Figura 1

Cobertura de la Operadora CLARO



Nota: La figura presenta los puntos de cobertura de tecnologías 2G,3G,4G y 5G en Ecuador por parte de la operadora Claro (“Panorama de mercado - Ecuador.”, 2020).

Sin embargo, las redes tradicionales en algunos casos no son aptas para dar solución a problemas particulares como por ejemplo, el monitoreo ambiental, detección de incendios (Sendra, García, Lloret, Bosch, & Vega-Rodríguez, 2020) y su uso en la agroindustria, donde se necesita la implementación de nuevas tecnologías que aporten en la solución de los problemas recurrentes a los que se enfrenta, como la monitorización de los cultivos y el control de los procesos de producción, los cuales actualmente se realizan con el uso de redes de datos tradicionales, que al no ser aptas para este fin, representan un alto costo y consumo de energía (Coronado, Díaz-Ramírez, Quintero, Rosas, & Camacho, 2019).

Para afrontar estos problemas relativos al suelo se han desarrollado propuestas tales como la agricultura de precisión, que consiste en el empleo de las tecnologías de la información modernas para poder optimizar la producción teniendo como entrada datos que reduzcan la incertidumbre existente dentro de los sistemas agrícolas (Gebbers & Adamchuk, 2010). Estos sistemas son puestos en marcha principalmente en las grandes industrias ya que su instalación es en extremo costosa (2006), la principal tecnología con la que trabajan estos sistemas es LAN Wireless por lo cual existen zonas en donde no es viable aplicar por la falta de cobertura.

Para poder dar soporte al monitoreo de la calidad del suelo en la agricultura en sitios inhóspitos donde las redes tradicionales no tienen cobertura, se propone el uso de tecnologías que permiten implementar redes de sensores (WSN) entre las cuales se encuentran tecnologías de largo alcance como LoRa, Sigfox y NB-IoT y las comunicaciones inalámbricas como ZigBee (Feng, Yan, & Liu, 2019).

Como una alternativa de solución se proponen modelos que involucran al internet de las cosas para un control más completo de diversos factores como la calidad del suelo y monitoreo ambiental para proporcionar condiciones óptimas para los cultivos. IoT permite gestionar diversos sistemas y procesos; por ejemplo, en (Pitu & Gaitan, 2020) se propone un sistema de monitoreo basado en la tecnología Sigfox, donde se recolecta información sobre el medio ambiente con el propósito de tomar las medidas adecuadas a favor del crecimiento óptimo de los cultivos.

Por otro lado, en (Deng, Zuo, Wen, & Wu, 2020) proponen el monitoreo de la temperatura y humedad del suelo utilizando RFID y LoRa, para controlar los parámetros óptimos de sus propiedades. Mientras que, en (Devi & Muthukannan, 2020) se propone una solución IoT en una transformación digitalizada, es decir que después de realizar una revisión de todas las actividades que conforman la agricultura, buscan como reemplazarla u optimizarla con aplicaciones IoT logrando que sea una agricultura inteligente. En (Co, et al., 2018) se presenta una propuesta de monitoreo del suelo utilizando una combinación de redes inalámbricas de sensores con LoRa para determinar en línea diferentes condiciones como el pH del suelo, humedad, temperatura.

Como se puede apreciar existe una diversidad de propuestas de sistemas de monitoreo que buscan recolectar información sobre la condición ambiental y del suelo utilizando redes inalámbricas de sensores y tecnologías de largo alcance LPWAN; no obstante, a nuestro buen entender no existen estudios asentados en donde se precisen las ventajas y desventajas de dichas tecnologías para su selección. Esto nos motivó a realizar este estudio, el cual tiene como propósito evaluar tecnologías LPWAN para

guiar el planteamiento de comunicación de largo alcance para el sector agrícola del Ecuador, tomando como un estudio de caso el monitoreo de la calidad del suelo.

Problemática

La problemática que será abordada en esta investigación es la dificultad en la selección de tecnologías adecuadas para soluciones de comunicación de largo alcance para monitoreo de la calidad del suelo en el sector agrícola.

La Unión Internacional de Telecomunicaciones publicó en el 2017 un informe sobre el estudio “Telecomunicaciones/TIC para las zonas rurales y distantes” (Unión Internacional de Telecomunicaciones, 2017) en donde estudiaron la situación de dichas zonas debido a la carencia tecnológica, con la consideración que las tecnologías en las zonas rurales y distantes sean las mismas que se utilizan comúnmente en todo el mundo. Los principales retos que se encontraron al analizar la situación son:

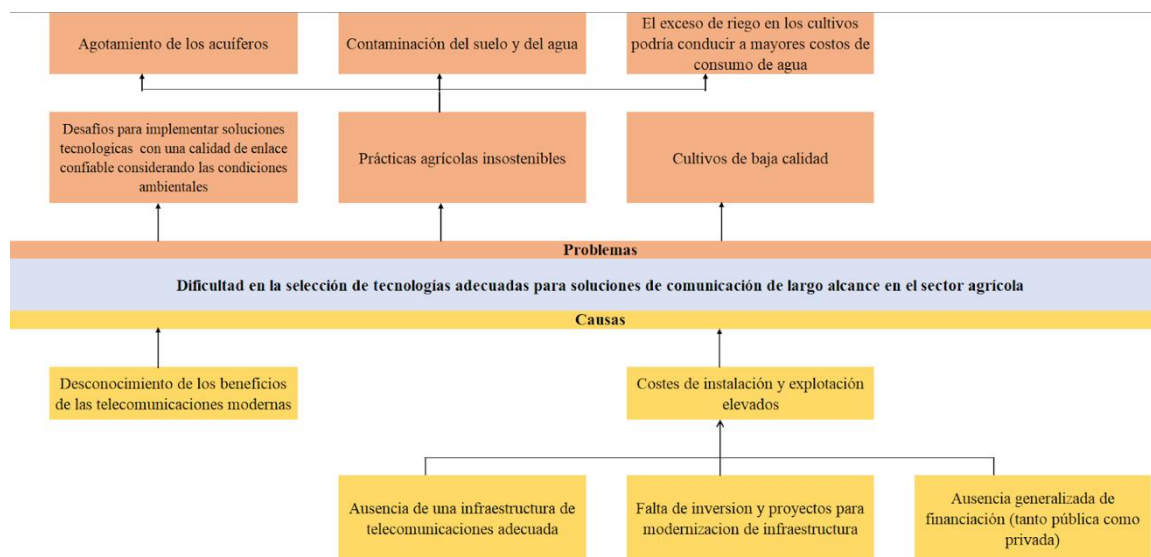
- Acceso geográfico problemático a causa de la distancia, la orografía, la mala calidad de las redes de carreteras/transporte y la lejanía de algunas comunidades rurales.
- Obsolescencia o ausencia de infraestructuras básicas tales como suministro eléctrico regular, lo cual afecta costes de instalación y explotación.
- Bajos ingresos, falta de disponibilidad de los ingresos y pobreza relativa de la población rural.
- Baja demanda debido al desconocimiento de los beneficios de las telecomunicaciones modernas.

- Desconocimiento de los beneficios de las telecomunicaciones modernas, lo que da lugar a que la demanda actual sea pequeña en ciertas zonas.

En la Figura 2 se presenta el árbol de problemas para el cual se toma como referencia los retos antes mencionados que se plantean como las causas que provocan el problema planteado.

En cuanto a los efectos o problemas, listados en la Figura 3, se puede destacar el empleo de prácticas agrícolas insostenibles, ya que no se emplean procesos de monitoreo y control que permiten un mejor aprovechamiento de recursos (Reboud, 2019). Esto a su vez deriva en afectaciones al medio ambiente, como el agotamiento de las fuentes acuíferas necesarias para el mantenimiento de los ecosistemas, así como la contaminación del suelo y el agua, según se menciona en “Aplicando la tecnología a la agricultura podremos salvar el mundo” (Robles, 2016). Finalmente, este tipo de prácticas, como el riego excesivo de cultivos, representa un incremento en el costo de consumo de agua, lo que afecta en la parte financiera de los agricultores (Sigfox, 2020). Por otra parte, al no emplear tecnologías que ayuden al monitoreo del suelo, se obtienen cultivos de baja calidad, o incluso se puede llegar a la pérdida o daño de estos al no proporcionar las condiciones para su crecimiento adecuado. En lo que se refiere a las soluciones tecnológicas, si no se emplea una tecnología que se adapte a las condiciones ambientales donde se desarrolla el sector agrícola, se enfrentan desafíos en temas de calidad de enlace confiable y cobertura para zonas de amplio rango (Ruiz-García, Lunadei, Barreiro, & Robla, 2009).

Figura 2.

Árbol de problemas

En el presente trabajo se aborda la ausencia de una infraestructura de telecomunicaciones adecuada, pues para desplegar sensores que permitan el monitoreo de suelo para mejora del sector de la Agricultura, se necesita tener tecnologías de comunicación de largo alcance con un consumo de energía mínimo; por otra parte, se busca abordar los costes de instalación y explotación elevados ya que realizar el despliegue de este tipo de sistemas utilizando telecomunicaciones tradicionales como la red celular involucra costos por nodo que no son accesibles para muchos agricultores. Con esto, el objetivo es minimizar las prácticas agrícolas insostenibles, otorgando datos acerca de la cantidad de riego necesaria para el suelo, así evitando el exceso de riego de los cultivos y a su vez contrarrestando el agotamiento de los acuíferos y la contaminación del suelo y el agua. Finalmente, al establecer una

comparativa entre tecnologías más adecuadas para la aplicación en este escenario, se intenta reducir los desafíos para implementar soluciones tecnológicas con una calidad de enlace confiable considerando las características del ambiente donde son utilizadas.

Justificación

El desarrollo tecnológico ha avanzado en los últimos años, llegando a ser empleado en cada aspecto de la sociedad moderna. Se ha introducido el uso de las TICS para mejorar procesos en áreas como la educación (Gil, 2006), la salud (Ramos, 2007) y sobre todo la industria (Mon & Del Giorgio, 2019). El uso ampliado de tecnologías viene acompañado de la necesidad de infraestructura de comunicación que ha ido evolucionando para adaptarse a los sitios y condiciones donde se requiere su uso. Los beneficios de estos avances son múltiples y al existir una gama amplia de opciones tecnológicas, resulta un reto elegir la más adecuada para las necesidades específicas de un sector.

En cuanto al sector agrícola, se aplican las tecnologías para procesos de mejora de sostenibilidad y conservación de los cultivos, uno de estos procesos es el monitoreo de suelo (Marco Brown & Reyes Gil, 2003). La orientación de la agroindustria combinada con el uso de nuevas tecnologías trae múltiples beneficios para el sector entre los que se destacan reducir la estacionalidad de la oferta de ciertos productos y la capacidad de reducir las pérdidas post-cosecha (Salvado Manzorro, 2013).

Las consecuencias en el sector agrícola al no encontrar las tecnologías más adecuadas para soluciones de comunicación de largo alcance que permitan plantear sistemas de monitoreo son principalmente la aplicación de prácticas agrícolas no

sostenibles que a su vez producen contaminación del suelo y el agua, ya que, por exceso de riego en los cultivos, se provoca un agotamiento en los acuíferos. Además, los cultivos al no ser tratados con un proceso adecuado son de baja calidad (Reboud, 2019). Debido a eso, se busca controlar la calidad del suelo, principalmente la humedad ya que de esa forma los cultivos tendrán el riego necesario, el contenido de acuíferos será utilizado en la medida correcta y los cultivos irán mejorando la calidad por la adecuación del proceso.

Objetivos

Objetivo General

Establecer lineamientos que guíen el planteamiento de soluciones de comunicación de largo alcance para el monitoreo de la calidad del suelo en el sector agrícola del Ecuador, mediante la evaluación de tecnologías LPWAN.

Objetivos Específicos

- Determinar las causas y efectos de la problemática en torno a la dificultad en la selección de tecnologías adecuadas para soluciones de comunicación de largo alcance en el sector agrícola, a través de un estudio exploratorio.
- Determinar la viabilidad de la utilización de tecnologías LPWAN como propuesta de solución a la dificultad en la selección de tecnologías adecuadas para soluciones de comunicación de largo alcance en el sector agrícola, mediante la realización de una revisión de literatura preliminar.
- Evaluar las tecnologías Sigfox y LoRaWAN a través de un caso de estudio implementando prototipos orientados al monitoreo de calidad del suelo para el sector agrícola.

- Establecer lineamientos para guiar el uso de las tecnologías Sigfox y LoRaWAN en el monitoreo de la calidad del suelo para el sector agrícola.

Alcance

Esta investigación comprende la evaluación de tecnologías LPWAN con el propósito de establecer guías para el planteamiento de soluciones de comunicación de largo alcance en el sector agrícola. Las tecnologías por evaluar son LoRaWAN y Sigfox, para ello se desarrollará un prototipo para cada una. Cada prototipo estará orientado a recolectar las mediciones de calidad del suelo para lo cual se utilizarán los parámetros: variaciones críticas de humedad, salinidad y temperatura. Una vez desarrollados los prototipos se realizará la evaluación de las tecnologías en el estudio de caso planteado, definiendo características que permitan determinar la utilidad de las herramientas en base a parámetros de calidad de la red.

Para delimitar de una manera adecuada el alcance de la investigación, se proponen varias preguntas de investigación asociadas a los objetivos específicos, tal como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1

Preguntas de investigación

Objetivo específico	Pregunta de investigación
OE1 Determinar las causas y efectos de la problemática en torno a la dificultad en la selección de tecnologías	RQ1 ¿Cuáles son las principales causas que inciden en la comunicación de largo alcance en el sector agrícola?

<p>adecuadas para soluciones de comunicación de largo alcance en el sector agrícola, a través de un estudio exploratorio bibliográfico y observacional.</p>	<p>RQ2 ¿Cuáles son los principales efectos que inciden en la comunicación de largo alcance en el sector agrícola?</p>
<p>OE2 Determinar la viabilidad de la utilización de tecnologías LPWAN como propuesta de solución a la dificultad en la selección de tecnologías adecuadas para soluciones de comunicación de largo alcance en el sector agrícola, mediante la realización de una revisión de literatura preliminar.</p>	<p>RQ3 ¿Qué tipos de implementaciones basadas en tecnologías LPWAN existen en la actualidad para el monitoreo de la calidad del suelo en el sector agrícola?</p> <p>RQ4 ¿Qué parámetros son utilizados para evaluar la calidad de una red LPWAN empleada para el monitoreo del suelo en el sector agrícola?</p> <p>RQ5 ¿Con qué frecuencia se han presentado propuestas de comunicación basadas en tecnologías LPWAN empleadas para el monitoreo del suelo en el sector agrícola?</p>
<p>OE3 Evaluar las tecnologías Sigfox y LoRaWAN a través de un caso de estudio</p>	<p>RQ6 ¿Cuáles son las características que tiene LoRaWAN para dar comunicación</p>

<p>implementando prototipos orientados al monitoreo de calidad del suelo para el sector agrícola</p>	<p>de largo alcance en el monitoreo de suelo para el sector agrícola?</p> <p>RQ7 ¿Cuáles son las características que tiene Sigfox para dar comunicación de largo alcance en el monitoreo de suelo para el sector agrícola?</p> <p>RQ8 ¿Cuáles son las diferencias entre LoRaWAN y Sigfox en el contexto de comunicación de largo alcance en el monitoreo de suelo para el sector agrícola?</p>
<p>OE4 Establecer lineamientos para guiar el uso de las tecnologías Sigfox y LoRaWAN en el monitoreo de la calidad del suelo para el sector agrícola.</p>	<p>RQ9 ¿En qué escenario puede variar el rendimiento de las tecnologías LoRaWAN y Sigfox para el monitoreo de la calidad del suelo en el sector agrícola?</p> <p>RQ10 ¿En qué escenarios es conveniente utilizar Sigfox para dar solución de comunicación de largo alcance en el monitoreo de suelo para el sector agrícola?</p>

	RQ11 ¿En qué escenarios es conveniente utilizar LoRaWAN para dar solución de comunicación de largo alcance en el monitoreo de suelo para el sector agrícola?
--	--

Nota: Esta tabla especifica los objetivos junto a las preguntas de investigación de cada uno.

Hipótesis

La evaluación de tecnologías LPWAN permitirá establecer lineamientos para guiar el planteamiento de soluciones de comunicación de largo alcance, enfocada en el monitoreo de la calidad del suelo en el sector agrícola en Ecuador.

Capítulo II

Marco Metodológico

Estado del Arte

El estudio del estado del arte se realizó en base a una revisión de literatura preliminar basada en las guías de revisión de literatura propuestas por Barbara Kitchenham (Kitchenham, Budgen, & Brereton, 2015). En primer lugar, se estableció un contexto sobre el problema a tratar para realizar la búsqueda de estudios. A paso seguido, se definió el objetivo de la búsqueda y a su vez el planteamiento de las preguntas de investigación para enfocar la investigación en torno a la problemática a ser estudiada y se estableció criterios de inclusión y exclusión a ser utilizados durante toda la investigación (Kitchenham, Budgen, & Brereton, 2015).

Criterios de inclusión y exclusión

Los criterios de inclusión y exclusión establecidos para la presente investigación son los siguientes:

Criterios inclusión

- Estudios actuales que reporten soluciones de comunicación emergentes de largo alcance para el monitoreo del suelo en el sector agrícola.
- Estudios actuales que reporten soluciones donde se detallen las características de las tecnologías de comunicación de largo alcance utilizadas el monitoreo del suelo en el sector agrícola, tal que se facilite la

identificación de su aplicabilidad de acuerdo con las características del contexto donde son utilizadas.

- Artículos actuales que reporten estudios comparativos de soluciones de comunicación de largo alcance para el monitoreo del suelo en el sector agrícola.

Criterios exclusión

- Artículos donde se hable de soluciones para monitoreo del suelo, pero no se encuentre enfocado al sector agrícola.
- Artículos donde se hable de monitoreo del suelo en el sector agrícola pero no se encuentre enfocado a soluciones de largo alcance.
- Artículos donde se hable de soluciones de comunicación de largo alcance para aplicaciones en la agricultura pero que no son referentes al monitoreo del suelo.
- Artículos publicados antes del 2015 o que provengan de revistas o conferencias no fiables, o que estén escritos en un idioma diferente al inglés.

A continuación, se describe de forma detallada el flujo que se siguió para la revisión de literatura preliminar, teniendo en cuenta que los pasos generales son:

- Conformación del grupo de control (GC) y extracción de palabras relevantes
- Construcción y afinación de la cadena de búsqueda

- Selección de estudios
- Resumen de los Estudios Primarios

A. Conformación del grupo de control (GC) y extracción de palabras relevantes

La conformación del grupo de control es una actividad enfocada en identificar estudios cuyas características corresponden a las establecidas en los criterios de inclusión. Por otra parte, los estudios del grupo de control se constituyen como la fuente de la cual se obtienen los términos utilizados para estructurar la cadena de búsqueda (Zhang, Babar, & Tell, 2011). En este estudio cada investigador buscó artículos que podrían ser parte del grupo de control. Luego de un grupo focal entre los investigadores, se conformó un grupo de control de cinco artículos, de igual manera de cada artículo se seleccionaron palabras clave para conformar la cadena de búsqueda, esta información se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2

Grupo de Control

#	Estudio	Términos
EC1	<i>Study of Wireless Communication Technologies on Internet of Things for Precision Agriculture</i>	farmland environment, soil properties, soil information, soil data, soil parameters, wireless sensor network, wireless communication,

		monitoring system, agricultural applications, precision agriculture
EC2	<i>Surveillance of Sigfox technology integrated with environmental monitoring</i>	rural areas, wireless communication, network of sensors, monitoring system
EC3	<i>An Internet of Things-based Economical Agricultural Integrated System for Farmers: A Review</i>	farming sector, farm field, agricultural environment, soil conditions, soil sensors, wireless sensor network, wireless communication, network of sensors, monitoring system, agricultural systems
EC4	<i>Design of a Long-Short Range Soil Monitoring Wireless Sensor Network for Medium-Scale Deployment</i>	large area coverage, soil properties, soil parameters, wireless sensor network, wireless communication, monitoring system, soil monitoring, precision agriculture
EC5	<i>Novel soil environment monitoring system based on RFID sensor and LoRa</i>	farm field, farmland environment, agricultural environment, soil monitoring system,

		soil monitoring methods,soil monitoring techniques, wireless communication,farmland monitoring,agricultural applications,precision agriculture
--	--	--

Nota: La tabla muestra los artículos elegidos para el grupo de control del estado del arte.

B. Construcción y afinación de la cadena de búsqueda

El proceso para estructurar la cadena de búsqueda incluye las siguientes actividades: (1) Revisión de los estudios del GC, (2) identificación de términos relevantes, (3) categorización de términos, (4) formalización de la categorización, y (5) pilotaje de la cadena de búsqueda. Es preciso mencionar que todas estas actividades se enmarcan en la perspectiva del objetivo de la revisión de literatura preliminar y de los criterios de inclusión y exclusión.

El proceso para estructurar la cadena de búsqueda inicia con la revisión de los estudios del GC. Esta actividad es realizada de forma individual por cada uno de los investigadores. De la mano de la revisión de los estudios del GC, cada investigador identifica términos relevantes referidos a la temática de investigación. A paso seguido, los términos relevantes son extraídos y ordenados en una hoja de cálculo, para luego ser categorizados. Para este caso, los investigadores acordaron en consenso cuatro categorías: entorno, objeto de estudio, propósito y propuesta. Una vez categorizados los términos relevantes se realiza un grupo focal en el que se unifican los términos seleccionados por los investigadores y se identifica en consenso aquellos que fueron

identificados por la mayoría de los investigadores y que más se repiten en cada artículo y entre los artículos del GC.

La cadena de búsqueda tuvo diversas versiones con las diferentes palabras claves obtenidas de los artículos del grupo de control, en la cadena de búsqueda definitiva se encuentran los cuatro contextos acordes a la investigación con los que se decidió trabajar, las siete versiones que tuvo la cadena de búsqueda se encuentran en la Tabla 3.

Las cuatro primeras versiones fueron descartadas debido a que no se encontraban todos los contextos en la cadena de búsqueda y la cantidad de palabras clave con las que se trabajó eran limitadas. La quinta versión mostraba una cantidad considerable de artículos, pero la mayoría no tenía relación con el tema de investigación. La sexta versión mostraba estudios relacionados, pero contenía sólo un artículo del grupo de control. Finalmente, la séptima versión fue la final ya que contemplaba todos los contextos y los resultados contenían a tres de cinco artículos del grupo de control.

Tabla 3

Versiones cadena de búsqueda

#	Cadena	# Resultados
1	ALL (("rural areas" OR "farm area" OR "agricultural environment") AND ("soil properties" OR "soil information" OR "soil data" OR "soil parameters")) AND	5

	("soil sensors") AND ("monitoring system" OR "soil monitoring"))	
2	ALL (("remote areas" OR "rural areas" OR "remote locations" OR "geographically large" OR "farm area" OR "agricultural environment") AND ("networking technologies" OR "wireless network" OR "monitoring system") AND ("wireless connectivity" OR "rural connectivity" OR "network connectivity" OR "long-range communication" OR "low-cost network") AND ("accessibility problems" OR "difficult access" OR "climate change" OR "environment constraints"))	8
3	ALL (("rural areas" OR "farm area" OR "agricultural environment" OR "soil environment") AND ("soil properties" OR "soil information" OR "soil data" OR "soil parameters" OR "soil property data") AND ("soil sensors") AND ("monitoring system" OR "soil monitoring" OR "soil monitoring system"))	13
4	ALL (("rural areas" OR "farming sector" OR "farm field" OR "agricultural environment" OR "soil environment" OR "soil environmental pollution") AND ("soil properties" OR "soil information" OR "soil data" OR "soil parameters"))	15

	OR "soil property data") AND ("soil sensors" OR "coverage area") AND ("monitoring system" OR "soil monitoring" OR "soil monitoring system" OR "soil monitoring techniques" OR "soil monitoring methods"))	
5	ALL (("rural areas" OR "farming sector" OR "farm field" OR "farmland environment" OR "agricultural environment" OR "soil environment" OR "soil environmental pollution") AND ("soil properties" OR "soil information" OR "soil data" OR "soil parameters" OR "soil property data") AND ("soil sensors" OR "coverage area") AND ("monitoring system" OR "soil monitoring" OR "soil monitoring system" OR "soil monitoring techniques" OR "soil monitoring methods" OR "farmland monitoring" OR "agricultural system" OR "agricultural application"))	26
6	ALL (("rural areas" OR "farming sector" OR "farm field" OR "farmland environment" OR "agricultural environment" OR "soil environment" OR "soil environmental pollution") AND ("soil properties" OR "soil information" OR "soil data" OR "soil parameters" OR "soil property data") AND ("soil sensors" OR "coverage	66

	area" OR "wireless sensor networks") AND ("monitoring system" OR "soil monitoring" OR "soil monitoring system" OR "soil monitoring techniques" OR "soil monitoring methods" OR "farmland monitoring" OR "agricultural systems" OR "agricultural applications"))	
7	ALL (("rural areas" OR "farming sector" OR "large area coverage" OR "farm field" OR "farmland environment" OR "agricultural environment") AND ("soil properties" OR "soil information" OR "soil data" OR "soil parameters" OR "soil property data" OR "soil conditions" OR "soil environment") AND ("soil sensors" OR "wireless sensor network" OR "wireless communication" OR "network of sensors") AND ("soil environment monitoring" OR "monitoring system" OR "soil monitoring" OR "soil monitoring system" OR "soil monitoring techniques" OR "soil monitoring methods" OR "farmland monitoring" OR "agricultural systems" OR "agricultural applications" OR "precision agriculture"))	84

Nota: La tabla muestra las versiones que tuvo la cadena de búsqueda junto a los resultados que se obtuvo desde cada uno.

Las palabras ordenadas por contextos se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4

Palabras ordenadas por contexto

Contexto	Descripción	Palabras
Entorno	Lugar donde se desarrolla el problema central	<ul style="list-style-type: none"> ● rural areas ● farming sector ● large area coverage ● farm field ● farmland environment ● agricultural environment
Problema	Motivo por el cual se desarrolla la investigación	<ul style="list-style-type: none"> ● soil properties ● soil information ● soil data ● soil parameters

		<ul style="list-style-type: none"> ● soil property data ● soil conditions ● soil environment
Propuesta	Solución por parte de los investigadores ante el problema	<ul style="list-style-type: none"> ● soil sensors ● wireless sensor network ● wireless communication ● network of sensors
Propósito	Objetivo que se plantean conseguir al elaborar la investigación	<ul style="list-style-type: none"> ● soil environment monitoring ● monitoring system ● soil monitoring ● soil monitoring system ● soil monitoring techniques

		<ul style="list-style-type: none"> ● soil monitoring methods ● farmland monitoring ● agricultural systems ● agricultural applications ● precision agriculture
--	--	--

Nota: Tabla muestra las palabras de la cadena de búsqueda separadas por contexto.

C. Selección de estudios

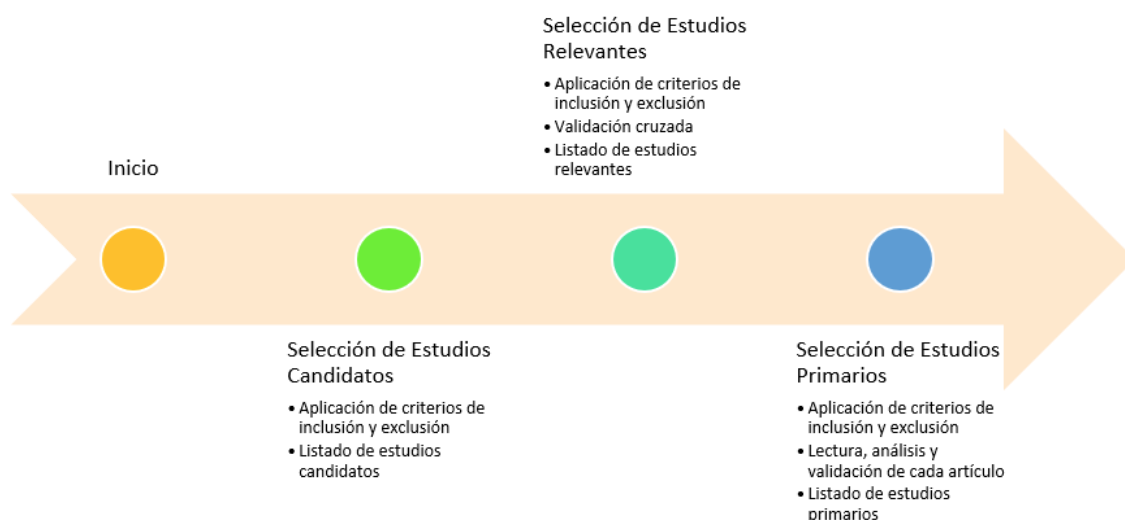
El proceso por seguir para obtener los estudios primarios, como se muestra en la Figura 3, consta de tres fases principales que son:

- Selección de estudios candidatos, se analizan todos los artículos que la cadena de búsqueda da como resultado, se aplican los criterios de inclusión y exclusión, de esa forma se logra obtener un listado de estudios candidatos.
- Selección de estudios relevantes, para lograr filtrar los estudios en esta fase, se realiza una validación cruzada entre los investigadores, además de aplicar los criterios de inclusión y exclusión, dando como resultado la lista de estudios relevantes.
- Selección de estudios primarios, en esta fase los estudios son revisados con mayor detalle ya que se realiza lectura, análisis y validación de cada

artículo, al igual que en las fases anteriores se aplican los criterios de inclusión y exclusión para obtener la lista de estudios primarios.

Figura 3

Proceso de Selección



Nota: Detalle del proceso de selección de estudios

Búsqueda de estudios candidatos

Para la búsqueda de estudios candidatos se tomaron en cuenta tres actividades que consisten en: (1) Establecer la base digital de la revisión, (2) realizar la búsqueda de estudios candidatos, y (3) depurar los estudios candidatos como se muestra en la Figura 4.

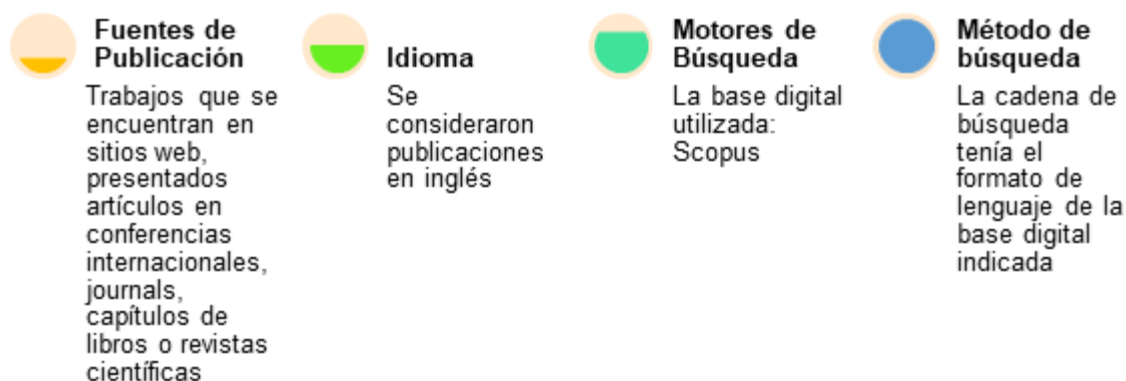
La base de datos digital seleccionada para este estudio fue SCOPUS debido a su cobertura y a su afinidad con el tema planteado. Posteriormente

se realizó la familiarización con dicha base para realizar búsquedas de manera correcta, mediante la guía uno de los investigadores.

Al aplicar la cadena de búsqueda en la base digital Scopus se obtuvieron un total de 85 artículos candidatos.

Figura 4

Búsqueda de estudios candidatos



Selección de estudios relevantes

Para aplicar los criterios de inclusión y exclusión, se hizo un análisis de los títulos y resúmenes de los estudios candidatos a través de una validación cruzada entre tres investigadores, de esta manera se comprueba la concordancia con el tema de la problemática. Una vez realizada la revisión, se obtuvieron 18 artículos relevantes para la investigación. Se procedió a descargar y leer el texto completo de los estudios relevantes para observar que cumplan con los criterios establecidos. Al aplicar este

filtro, se obtuvieron 8 estudios primarios que se listan en la Tabla 5, los cuales fueron utilizados para el desarrollo del estado del arte.

Tabla 5

Selección de Estudios Relevantes

TIPO DE ESTUDIO	ESTUDIOS CANDIDATOS	ESTUDIOS SELECCIONADOS	ESTUDIOS DESCARTADOS	PORCENTAJE DE ACUERDO	PORCENTAJE DE DESACUERDO
REPOSITORIOS	84	18	66	64.20%	35.80%

Nota: Tabla resumen sobre la selección de estudios relevantes.

Selección de Estudios Primarios

Para la selección de los estudios primarios, cada investigador realiza una lectura completa de los artículos establecidos como estudios relevantes con el fin de determinar si están directamente relacionados a la problemática planteada. Una vez realizada la revisión individual se procede a estructurar un formulario en el que se registran los siguientes datos: Título de Estudio, Fecha de publicación, revisor 1 (R1), revisor 2 (R2), resultado (R) y acuerdo (A).

Posteriormente, los revisores proceden a realizar una revisión conjunta de los resultados obtenidos para verificar el acuerdo de los estudios seleccionados obteniendo como resultados los expuestos en la tabla 6. Como resultado de esta validación se seleccionan 8 artículos que corresponden a los estudios primarios y se muestran en la tabla 7.

Tabla 6*Selección de Estudios Primarios*

ESTUDIOS	CANTIDAD	PORCENTAJE
SELECCIONADOS	18	100%
DESCARTADOS	10	55.56%
PRIMARIOS	8	44.44%
SIN ANALIZAR	1	5.56%

*Nota: Resumen de la selección de estudios primarios.***Tabla 7***Estudios primarios*

Código	Título	Cita
EP01	Applicability of Wireless Sensor Networks in Precision Agriculture: A Review	(Thakur, Kumar, Kumar, & Kumar, 2019)
EP02	System Assessment of WUSN Using NB-IoT UAV-Aided Networks in Potato Crops	(Castellanos, Deruyck, Martens, & Wout, 2020)

EP03	Study of Wireless Communication Technologies on Internet of Things for Precision Agriculture	(Feng, Yan, & Liu, 2019)
EP04	A Low-Cost Information Monitoring System for Smart Farming Applications	(Saqib, Almohamad, & Mehmood, 2020)
EP05	Internet-of-Things (IoT) based Smart Agriculture: Towards Making the Fields Talk	(Muhammad, Mohammad, Zubair, Ali, & El-Hadi, 2019)
EP06	Internet of underground things in precision agriculture: Architecture and technology aspects	(Vuran, Salam, Wong, & Irmak)
EP07	Novel soil environment monitoring system based on RFID sensor and LoRa	(Deng, Zuo, Wen, & Wu, 2020)
EP08	Design of a Long-Short Range Soil Monitoring Wireless Sensor Network for Medium-Scale Deployment	(Co, et al., 2018)

Nota: Tabla donde se numeran los estudios primarios seleccionados.

D. Resumen de los Estudios Primarios

EP01 (Thakur, Kumar, Kumar, & Kumar, 2019): Applicability of Wireless Sensor Networks in Precision Agriculture: A Review

La revisión tiene como principal objetivo analizar el uso de las redes de sensores inalámbricos en la agricultura de precisión, de esa forma mejorar la producción de los cultivos. Las interrogantes que se plantean resolver van enfocadas en técnicas y herramientas utilizando red de sensores inalámbricos, tipo de sensores, tipo de cultivos y tecnologías WSN en la agricultura de precisión. Además, los parámetros ambientales tomados en cuenta para la agricultura de precisión son riego, monitoreo y propiedades del suelo entre ellas temperatura, humedad, conductividad y salinidad.

Indican la diversidad de sensores, técnicas y tecnologías que se puede utilizar para la agricultura de precisión, ya que existe un crecimiento al trabajar junto a WSN por su amplio rango de aplicabilidad como lo es el monitoreo de suelo, optimización del riego en cultivos y/o medición de las propiedades del suelo.

EP02 (Castellanos, Deruyck, Martens, & Wout, 2020): System Assessment of WUSN Using NB-IoT UAV-Aided Networks in Potato Crops

El artículo se enfoca en la agricultura con precisión utilizando vehículos aéreos no tripulados, también conocidos como UAV, adicional de la red NB-IoT, es una tecnología celular que usa las bandas celulares de comunicación.

El escenario de esta investigación fue en Bogotá en un campo de 20 hectáreas de papa, se realizó una comparación de sensores a diferentes profundidades. Los

resultados indicaron que un dron en 50 segundos se comunica con 2000 sensores, la altura óptima en este escenario es de 70 metros aproximadamente y la batería de los sensores dura hasta 82 meses.

EP03 (Feng, Yan, & Liu, 2019): Study of Wireless Communication Technologies on Internet of Things for Precision Agriculture

La agricultura de precisión se refiere a la utilización de tecnologías de comunicación para afrontar retos como la actividad agrícola poco sostenible, a través de sistemas tanto de monitoreo como de control. En el presente artículo, se realiza un estudio con el fin de evaluar la adaptabilidad y desempeño de varios tipos de redes inalámbricas en un contexto aplicable a la agricultura de precisión. Las tecnologías evaluadas fueron NB-IoT, Long Range (LoRa) and ZigBee las cuales se plantearon utilizando como arquitectura general una red de sensores inalámbricos (WSN). Los parámetros evaluados para las 3 tecnologías fueron el consumo de energía, y el desempeño en varias distancias dando como conclusión que ZigBee es la tecnología más adecuada para monitoreo donde la distancia no supera 1km, mientras que LoRa y NB-IoT son las más adaptables para mayores distancias.

EP04 (Saqib, Almohamad, & Mehmood, 2020): A Low-Cost Information Monitoring System for Smart Farming Applications

En el presente artículo se plantea un sistema de monitoreo del suelo orientado a cubrir grandes extensiones de terreno que se adapte a granjas de gran escala. El sistema cuenta con varios nodos que se comunican con el Gateway utilizando como medio la

tecnología GSM, es decir, la red celular. La evaluación se realiza planteando varios escenarios que son: comunicación punto a punto y comunicación de varios saltos, ambos se plantean en diferentes distancias y se realiza la evaluación de la red. La conclusión del estudio es que la solución es capaz de transmitir datos de manera confiable por un periodo largo de tiempo y se adapta bien en distancias hasta los 750m.

EP05 (Muhammad, Mohammad, Zubair, Ali, & El-Hadi, 2019): Internet-of-Things (IoT) based Smart Agriculture: Towards Making the Fields Talk

El presente artículo es un estudio comparativo en el que se analizan las diferentes tecnologías de comunicación inalámbrica como medio para el planteamiento de diferentes aplicaciones IoT en el campo agrícola. Se realiza un análisis de las características de la red celular, sigfox, LoRa y ZIGBEE con el objetivo de plantear de manera teórica cuál de estas tecnologías se adapta mejor a los diferentes escenarios.

EP06 (Vuran, Salam, Wong, & Irmak): Internet of underground things in precision agriculture: Architecture and technology aspects

El presente artículo es un estudio comparativo en el cual se evalúan las características de distintas tecnologías de comunicación inalámbrica utilizadas para el monitoreo del suelo que se realiza de manera profunda, es decir, varios metros por debajo de la superficie. Se presentan distintos prototipos de arquitecturas basadas en UG, LPWAN, LAN, y tecnología celular adaptables a este tipo de escenario y se realiza una comparación teórica de las características de cada una de ellas.

EP07 (Deng, Zuo, Wen, & Wu, 2020): Novel soil environment monitoring system based on RFID sensor and LoRa

El artículo presenta una solución para monitoreo del suelo utilizando un sensor RFID y comunicación LoRa con el fin de tener un prototipo de recolección de datos en tiempo real, de largo alcance y que tenga bajo consumo de energía. Los sensores son ubicados en un tractor agrícola por lo que la recolección de datos no se realiza en un punto fijo. Se midió el desempeño del prototipo dando como resultado que la comunicación se da de mejor manera a una velocidad de 33 km/h teniendo una cobertura de 10 kilómetros cuadrados y communication success rate de más del 90%.

EP08 (Co, et al., 2018): Design of a Long-Short Range Soil Monitoring Wireless Sensor Network for Medium-Scale Deployment

El artículo es una propuesta de un sistema de monitoreo del suelo basado en WSN (red de sensores inalámbrica) empleando como tecnología de comunicación a LoRa. El sistema está compuesto por un nodo final que contiene sensores de humedad, pH, temperatura del suelo, un módulo de comunicación y un panel solar como fuente de energía. Como conclusión se pudo desarrollar un sistema funcional en base al prototipo y arquitectura propuesta y se determinó que la utilización de LoRa para el despliegue de WSN permite una mayor flexibilidad en cuanto a cobertura y otros parámetros de red.

Resultados de la revisión preliminar de literatura

¿Qué tipos de implementaciones basadas en tecnologías LPWAN existen en la actualidad para el monitoreo de la calidad del suelo en el sector agrícola?

El modelo de implementación base que hace uso de tecnologías LPWAN para el monitoreo del suelo en el sector agrícola es WSN que son redes de sensores inalámbricas, a partir de este modelo se plantea el uso de diferentes tecnologías entre las cuales se encuentran LoRaWAN, ZigBee, NB-IoT y Sigfox

¿Qué parámetros son utilizados para evaluar la calidad de una red LPWAN empleada para el monitoreo del suelo en el sector agrícola?

Los principales parámetros utilizados para evaluar a las redes basadas en tecnologías LPWAN son: consumo de energía, QoS calidad de servicio, cobertura de la red punto a punto, pérdida de paquetes, retardo en envío y recepción de paquetes, latencia, RSSI intensidad de la señal, según los estudios (Castellanos, Deruyck, Martens, & Wout, 2020), (Deng, Zuo, Wen, & Wu, 2020), (Muhammad, Mohammad, Zubair, Ali, & El-Hadi, 2019) y (Saqib, Almohamad, & Mehmood, A Low-Cost Information Monitoring System for Smart Farming Applications, 2020).

¿Con qué frecuencia se han presentado propuestas de comunicación basadas en tecnologías LPWAN empleadas para el monitoreo del suelo en el sector agrícola?

En base a los resultados obtenidos, se observa que la frecuencia en los años anteriores al 2018 es baja, debido que las investigaciones respecto al tema no pasaban

de 5 anuales, mientras que en la actualidad se obtiene al menos 10 investigaciones anuales, pese no ser un número alto, va obteniendo mayor relevancia.

En cuanto a los estudios clasificados como relevantes para la presente investigación, 16 de los 18 elegidos consideran la utilización de tecnologías LPWAN para el monitoreo del suelo siendo así la principal alternativa en el momento de plantear soluciones de comunicación para este escenario.

Conclusión del Estado del Arte

En conclusión, en la actualidad las tecnologías LPWAN son consideradas como la primera alternativa al momento de presentar soluciones de comunicación de largo alcance para monitoreo agrícola, apareciendo en un 100% de los estudios primarios seleccionados. Se ha podido evidenciar que no existe variedad estudios que hagan referencia específicamente al caso de monitoreo del suelo en el sector agrícola, obteniendo resultados variados entre estudios que hablan de la aplicación de tecnologías LPWAN para monitoreo en contexto agrícola de manera general tomando en cuenta monitoreo del suelo y estudios que hacen referencia al monitoreo del suelo, pero no siempre en el sector agrícola, por lo que realizar un estudio que incluya ambos criterios resulta un tema relevante y de gran ayuda para el planteamiento de nuevas soluciones en este escenario.

Por otra parte, existen estudios donde se plantean prototipos para el monitoreo del suelo que utilizan tecnologías LPWAN (Castellanos, Deruyck, Martens, & Wout, 2020), (Saqib, Almohamad, & Mehmood, 2020), (Deng, Zuo, Wen, & Wu, 2020) y (Co,

et al., 2018) presentan las respectivas evaluaciones de la aplicabilidad de sus propuestas para un escenario, es decir, se realiza una sola evaluación estableciendo un único escenario, lo cual no es apto para plantear lineamientos en distintos contextos. Además, existen artículos donde se presentan comparativas de las tecnologías LPWAN (Thakur, Kumar, Kumar, & Kumar, 2019), (Feng, Yan, & Liu, 2019), (Muhammad, Mohammad, Zubair, Ali, & El-Hadi, 2019) y (Vuran, Salam, Wong, & Irmak) utilizando las características de cada una de ellas de manera teórica y basados en estos parámetros se establecen conclusiones sobre qué tecnologías funcionarían mejor en determinados escenarios, sin embargo, no se plantean prototipos y evaluaciones reales en diferentes contextos. Por lo tanto, no existen estudios que planteen escenarios diferentes utilizando diversas variables como la línea de vista, obstáculos, o el planteamiento de diferentes distancias en el tramo nodo –Gateway, evaluados con prototipos reales que permitirían establecer lineamientos sobre qué tecnologías son más adecuadas bajo distintas condiciones y para diferentes escenarios.

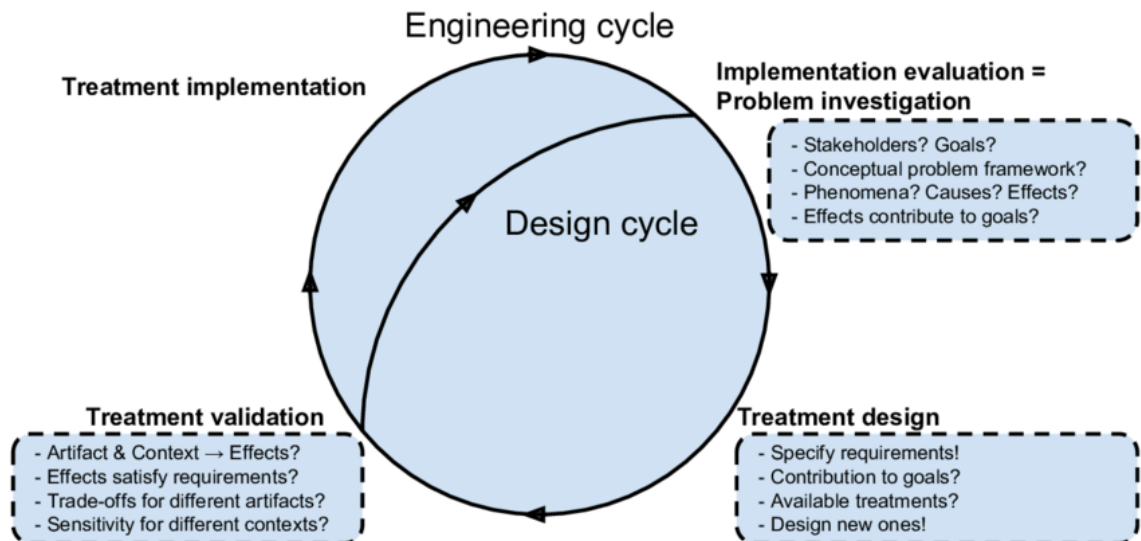
Finalmente, como hallazgos de recurrencia encontramos que la tecnología más utilizada es LoRaWAN ya que se encuentra presente en 4 de los 8 estudios primarios elegidos en esta RPL, mientras que los 4 restantes se distribuyen entre el uso de ZigBee, NB-IoT y Sigfox. Los factores de mayor relevancia en el momento de evaluar la viabilidad de la solución son la cobertura de la red en términos de distancia y la calidad de servicio que se evalúa a través de parámetros como pérdida de paquetes e intensidad de señal.

Metodología

La metodología seleccionada para la investigación es Design Science, consiste en diseñar e investigar artefactos, los cuales tendrán una interacción en un contexto. La estructura de la metodología Design Science, está estructurada por dos grandes ciclos enfocados en solventar problemas: el ciclo de diseño y el ciclo de ingeniería (Wieringa, 2014), la parte que conforma cada uno de los ciclos, se muestra en la Figura 5.

Figura 5.

Ciclo de ingeniería de Wieringa



Nota: los signos de interrogación en las fases hacen referencia a las preguntas de Investigación y los signos de exclamación son los problemas de diseño. Tomado de (Martakis, 2015).

Las fases que conforman la metodología Design Science según (Wieringa, 2014), son:

- Identificación del problema: definición de un contexto idóneo que rodee el problema ya que se establece la problemática junto a los elementos involucrados (Wieringa, 2014).
- Diseño de la propuesta: en esta fase podremos responder a la pregunta ¿Qué hacer? Limitando el alcance del artefacto ya que puede solventar de manera parcial o total el problema, existe la posibilidad que se genere nuevos problemas en base al artefacto (Wieringa, 2014).
- Validación de la propuesta: consiste en investigar los efectos que produce el artefacto en el contexto establecido, además de validar que los efectos cumplan con los requerimientos establecidos (Wieringa, 2014).
- Implementación de la propuesta: trasladar el artefacto al contexto establecido, en esta fase se plantean los escenarios en los que se implementará lo estipulado en las tres fases anteriores (Wieringa, 2014).
- Evaluación de la implementación: el objetivo de esta fase es conocer la manera que interactúa el artefacto implementado en el contexto del mundo y así evaluar si los efectos contribuyen a las metas de los stakeholders (Wieringa, 2014).

La adaptación de las fases de Design Science a nuestra investigación, se muestran en la Tabla 8.

Tabla 8.*Aplicación de Design Science*

Fases Design Science	Tareas	Objetivo relacionado
Identificación del problema	<ul style="list-style-type: none"> • Definición del problema • Planteamiento de preguntas de investigación • Establecimiento de objetivos • Limitar el proyecto mediante el alcance • Elaboración del árbol de problemas 	<p>Determinar las causas y efectos de la problemática en torno a la dificultad en la selección de tecnologías adecuadas para soluciones de comunicación de largo alcance en el sector agrícola, a través de un estudio exploratorio bibliográfico y observacional.</p>
Diseño de la propuesta	<ul style="list-style-type: none"> • Investigación de literatura preliminar • Estado del arte • Arquitectura del prototipo • Construcción del prototipo 	<p>Determinar la viabilidad de la utilización de tecnologías LPWAN como propuesta de solución a la dificultad en la selección de tecnologías adecuadas para soluciones de comunicación de largo alcance en el sector agrícola, mediante la</p>

		realización de una revisión de litera preliminar.
Validación de la propuesta	<ul style="list-style-type: none"> Realizar pruebas con los prototipos para verificar su correcto funcionamiento. Verificar que la red LoRa y Sigfox realicen envío de paquetes correspondientes. 	Evaluar las tecnologías Sigfox y LoRaWAN a través de un estudio de caso implementando prototipos orientados al monitoreo de calidad del suelo para el sector agrícola
Implementación de la propuesta	<ul style="list-style-type: none"> Verificar el funcionamiento de los prototipos en el caso de estudio propuesto 	Establecer lineamientos para guiar el uso de las tecnologías Sigfox y LoRaWAN en el monitoreo de la calidad del suelo para el sector agrícola.
Evaluación de la implementación	<ul style="list-style-type: none"> Validar los escenarios planteados en el caso de estudio 	

Nota: La tabla indica los pasos de Design Science junto las tareas asociadas a los objetivos establecidos.

Marco Teórico

Red de Categorías

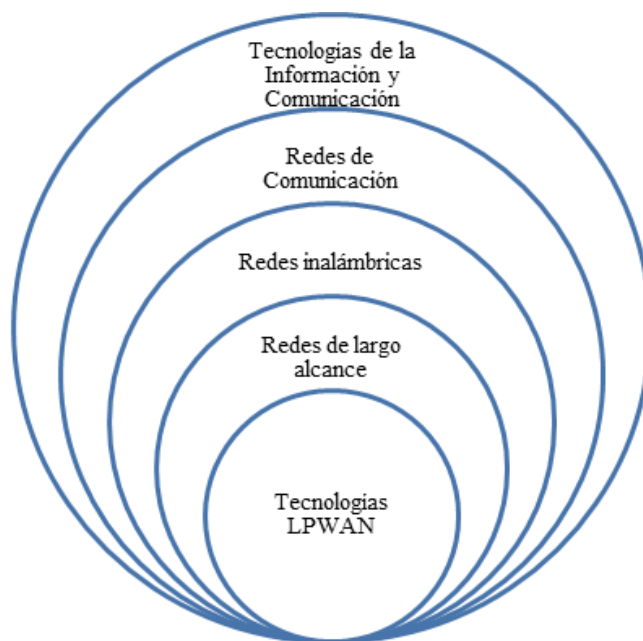
La evaluación de tecnologías LPWAN permitirá establecer lineamientos para guiar el planteamiento de soluciones de comunicación de largo alcance, enfocada en el monitoreo de la calidad del suelo en el sector agrícola en Ecuador.

La red de categorías tiene como fin buscar la pertinencia en la fundamentación teórica de la presente investigación, para establecer esta fundamentación se plantea una hipótesis de investigación cuya variable independiente son las tecnologías LPWAN, a partir de esta se establece la red de categorías que se muestra en la Figura 6.

Por otra parte, la variable dependiente son las soluciones de comunicación de largo alcance, enfocada en el monitoreo de la calidad del suelo en el sector agrícola en Ecuador a partir de la cual se establece la red de categorías que se muestra en la Figura 7.

Figura 6

Red de categorías variable independiente



Nota: La red de categorías de la variable independiente está organizada desde el término más general hasta el específico que en este caso es Tecnologías LPWAN.

Figura 7

Red de categorías variable dependiente



Nota: La red de categorías de la variable dependiente está organizada desde el término más general hasta el específico que en este caso es Soluciones de comunicación de largo alcance para el monitoreo de suelo.

Fundamentación Científica de la Variable Independiente

Tecnologías de la información y la comunicación

El surgimiento de la llamada sociedad del conocimiento es un concepto introducido en el siglo XXI que busca definir a la incorporación de la tecnología como gestora del conocimiento. Para entender este concepto es necesario definir los componentes de la pirámide del conocimiento, en la parte baja se encuentra el dato, que se refiere a una representación simbólica de un atributo de una entidad, luego viene

la información que es el conjunto organizado de datos que proporcionan un mensaje sobre un evento, por encima de esta, se coloca al conocimiento que es la capacidad para tomar decisiones a partir de la información y en la punta se encontrará la sabiduría que es el grado más alto de conocimiento . Basándose en estas definiciones se puede decir que la sociedad del conocimiento hace referencia al uso de las TICs para la toma de decisiones que involucran la producción de resultados tomando como punto de partida a la información.

Las tecnologías de la información y comunicación (TICs) son definidas como el conjunto de recursos, técnicas y herramientas que sirven como un medio de comunicación para las personas, pero que además colaboran con la creación, difusión y almacenamiento de información (Ndidiama Patience & Nnaekwe, 2019). Las herramientas tecnológicas que se encuentran embebidas en este concepto hacen referencia al internet, dispositivos electrónicos, aplicaciones informáticas y redes de comunicaciones que son utilizadas como el medio para el manejo de la información (Duarte, 2008). Desde una perspectiva más completa, James Murray (Murray, 2011) define a las TICs como la integración de dos conceptos, las tecnologías de la información (TI) que hacen referencia a telecomunicaciones, computadoras, middleware y sistemas de datos, y las comunicaciones unificadas (UC) que consiste en los procesos que se realizan para proporcionar al usuario las facilidades de manejo de la información.

Redes de comunicación

La comunicación es una característica propia de las sociedades desde el inicio de los tiempos y ha ido marcando la evolución del ser humano en cuanto a la forma que

utiliza para llevarla a cabo. En la sociedad moderna la comunicación a través de medios digitales resulta de vital importancia para el diario vivir, influyendo en casi cada aspecto de la vida de las comunidades, ya sea en el ámbito social o en el económico.

Según (Salazar, 2016), una red es el medio por el cual dos o más dispositivos realizan el intercambio de recursos en un momento del tiempo. Las redes de comunicación, por lo tanto, son aquellas que transmiten mensajes haciendo uso de componentes como son los dispositivos de red y los dispositivos de usuario final (Perdomo, Caizabuan, & Altamirano, 2018). Las redes de datos se encargan de la emisión y recepción de información que en sus inicios se limitaba a caracteres y que en la actualidad se extiende a voz, texto y toda clase de archivos multimedia (Academy, 2015)

Toda red de datos se encuentra compuesta por cuatro elementos en común que según (Perdomo, Caizabuan, & Altamirano, 2018) son:

- reglas y acuerdos para regular cómo se envían, redireccionan, reciben e interpretan los mensajes,
- los mensajes o unidades de información que viajan de un dispositivo a otro,
- una forma de interconectar esos dispositivos, un medio que puede transportar los mensajes de un dispositivo a otro, y
- los dispositivos de la red que cambian mensajes entre sí.

Las redes de datos o de comunicación se encuentran clasificadas en base a distintas características de los elementos que las conforman. La primera clasificación es de acuerdo con la cobertura y número de terminales que abarcan y son: Red de área local (LAN) destinadas para dispositivos que se encuentran próximos entre sí, Red de área extendida (WAN) destinada a la unión de varias redes locales independientemente de su ubicación física, Red de área metropolitana (MAN) de gran extensión, llegando a cubrir una población. Por otra parte, las redes se pueden clasificar según el medio físico que utilizan para llevar a cabo la comunicación y se dividen en: Redes alámbricas (uso de cables para la transmisión), Redes inalámbricas (uso de ondas electromagnéticas para transmisión), Redes mixtas (combinación de cables y ondas electromagnéticas) (Ordinas, Grier, Alabern, & Olivé, 2004).

Redes inalámbricas

Según (Salazar, 2016) las redes inalámbricas son aquellas que hacen uso de ondas de radio para la creación de la comunicación, sin la necesidad del uso de cables. Este tipo de redes tiene como ventaja que permite la conexión de dispositivos remotos ubicados inclusive a kilómetros de distancia, y a un costo menor que las redes de cableado tradicional.

Para el correcto funcionamiento de una red inalámbrica se requiere que se encuentre estructurada con una de las dos arquitecturas posibles que son Ad hoc e Infraestructura. El primero, es un modo en el cual todos los dispositivos que pertenecen a la red se encuentran interconectados directamente entre sí, por lo tanto, no se requiere de un punto de acceso común y es más apropiado para una cantidad reducida

de dispositivos ya que su rendimiento depende directamente de los mismo. Por otra parte, la arquitectura de infraestructura consiste en un punto de acceso general (AP) al que todos los dispositivos se encuentran conectados (Salazar, 2016).

Según el área de aplicación y el alcance de la señal, las redes inalámbricas se pueden clasificar en 4 grupos que son: redes inalámbricas de área personal (WPAN) las cuales se encuentran basadas en el protocolo IEEE 802.15 y permiten la comunicación en un rango de aproximadamente 10 metros; redes inalámbricas de área local (WLAN) basadas en el protocolo IEEE 802.11 y con un rango típico de 100 metros; redes inalámbricas de área metropolitana (WMAN) basadas en el protocolo IEEE 802.16 con un rango de hasta 50 kilómetros ;y finalmente redes inalámbricas de área amplia (WWAN), las cuales se extienden en un rango mayor a 50 kilómetros.

Redes de largo alcance o área extensa (WAN)

Las redes de área extensa (WAN) son una clasificación de las redes inalámbricas cuyo objetivo es brindar comunicación de largo alcance para áreas geográficas amplias, y se encuentran compuestas de varias subredes que pueden ser de tipo LAN o MAN (Bonaval).

Una WAN es propiedad de un proveedor de servicios. Un usuario debe pagar una tarifa para utilizar los servicios de red del proveedor para conectar sitios remotos. Los proveedores de servicios WAN incluyen operadores, como una red telefónica, una empresa de cable o un servicio satelital. Los proveedores de servicios proporcionan enlaces para interconectar sitios remotos con el fin de transportar datos, voz y video.

La infraestructura de redes WAN la componen, además de los nodos de conmutación, líneas de transmisión de grandes prestaciones, caracterizadas por sus grandes velocidades y ancho de banda en la mayoría de los casos. Las líneas de transmisión (también llamadas "circuitos", "canales" o "troncales") mueven información entre los diferentes nodos que componen la red.

La interconexión de varios sitios a través de WAN puede implicar una variedad de tecnologías de proveedores de servicios y topologías de WAN. Las topologías WAN comunes son: Topología punto a punto, Topología de concentrador y radio, Topología de malla completa, Topología de doble hogar (Academy, 2015).

Tecnologías LPWAN

Las redes LPWAN son un tipo de red de área amplia de telecomunicaciones inalámbricas diseñada para permitir comunicaciones de largo alcance a una tasa de bits baja entre dispositivos conectados. La baja potencia, la baja tasa de bits y el uso previsto distinguen este tipo de red de una WAN inalámbrica que está diseñada para conectar usuarios o empresas y transportar más datos utilizando menos energía. La velocidad de datos LPWAN varía de 0,3 kbit / s a 50 kbit / s por canal.

Las tecnologías LPWAN combinan baja velocidad de datos y modulación robusta para lograr un rango de comunicación de varios kilómetros. Esto permite topologías de red en estrella simples que simplifican la implementación de la red y mantenimiento. Si bien los beneficios de estas tecnologías son conocidos y a menudo se consideran los habilitadores claves para algunas aplicaciones, sus limitaciones aún

no se comprenden bien (Jiménez Carrasco, Rendón Medel, Toledo, & Aranda Osorio, 2016).

LoRaWAN

Lora corresponde a la capa física que compone las redes LoRaWAN, es una modulación inalámbrica y es capaz de proporcionar comunicación de largo alcance con bajos consumos de energía. Lora utiliza “Chirp spread spectrum” el mismo que se ha empleado en aplicaciones militares durante muchos años para lograr comunicación a kilómetros de distancia, Lora busca tener este alcance a bajo costo para ser utilizada de manera comercial (LoRa® Alliance Technical Marketing Workgroup, 2015).

La tecnología LoRaWAN es un protocolo de red correspondiente a la especificación LPWAN (Low Power Wide Area Network), es decir de área amplia y bajo consumo de energía. Esta red ha sido diseñada para conectar de forma inalámbrica dispositivos que funcionan con baterías a Internet, su principal uso es para el desarrollo de IoT (internet de las cosas) donde se aplica para sistemas de localización, monitoreo de distintos campos, entre otras (LoRa Alliance).

LoRaWAN™ define el protocolo de comunicación y la arquitectura del sistema para el red mientras que la capa física LoRa® habilita el enlace de comunicación de largo alcance (LoRa® Alliance Technical Marketing Workgroup, 2015).

Sigfox

Sigfox es un operador de red global fundada en Francia, que conecta dispositivos de bajo consumo de energía a largas distancias, su uso general es para aplicaciones de Internet de las Cosas, en sistemas donde se requiere transmisión continua de bajas cantidades de datos. Se basa en topología de estrella y su tráfico es manejado por puertas de enlace propias del operador.(Sigfox, 2020).

Fundamentación Científica de la Variable Dependiente

Tecnologías de la información en la agricultura

El desarrollo de las tecnologías de la información y la comunicación ha conseguido que se transformen múltiples entornos, entre ellos la agricultura. En un inicio se utilizó la radio, la cual facilitaba el recibir y enviar información a los agricultores, esto permitió crear grupos de escucha de radio para duplicar sus rendimientos. Luego llegó la televisión la cual sirvió como difusión de información y de las más actuales la aplicación holística de las TIC con ella pueden aprovechar plenamente los logros de la moderna tecnología de la información para desarrollar la agricultura, incluyendo los ordenadores y las redes, el Internet de las cosas, la computación en nube, la tecnología 3S y la tecnología de comunicación inalámbrica (Zhou, 2016).

Las tecnologías de la información han facilitado el acceso a información a los agricultores, haciendo referencia a las siguientes categorías, abarcando todo el proceso de producción agrícola:

- Compra de insumos y mercantilización de productos agrícolas.
- Información estratégica y tendencias pasadas
- Decisiones sobre políticas gubernamentales relacionadas con agricultura

Soluciones de comunicación para el sector agrícola

La mayor parte del sector agrícola se encuentra en los espacios rurales, por lo tanto, para esta sección se utilizó como base a la investigación (Jiménez Carrasco, Rendón Medel, Toledo, & Aranda Osorio, 2016) donde se analizaron el uso de las tecnologías de la información y comunicación mediante encuestas a 67 personas de México para conocer qué grado de acceso a información tienen los productores rurales. Los resultados indican que las tecnologías de la información aportan con un 3% de la información usada por productores. El uso de las TIC tiene relación con edad, nivel de estudios, tamaño de la explotación, y experiencia en la actividad. La conclusión de esta investigación es que las tecnologías de información logran aportar al proceso de información y tienen relevancia en el acceso de información en los productores rurales.

Comunicación de largo alcance en el sector agrícola

El Wi-Fi es la principal solución inalámbrica en todo el mundo, actualmente es utilizada en la agricultura inteligente. Tiene un gran alcance, ya que puede llegar hasta 300 pies en el exterior desde un solo enrutador, es una solución viable en las

tecnologías de la información de la agricultura, siempre y cuando las aplicaciones sean hasta de un alcance mediano. El Wi-Fi es relativamente avanzado cuando se compara con las redes de tecnología inalámbrica menos populares. Permite que la tecnología sea más evolucionada y utilizada, y por lo tanto más integrable a través de varias soluciones o plataformas.

La readaptación de los dispositivos y herramientas han permitido que ciertas aplicaciones de la agricultura tradicional se conviertan en un sistema inteligente. Esta readaptación genera nuevos requerimientos, entre ellos es la solución inalámbrica de un mayor alcance para lograr la transmisión de información en amplias distancias que son las dimensiones que tienen los sectores agrícolas. También se debe tomar en consideración que, debido a la ubicación, los dispositivos requieren de baterías u otra fuente de energía para funcionar, aunque no la necesitan en grandes cantidades. Las redes LPWAN son una solución idónea para estas operaciones agrícolas inteligentes. Existe una variedad de tecnologías LPWAN tanto en bandas de RF con licencia como sin licencia, las principales tecnologías LPWAN que son utilizadas a nivel mundial son LoRa, Sigfox y NB-IoT.

Soluciones de largo alcance para el monitoreo de suelo

Las soluciones de largo alcance para el monitoreo del suelo tienen dos propuestas principales que son LoRaWAN y Sigfox.

En el caso de Sigfox la propuesta que existen planteada (Sigfox, 2020) consiste en proporcionar sensores asequibles que monitorean la humedad del suelo / los niveles

de humedad y las temperaturas del suelo / aire y lo informan automáticamente directamente a Internet sin necesidad de Wifi, GSM o conexión regular a Internet. Esto ayuda a los agricultores a saber qué es lo mejor para sus cultivos sin tener que estimar manualmente o hacer una conjetura. Con mejores datos que se les proporcionan en vivo de sus propios cultivos, los agricultores pueden tomar las mejores decisiones posibles para plantar, regar y controlar las plagas.

En el caso de LoRaWAN se puede crear soluciones con diferentes sensores, como lo es GS3, es un sensor que tiene como funcionalidad el monitoreo de la humedad, temperatura y EC del suelo, su arquitectura tiene un cuerpo epoxi y agujas de acero inoxidable. Mientras que su arquitectura interna tiene un diseño de vanguardia en donde se encuentran los sensores Decagon, esta ha sido mejorada para poder trabajar en diferentes tipos de suelo, sin importar la hostilidad de este. Incluso ofrecen una sonda de subsuelo LoRaWAN, de manera detallada esta sonda aloja 6 sensores de temperatura y humedad, los cuales están distribuidos a lo largo de un perfil de 600 mm. Se fabrican longitudes hasta 1.600 mm y 15 sensores por sonda (cada 100 o 200 mm).

Capítulo IV

Caso de Estudio para Evaluación de Tecnologías LPWAN

El monitoreo de la calidad del suelo es una actividad fundamental en el sector agrícola dado que permite el uso adecuado de recursos hídricos, así como la evaluación adecuada de la fertilidad y proporciona la información necesaria para evitar la degradación de este recurso.

La actividad de monitoreo generalmente se realiza llevando muestras de suelo a los laboratorios, sin embargo, esta actividad requiere de una planificación anticipada que no permite que se tengan datos en tiempo real de la situación actual del suelo y por lo tanto no se pueden tomar acciones correctivas oportunas. Para solucionar este problema se plantea el uso de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TICs) para sistemas de monitoreo que receptan datos provenientes de sensores, los cuales son procesados y mostrados al usuario para la toma de decisiones. Estos sistemas generalmente emplean las redes tradicionales como son la tecnología Wifi y las redes celulares; no obstante, este tipo de implementaciones no es aplicable en sitios donde es carente o no existe cobertura de dichas redes, que son de manera precisa los lugares donde generalmente se encuentran las granjas.

El presente caso de estudio se centra en el área agrícola de Ecuador y consiste en determinar la tecnología que mejor se adapta para realizar el monitoreo de la calidad del suelo bajo diferentes condiciones y en distintos escenarios dentro del sector agrícola en Ecuador.

El monitoreo del suelo se realiza en base a distintos parámetros que según el Instituto de Calidad del Suelo (SQI) se clasifican en indicadores físicos, químicos y biológicos, teniendo en cuenta que el suelo es un ecosistema donde interactúan múltiples factores y que no es posible que un solo indicador provea una información completa (United States Department of Agriculture, 2020).

Para el caso de los indicadores físicos, se asocia el uso eficiente del agua, los nutrientes y los pesticidas; mientras que, los indicadores químicos se refieren a la calidad del agua, la capacidad amortiguadora del suelo y disponibilidad de agua, nutrimentos para las plantas y los microorganismos. Finalmente, los indicadores biológicos integran una gran cantidad de factores que afectan la calidad del suelo, como la abundancia y los subproductos de los insectos, anélidos y moluscos (García & Sánchez, 2012).

Tomando como referencia los factores más relevantes de cada categoría, considerados fundamentales para conocer la calidad del suelo, se establecen las variables específicas para el análisis que se muestran en la Tabla 9.

Tabla 9

Variables por analizar en el monitoreo del suelo

Nro.	Parámetro de medición	Rango de medición	Precisión
1	Humedad de suelo	0 a 100%	+1% -

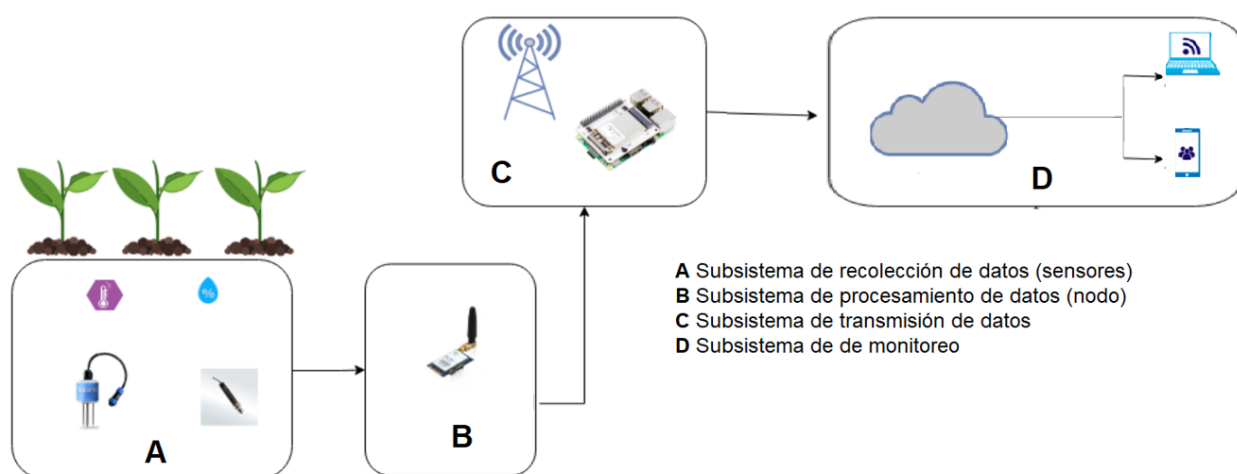
2	Temperatura de suelo	-20 a +60 centígrados	+ 1 grado -
---	----------------------	-----------------------	-------------

La humedad es una variable clave al momento de monitorear el suelo, debido que esta podría mejorar la producción agrícola teniendo rendimientos altos y reduciendo las pérdidas por sequía porque en caso de tener una humedad insuficiente en el suelo, significa que las cosechas serán menores o nulas (Velasco, Ochoa, & Gutiérrez, 2005).

Una vez determinadas las variables a analizar, se procede a plantear una arquitectura base (ver Figura 8) a partir de la cual se desarrolla un prototipo de sistema de monitoreo del suelo tanto para la tecnología LoRaWAN, como para Sigfox.

Figura 8

Arquitectura General



La solución propuesta está integrada por 4 subsistemas que son los siguientes:

- A. **Subsistema de recolección de datos:** en este se encuentran ubicados los sensores para la medición de las variables especificadas anteriormente en la Tabla 9, las cuales se evaluarán utilizando los sensores cuyas características se encuentran especificadas en la Tabla 10.

Tabla 10

Características de los sensores

Sensor	Modelo	Características	Pines/Cables
Sensor de Humedad	HW-103	Voltaje de Alimentación (VCC): 3.3V – 5V Corriente: 35 mA	VCC (5V) GND Interfaz de salida digital (0 y 1) Interfaz de salida analógica AO
Sensor de Temperatura	DS18B20	Alimentación: 3.0V a 5.5V	Rojo es VCC (5V) Negro es GND Amarillo/Blanco cable de datos.

Nota: Tabla que indica las características de los sensores utilizados para el prototipo

B. Subsistema de procesamiento de datos: en este los sensores se encontrarán conectados a un microcontrolador que se encargará de tomar los datos de los sensores, procesarlos y enviarlos a través de un módulo LPWAN (también conectado al microcontrolador) que permitirá la comunicación entre los sensores y el Gateway. El módulo dependerá de la tecnología aplicada en el prototipo, a continuación, se muestra una tabla resumen de los nodos utilizados (Tabla 11).

Tabla 11

Características de los nodos

Nodo	Características
LoRa Shield + Arduino UNO	Compatible: Arduino de 3.3 V o 5 V Banda de frecuencia: 915MHz/868 MHz/433 MHz Arduino Compatibles: Arduino Leonardo, Uno, Mega, DUEAntena externa vía conector I-Pex
LoPy4 Sigfox	Entrada: 3.3V – 5.5V Salida 3v3 capaz de proporcionar 400mA WiFi: 12mA activo y 5uA en standby RCZ2 – 902MHz, +20dBm (Américas)

Nota: Tabla con los detalles de los nodos utilizados para el prototipo

- C. **Subsistema de transmisión de datos:** el cual se encuentra compuesto de un Gateway, diferente para cada tecnología (Tabla 12), el mismo que receipta los datos provenientes de los nodos y se encarga de enviarlos a los servidores de aplicación a través de internet.

Tabla 12

Características de los Gateway

Gateway	Modelo	Características
LoRaWAN	Dragino LG01	2 puertos 10M/100M RJ45 WiFi: 802.11 b/g/n LoRa Wireless Alimentación: 12V DC 1 conector USB 2.0 host 1 interface interna USB 2.0 host 1 interfaz LoRa
Sigfox	SMBS-T4 Micro Base Station	GFSK Punto de acceso Ethernet RJ-45 USB

Nota: Tabla con las características de los Gateway utilizados para el prototipo.

- D. **Subsistema de monitoreo de datos:** se encuentra compuesto por el servidor de aplicaciones en la nube ThingSpeak el cual funciona como una API y aplicación de código abierto para IoT que permite almacenar y recopilar datos a utilizando los protocolos HTTP y MQTT. A través de la página web el usuario final puede visualizar los datos recolectados por los sensores.

Prototipo LoRaWAN

Se plantea el prototipo LoRaWAN basándose en la arquitectura base planteada para las tecnologías LPWAN. Se compone de cuatro subsistemas que son los siguientes:

- A. Subsistema de recolección de datos
- B. Subsistema de procesamiento de datos
- C. Subsistema de transmisión de datos
- D. Subsistema de monitoreo de datos

Flujo de información

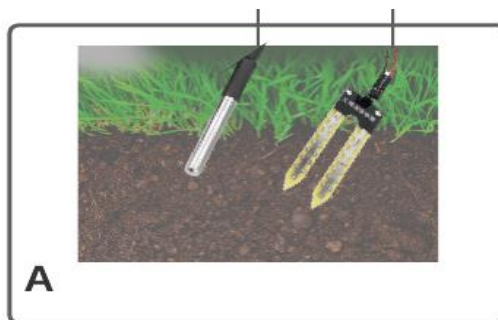
- A. *Subsistema de recolección de datos*

El subsistema se encarga de recopilar los datos provenientes de los sensores de humedad y temperatura (Ver Figura 9), parámetros que son utilizados para determinar las condiciones generales del suelo. Los sensores son a prueba de agua y se encuentran a una profundidad aproximada de 4 cm de la superficie. En el caso del sensor de humedad (HW-103) la salida que datos se hace de manera análoga y arroja un valor entre 0 (totalmente húmedo) y 1023 (totalmente seco). Por otra parte, para medir la temperatura se utiliza el

sensor DS18B20 descrito en la sección anterior cuya salida es digital y arroja valores medidos en grados centígrados entre -10°C y 85°C con una precisión de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$. Para el resto de las temperaturas entre -55°C y 125°C el error es de $\pm 2^{\circ}\text{C}$. Los sensores se comunican con el nodo principal a través de cables de aproximadamente 30 cm de largo.

Figura 9

Subsistema de recolección de datos



B. Subsistema de procesamiento de datos

En este subsistema los datos recibidos desde los sensores se leen de manera análoga y digital y son procesados por una placa de microcontrolador de código abierto Arduino UNO. Para el adecuado procesamiento de la información recibida se realiza un programa en Arduino IDE que consta de cuatro etapas: inicialización, lectura de datos, escritura de datos y envío de datos.

Inicialización

En esta etapa se realiza la declaración de las librerías que se van a utilizar siendo estas:

1. **SPI** utilizada para la comunicación con el hardware del microcontrolador Arduino Uno.
2. **OneWire** utilizada para la comunicación con el sensor de temperatura DS18B20.
3. **DallasTemperature** encargada de la interpretación de los datos leídos en el bus a través de OneWire.
4. **RH_RF95.h** con la cual se realiza la comunicación con el módulo LoRa presente en el elemento LoRa Shield

Una vez que se han importado las librerías se procede a declarar las variables necesarias para hacer uso de las funciones provenientes de las librerías y poder así almacenar y procesar los datos.

Figura 10

Código Arduino para el procesamiento de datos

```

#include <SPI.h>
#include <RH_RF95.h>
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>

// Pin donde se conecta el bus 1-Wire
const int pinDatosDQ = 8;

// Instancia a las clases OneWire y DallasTemperature
OneWire oneWireObjeto(pinDatosDQ);
DallasTemperature sensorDS18B20(&oneWireObjeto);

// Singleton instance of the radio driver
RH_RF95 rf95;
float frequency = 915.0; //frequency settings

#define DHT11_PIN A0
int temperature, humidity, tem, hum;
char tem_1[8]={"\0"}, hum_1[8]={"\0"};
char *node_id = "<10009>"; |
uint8_t datasend[36];
unsigned int count = 1;

```

Finalmente se realiza la inicialización de las variables como la del serial del bus SPI en la banda 9600 en la cual se visualizan los mensajes impresos en la consola. Además, se inicializa la comunicación con el hardware del sensor digital y se establecen los parámetros de comunicación para el módulo de radio LoRa estableciendo como frecuencia a utilizar 915 MHz.

Figura 11

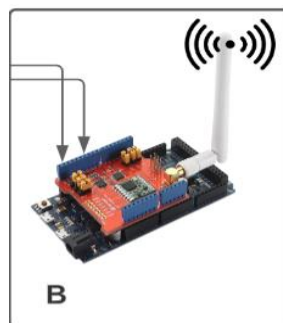
Código Arduino para la comunicación con sensor digital

```
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  sensorDS18B20.begin();
  Serial.println(F("Start LoRaWAN Node"));
  if (!rf95.init())
  Serial.println(F("init failed"));
  rf95.setFrequency(frequency);
  rf95.setTxPower(13);
  rf95.setSyncWord(0x34);
}
```

la cual a su vez envía la información procesada utilizando el transceptor de largo alcance Dragino Shield a través del protocolo LoRaWAN.

Figura 12

Subsistema de procesamiento de datos

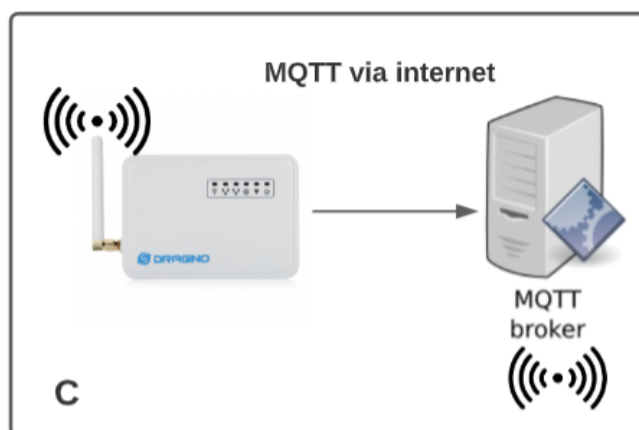


C. Subsistema de transmisión de datos

Una vez que los datos se han procesado en el nodo son enviados hacia el Gateway LoRaWAN Dragino LG01-N el mismo que sirve como un enlace entre el nodo y el broker MQTT. El Gateway se encuentra conectado a internet de manera inalámbrica y a su vez recepta las señales LoRa a través de la frecuencia 915 MHz.

Figura 13

Subsistema de transmisión de datos



Dragino LG01-N (Gateway)

Es un Gateway el cual permite solo un canal LoRa, esta red inalámbrica permite a los usuarios enviar gran cantidad de datos a una baja velocidad, además de ofrecer una comunicación de un rango ultra largo con poca probabilidad de interferencia.

LG01-N se diferencia de LG01-S y LG01-P al trabajar con Linux para controlar de manera directa el módulo sx1276/sx1278, esta característica particular logra una comunicación eficiente, simplificando así el diseño de software. También tiene la capacidad de soportar de 50 a 300 nodos sensores.

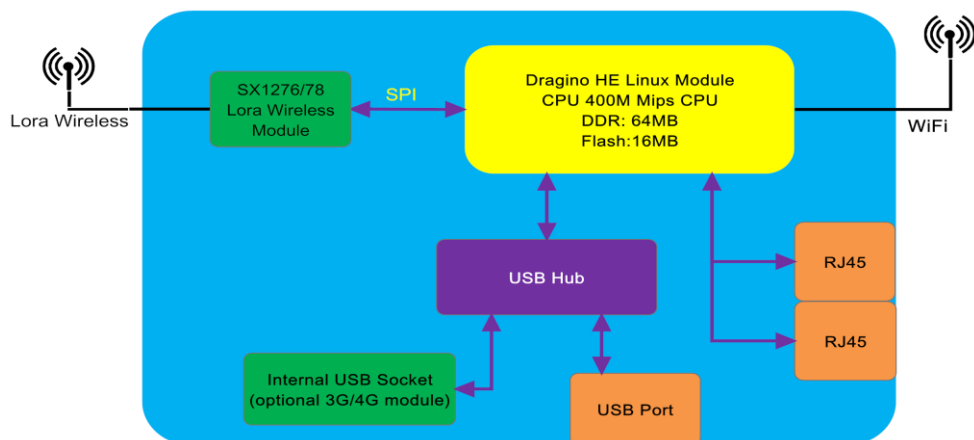
Los modos de trabajo que tiene disponible LG01-N son: MQTT y TCP/IP.

El resumen del sistema LG01-N, está en la Figura.

Figura 14

Sistema LG01-N

LG01N System Overview:



Nota: La estructura del sistema fue tomada de "LG01N/OLG01N LoRa Gateway User Manual" (Dragino, 2020).

D. Subsistema de monitoreo de datos

El broker MQTT de Thingspeak, recibe los mensajes enviados desde el Gateway LoRa en el canal creado en la plataforma. Procesa los datos y los transmite a la

nube para que sean visualizados a través de internet en dispositivos finales como computadores y dispositivos móviles. En este subsistema el usuario final puede visualizar la información recolectada del nodo.

Figura 15

Subsistema de monitoreo de datos



La configuración realizada en la plataforma Thingspeak consiste en la creación de un canal que funciona como medio de almacenamiento de datos en el esquema MQTT. En la Figura 16 se muestran los campos creados en el canal, uno para cada sensor del nodo final, el id del canal que es utilizado para la comunicación con el Gateway LoRa y el nombre de identificación del canal.

Figura 16

Campos creados en el canal

Test Lora Suelos

Channel ID: 1293293
Author: mjpgalacios1
Access: Private

[Private View](#) [Public View](#) [Channel Settings](#) [Sharing](#) [API Keys](#) [E](#)

Channel Settings

Percentage complete 30%

Channel ID 1293293

Name

Description

Field 1

Field 2

Una vez que se ha finalizado la configuración tanto del lado del Gateway como de la plataforma se pueden visualizar los datos accediendo a través de cualquier navegador. Se muestra un gráfico para los datos de humedad (Figura 17) y temperatura (Figura 18).

Figura 17

Gráfico de los datos de humedad

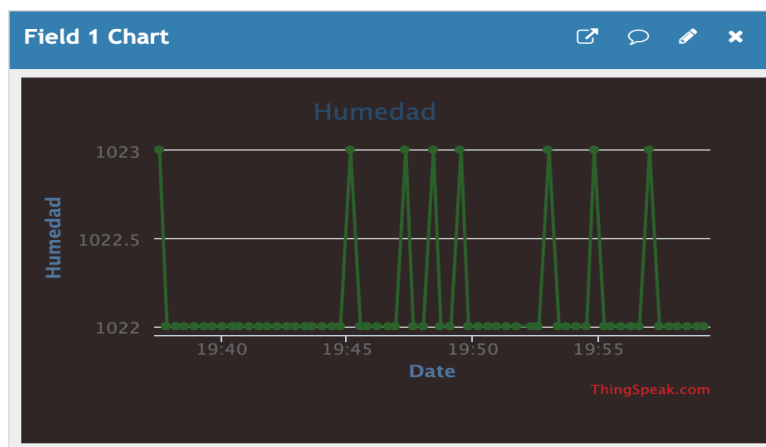
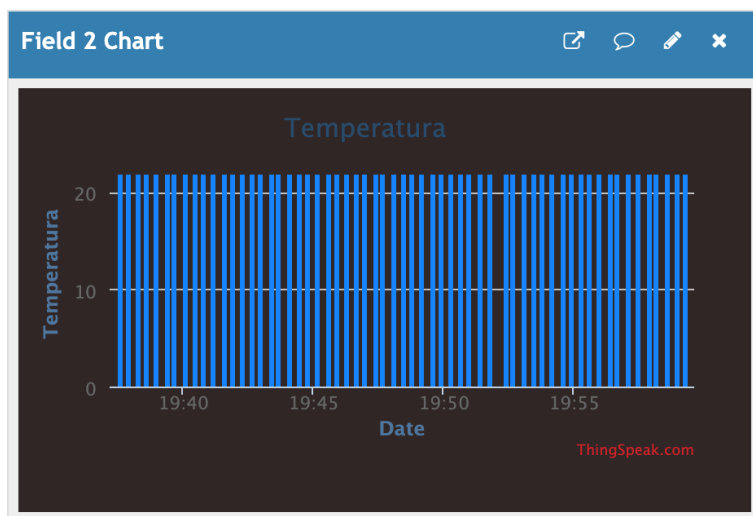
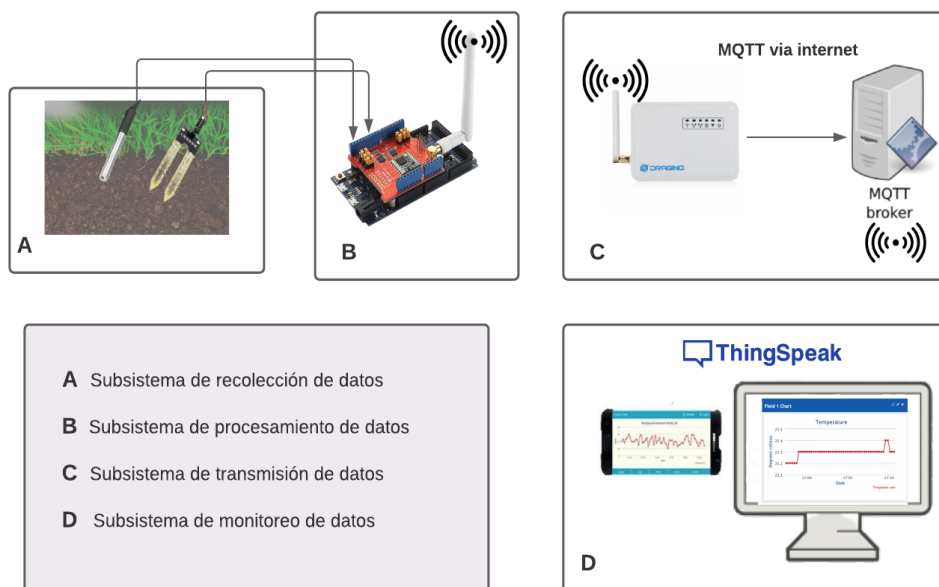


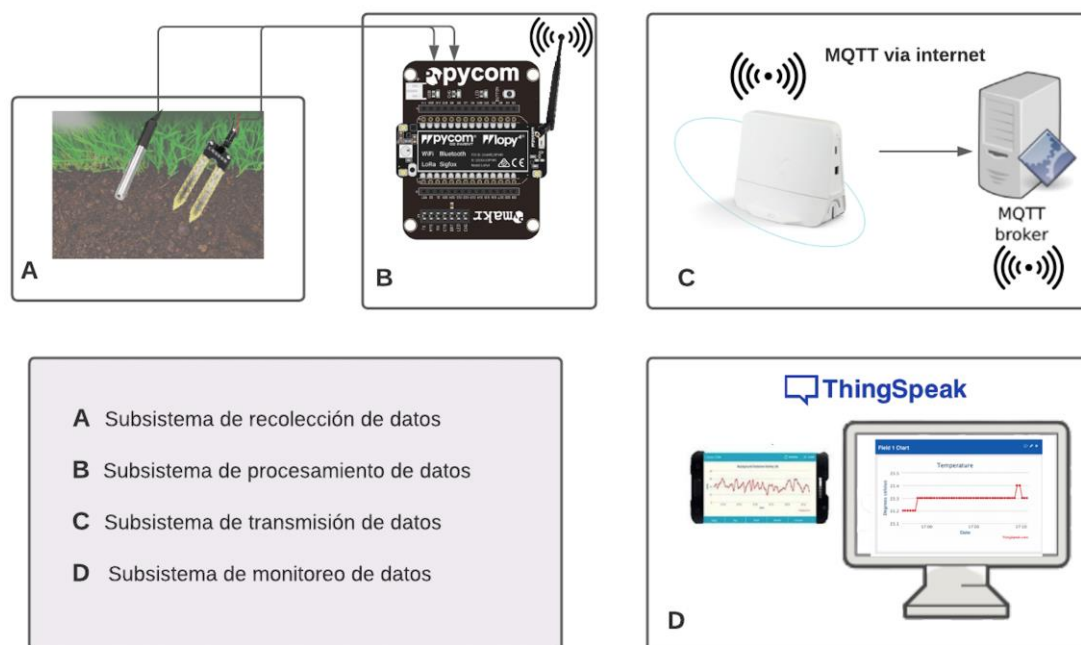
Figura 18*Gráfico de los datos de temperatura***Figura 19***Diagrama de Arquitectura General*

Prototipo Sigfox

El prototipo para la evaluación de Sigfox está conformado por cuatro subsistemas planteados desde la arquitectura general LPWAN como se muestra en la Figura 20.

Figura 20

Arquitectura general de Sigfox



A continuación, se explica de manera específica para el caso de Sigfox el proceso de cada subsistema:

A. Subsistema de recolección de datos

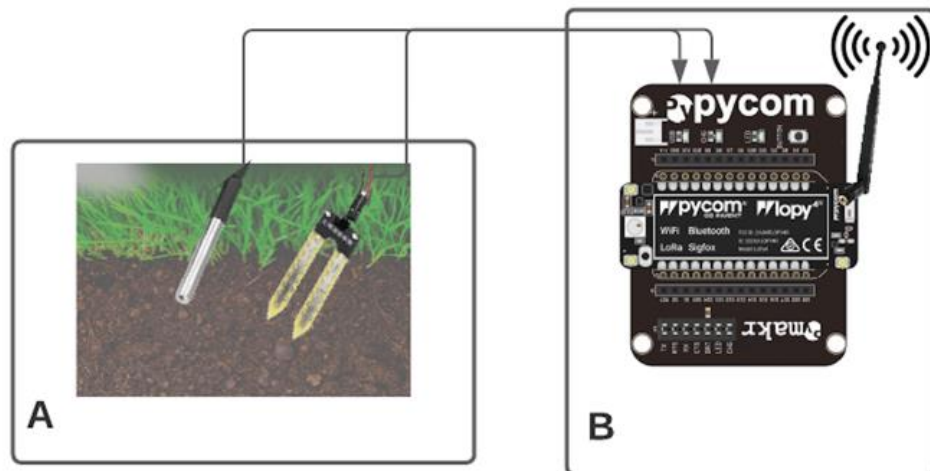
Los sensores HW-103 (Sensor de humedad) y DS18B20 (Sensor de temperatura) están conectados al módulo pycom, teniendo en cuenta que el sensor de humedad es configurado de manera análoga, mientras que el sensor

de temperatura es digital. Los dos sensores son a prueba de agua para monitorear las propiedades del suelo sin inconvenientes.

La Figura 21 muestra el subsistema de recolección de datos junto al módulo Lopy4 que permite el siguiente punto que es el procesamiento de datos.

Figura 21

Subsistema de recolección y procesamiento de datos



B. Subsistema de procesamiento de datos

Antes de realizar la programación en Python para recolectar los datos del sensor, es necesario registrar el dispositivo lopy4, los pasos a seguir para el registro son:

- Ingresar en <https://buy.sigfox.com/activate> y llenar la información correspondiente

Figura 22

Inicio del formulario para registro en Sigfox

The screenshot shows the 'Where is your company based?' step of the registration process. The browser address bar is 'buy.sigfox.com/activate'. The page features a progress bar with four steps: Country (selected), Devkit, Account, and Confirmation. A 'Login with Sigfox Id' button is in the top right. Below the progress bar, the main heading is 'Where is your company based?'. The instruction reads: 'Choose the country of domiciliation of your company.' A search bar is present above a list of countries: Croatia, Czech Republic, Denmark, and Ecuador. Each country has a flag and the word 'Active' to its right. Ecuador is highlighted with a dark blue background. To the right of the list is a callout box for 'WND Ecuador' with the text 'Decades of experience rolling out wireless networks' and contact information for the main office in Urdesa. Below the list, there are instructions: 'Your country is Active: you can activate subscriptions...', 'Your country is Inactive: contact your Sigfox Operator.', and 'Your country is not listed: contact us.' A 'Check Coverage' button is at the bottom left, and a 'Next >' button is at the bottom right. The footer contains 'sigfox.com', 'Contact', 'Terms and conditions', and 'Cookie policy'.

Figura 23

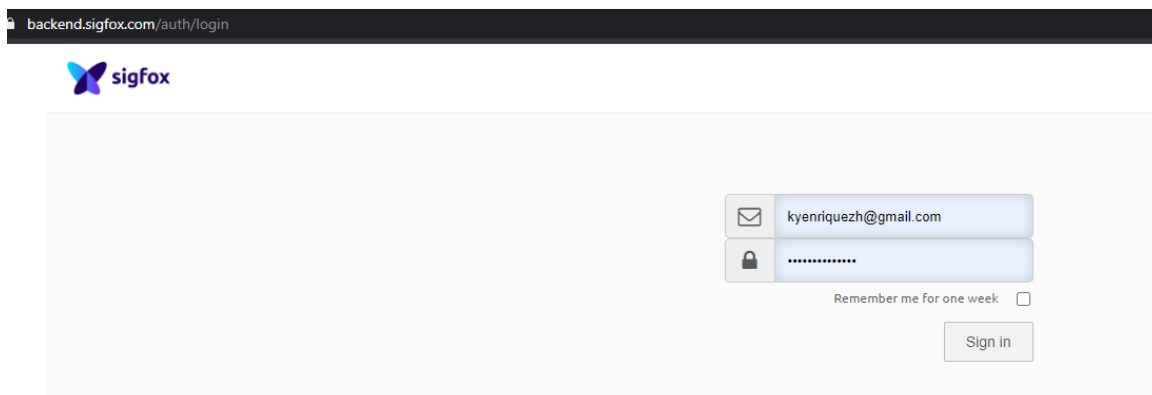
Continuación del formulario para registro en Sigfox

The screenshot shows the 'Provide your DevKit's details for identification' step. The browser address bar is 'buy.sigfox.com/activate/devkit/EC'. The progress bar now shows 'Country' and 'Devkit' as completed steps. The main heading is 'Provide your DevKit's details for identification'. There are two input fields: 'Device ID' with an example '123AB' and a note 'Up to 8 numbers and letters (from A to F)', and 'PAC' with an example '1234567890ABCDEF' and a note 'Exactly 16 numbers and letters (from A to F)'. Below these is the section 'Tell us about your project', which includes a dropdown menu for 'Purpose of your project' and a text area for 'Description' with the prompt 'Tell us more about your project'. At the bottom, there are '< Back' and 'Next >' buttons.

- Una vez completada la información y creada la cuenta, dirigirse a <https://backend.sigfox.com/auth/login> para iniciar sesión

Figura 24

Página de inicio de sesión

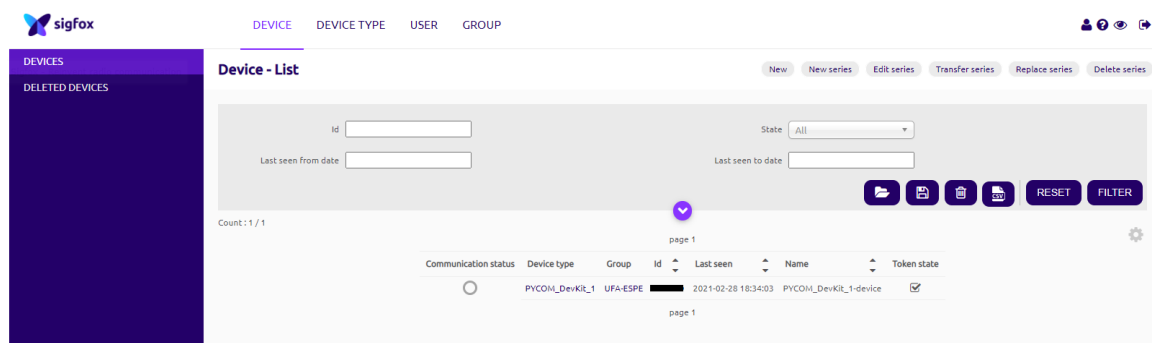


- Al iniciar sesión, se encuentra el dispositivo previamente registrado

Figura

25

Características del equipo registrado



Al concluir este proceso, en el IDE seleccionado, este caso Atom, crear un nuevo proyecto Python para la programación del recibimiento de datos.

Las librerías utilizadas se muestran en la Figura 26.

Figura 26

Librerías en Python para Sigfox

```
1  from network import Sigfox
2  import binascii
3  import socket
4  import machine
5  import pycom
6  import struct
7  import time
```

Para el sensor de humedad que es análogo, el código para capturar los datos es:

- Configurar el PIN en el que se encuentra conectado el sensor, este caso es el 14

```
adc = machine.ADC()
```

```
apin = adc.channel(pin='P14')
```

Esta información pasa al siguiente subsistema para realizar la transmisión de datos.

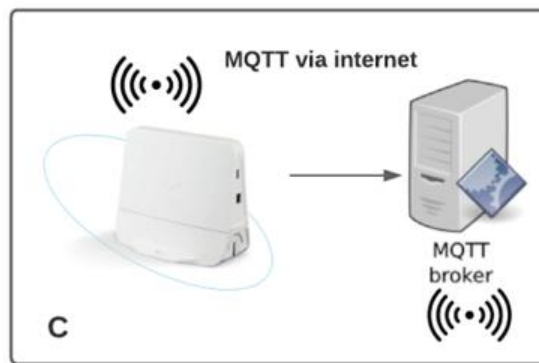
C. Subsistema de transmisión de datos

Al tener los datos procesados, se transmite a través del Gateway Sigfox Access Station Micro SMBS-T4 (Figura 27), el mismo que sirve como un enlace entre el nodo y el broker MQTT. El Gateway se encuentra conectado a internet de

manera inalámbrica y a su vez recepta las señales Sigfox a través de la frecuencia 915 MHz.

Figura 27

Subsistema de transmisión de datos



El código en Python para realizar esta conexión es:

- Init Sigfox para RCZ4

```
sigfox = Sigfox(mode=Sigfox.SIGFOX, rcz=Sigfox.RCZ4)
```

- Crear un socket de Sigfox

```
s = socket.socket(socket.AF_SIGFOX, socket.SOCK_RAW)
```

- Modificar el bloqueo del socket

```
s.setblocking(True)
```

- Configurar el enlace como ascendente

```
s.setsockopt(socket.SOL_SIGFOX, socket.SO_RX, False)
```

- Capturar el valor del sensor

```
valueHumidity = apin.voltage()
```

- El envío del valor debe ser en bytes, por lo cual primero se transforma a tipo de dato String y posteriormente a Byte

```
str_val = str(valueHumidity)
```

```
byte_val = str_val.encode()
```

- Finalmente, se realiza el envío de datos los cuales serán visibles en

<https://backend.sigfox.com/device/#####/messages>. Los valores que se muestran son Hexadecimales con codificación de caracteres ASCII.

Figura 28

Datos transmitidos de Sigfox

Time	Seq Num	Data / Decoding	LQI	Callbacks	Location
2021-02-28 18:34:03	424	31303236			
2021-02-28 18:33:58	423	31303236			
2021-02-28 18:33:31	422	31303236			
2021-02-28 18:32:54	420	31303236			
2021-02-28 18:31:32	416	3934			
2021-02-28 18:31:27	415	3932			
2021-02-28 18:31:17	414	31303236			
2021-02-28 18:31:04	413	31303236			

D. Subsistema de monitoreo de datos

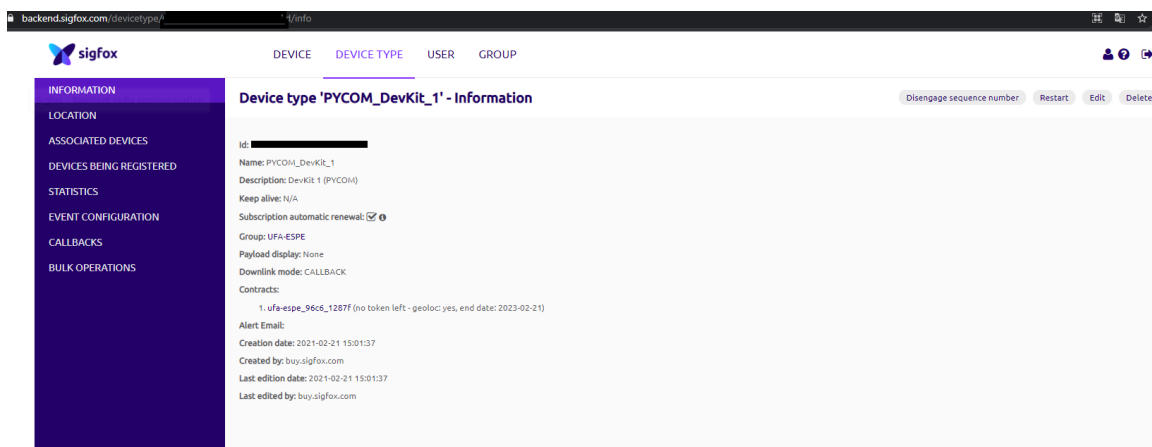
El broker MQTT de Thingspeak, recibe los mensajes mediante un callback realizado desde la página del dispositivo de Sigfox. Procesa los datos y los transmite a la nube para que sean visualizados a través de internet en dispositivos finales como computadores y dispositivos móviles. En este subsistema el usuario final puede visualizar la información recolectada del nodo.

La configuración del callback es la siguiente:

- Ir a la página <https://backend.sigfox.com/devicetype/writekey/info>

Figura 29

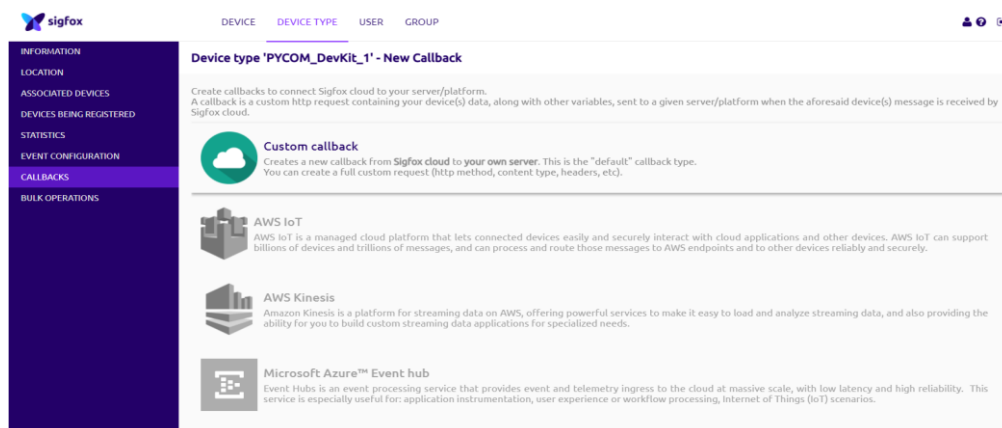
Información del dispositivo



- Seleccionar la opción Callbacks y posteriormente New. Nos aparecerá lo que se muestra en la Figura 30, elegir Custom Callback

Figura 30

Configuración del callback, parte 1



- Configurar el callback, en este caso se utiliza dos fields que son temperatura y humedad.

Figura 31

Configuración del callback, parte 2

Device type PYCOM_DevKit_1 - Callback new

Callbacks

Type:

Channel:

Custom payload config:

URL syntax: `http://host/path?id={device}&time={time}&key1={var1}&key2={var2}...`
 Available variables: `device, time, data, seqNumber, deviceTypeid`
 Custom variables: `customData#temperature, customData#humidity`

Url pattern: `https://api.thingspeak.com/update?api_key={API_KEY}&field1={customC`

Use HTTP Method:

Send SNI: (Server Name Indication) for SSL/TLS connections

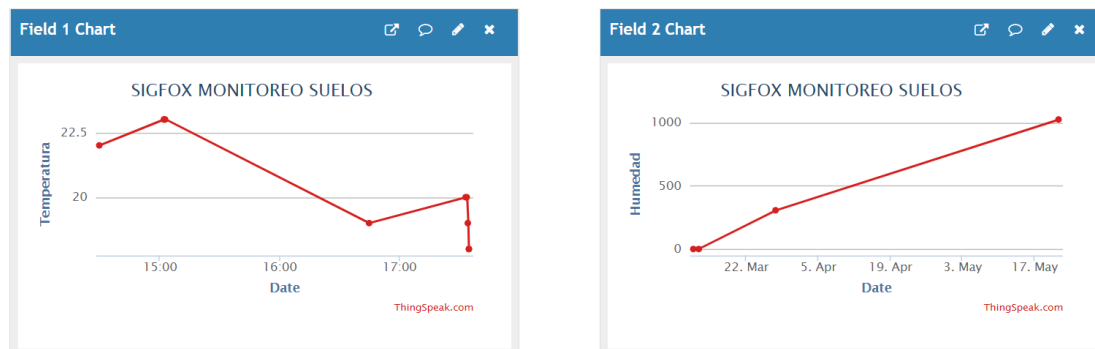
Headers:

header	value
--------	-------

Al terminar esta configuración, se puede observar los valores de humedad y temperatura en la página de thingspeak, como se muestra en la Figura 32.

Figura 32

Resultados de las mediciones en thingspeak



Capítulo V

Evaluación de Tecnologías LPWAN

Descripción

Como se indicó anteriormente, la agricultura es una actividad que se desempeña bajo condiciones que no siempre son las más adecuadas para adaptar un sistema de monitoreo que involucra el uso de redes tradicionales como WiFi y celular. De acuerdo con (Perez, 2018) las redes LPWAN representan una alternativa viable para solventar dicha adversidad en la agricultura, las tecnologías elegidas para la presente evaluación son Sigfox y LoRaWAN.

Los cultivos se encuentran generalmente distribuidos en grandes extensiones de terreno que precisan ser monitoreadas, por lo que se requiere de tecnologías que tengan largo alcance, con un rendimiento que no se vea afectado por las distancias entre los dispositivos. Por lo tanto, es preciso que la evaluación incluya el análisis de parámetros como la cobertura de comunicación y confiabilidad.

Parámetros para evaluar

Con el objetivo de valorar las características que describen el desempeño de las tecnologías LPWAN (LoRaWAN y Sigfox) aplicadas al estudio de caso planteado, se propone el análisis de los siguientes parámetros de evaluación:

- **Confiabilidad:** Se realiza la programación de envío y recepción de datos por un tiempo definido en ambos prototipos y se obtiene el porcentaje de paquetes perdidos.

- **Cobertura de comunicación:** Para evaluar este parámetro se establecen 2 escenarios para el desarrollo de las pruebas: con línea de vista y luego con obstáculos en el tramo Nodo final – Gateway. En cada escenario se evalúan diferentes distancias para evidenciar si aún existe transmisión de datos y en cada punto a evaluar se toman las medidas de RSSI (Received Signal Strength Indicator).

Validación del prototipo

Se realizan las pruebas en la parroquia rural Leitillo en el cantón Patate de la provincia de Tungurahua, se elige esta locación al ser una zona agrícola con un amplio valle y diferentes topologías a los alrededores. Es una zona rural donde las edificaciones son escasas y la vegetación es combinada como se puede observar en la Figura 33.

Figura 33

Vista superior parroquia Leitillo



Por otra parte, se selecciona este lugar ya que no posee cobertura de la tecnología Sigfox (Ver Figuras 34 y 35), lo que nos permite evaluar directamente el rendimiento del Gateway independiente, el cual es de las pocas alternativas para hacer uso de Sigfox en áreas donde no se tiene cobertura, precisamente siendo este el caso de estudio a evaluar al igual que en la tecnología LoraWAN.

Figura 34

Mapa de cobertura de la red Sigfox sector Ambato

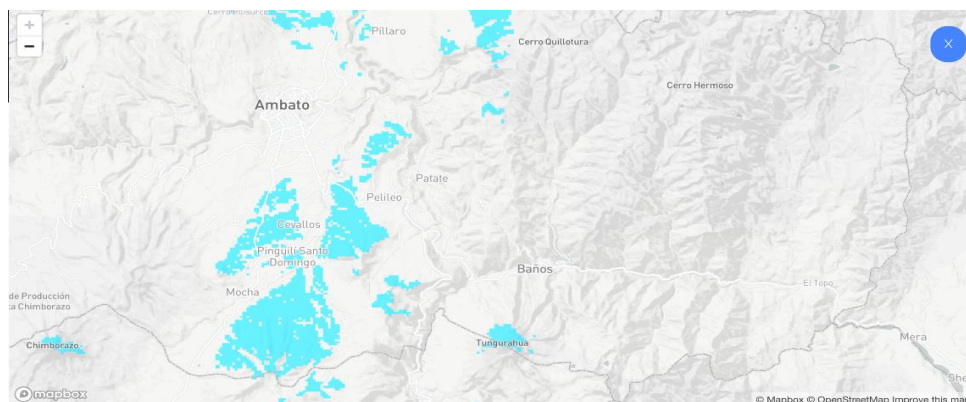
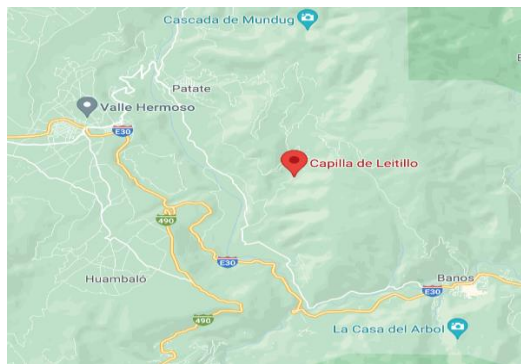


Figura 35

Ubicación de la parroquia Leitillo



Se realizan pruebas en diferentes distancias utilizando dos escenarios que son:

1. Con línea de vista entre el nodo y el gateway, en el cual se realizaron muestras a 470m, 1.5km, 4km.
2. Sin línea de vista entre el nodo y el Gateway, en el cual se realizaron muestras a 693m, 970m, 1.3km y 4.5 km

Para ambos escenarios se ubican los Gateway LoraWAN y Sigfox en la ventana para así determinarlos como outdoor gateways, es decir puertas de enlace exteriores, y de esta manera evitar cualquier interferencia que pueda significar la edificación. Ambos gateways se encuentran conectados a internet por cable y se encuentran colocados en la parte alta de la edificación para de esta manera aumentar la línea de vista de los dispositivos hacia los alrededores.

Se realizan pruebas en diferentes distancias utilizando dos escenarios que son:

1. Con línea de vista entre el nodo y el gateway, en el cual se realizaron muestras a 470m, 1.5km, 4km.
2. Sin línea de vista entre el nodo y el Gateway, en el cual se realizaron muestras a 693m, 970m, 1.3km y 4.5 km

Escenario 1- Con línea de vista entre el nodo y el Gateway

- **Punto 1**

Ubicación geográfica: -1.356356,-78.476749

Fecha y hora de transmisión: 27-06-2021 14:30

Figura 36

Distancia entre el primer punto y el origen



Figura 37

Vista tramo nodo-Gateway



En este primer punto se realiza la toma de datos con una distancia de 470m (Figura 36) entre el Gateway y el nodo, la línea de vista no presenta ningún obstáculo, no se encuentran edificaciones intermedias y la vegetación es de menos de 1m de altura como se puede observar en la Figura 37.

Los datos tanto para LoraWAN (Figura 38) como para Sigfox (Figura 39) llegan adecuadamente, sin pérdida de paquetes (Tabla 13) al gateway. En el caso de sigfox se puede evidenciar la llegada de los paquetes al backend en la figura 40 en la fecha y hora de transmisión indicadas y a su vez al servidor de aplicaciones ThingSpeak como se muestra en la figura 39.

Figura 38

Datos LoRAWAN en Thingspeak

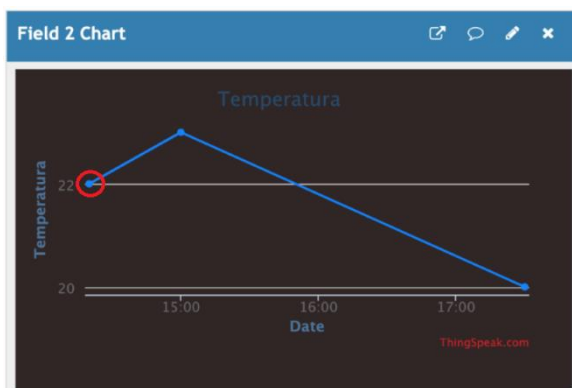


Figura 39

Datos Sigfox en Thingspeak

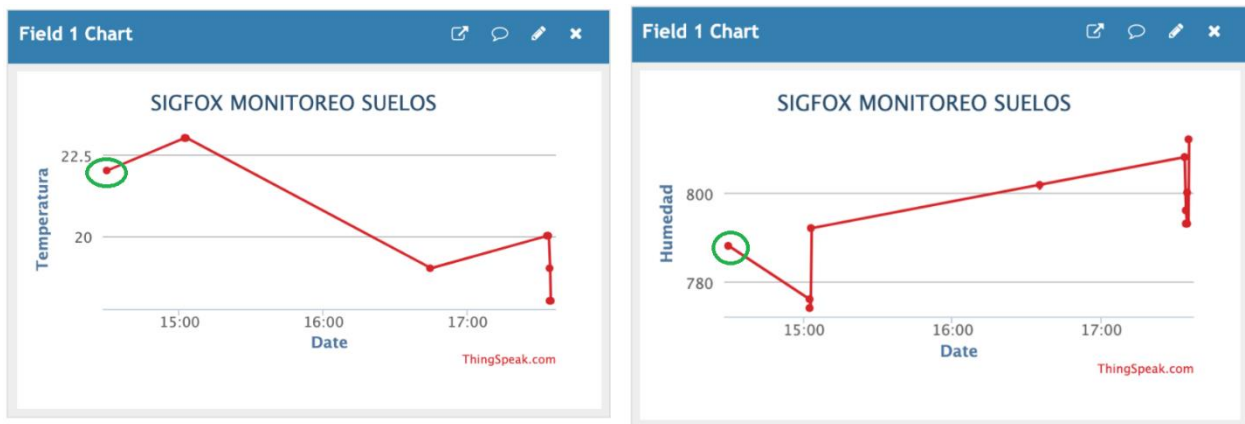


Figura 40

Datos recibidos en el backend de sigfox

Device 4D657D - Messages

2021-06-27 14:29:45	1563	313032333232 ASCII: 102322			
2021-06-27 14:29:22	1562	313032333232 ASCII: 102322			
2021-06-27 14:29:12	1561	313032333232 ASCII: 102322			
2021-06-27 14:28:57	1560	313032333232 ASCII: 102322			
2021-06-27 14:28:36	1559	313032333232 ASCII: 102322			
2021-06-27 14:28:23	1558	313032333232 ASCII: 102322			
2021-06-27 14:28:00	1557	313032333232 ASCII: 102322			

Tabla 13*Datos tabulados en el primer punto*

Tecnología	Temperatura	Humedad	Número de paquetes enviados	Número de paquetes recibidos	Porcentaje de pérdida
LoRaWAN	22	788	7	7	0
Sigfox	22	788	7	7	0

Nota: La tabla indica los datos que se obtuvieron al realizar la prueba en el primer punto

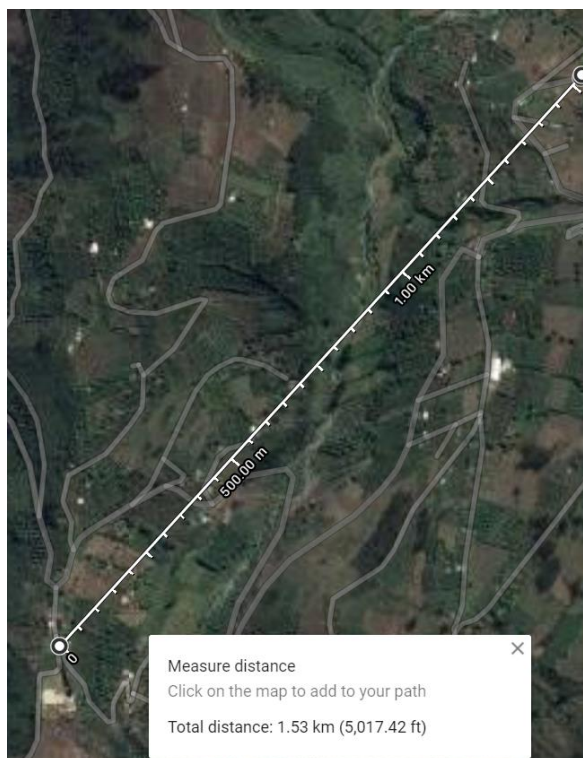
- **Punto 2**

Ubicación geográfica: -1.362810,-78.487499

Fecha y hora de transmisión: 27-06-2021 15:02

Figura 41

Ubicación y distancia punto dos



En este punto se realiza la toma de datos con una distancia de 1.53Km (Figura 41) entre el gateway y el nodo, la línea de vista no presenta mayores obstáculos, se encuentran edificaciones alrededor que no interfieren con la misma y la vegetación presente es de menos de 1m de altura.

Los datos tanto para LoraWAN (Figura 42) como para Sigfox (Figura 43) llegan adecuadamente, sin pérdida de paquetes en el caso de Sigfox y con un 25% de pérdida en el caso de LoRa. En el caso de sigfox se puede evidenciar la llegada de los paquetes

al backend en la figura 44 en la fecha y hora de transmisión indicadas y a su vez al servidor de aplicaciones Thingspeak como se muestra en la figura 43.

Figura 42

Datos LoRAWAN en Thingspeak

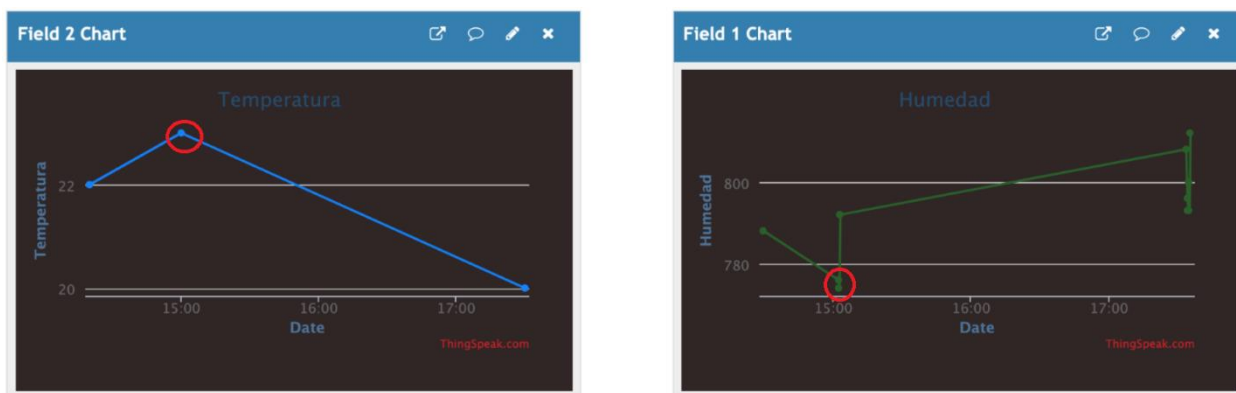


Figura 43

Datos Sigfox en Thingspeak



Figura 44

Datos recibidos en el backend de Sigfox

Device 4D657D - Messages













2021-06-27 15:02:59	1567	313032333233 ASCII: 102323			
2021-06-27 15:02:38	1566	313032333233 ASCII: 102323			
2021-06-27 15:02:24	1565	313032333233 ASCII: 102323			
2021-06-27 15:02:02	1564	313032333233 ASCII: 102323			

Tabla 14

Datos tabulados en el segundo punto

Tecnología	Temperatura	Humedad	Número de paquetes enviados	Número de paquetes recibidos	Porcentaje de pérdida
LoRaWAN	22	788	4	3	25%
Sigfox	23	792	4	4	0

Nota: La tabla indica los datos que se obtuvieron al realizar la prueba en el segundo punto.

- **Punto 3**

Ubicación geográfica: -1.3823048,-78.499141

Fecha y hora de transmisión: 27-06-2021 16:44

Figura 45

Ubicación y distancia punto tres



En este punto se realiza la toma de datos con una distancia de 4.02Km (Figura 45) entre el gateway y el nodo, el terreno evidencia la presencia de una mayor cantidad de edificaciones en los alrededores además de vegetación no tan exuberante, sin embargo, por la altura en la que se encuentran ubicados los gateways, se considera que aún existe línea de vista.

Los datos no fueron transmitidos en el caso de LoraWAN (Figura 46), sin embargo, en el caso de Sigfox (Figura 48) llega apenas 1 paquete de 5 enviados al gateway y a su vez al servidor de aplicaciones ThingSpeak (Figura 47).

Figura 46

Datos LoRAWAN en Thingspeak

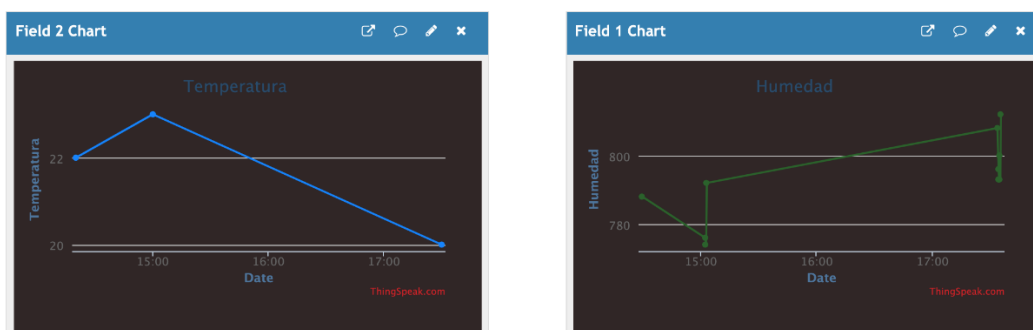


Figura 47

Datos Sigfox en Thingspeak

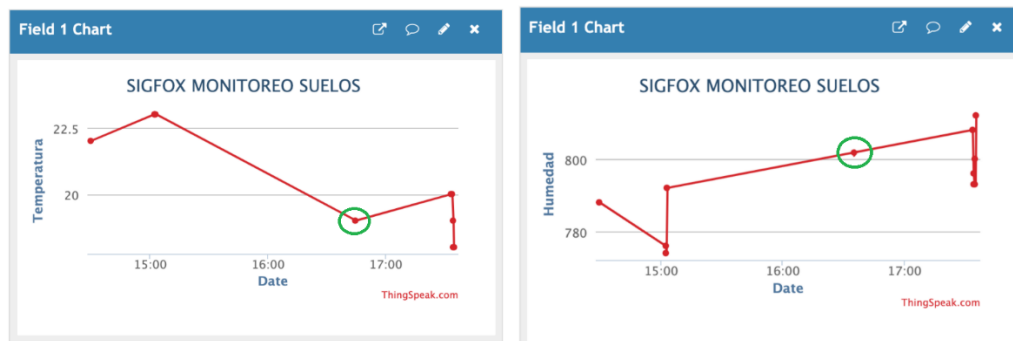
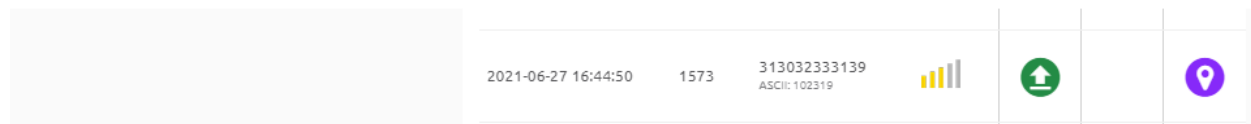


Figura 48*Datos recibidos en el backend de sigfox***Device 4D657D - Messages****Tabla 15***Datos tabulados en el tercer punto*

Tecnología	Temperatura	Humedad	Número de paquetes enviados	Número de paquetes recibidos	Porcentaje de pérdida
LoRaWAN	-	-	-	-	-
Sigfox	19	803	5	1	80%

Escenario 2 - Sin línea de vista entre el nodo y el Gateway

Punto 1

Ubicación geográfica: -1.3489041,-78.4834933

Fecha y hora de transmisión: 27-06-2021 17:47

Figura 49

Ubicación y distancia punto uno



En este primer punto se realiza la toma de datos con una distancia de 693m (Figura 49) entre el gateway y el nodo, no existe línea de vista, y los obstáculos entre

puntos son numerosos incluyendo edificaciones de hasta dos pisos, invernaderos y zonas con árboles. Los datos no llegan tanto para LoraWAN como para Sigfox.

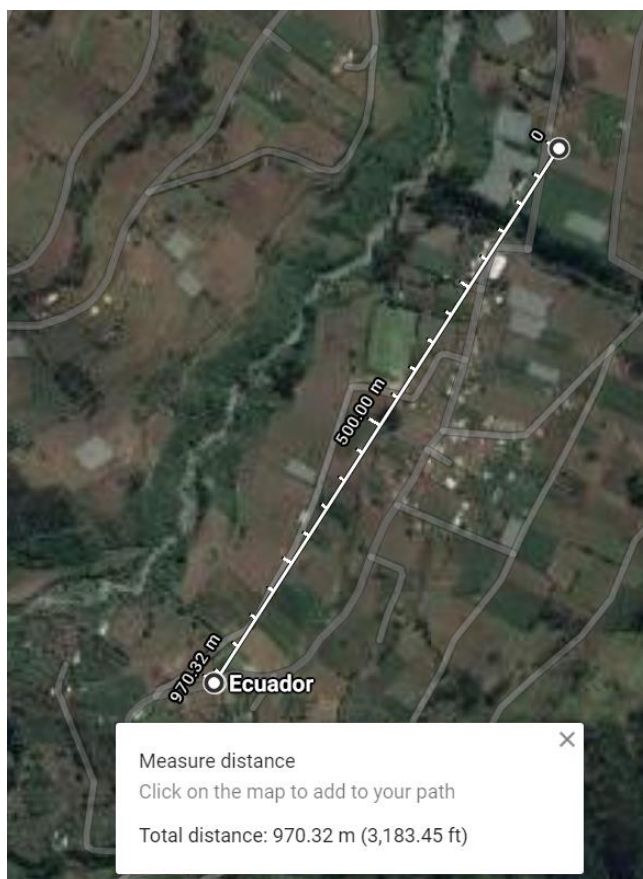
Punto 2

Ubicación geográfica: -1.3451310,-78.4735600

Fecha y hora de transmisión: 27-06-2021 17:35

Figura 50

Ubicación y distancia punto dos



En este punto se realiza la toma de datos con una distancia de 970m (Figura 50) entre el gateway y el nodo, no existe línea de vista, sin embargo, los obstáculos presentes son solo árboles y vegetación de poca altura, además de la edificación propia donde se encuentran los gateways. Como se muestra en la Tabla 16, por parte de LoRaWAN los datos llegan de manera intermitente teniendo un 42.85% de pérdida de paquetes. Por otra parte, sigfox presenta un 14.28% de pérdida de paquetes. Los datos recibidos en el servidor de aplicaciones ThingSpeak se muestran en las figuras 51 y 52, además de los datos recibidos en el backend de Sigfox (Figura 53)

Figura 51

Datos LoRaWAN en Thingspeak

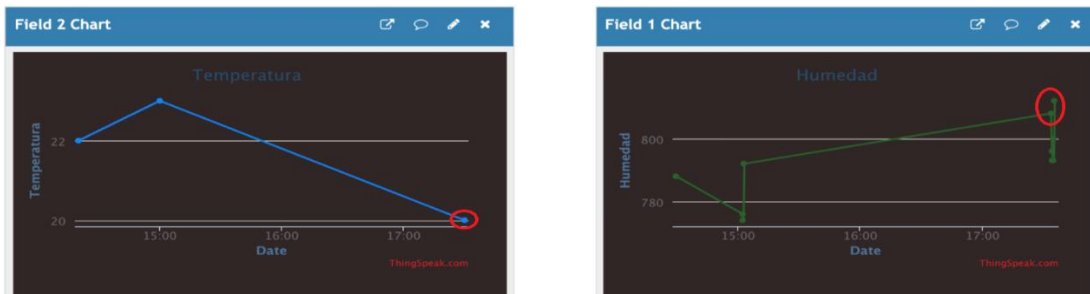


Figura 52

Datos Sigfox en Thingspeak

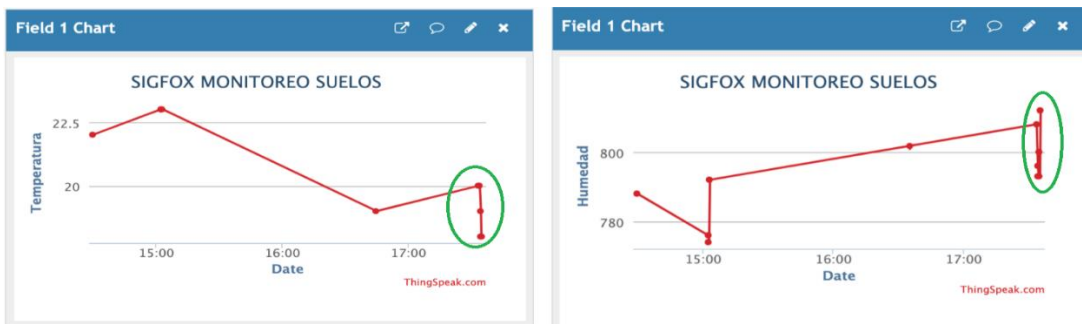


Figura 53

Datos recibidos en el backend de sigfox

Device 4D657D - Messages

Time	Seq Num	Data / Decoding	LQI	Callbacks	Location
2021-06-27 17:35:05	1585	313032333138 ASCII:102318			
2021-06-27 17:34:45	1584	313032333138 ASCII:102318			
2021-06-27 17:34:30	1583	313032333139 ASCII:102319			
2021-06-27 17:34:08	1582	313032333139 ASCII:102319			
2021-06-27 17:33:57	1581	313032333230 ASCII:102320			
2021-06-27 17:33:32	1580	313032333230 ASCII:102320			

Tabla 16

Datos tabulados en el segundo punto

Tecnología	Temperatura	Humedad	Número de paquetes enviados	Número de paquetes recibidos	Porcentaje de pérdida
LoRaWAN	18	812	7	4	42.85%
Sigfox	18	814	7	6	14.28%

Nota: La tabla indica los datos que se obtuvieron al realizar la prueba en el segundo punto del segundo escenario.

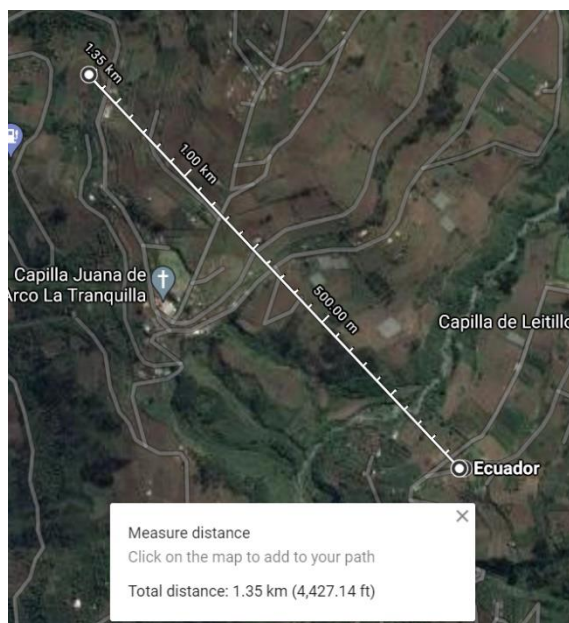
Punto 3

Ubicación geográfica: -1.3442632,-78.4863604

Fecha y hora de transmisión: 27-06-2021 17:25

Figura 54

Ubicación y distancia punto tres



En este punto se realiza la toma de datos con una distancia de 1.35km (Figura 54) entre el gateway y el nodo, no existe línea de vista, y los obstáculos presentes incluyen una loma de baja elevación, árboles y vegetación, y edificaciones de máximo 2 pisos. Los datos no llegan tanto para LoraWAN como para Sigfox.

Punto 4

Ubicación geográfica: -1.3942684,-78.4752037

Fecha y hora de transmisión: 27-06-2021 15:24

Figura 55

Ubicación y distancia punto cuatro



En este punto se realiza la toma de datos con una distancia de 4.5km (Figura 55) entre el gateway y el nodo, no existe línea de vista, y los obstáculos presentes incluyen varias lomas de baja elevación, árboles y vegetación, y edificaciones de máximo 2 pisos. Los datos no llegan tanto para LoraWAN como para Sigfox.

Análisis RSSI

Al realizar la evaluación, se capturó los valores RSSI para analizar la calidad relativa de la señal, cabe aclarar que entre más alto el valor de RSSI, más fuerte es la señal.

La Figura 56 corresponde al análisis de Sigfox, en donde se identifica los puntos en los que se realizaron las mediciones y se les asocia a un color que indica la intensidad del valor de RSSI, para la escala se tomó de base la Tabla 17.

Figura 56

Análisis RSSI Sigfox

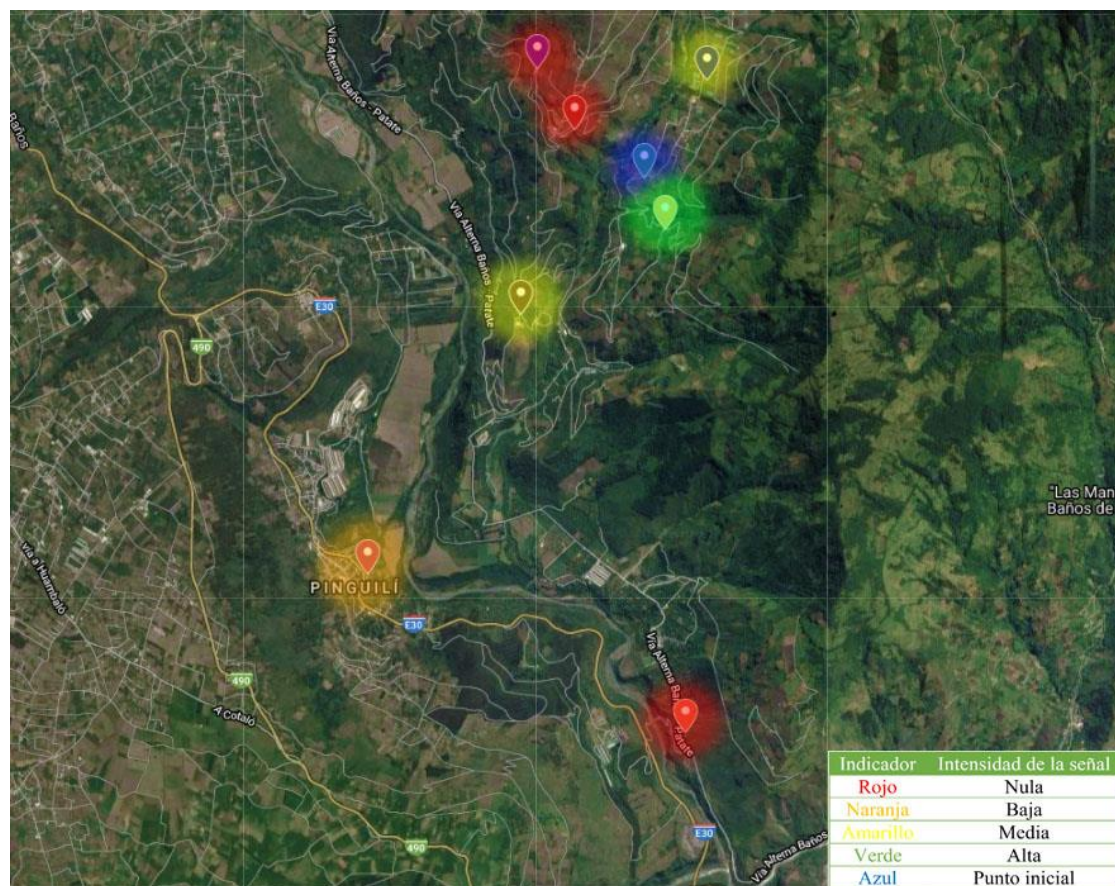


Tabla 17*Tabla de equivalencias RSSI Sigfox*

RSSI	Número de estaciones base	Indicador de calidad
$-114\text{dBm} < \text{RSSI}$	3	EXCELENTE
$-127\text{dBm} < \text{RSSI} \leq -114\text{dBm}$	3	BUENO
$-114\text{dBm} < \text{RSSI}$	1 o 2	BUENO
$-127\text{dBm} < \text{RSSI} \leq -114\text{dBm}$	1 o 2	REGULAR
$\text{RSSI} \leq -127\text{dBm}$	alguna	LÍMITE

Nota: Tabla con las escalas para evaluar el RSSI de Sigfox

El valor que corresponde al punto 1 con línea de vista es de -83 dBm lo que significa que tiene una alta intensidad de señal, mientras que en el punto 2 con línea de vista el RSSI es de -101 dBm y el valor del punto 2 sin línea de vista es de -104 dBm, lo que corresponde a una señal de intensidad media. El punto 3 con línea de vista tiene una intensidad de señal baja con un valor de -117 dBm, en el resto de los puntos la señal fue nula pues no hubo ningún recibimiento de datos.

En cuanto a LoRa, en la Figura 57 se encuentran los puntos donde se realizaron las mediciones, de igual forma están asociados a un color que corresponde al indicador de señal, en este caso para la escala se tomó como referencia la Tabla 18.

Figura 57

Análisis RSSI LoRaWAN

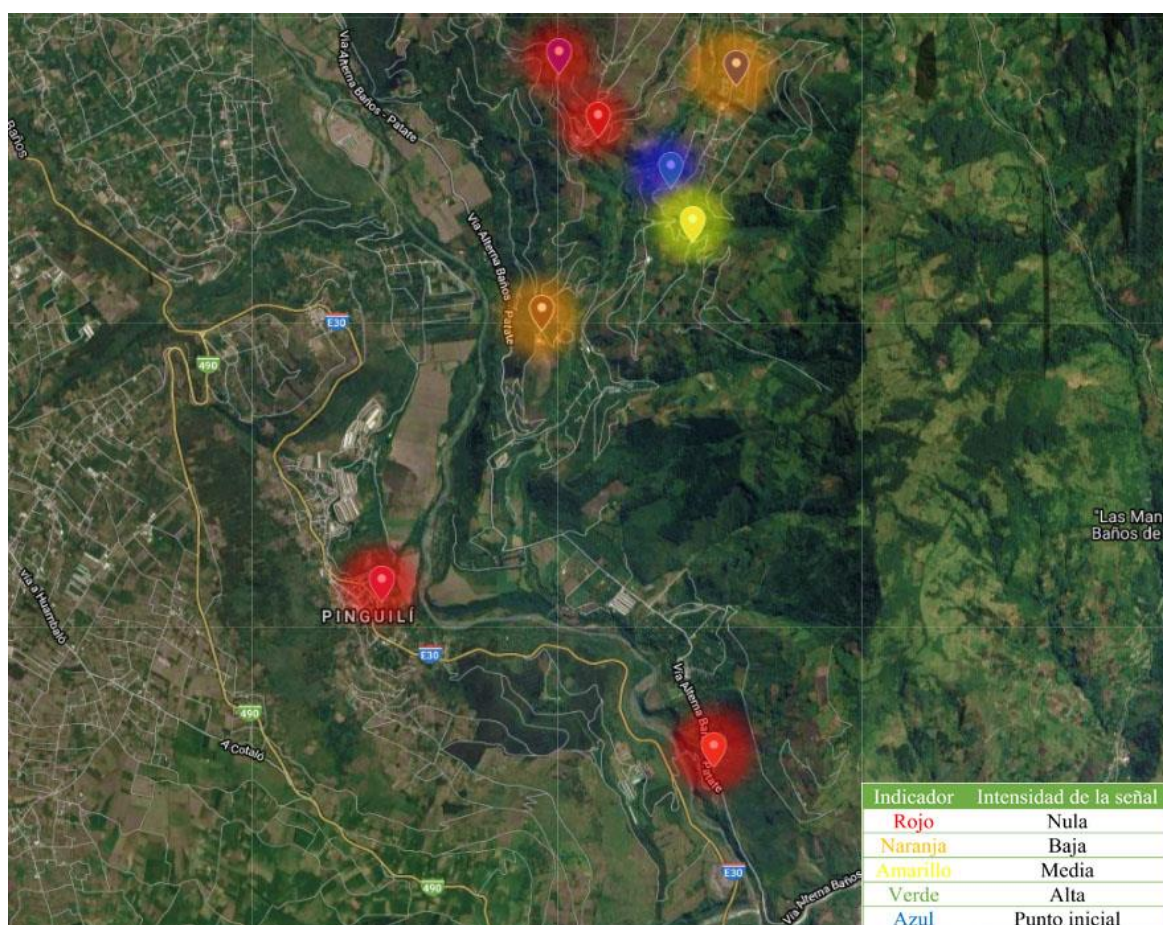


Tabla 18

Tabla de equivalencias RSSI LoRaWAN

RSSI	Indicador de calidad
-30dBm	EXCELENTE
-75 dBm	MEDIA
-120	BAJA

Nota: Tabla con las escalas para evaluar el RSSI de LoRaWAN

El valor que corresponde al punto 1 con línea de vista es de -87 dBm lo que significa que tiene una intensidad de señal media, mientras que en el punto 2 con línea de vista el RSSI es de -110 dBm y el valor del punto 2 sin línea de vista es de -119 dBm, lo que corresponde a una señal de intensidad baja. El resto de los puntos la señal fue nula pues no hubo ningún recibimiento de datos.

Lineamientos para el planteamiento de soluciones de comunicación de largo alcance para el sector agrícola

En base al análisis, construcción y evaluación de los prototipos de monitoreo del suelo tanto para la tecnología Sigfox como para la tecnología LoRaWAN se procede a establecer lineamientos que buscan guiar el planteamiento de soluciones de comunicación en el estudio de caso planteado.

En cuanto a la ubicación del gateway

Basándose en la evaluación realizada, un punto fundamental para favorecer o a su vez perjudicar la comunicación entre el nodo y el gateway es la línea de vista entre estos elementos, por lo que, la ubicación del gateway se torna en un punto importante a tomar en cuenta. Para evitar que existan obstáculos como paredes, puertas, etc., se recomienda para este caso de estudio en ambas tecnologías el despliegue outdoor, es decir que las puertas de enlace sean externas y se encuentren ubicadas en lugares como techos o postes en los puntos más altos que sea posible pues esto ayudará a que se pueda ampliar la línea de visión y por lo tanto el alcance de la comunicación.

Si las condiciones del lugar no se prestan para ubicar la puerta de enlace de tal manera que se eviten la mayoría de los obstáculos del escenario, la tecnología que podría tener un mejor desempeño basándose en las evaluaciones realizadas es Sigfox.

En cuanto a la confiabilidad de la transmisión

Basándose en el análisis de pérdida de paquetes para cada escenario y para cada punto de medición realizado en las evaluaciones. LoRaWAN presenta un mayor porcentaje de pérdida de paquetes que se intensifica mientras más obstáculos existan en el tramo nodo-gateway y mientras más larga sea la distancia. Por otra parte, sigfox presenta una mejor confiabilidad en cuanto a la transmisión de datos que también se ve ligeramente afectada por los factores antes mencionados.

Si los datos que se desean transmitir varían drásticamente en periodos cortos de tiempo y la urgencia de que el dato llegue en un instante determinado del tiempo como

por ejemplo la alerta de un incendio en los cultivos, se recomienda utilizar la tecnología Sigfox pues su transmisión de datos es más precisa.

Por otra parte, si los datos tomados son referenciales como el caso de la temperatura y humedad, y se toman durante varias ocasiones en el día, cualquiera de las dos tecnologías, tanto LoRaWAN como Sigfox son útiles y pueden cumplir el propósito.

En cuanto a la distancia en el tramo Nodo(s) - Gateway

La documentación para tecnologías LPWAN plantea que el rango en condiciones muy favorables es de 20km, sin embargo, en base a las evaluaciones realizadas, con la topografía del lugar, se puede observar que la cobertura en el mejor de los casos para LoRaWAN es de 1.5km, mientras que para Sigfox con una señal bastante baja llega a los 4km.

La distancia a la que puede llegar a transmitir datos el nodo hacia el gateway depende altamente de los obstáculos que existan en la línea de vista de este tramo por lo que, se recomienda evitar que la vegetación sea exuberante y de preferencia que no existan edificaciones o relieves pronunciados (lomas, montañas) que interrumpan la línea de vista.

Para escenarios agrícolas donde se requiera de una cobertura entre 1 y 1.5km, debe existir línea de vista entre el nodo y el gateway, en este escenario el uso tanto de LoRaWAN como de Sigfox es recomendable.

Para escenarios donde se requiera una cobertura entre 1.6 y 4km, de la misma manera debe existir línea de vista en el tramo para que se pueda realizar la comunicación. En este caso la tecnología recomendada es Sigfox, ya que en las pruebas realizadas LoRaWAN no transmitía mensajes en estas distancias.

Capítulo VI

Conclusiones, Recomendaciones y trabajos futuros

El monitoreo del suelo es una actividad necesaria para tener un adecuado manejo de los recursos que se producen del mismo en el sector agrícola, mantener las propiedades del suelo permite producciones de alimentos más saludables y cultivos de mejor calidad. Sin embargo, realizar esta actividad afronta diferentes retos como son un acceso geográfico problemático a causa de la distancia, la orografía, entre otras condiciones que se presentan en los sectores rurales donde se encuentran la mayoría de las áreas de producción agrícola. Por otra parte, existe una baja demanda de sistemas de monitoreo debido al desconocimiento de los beneficios de las telecomunicaciones modernas y de la falta de disponibilidad de los recursos y pobreza relativa de la población rural (RQ1).

Como consecuencia de no tener sistemas de monitoreo modernos soportados por las TICS con tecnologías que se adapten a las condiciones ambientales donde se desarrolla el sector agrícola, se tiene que, no se lleva un control de los recursos consumidos para esta actividad, lo que deriva en el empleo de prácticas agrícolas insostenibles como el sobre riego de los cultivos y la erosión del suelo a causa de no mantener sus propiedades. Con el aprovechamiento inadecuado de los recursos, se afrontan consecuencias ambientales y económicas como el agotamiento de las fuentes acuíferas necesarias para el mantenimiento de los ecosistemas, la contaminación del suelo y el agua, además de mayores costos de consumo de agua. Para los agricultores, el efecto más relevante ante la problemática es que se obtienen cultivos de baja calidad,

o incluso se puede llegar a la pérdida o daño de estos al no proporcionar las condiciones para su crecimiento adecuado (RQ2).

Con el fin de solventar la problemática y obtener un modelo que permita la implementación de sistemas de monitoreo de la calidad del suelo, existen diferentes estudios en los que se presenta el uso del despliegue WSN que son redes de sensores inalámbricas las cuales se comunican a través de tecnologías de largo alcance LPWAN, entre las que se destacan LoRaWAN, ZigBee, NB-IoT y Sigfox como principales alternativas (RQ3).

Al tener una variedad de alternativas en cuanto a las tecnologías que se pueden emplear para el despliegue de sistema de monitoreo, resulta necesario tener parámetros que permitan evaluar el desempeño de estas bajo diferentes condiciones. Los principales parámetros utilizados para evaluar a las redes basadas en tecnologías LPWAN se encuentran orientados a garantizar la calidad del servicio y para esto se evalúa la cobertura de la red punto a punto, pérdida de paquetes, retardo en envío y recepción de paquetes, latencia, RSSI intensidad de la señal (RQ4).

Respecto a esto, existe una cantidad limitada de estudios (entre 5 y 10 anuales desde 2018) donde se presenten comparativas de las tecnologías y su desempeño bajo distintas condiciones. Sin embargo, las tecnologías que destacan dentro de la literatura encontrada son las de largo alcance LPWAN presentes en todos los estudios primarios elegidos, dentro de estas encontramos que la tecnología más utilizada es LoRaWAN ya que se encuentra presente en 4 de los 8 estudios primarios elegidos en esta RPL,

mientras que los 4 restantes se distribuyen entre el uso de ZigBee, NB-IoT y Sigfox (RQ5).

En el caso de LoRaWAN, se encuentra que es una tecnología de bajo costo y amplia diversidad de productos, ya que se pueden encontrar una gran variedad de módulos con diferentes precios y características. Esta tecnología cumple con el objetivo de la transmisión de datos y su confiabilidad es alta en presencia de pocos obstáculos y distancias inferiores a 1KM. Si embargo, se obtiene una baja confiabilidad en ciertos escenarios y con el uso de los módulos más comunes del mercado (utilizados en el presente estudio) pues presenta una gran pérdida de paquetes en presencia de obstáculos y a distancias mayores de 1KM (RQ6).

Por otra parte, Sigfox tiene un costo más alto ya que para tener una red en un lugar donde no se tenga cobertura de esta tecnología solo se tiene una alternativa de puerta de enlace con un costo bastante elevado, además, al no ser una tecnología de uso abierto las alternativas para adquirir módulos son bastante reducidas. En cuanto al desempeño de esta tecnología presenta una alta confiabilidad pues se registran niveles bajos de pérdida de paquetes y su rendimiento es bastante bueno alcanzando transmisión a distancias mayores a 4KM con línea de vista. Su confiabilidad se reduce significativamente en presencia de obstáculos (RQ7).

LoRaWAN y Sigfox presentan una diferencia importante en cuanto a la flexibilidad de configuración y despliegue de un sistema, LoRaWAN por su parte presenta gran variedad de productos en el mercado que dan mayor apertura a variar su configuración para adaptarla a los distintos escenarios en los que se puede encontrar la

zona agrícola a monitorear, mientras que Sigfox presenta reducidas alternativas en cuanto a la customización de la red (RQ8). En cuanto a su funcionamiento en el caso de monitoreo de la calidad del suelo en sitios inhóspitos, ambas tienen un desempeño similar en condiciones ideales que serían un despliegue con línea de vista con la ausencia de obstáculos o la presencia de obstáculos menores como cultivos de poca altura y a distancias hasta 1.5Km. Por otra parte, cuando las distancias son mayores a 1.6Km, Sigfox es una tecnología con mejor desempeño y confiabilidad, en las evaluaciones del presente estudio LoRaWAN ya no realiza transmisión de datos a partir de esta distancia. Ambas tecnologías se ven altamente afectadas por la presencia de obstáculos como pequeñas montañas y edificaciones, obteniendo un rendimiento de 900m cuando los obstáculos son únicamente de vegetación (RQ9).

En conclusión, se establece que la tecnología con mayor grado de confiabilidad y cobertura es Sigfox obteniendo transmisión con línea de vista hasta en distancias mayores a 4Km. Sin embargo, debido a su alto costo y bajo nivel de customización puede no ser accesible para todos en distintas situaciones por lo que, en escenarios con distancias hasta 1.5 Km con línea de vista se considera que tanto LoRaWAN como Sigfox son alternativas viables para el monitoreo del suelo. En el caso de requerir una distancia mayor a esta, la alternativa más viable es Sigfox. Para escenarios donde no exista línea de vista, pero los obstáculos son menores como zonas de bosque o flora abundante, en distancias hasta 900m la mejor alternativa es Sigfox al tener mejor confiabilidad, sin embargo, se puede considerar a LoRaWAN como una alternativa. En distancias mayores o con presencia de gran cantidad de obstáculos como edificaciones o montañas, no se recomienda el uso de ninguna de las dos tecnologías (RQ10-RQ11).

Recomendaciones

Antes de decidir la tecnología LPWAN a implementar, es necesario analizar el entorno en el que se va a trabajar ya que si es un espacio de hasta 1.5 km se puede obtener los beneficios de LoRa a un bajo costo, mientras que, si el espacio es extenso superando los 2km, lo mejor es elegir Sigfox teniendo en cuenta el precio.

Trabajos futuros

Analizar de manera más exhaustiva las tecnologías LPWAN, tomando más ejemplos de ellas e incluso comparando con otras tecnologías para así validar las ventajas y desventajas en general de LPWAN.

Realizar un estudio con mayor número de nodos que permitan conocer el desempeño de las puertas de enlace con mayor estrés de la red.

Aumentar el número de sensores del prototipo para evaluar el comportamiento de las tecnologías al momento de transmitir una mayor cantidad de datos en los diferentes escenarios.

Bibliografía

- (2006). Obtenido de <http://www.gisandbeers.com/RRSS/Publicaciones/Agricultura-Moderna-Precision.pdf>
- (2014). Obtenido de <https://mihistoriauniversal.com/prehistoria/inicios-de-la-agricultura-y-la-ganaderia>
- (2019). Obtenido de <https://www.pwc.es/es/publicaciones/assets/informe-sector-agricola-espanol.pdf>
- Abraham, E. M. (2008). Tierras secas, desertificación y recursos hídricos. *Revista ecosistemas*, 17.
- Academy, C. N. (2015). Aspectos Basicos de Networking. 426.
- Agudelo, M., Chomali, E., Suniaga, J., Núñez, G., Jordán, V., Rojas, F., . . . others. (2020). *Las oportunidades de la digitalización en América Latina frente al COVID-19*. CAF.
- Alliance, L. (s.f.). About - LoRa Alliance®. *About - LoRa Alliance®*. Obtenido de <https://lora-alliance.org/>
- ARCOTEL. (2020). *BOLETÍN ESTADÍSTICO*. Quito.
- Arellano, A., & Cámara, N. (2017). La importancia de las TIC en las necesidades de la sociedad: una aproximación a través de la óptica de Maslow. *BBVA Research*, 1–16.
- Arroyo, P. (2008, 12). La alimentación en la evolución del hombre: su relación con el riesgo de enfermedades crónico degenerativas. *Boletín médico del Hospital Infantil de México*, 65, 431–440. Retrieved from http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1665-11462008000600004&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Blanco-Canqui, H., & Lal, R. (2010). *Principles of Soil Conservation and Management*. Dordrecht: Springer Netherlands. doi:10.1007/978-1-4020-8709-7
- Bonaval. (n.d.). WAN - Wide Area Network. *WAN - Wide Area Network*. Retrieved from <https://www.bonaval.com/kb/sistemas/redes/wan-wide-area-network>

- Borrero, J. D., Fernández, G., & Rodríguez, C. (2019). DISEÑO DE UNA RED DE DISPOSITIVOS INALÁMBRICOS Y DE BAJO CONSUMO PARA LA GESTIÓN EN TIEMPO REAL DE LAS NECESIDADES DE AGUA DE RIEGO DEL CULTIVO. 37-48.
- Carrera, E. R. (2014). *Conceptualización e Infraestructura para la Investigación Experimental en Ingeniería del Software*. Ph.D. dissertation, Universidad Politécnica de Madrid.
- Castañeda, A., Doan, D., Newhouse, D., Nguyen, M. C., Uematsu, H., & Azevedo, J. P. (2016). *Who are the poor in the developing world?* The World Bank.
- Castellanos, G., Deruyck, M., Martens, L., & Wout, J. (2020). System Assessment of WUSN Using NB-IoT UAV-Aided Networks in Potato Crops. *IEEE Access*, 56823 - 56836.
- Co, J., Tiausas, F. J., Domer, P. A., Guico, M. L., Monje, J. C., & Oppus, C. (2018). Design of a Long-Short Range Soil Monitoring Wireless Sensor Network for Medium-Scale Deployment. *TENCON 2018-2018 IEEE Region 10 Conference*, (págs. 1371–1376).
- Coronado, B. L., Díaz-Ramírez, A., Quintero, V., Rosas, M. A., & Camacho, J. A. (2019). Sistema con base en el Internet de las cosas para el control de riego en la agroindustria. *Research in Computing Science*, 148, 63–76.
- Cruz, A. B., Barra, J. E., del Castillo, R. F., & Gutiérrez, C. (2004). La calidad del suelo y sus indicadores. *Revista ecosistemas*, 13.
- de América Latina, B. d. (2017). Hacia la transformación digital de américa latina y el caribe: el observatorio CAF del ecosistema digital. *Corporación Andina de Fomento*. Recuperado de [https://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1059/Observatorio% 20CAF% 20del% 20ecosistema% 20digital. pdf](https://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1059/Observatorio%20CAF%20del%20ecosistema%20digital.pdf).
- Deng, F., Zuo, P., Wen, K., & Wu, X. (2020). Novel soil environment monitoring system based on RFID sensor and LoRa. *Computers and Electronics in Agriculture*, 169, 105169.
- Devi, R. K., & Muthukannan, M. (2020). An Internet of Things-based Economical Agricultural Integrated System for Farmers: A Review. *2020 4th International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICICCS)*, (págs. 666–673).

- Dragino. (2020). *LG01N/OLG01N LoRa Gateway User Manual*. Obtenido de Dragino: https://www.dragino.com/downloads/downloads/LoRa_Gateway/LG01N/LG01N_LoRa_Gateway_User_Manual_v1.4.0.pdf
- Duarte, E. S. (2008). Las tecnologías de información y comunicación (TIC) desde una perspectiva social. *Revista electrónica educare*, 12, 155–162.
- Erazo, H. A. (2010). Aportes de las TI en la educación superior. *Revista UNIMAR*, 28.
- Erazo, H. A. (2010). Aportes de las TI en la educación superior. *Revista UNIMAR*, 28.
- Feng, X., Yan, F., & Liu, X. (2019). Study of wireless communication technologies on Internet of Things for precision agriculture. *Wireless Personal Communications*, 108, 1785–1802.
- FOOD, & NATIONS., A. O. (2017). *EL ESTADO MUNDIAL DE LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION 2017*. FOOD & AGRICULTURE ORG.
- Fuentes, J. M., Jurado, P. J., Marín, J. M., & Cámara, S. B. (2012). El papel de las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) en la búsqueda de la eficiencia: un análisis desde Lean Production y la integración electrónica de la cadena de suministro. *Cuadernos de Economía y Dirección de la Empresa*, 15, 105–116.
- Fuentes, J. M., Jurado, P. J., Marín, J. M., & Cámara, S. B. (2012). El papel de las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) en la búsqueda de la eficiencia: un análisis desde Lean Production y la integración electrónica de la cadena de suministro. *Cuadernos de Economía y Dirección de la Empresa*, 15, 105–116.
- García, W., & Sánchez, S. (2012). Indicadores de la calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso. *Pastos y Forrajes vol.35 no.2*.
- Gebbers, R., & Adamchuk, V. I. (2010). Precision agriculture and food security. *Science*, 327, 828–831.
- General, A. (11 de 2019). Informe de las Asamblea de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. *Informe de las Asamblea de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente*.
- Gil, J. M. (2006). *Tecnologías para transformar la educación*. Ediciones Akal.

- Giraldo-Rendón, J. P., Osorio-Díaz, A., & Sánchez-Gómez, A. C. (2018). Gestión del conocimiento: una ontología gubernamental. *Ventana Informática*.
- Gordillo, J. J., & Rodríguez, V. H. (2009). Cálculo de la fiabilidad y concordancia entre codificadores de un sistema de categorías para el estudio del foro online en e-learning. *Revista de Investigación Educativa*, 27, 89–103.
- Harman, G. (2005). *Política de desarrollo agrícola*. Food & Agriculture Org.
- Hassan, M., Alraisi, A., Alsidairi, Y., Alshukaili, A., Mohammed, H., Alshimali, A., & Hameed Kalifullah, A. (10 de 2019). DESIGN AND DEVELOPMENT OF LOW COST SOIL MONITORING SYSTEM USING ARDUINO.
- Hora, D. L. (n.d.). La importancia de la agricultura en el Ecuador - La Hora. *La importancia de la agricultura en el Ecuador - La Hora*. Retrieved from <https://lahora.com.ec/loja/noticia/1102152925/la-importancia-de-la-agricultura-en-el-ecuador>
- Jiménez Carrasco, J. S., Rendón Medel, R., Toledo, J. U., & Aranda Osorio, G. (2016). Las tecnologías de la información y comunicación como fuente de conocimientos en el sector rural. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 7, 3063–3074.
- Kitchenham, B. (2004). Procedures for performing systematic reviews. *Keele, UK, Keele University*, 33, 1–26.
- Kitchenham, B. A., Budgen, D., & Brereton, P. (2015). *Evidence-based software engineering and systematic reviews* (Vol. 4). CRC press.
- Kitchenham, B., & Charters, S. (2007). Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering.
- life Sinergia, P. (2006). Producción exitosa en viticultura. *Impactos ambientales en agricultura*.
- Marco Brown, O. L., & Reyes Gil, R. E. (2003). Tecnologías limpias aplicadas a la agricultura. *Interciencia*, 28, 252–259.
- Marcos, J. I. (2018). *Historia general de la agricultura: de los pueblos nómadas a la biotecnología*. Guadalmezán.
- Martakis, A. (2015). Framework for Enterprise Uncertainty-Driven Decision-Making. *Thesis for: Master of Science in Computer Science*.

- Mbow, H.-O. P., Reisinger, A., Canadell, J., & O'Brien, P. (2017). Special Report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems (SR2). *Ginevra, IPCC*.
- Mon, A., & Del Giorgio, H. (2019). Modelo de evaluación de Tecnologías de la Información y la Comunicación para la industria 4.0. *XXV Congreso Argentino de Ciencias de la Computación (CACIC)(Universidad Nacional de Río Cuarto, Córdoba, 14 al 18 de octubre de 2019)*.
- Muhammad, A., Mohammad, A.-U., Zubair, S., Ali, M., & El-Hadi, M. A. (2019). Internet-of-Things (IoT)-Based Smart Agriculture: Toward Making the Fields Talk. *IEEE Access (Volume: 7)*, 129551 - 129583.
- Murray, J. (2011). Cloud network architecture and ICT-Modern network architecture. *IT Knowledge Exchange*.
- Ndidiamaka Patience, U. G., & Nnaekwe, K. (2019). The Concept and Application of ICT to Teaching/Learning Process. *International Research Journal of Mathematics, Engineering and IT*, 6.
- Ordinas, J. M., Griera, J. Í., Alabern, L. C., & Olivé, E. P. (2004). *Estructura de redes de computadores*. UOC.
- Org, G. (s.f.). Una breve historia de los orígenes de la agricultura, la domesticación y la diversidad de los cultivos. *Una breve historia de los orígenes de la agricultura, la domesticación y la diversidad de los cultivos*. Obtenido de <https://www.grain.org/es/entries/6080-una-breve-historia-de-los-origenes-de-la-agricultura-la-domesticacion-y-la-diversidad-de-los-cultivos>
- PALMER, N. (2012). Las TIC para la recopilación de datos, el monitoreo y la evaluación. *Las TIC para la recopilación de datos, el monitoreo y la evaluación*. CIAT/e-agriculture foro en línea marzo.
- Perdomo, V. P., Caizabano, J. R., & Altamirano, F. S. (2018). Arquitectura de redes de información. Principios y conceptos. *Dominio de las Ciencias*, 4, 103–122.
- Perez, D. R. (2018). Implementation of Lora and Lorawan as a Future Scenario of Industry 4.0 in Peruvian Agro Industry Sector.
- Picado-Alvarado, F. (2008). Análisis de concordancia de atributos. *Revista Tecnología en Marcha*, 21, ág–29.

- Pitu, F., & Gaitan, N. C. (2020). Surveillance of SigFox technology integrated with environmental monitoring. *2020 International Conference on Development and Application Systems (DAS)*, (págs. 69–72).
- Preneuf, F. d. (2019, 09 23). Agricultura y alimentos. *Overview*. Washington. Retrieved from <https://www.worldbank.org/en/topic/agriculture/overview>
- Ragnarsdóttir, K. V., & Banwart, S. A. (s.f.). Soil: The Life Supporting Skin of Earth.
- Ramos, V. (2007). Las TIC en el sector de la salud. *bit*, 163, 41–45.
- Reboud, X. (3 de 2019). Agricultura de alta tecnología: los agricultores corren el riesgo de ser "atados" a prácticas insostenibles. *Agricultura de alta tecnología: los agricultores corren el riesgo de ser "atados" a prácticas insostenibles*. Obtenido de <https://mundoagropecuario.com/agricultura-de-alta-tecnologia-los-agricultores-corren-el-riesgo-de-ser-atados-a-practicas-insostenibles/>
- Redacción. (n.d.). La agricultura y su importancia en nuestra vida cotidiana | Revista Win. *La agricultura y su importancia en nuestra vida cotidiana | Revista Win*. Retrieved from <https://revista-win.com/la-agricultura-y-su-importancia-en-nuestra-vida-cotidiana/>
- Robles, J. (27 de 05 de 2016). Aplicando la tecnología a la agricultura podremos salvar el mundo - Futurizable | Sngular. *Aplicando la tecnología a la agricultura podremos salvar el mundo - Futurizable | Sngular*. Obtenido de <https://futurizable.com/agrotech/>
- RTVE.es. (2010, 6). *La agricultura es uno de los sectores que provoca más daños ambientales*. Retrieved from <https://www.rtve.es/noticias/20100605/agricultura-uno-sectores-provoca-mas-danos-ambientales/334194.shtml>
- Ruiz-Garcia, L., Lunadei, L., Barreiro, P., & Robla, I. (2009). A review of wireless sensor technologies and applications in agriculture and food industry: state of the art and current trends. *sensors*, 9, 4728–4750.
- Salazar, J. (2016). Redes inalámbricas. *Republica checa*.
- Salvado Manzorro, M. (2013). *RFID: Un estudio para la aplicación en el Sector Agroindustrial*. Sevilla.
- Saqib, M., Almohamad, T. A., & Mehmood, R. M. (2020). A Low-Cost Information Monitoring System for Smart Farming Applications. *Sensors*, 20, 2367.

- Saqib, M., Almohamad, T. A., & Mehmood, R. M. (2020). A Low-Cost Information Monitoring System for Smart Farming Applications.
- Sendra, S., García, L., Lloret, J., Bosch, I., & Vega-Rodríguez, R. (2020). LoRaWAN network for fire monitoring in rural environments. *Electronics*, 9, 531.
- Sigfox. (n.d.). SIGFOX.COM. *SIGFOX.COM*. Retrieved from <https://www.sigfox.com/en>
- Spanner, J., & Napolitano, G. (2015). Los suelos sanos son la base para la producción de alimentos saludables. 4. *Extraído de <http://www.fao.org/3/a-i4405s.pdf>*.
- Thakur, D., Kumar, Y., Kumar, A., & Kumar, P. (2019). Applicability of Wireless Sensor Networks in Precision Agriculture: A Review. *Wireless Personal Communications*, 471–512.
- Unidas, N. (2015, 12). Población. *Población*. Retrieved from <https://www.un.org/es/sections/issues-depth/population/index.html>
- Unión Internacional de Telecomunicaciones. (2017). *Cuestión 5-1 Telecomunicaciones/TIC para las zonas rurales y distantes*. Ginebra.
- United States Department of Agriculture. (2020). *Natural Resources Conservation Service Soils*. Obtenido de NRCS: <https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/main/soils/health/>
- Vasey, D. E. (2002). *An ecological history of agriculture 10,000 BC-AD 10,000*. Purdue University Press.
- Villasanti, C., Román, P., & Pantoja, A. (2013). El manejo del suelo en la producción de hortalizas con buenas prácticas agrícolas. *Paraguay: FAO*.
- Vuran, M. C., Salam, A., Wong, R., & Irmak, S. (s.f.). Internet of Underground Things in Precision Agriculture: Architecture and Technology Aspects. *Ad Hoc Networks*, 2018.
- Wieringa, R. J. (2014). *Design Science Methodology for Information Systems and Software Engineering*. Springer.
- Zhang, H., Babar, M. A., & Tell, P. (2011). Identifying relevant studies in software engineering. *Information and Software Technology*, 53, 625–637.
- Zhou, G. (2016). El uso de la tecnología de la información en la agricultura de las economías de la APEC y más allá. 8.

