



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL

ESCUELA DE POSGRADOS “ESPOG”

MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES MENCIÓN: GESTIÓN DE LAS TELECOMUNICACIONES

Resolución: RPC-SE-01-No.016-2020

PROYECTO DE TITULACIÓN EN OPCIÓN AL GRADO DE MAGISTER

Título del proyecto:
Hidropónico automatizado con monitoreo remoto mediante comunicación LoRa y aplicación IoT.
Línea de Investigación:
Ciencias de la ingeniería aplicadas a la producción, sociedad y desarrollo sustentable
Campo amplio de conocimiento:
Ingeniería, industria y construcción
Autor/a:
Ing. Chanalata Encalada Stephanie Celinda
Tutor/a:
Mg. Albarracín Guarochico Wilmer Fabian

Quito – Ecuador

2022

APROBACIÓN DEL TUTOR



Yo, Albarracín Guarochico Wilmer Fabian con C.I: 1713341152 en mi calidad de Tutor del proyecto de investigación titulado: Hidropónico automatizado con monitoreo remoto mediante comunicación LoRa y aplicación IoT.

Elaborado por: Chanalata Encalada Stephanie Celinda, de C.I: 1722337530, estudiante de la Maestría: Telecomunicaciones, mención: Gestión de las Telecomunicaciones de la **UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL (UISRAEL)**, como parte de los requisitos sustanciales con fines de obtener el Título de Magister, me permito declarar que luego de haber orientado, analizado y revisado el trabajo de titulación, lo apruebo en todas sus partes.

Quito D.M., 30 de septiembre de 2022

Firma

DECLARACIÓN DE AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL ESTUDIANTE



Yo, Chanalata Encalada Stephanie Celinda con C.I: 1722337530, autor/a del proyecto de titulación denominado: Hidropónico automatizado con monitoreo remoto mediante comunicación LoRa y aplicación IoT. Previo a la obtención del título de Magister Telecomunicaciones, mención Gestión de las Telecomunicaciones.

1. Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar el respectivo trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.
2. Manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Tecnológica Israel los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor@ del trabajo de titulación, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital como parte del acervo bibliográfico de la Universidad Tecnológica Israel.
3. Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de prosperidad intelectual vigentes.

Quito D.M., 30 de septiembre de 2022

Firma

Tabla de contenidos

APROBACIÓN DEL TUTOR	2
DECLARACIÓN DE AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL ESTUDIANTE	3
INFORMACIÓN GENERAL	7
Contextualización del tema	7
Problema de investigación	8
Objetivo general	8
Objetivos específicos	8
Vinculación con la sociedad y beneficiarios directos:	8
CAPÍTULO I: DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	10
1.1. Contextualización general del estado del arte	10
1.1.1 Tecnología LoRa	10
1.1.2 Hidroponía	12
1.2. Proceso investigativo metodológico	14
1.2.1 Metodología de la investigación	14
1.2.2 Tipo de investigación	14
1.2.3 Población y muestra	14
1.2.4 Métodos, técnicas e instrumentos	14
CAPÍTULO II: PROPUESTA	15
2.1 Fundamentos teóricos aplicados	15
LoRa (Long Range)	15
LoRaWAN	15
Software Arduino	16
ThingSpeak	17
Horticultura e hidroponía	17
2.2 Descripción de la propuesta	18
Sistema hidropónico	22
2.3 Validación de la propuesta	24
2.4 Matriz de articulación de la propuesta	25
2.5 Análisis de resultados. Presentación y discusión.	1
2.5.1 Gestión de las telecomunicaciones	7
CONCLUSIONES	9
RECOMENDACIONES	10
BIBLIOGRAFÍA	11

Índice de tablas

Tabla 1	12
Tabla 2	19
Tabla 3	25
Tabla 4	6
Tabla 5	6

Índice de figuras

Figura 1	11
Figura 2	11
Figura 3	16
Figura 4	18
Figura 5	21
Figura 6	23
Figura 7	23
Figura 8	24
Figura 9	1
Figura 10	1
Figura 11	2
Figura 12	3
Figura 13	3
Figura 14	4
Figura 15	4
Figura 16	5
Figura 17	5
Figura 18	5
Figura 19	8

INFORMACIÓN GENERAL

Contextualización del tema

En Ecuador existen poblaciones rurales que carecen de cobertura de internet, por esta razón, el internet de las cosas (IoT) busca el beneficio hacia el sector, especialmente en la agricultura, dada la situación de quienes laboran tienden a desplazarse a largas distancias para visualizar su productividad, donde junto con la tecnología LoRa utilizan espectro de frecuencias de uso público lo que permite realizar la red según la necesidad hacia una mejora para el sector. Existen alternativas en el mercado para el impulso hacia las tendencias tecnológicas que ha dado grandes innovaciones en diversas áreas como el hogar, la industria y en la agricultura en la que se encuentran en constante cambio y es importante la adaptación al medio, hoy en día IoT cuenta con seguridad y privacidad que permite recolectar información para ser compartida entre dispositivos y la nube, brindando soporte y factible para nuevas aplicaciones lo menciona (Mogrovejo Narváez, 2019).

El presente proyecto pretende desarrollar un hidropónico automatizado con monitoreo remoto mediante comunicación LoRa y aplicación IoT dentro de la ciudad de Quito-Ecuador donde la población está en constante crecimiento lo que no permite poseer un terreno donde puedan producir sus cultivos, por lo que se pretende implementar un prototipo en una área urbana con línea de vista donde permitirá el proceso y desarrollo, donde puede hacerse realidad en la propia vivienda reduciendo espacios como es el caso del último piso a una determinada distancia de donde se encuentra la persona encargada.

Seguido de lo anterior se implementará sensores para los parámetros que reconocerá los principales parámetros como la temperatura-humedad ambiente, Ph y nivel de agua capaz de producir cultivos de tradicional con diferencia que el sistema hidropónico va permitir restringir pérdidas por daños en los sembríos de las hortalizas mediante un monitoreo con conectividad de la tecnología LoRa que mediante una aplicación IoT alertará si existe alguna inconsistencia en cada variable antes mencionada en el prototipo produciendo plantas comestibles. El sistema hidropónico es otro método el cual ha permitido a la agricultura mantener buenas hortalizas sin la utilización del suelo, las plantas se desarrollan con manejo de sanidad y en un tiempo óptimo que una agricultura tradicional como lo indican en el trabajo de titulación de (Briceño Jején & Cubides Porras, 2020).

Problema de investigación

Actualmente un sistema hidropónico tiene un gran impacto para mejorar la calidad de los cultivos generando un producto rentable y comestible saludable dentro de la agricultura, pero debido a su costo de automatización ciertos países en Latinoamérica son pocos los que implementan en sus regiones o por la falta de suelos ricos en producción suelen obviar este método de producción.

En este contexto, el problema de los suelos infértiles y el ambiente que no permiten un cultivo óptimo para la producción en cantidades o en buenas condiciones, con pérdida de cultivos por las plagas o químicos que afectan al sembrío tradicional.

La distancia que existe entre la persona encargada de cultivar y el cultivo por largos metros o kilómetros que no permite el control total del proceso de cultivo. De continuar con esta situación existiría pérdida de cultivos en su mayoría.

Por lo antes expuesto surge la necesidad de implementar la tecnología LoRa que permitirá monitorear a largas distancias y a bajos costos, con una aplicación IoT que permitirá un control de ciertos parámetros que harán de un cultivo saludable y en condiciones ambientales y con sanidad con la ayuda de un sistema hidropónico y que también beneficia a la reducción de espacios sin necesidad de suelos, siendo Ecuador rico en agricultura en zonas rurales pueda también implementar en zonas urbanas.

Objetivo general

Desarrollar un hidropónico automatizado con monitoreo remoto mediante comunicación LoRa y aplicación IoT.

Objetivos específicos

- Contextualizar los fundamentos teóricos sobre las diferentes tecnologías actuales de IoT.
- Definir el estado actual de un sistema hidropónico en la agricultura en Ecuador.
- Desarrollar un sistema de monitoreo usando la tecnología LoRa para un cultivo hidropónico.
- Validar el sistema hidropónico tomando en cuenta los principales parámetros como la temperatura-humedad ambiente, Ph y nivel de agua capaz de producir cultivos.

Vinculación con la sociedad y beneficiarios directos:

Ecuador es un país en tendencia de crecimiento en producir hortalizas y se ha podido evidenciar en mercados locales, siendo uno de los principales alimentos comestibles por tal razón necesita de un extremo cuidado al verse afectado de manera tradicional por el uso de tierra como el estado climático, plagas existentes o contaminaciones de suelos. La productividad beneficia a la economía del Ecuador en todas sus regiones, creciendo de manera sostenida para alcanzar efectivos resultados y tener la

probabilidad de ingresar al mercado en relevantes expansiones (Calderón y otros, 2016). Y así poder supervisar, planificar y analizar la situación actual del sistema hidropónico del cultivo, controlando las actividades como temperatura-humedad ambiente, controlar el Ph y nivel de agua de los reservorios capaz de producir diversos cultivos como las verduras en una inversión de bajo costo.

Por otra parte también, algunos documentos como (Loya Lasluisa, 2022), (Briceño Jejen & Cubides Porras, 2020), (Velasquí Silva, 2021), indican exitosamente que existe implementación hidropónicos con tecnología LoRa mostrando que la topología de la red depende de diversos parámetros como la estabilidad, fiabilidad, flexibilidad, consumo energético, robustez, instalación y el costo apropiada para usar en aplicaciones de IoT encaminada a automatizar hacia métodos agrícolas que consiente en el transporte ilimitado de mensajes, mediante autonomía a selección del servidor y almacenamiento de la información en niveles altos como seguridad al acceder con encriptación y autenticación en cada nodo. Se puede manifestar en el presente trabajo es crear un sistema hidropónico en área urbana donde sería beneficioso para el sector productivo reduciendo geográficamente espacio en sus viviendas a las personas que optan por la agronomía.

Los beneficiarios directos están relacionados dentro de la agronomía donde su aporte en los sectores productivos sería beneficioso en automatizar y monitorear un sistema de cultivo para mantener su calidad de manera sana, limpia y sin químicos que permita ser comercializado ejemplo la lechuga que requiere de un cuidado delicado (MAGAP, 2018). La importancia de implementar una red IoT mediante la comunicación inalámbrica LoRa es aprovechar los cambios tecnológicos para la productividad y definir estrategias hacia la disponibilidad de ellas mediante las redes inalámbricas con sensores que puedan interactuar con la realidad y demostrar en base al prototipo la obtención de datos en determinados eventos para la toma de decisiones (Camberos Ortiz & Forero Giraldo, 2020), (Espinoza Guerrero, 2021).

CAPÍTULO I: DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

1.1. Contextualización general del estado del arte

Para (Oratile y otros, 2017), menciona que la comunicación es la clave para que todas las cosas puedan estar conectadas directamente al internet para formar una red inalámbrica da la facilidad de agregar o quitar dispositivos, Wireless Sensor Networks (WSN) es una tecnología exitosa que ha permitido al internet de las cosas (IoT) ir evolucionando e implementando la interconexión entre objetos de manera física con el ciberespacio. Se han realizado investigaciones que conduce a la innovación, categorías como Smart Cities, Homes, Transportation, Grid, Environment y Water System en la que aún no existe un modelo estable de implementación IoT, ya que depende del uso de aplicación, cada solución que se le da puede servir a los expertos para mejoras entre categorías.

(Lavric & Loan Petrariu, 2018), contextualmente cita que IoT supera los desafíos actuales como el agotamiento de recursos, la contaminación, el consumo energético, aporta en los negocios que se realizan diariamente con su automatización principalmente en los desafíos en la industria M2M (Machine-to-Machine). La comunicación se garantiza con un alcance en áreas grandes geográficamente, donde la tecnología (LPWAN) es la adecuada para interconectar sin latencia en aplicaciones IoT en bajo costo de mantenimiento.

Criterio expuesto por (Oratile y otros, 2017), indica que el internet tradicional aparte de ofrecer servicios centrados también ha permitido que dispositivos tengan la capacidad de comunicarse a través de él, IoT posee aplicaciones para gestionar un sistema a corto alcance (6LowPAN, ZigBee) o cobertura extendida (LoRa, UNB, LTE-M, Sigfox, peso ligero, etc.) que requieren nodos de sensores con alta eficiencia y área amplia de baja potencia (LPWAN) y despliegue que durará más tiempo con licencia o sin licencia, sin embargo WSN conlleva a desafíos como sus limitaciones y tolerancias, ancho de banda de comunicación, capacidad energética y computacional.

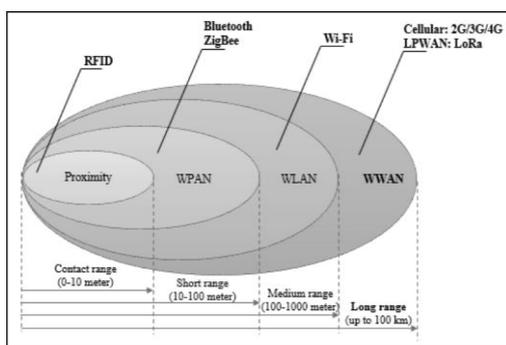
1.1.1 Tecnología LoRa

Es una plataforma de tecnología inalámbrica de largo alcance y baja potencia utilizando un espectro de radiofrecuencia sin licencia que favorece a la experimentación médica, científica e industrial (ISM) en el rango de frecuencia 169 MHz, 433 MHz, 868/915 MHz y 2,4 GHz opera según su región como lo muestra (Wixted y otros, 2016). Las comunicaciones inalámbricas para lograr un bajo consumo energético han utiliza la modulación de cambio de frecuencia (FSK), LoRa es una capa física para comunicación a largo alcance que utiliza Chirp-sprend-spectrum (CSS) para conservar las peculiaridades de baja potencia en un mejor rango de comunicación, también tiene como objetivos aumentar la vida útil de batería y reducir el costo en los dispositivos, eliminar los repetidores, mejorar la capacidad de red permitiendo varios dispositivos como lo plantea (Oratile y otros, 2017).

(Oratile y otros, 2017) expone que LoRa utiliza el protocolo Lora WAN desarrollado por LoRa Alliance para responder a los retos que enfrentan las comunicaciones de larga distancia con IoT, su arquitectura contiene calidad de servicio (QoS), seguridad y capacidad de la red. También indica que es una categoría de LPWAN utilizadas en las redes de área amplia inalámbrica (WWAN) con alcance de hasta 100 km, que incluye ciertos dispositivos con batería cargada para formar la comunicación bidireccional mejorando la eficiencia de los dispositivos IoT, en la era actual de acuerdo a (Ibrahim, 2019). Como se identifica en la Figura 1.

Figura 1

Clasificación de las tecnologías inalámbricas en función del alcance (Lavric & Popa, 2017)



Existen las tecnologías más comunes en LPWAN en WAN de bajo consumo como las que se muestran en la Figura 2. Donde estas tecnologías tienen semejantes especificaciones que LoRaWAN, por ejemplo, a diferencia de Sigfox para largo alcance y la banda de alta frecuencia la banda estrecha NB-IoT, LoRa tiene protocolo abierto y aquellas no.

Figura 2

Tecnologías WAN de bajo consumo (LPWAN) (Lavric & Popa, 2017)



Se elige LoRa para el presente aporte porque es una tecnología con estabilidad en ancho de banda, gran eficiencia energética y velocidad de datos, se tiene características en LoRaWAN como QoS sin licencia, cobertura de red con topología en estrella o malla, flexibilidad, bajo costo, una infraestructura desplegable y con buen rendimiento y seguridad en la red y para las aplicaciones que es de gran

importancia en redes IoT según los criterios expuestos como (Navarro y otros, 2018), (Sinha y otros, 2017).

El desempeño que ha evaluado la tecnología ha presentado una arquitectura con una puerta de enlace, los módulos LoRa, servidor de aplicaciones y LoRa Gateway que recibe los mensajes de n nodos finales que no interfieran entre sí, donde los modulo los recibe y los retransmite al servidor y el usuario interactúa con la información desde una aplicación así lo menciona (Lavric & Loan Petrariu, 2018).

A continuación, las técnicas de Sigfox, LoRa y NB-IoT que son las tecnologías para gran alcance que se observa en la Tabla 1 donde se refleja que LoRa es la ideal para el proyecto a desarrollar como lo menciona (Cevallos García & Rubio Echeverría, 2021) basada en las características de los dispositivos más comerciales que se encuentran en el mercado de Ecuador.

Tabla 1

Características entre Sigfox, LoRa y NB-IoT (Cevallos García & Rubio Echeverría, 2021)

Características / Tecnología	LoRa	Sigfox	NB-IoT
Rango	Urbano: 5 [Km] Rural: 20 [Km]	Urbano: 10 [Km] Rural: 40 [Km]	Urbano: 1 [Km] Rural: 10 [Km]
Autenticación y encriptación	AES 128b	No soportada	Encriptación LTE
Modulación	CSS	UL: UN DBPSK DL: GFSK	OFDMA (UL) SC-FDMA (DL)
Frecuencia	EU: 868 [MHz] US: 915 [MHz]	EU: 868 [MHz] US: 915 [MHz]	Bandas LTE
Ancho de banda	250 [KHz] y 125 [KHz]	100 [Hz]	200 [KHz]
Máx. velocidad de datos	50 [kbps]	EU: 100 [bps] US: 600 [bps]	UL: 250 [kbps] DL: 200 [kbps]
Permite red privada	Sí	No	No
Máx. mensajes/día	Ilimitado	UL: 140 DL: 4	Ilimitado
Espectro	No licenciado [ISM]	No licenciado [ISM]	Licenciado
Bidireccionalidad	Half dúplex	Limitada Half dúplex	Half dúplex
Tasa de datos adaptativa	Sí	No	No
Localización	Sí, RDOA	Sí, RSSI	No (bajo especificación)
Inmunidad a interferencias	Muy alta	Muy alta	Baja
Máx. payload	243 [bytes]	UL: 12 [bytes] DL: 8 [bytes]	1600 [bytes]
Handover	Los dispositivos finales no se suscriben a una única estación base.	Los dispositivos finales no se suscriben a una única estación base.	Los dispositivos finales se suscriben a una única estación base.

1.1.2 Hidroponía

En el presente trabajo de titulado “Hidropónico automatizado con monitoreo remoto mediante comunicación LoRa y aplicación IoT” se pretende obtener un beneficio en el ámbito tecnológico y de la agricultura para la sociedad permitiendo que el internet de las cosas (IoT) facilite el control de los datos recopilados y automatizar con el fin de la producción de un cultivo.

Según (Porrás Pumalema, 2021), menciona que automatizar un sistema hidropónico con un monitoreo se debe considerar sus parámetros normales en los que son acumulados en una base de datos en que serán analizados y transformadas en información para el manejo correcto de crecimiento

de las plantas generando la producción para las necesidades alimenticias y mejora en los agricultores ecuatorianos que podrán contribuir a corto o largo plazo al país. Donde existen diversas implementaciones de alimentos de frutas o verduras siendo fundamentales para la humanidad, y los cultivos hidropónicos han tenido un crecimiento por su veracidad en cuanto a dar solución a los problemas tradicionales de cultivo, razón por la cual no requiere de grandes áreas de suelo, el uso se lo puede dar en interiores en zonas urbanas como una terraza, balcones, patios incluso en un cuarto, es una manera de aumentar la producción de manera eficiente, rápida y económica.

Dentro de la búsqueda de información (Torres & Balmaseda Espinosa, 2020) expone que las condiciones ambientales el sistema hidropónico ayuda a mantener cultivos sanitarios y para la mejorar la rentabilidad, a pesar de ser una técnica de escasez de información para su implementación se ha mantenido en forma de emprendimiento en algunas zonas del Ecuador, su distribución tiene larga vida útil y no muestra costos añadidos de sostenimiento. Los factores como el clima no son idóneos para el cultivo en suelos no cubren la demanda de verduras, lo que obliga a los agricultores cavar pozos, el viento afecta a las plantas lo que produce gasto en energía para envolver la transpiración, las plagas que afectan al producto, entonces aparece como alternativa tecnológica válida para zonas estériles o desiertas, contaminadas que no cumplan con los requerimientos nutricionales de cada planta.

Dicho anteriormente el sistema hidropónico necesita de elementos que son las semillas, el sustrato y la solución nutritivo como soporte para cuyo crecimiento, tiene ventajas como reducir la pérdida de cultivos por tener raíces independientes, un ahorro de agua por la reutilización de riego, mejor higiene de cosecha, un tiempo de producción corto, siendo un mecanismo sustentable y sostenible. Existen diversas arquitecturas para cultivos sin suelo como son raíz flotante, sistema NFT, sustrato inerte y aeropónica que implica diferentes materiales para ser cultivados que perfila una alternativa potencial (Torres & Balmaseda Espinosa, 2020).

En opinión expuesto por (Velasquí Silva, 2021), menciona que a los cultivos se les aporta nutrientes a través de agua que se encuentran circulando en un lazo cerrado, estos inicios de filtración de nutrientes por las plantas se realizaron en el siglo XIX por John Woodward en consecuencia de investigación que el filósofo Dr. William Frederick mediante laboratorios le dio validez siendo el padre de la hidroponía (López, 2018). Es significativo resaltar que la hidroponía es independiente de bacterias y hongos por lo que disminuye el uso de pesticidas de plagas, dando como resultado un producto orgánico.

Dentro del contexto existen proyectos investigativos de sistemas hidropónicos como (Briceño Jejen & Cubides Porras, 2020), (Loya Lasluisa, 2022) que demuestran que es una técnica apropiada para el

cultivo al igual que la forma tradicional, dando como resultado el crecimiento de un cultivo saludable y productivo en diversos sectores.

1.2. Proceso investigativo metodológico

1.2.1 Metodología de la investigación

Se desarrolla con punto de vista cuantitativo correlacional de carácter experimental debido a que se debe comprobar los resultados en el prototipo diseñado, tomando en cuenta las variables independientes que puedan ser manipuladas y variables dependientes que sean posibles identificarlas y analizar sus efectos, mediante la recopilación de datos y transformarlos en información con la tecnología LoRa y sus beneficios para implementar favorablemente a largas distancias como es el caso de un cultivo hidropónico (7Graus, 2022).

1.2.2 Tipo de investigación

El propósito de la indagación es aplicativo con el fin de promover un impacto positivo en el sector productivo, exploratoria para decidir la viabilidad hacia un futuro con mayor profundidad en un sistema hidropónico.

1.2.3 Población y muestra

Las muestras tomadas en un sistema hidropónico serán monitoreadas, es decir, controladas y evaluadas para ser aplicadas en una población urbana mediante una aplicación IoT.

1.2.4 Métodos, técnicas e instrumentos

Tomando en cuenta la vida personal y laboral de cada agricultor dentro y fuera de la ciudad, la importancia de monitorear un cultivo, permite la facilidad de trasladó cuando sea necesario y optimizar el tiempo para otras actividades, como se ha visto con el teletrabajo a partir de la pandemia COVID 19, también se puede incorporar en el área agrícola y evidenciar su monitoreo IoT mediante tecnologías de la información y la comunicación (TIC).

Los instrumentos para monitorear las variables de operación se lo realizarán a través de módulos electrónicos de medición y transmisión de datos en un lapso real en forma remota dentro de un ambiente controlado.

El método analítico analizará la adecuada tecnología inalámbrica para un largo alcance de transmisión de datos. Así también se utiliza el método inductivo enfocado en los mejores parámetros para un crecimiento idóneo del hidropónico basado de forma experimental.

CAPÍTULO II: PROPUESTA

2.1 Fundamentos teóricos aplicados

LoRa (Long Range)

Siendo parte de la tecnología de transmisión inalámbrica que presenta un bajo costo en la comunicación y en condiciones de movilidad en largas distancias, es utilizado por poseer un espectro ensanchado (FSK) y variación de Chirp Spread Spectrum (CSS) y trabaja junto al internet de las cosas (IoT) en escenarios aplicativos como la industria, implementaciones de redes WAN, M2M, Smart cities, etc. Al tener una gran cobertura se reduce el consumo de energía lo que permite conectar varios dispositivos cuyas velocidades de transmisión tipo datos oscila entre el rango de 0.3 Kbps y 50 Kbps (Espinal Pacheco, 2022), (Gaybor Murillo & Maridueña Chunga, 2017).

Trabaja con propagación ortogonal es decir su modulación es variable lo que permite modificar la velocidad de datos o la potencia con el fin de optimizar el rendimiento de la red, es decir por un mismo canal del Gateway recibe datos diferentes a desiguales velocidades, son recibidas y reproducidas en manera de ruido evitando al mínimo la degradación de la sensibilidad del receptor, gracias a la discriminación lineal entre errores de tiempo y frecuencia manteniendo su ubicación en tiempo real. Es un beneficio al ser utilizado en zonas urbanas al poseer una alta robustez en la que su ancho de banda de pulsos Chirp hacen multi-trayectos resistentes y aportan al problema de desvanecimiento (Espinal Pacheco, 2022).

La capacidad de la red al desplazar la tasa más alta de transmisión en el aire reduce el tiempo lo que permite espacio para que se sigan transmitiendo los demás nodos, el enlace de subida y enlace de bajada deben ser de manera simétrica para que la tasa de datos sea adaptable y al mantener alta capacidad en la salida de RF influye en la vida útil de la batería de los nodos mediante un esquema adaptivo de velocidad de datos (ADR). La banda ISM para LoRa en Ecuador está dentro de la frecuencia de los 902 MHz a 928 MHz con 13 canales y tiene un ancho de banda de 2.16 MHz cada uno. Así también Estados Unidos, Canadá, Australia, Israel, Singapur entre otro (Pérez Garcia, 2017).

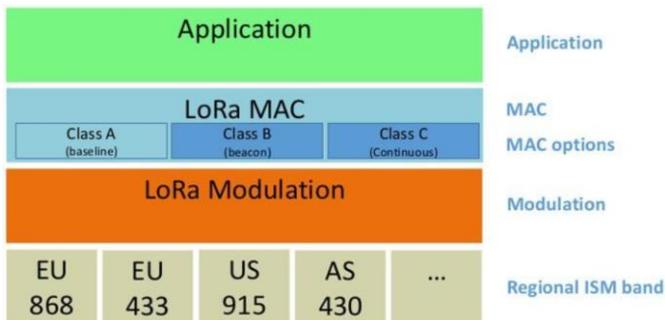
LoRaWAN

Es el protocolo estandarizado que a LoRa permite resolver a nivel mundial conexiones con ahorro de energía, intervenir en recursos naturales, protección de desastres y regular la contaminación, estadísticamente más de 4.2 millones de gateways con dispositivos LoRa son implementados, así también 256 millones nodos finales, 170 operadores de redes públicas y en aumento (SEMTECH, 2022).

Existen tres clases de dispositivos LoRaWAN como se muestra en la Figura 3.

Figura 3

Clases de dispositivos LoRaWAN (Alliance, 2015)



Para el desarrollo se elige la clase A por tener una comunicación bidireccional, ya que tiene la oportunidad de recibir el paquete de vuelta que contiene ACK. Este tipo de dispositivos tiene un consumo energético menor, dado que estarán en modo dormido por defecto y cuando se realiza la comunicación los datos inician a recibirse. La clase B y C recibe los datos de forma programada y permanente respectivamente de escucha (Gaybor Murillo & Maridueña Chunga, 2017).

En cuanto a la seguridad LoRaWAN incorpora el uso de algoritmos de cifrado AES128 (Advanced Encryption Standard) creando cambios de clave con el identificador IEEE EUI64, para la proteger la comunicación como los siguientes; Network Session Key: 128 bits a nivel de red, Application Session Key: 128 bits a nivel de aplicación de extremo a extremo y Application Key: 128 bits utilizada para OTAA de extremo a extremo (Espinal Pacheco, 2022).

La arquitectura en estrella resguarda la duración de las baterías al tener una comunicación de largo alcance, está conformada por Gateway, terminal, servidor de red y aplicación respectivamente. La selección de velocidad entre nodo y gateway es una compensación entre la duración del mensaje y el intervalo de comunicación que no interfieran, así también los nodos finales deben mantenerse bajo el máximo periodo de transmisión y de tiempo en relación a la banda que se maneja y el reglamento local de ejecución.

Software Arduino

Es una plataforma de código abierto (IDE), con lenguaje de programación estándar C, Python, Php Java, etc., contiene un microcontrolador reprogramable, la placa funciona de manera autónomamente con una fuente de alimentación o depende el caso estar conectado por cable o USB a un ordenador para intercambiar datos entre dispositivos, se elige el microcontrolador Atmega 2560 por sus características y número de pines analógicas y digitales y comunicación I2C (Veloso, 2018).

ThingSpeak

Es una herramienta IoT mediante una plataforma con recolección de datos en la nube en tiempo real que serán para analizar y visualizar gráficamente, es útil para un monitoreo remoto de sensores con un alto rendimiento para recoger datos de manera privada hacia el servidor. Para el cifrado de información del dispositivo soporta TLS, al momento de transferir datos se considera el Channel ID y la APIKeys. (ThingSpeak, 2022)

Utiliza API RESTful y MQTT, realiza un análisis de MATLAB e integración de aplicaciones.

API REST: actualiza y recupera canales y gráficos a través de HTTP. Es decir, solicitud/respuesta, que permiten POST, GET, DELETE, PUT.

API MQTT: actualiza el feed del canal. Es decir, publicación/suscripción que se elabora sobre sockets TCP/IP, envía datos con el mínimo consumo de energía. (ThingSpeak, 2022)

Horticultura e hidroponía

La “horticultura” es una técnica utilizada para el cultivo en huertos hacia el consumo de las hortalizas con el fin de mejorar el beneficio de cada cosecha en espacios reducido al igual que la “hidroponía” siendo un método para un proceso más saludable libre de contaminación donde los parámetros de ambiente deben ser los que controlen un buen crecimiento de cada planta como es la temperatura-humedad, agua, aire y oxígeno.

Los nutrientes como el potasio, fósforo y nitrógeno son los elementos de la solución que se coloca en el agua para que pueda absorber su alimento por todo el cultivo, es importante que el pH se encuentre calibrado a 6.5 antes de utilizarlo para que se encuentre regulado correctamente en adelante ya que si excede se perderá los nutrientes, por lo tanto, se realiza los ajustes necesarios cuando aumente o disminuya el pH cumpliendo con un papel fundamental de crecimiento de las plantas. Para evitar que se precipite u obstruya el sistema se considera mantener entre 5.0 y 6.0. (Briceño Jején & Cubides Porras, 2020)

Se utilizan macro nutrientes (A), (C) y (B) por cada litro de agua mezclar $5m^3$, $2m^3$ respectivamente. Las sustancias nutritivas y demás equipos que regularan el sistema hidropónico se rentabilizan en grandes producciones. En cuanto a su temperatura debe mantenerse aislado del sol y evitar su calentamiento excesivo lo que provoca alteraciones químicas lo aconsejable debe estar lo más cerca posible de 22°C por tal razón que si existen temperaturas menores a 15°C existirá pérdida de calcio, hierro y fósforo disminuyendo la absorción del agua y retraso del crecimiento. (Briceño Jején & Cubides Porras, 2020)

2.2 Descripción de la propuesta

El presente proyecto tiene la finalidad de aportar en el área de la agronomía en la implementación de un prototipo hidropónico automatizado en Quito-Ecuador ubicado en la terraza de un domicilio con línea de vista hacia otra vivienda aproximadamente 681.43 m de distancia como se muestra en la Figura 4.

Figura 4

Enlace entre Tx-Rx con Línea de vista 681.43m



Nota, a un alcance de 681.43 m, altura del transmisor de 6.40 m y altura receptor 6,80 m

De tal manera que se va automatizar los principales parámetros como la temperatura-humedad ambiente, Ph y nivel de agua y demás elementos electrónicos que se enlistan en la Tabla 2 y será monitoreada usando la tecnología LoRa con dos módulos SX1278 y un ESP8266, que mediante una conexión a wifi subirá los datos al ThingSpeak y será visualizada la información para que el sistema cumpla con las condiciones adecuadas capaz de producir cultivos como se muestra en el diagrama de bloques de la Figura 5.

Tabla 2

Elementos Utilizados para el prototipo

Herramienta	Característica
<p>Sensor ultrasónico HCSR04</p> 	<ul style="list-style-type: none"> -Conexiones: Vcc, Trigger, Echo, GND -voltaje 5[V] -Corriente de alimentación: 15mA -Frecuencia de pulso: 40 KHz -Precisión: ± 3mm -Rango de medición: 2cm-400cm -Dimensiones del módulo: 45mm/20mm/15mm(largo/ancho/alto) -Angulo efectivo de medición: $< 15^\circ$ -Señal de disparo: 10uS
<p>Sensor DHT11</p> 	<ul style="list-style-type: none"> -Voltaje de operación: 3 a 5V -Consumo: 2.5mA máximo durante la conversión (al tiempo que solicita datos) -Temperatura: 0-50° Celsius, $\pm 2^\circ$ de precisión -Número de pines: 4 pines (Sensor) / 3 pines (Módulo Sensor) -Frecuencia de muestreo máxima: 1 Hz -Humedad: 20-80% con 5% de precisión -Tamaño: 15.5x12x5.5 mm (Sensor) / 30x14x8 mm (Módulo Sensor)
<p>Sensor Electrode pH E201-BNC</p> 	<ul style="list-style-type: none"> -Modulo: PH-4502C -Voltaje de Alimentación: 5 V -Corriente: 5-10mA -Tiempo de Respuesta: 5 s -Rango de detección: PH 0 ~ 14. (acido /base) -Rango de temperatura: 0 – 80°C -Temperatura de trabajo: 10~50°C -Humedad de trabajo: 95% RH sin condensación (65% humedad nominal) -El tiempo de respuesta: ≤ 5S -Tiempo de estabilidad: ≤ 60S -Consumo de energía: $\leq 0,5$ W -Vida útil: 3 años -Salida: analógica

 <p>Reloj de precisión DS3231</p>	<ul style="list-style-type: none"> -VCC – Alimentación de 5 volts del módulo. -GND – Tierra o común. -SCL – Señal de reloj del bus I2C. -SDA – Señal de datos del bus I2C. -SQW – Salida de interrupción o señal de reloj.
 <p>Arduino Mega 2560</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Microcontrolador ATmega2560 -Voltaje de funcionamiento 5V -Corriente continua por pin E/S 20Ma -Corriente de los pines de 3.3V 50 mA -Longitud: 102mm, Ancho: 53mm -Voltaje de entrada (recomendado) 7-12VCD -Voltaje de entrada (límite) 6-20V -54 pines digitales de E/S (de los cuales 15 se pueden utilizar como salidas PWM) -16 entradas analógicas -Velocidad del reloj (oscilador) 16MHz -UARTs (puertos seriales) -Conector de alimentación, Conector ICSP -Conexión USB -Botón reset -LED incorporado en el pin 13 -Memoria Flash de 256KB para almacenar el código, de los cuales 8KB son utilizados por el gestor de arranque (bootloader) -SRAM 8KB -Circuito de RESET más fuerte -EEPROM 4KB (que se puede leer y escribir con la biblioteca EEPROM)
<p>Módulo Transceptor LoRa SX1278 Ra-02 433MHz</p>  <p>23mm</p> <p>18.2mm</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Comunicación de espectro ensanchado LoRaTM -Tensión de funcionamiento: 1.8 – 3.7V, 3.3V por defecto -Corriente de trabajo, recibe: menos de 10.8mA (LnaBoost cerrado, venda 1) -Transmitir: menos de 120mA (+ 20dBm) -Modelo de sueño: 0.2uA -Temperatura de trabajo: -40- +85 grados. -Soporte FSK, GFSK, MSK, GMSK, LoRaTM y OOK Modo de Modulación -127dB rango de ondas RSSI. -Detecta automáticamente la señal de RF, el modo CAD y el AFC de alta velocidad -Con el motor de datos CRC de 256 bytes + 20dBm – 10mW. Potencia de salida de RF estable cuando se cambia el voltaje de entrada -Comunicación SPI half-duplex -La velocidad binaria programable puede llegar a 300kbp -Medio agujero (orificio de agujero) Paquete SMD -Con estuche de blindaje metálico -Antena de muelle -Paso de pasador: 2,0 mm -Estándar inalámbrico: 433 MHz -Rango de frecuencia: 420 – 450MHz -Puerto: SPI / GPIO
 <p>Módulo ESP8266</p>	<ul style="list-style-type: none"> -WiFi IEEE 802.11 b/g/n con soporte IPv4 y protocolos TCP/UDP/HTTP/HTTPS/FTP -Voltaje 3v y 3.6v -Intensidad 80mA -Temperatura de operación -40 a 125°C -Consumo 0.0005 a 170 mA según la potencia de señal -Modos: Active mode (activo), Sleep Mode (dormido), Deep Sleep (sueño profundo) – Afectan al consumo -CPU Tensilica Xtensa L106 32-bit RISC 80Mhz -Convertor ADC 10-bit

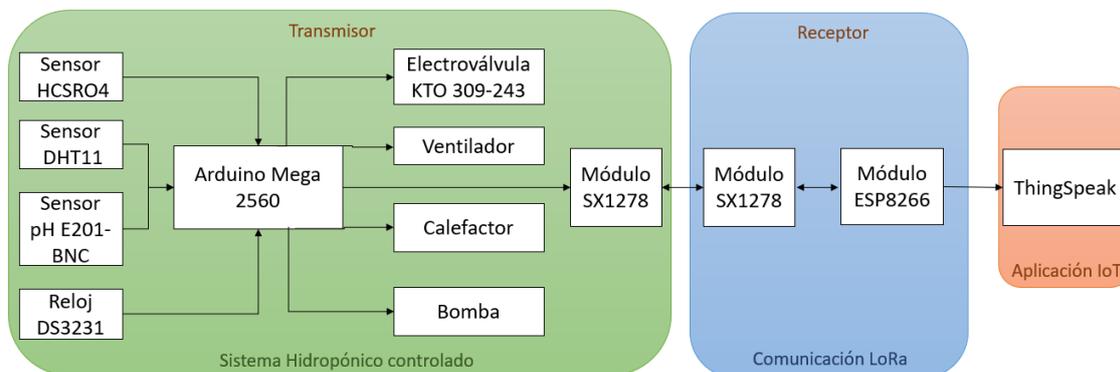
	<ul style="list-style-type: none"> -UART -SPI -I2C -RAM 64 KB i / 96 KB d -GPIO 16 pines (no se pueden usar todos, además el GPIO16 está conectado al RTC o Real Time Clock)
Bomba de agua de membrana R385 	<ul style="list-style-type: none"> -Potencia: 6W/h. -Temperatura máxima: 80 °C. -Voltaje: 6-12V. -Corriente: 1A. -Material: ABS, silicona y metal. -Forma: redonda.
Electroválvula KTO 309-243 	<ul style="list-style-type: none"> -Voltaje: 12-24V. -Corriente: 1A. -Cantidad de conectores: 2 -Cantidad de agujeros de montaje: 2 -Origen KTC -Regula el paso de aire -Cornetas aire corriente
Ventilador 	<ul style="list-style-type: none"> -Ventilador de 80x80x15 mm -Conector Molex hembra de 2 pines -Voltaje de funcionamiento: 5V -Material Plástico Resistente - Color Negro
Relés 5v 	<ul style="list-style-type: none"> -Tensión de Alimentación: 5 VDC -Consumo del Módulo: 75mA (0.075A) Aprox. - Control TTL o CMOS -Soporta tensiones de 250VAC a 10A aprox. para carga Resistiva. -Diodo de protección para la bobina del Relé -Activación Mediante Transistor Integrado en el Módulo. -Diodo LED indicador de estado de alimentación
Calefactor 	<ul style="list-style-type: none"> -Calefactor eléctrico hometech de halógeno -Tamaño 40 x 26 cm - Voltaje: 110V -Potencia máxima 800W -Protección contra sobrecalentamiento

Fuente: Elaborado por el autor

a. Estructura general

Figura 5

Diagrama de bloques del proyecto



b. Explicación del aporte

Sistema hidropónico

En la tabla 2 se detallan las herramientas que hacen parte de la construcción del prototipo hidropónico que se encarga de realizar el siguiente funcionamiento automatizado:

Con el Arduino Mega 2560 se programará las condiciones de los sensores ultrasónico HCSR04, sensor DHT11, sensor pH y reloj de precisión DS3231 que servirá para mantener el tiempo real en aplicaciones con precisión programadas en el Arduino, gracias al oscilador interno. También con la Bomba de agua de membrana R385 mediante 1 relé va controlar el encendido y apagado de las bombas de 12 V mediante una fuente de energía; en el día 10H00 AM y 15H00 PM se apagan por 10 min, en la noche 22h00 PM y 03h00 AM se apagan por 25 min, y para la programación de una electroválvula KTO 309-243 mediante 1 relé va permitir cerrar el paso del agua del prototipo cuando sea necesario en los tiempos estimados, así también la conexión con el un módulo transceptor LoRa SX1278 Ra-02 433 MHz que va permitir a una determinada distancia de 600 m conectarse inalámbricamente a otro extremo mediante una antena.

El sensor ultrasónico HCSR04 para realizar la medición del nivel del agua que es extraída mediante una bomba de 12 V que hace el llenado de los tubos PVC de manera cíclica controlada donde por medio del sensor ayuda a que no exista exceso de agua manteniéndose en un estado estable cubriendo cada raíz de las plantas, interpretando que el agua no supere los 15 cm de distancia de diámetro del tubo para no ser desbordado y posterior a ello será indicado mediante una luz de alerta.

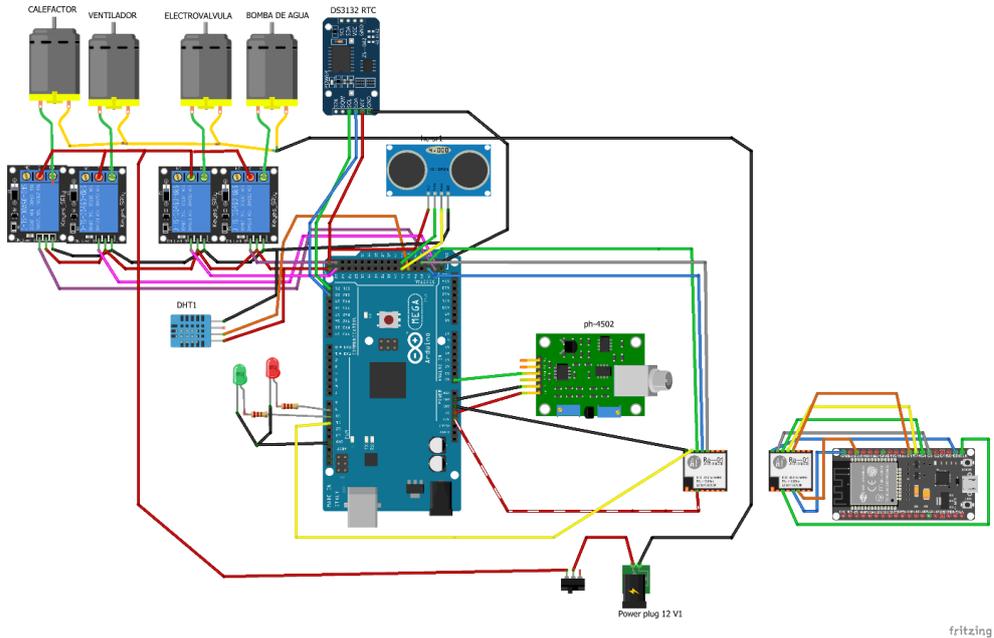
Se utiliza sensor DHT11 para controlar la humedad y temperatura del prototipo hidropónico en el que va permitir estar en condiciones adecuadas en el rango entre 22°C a 16°C para el crecimiento sin que produzca daños al cultivo. Se utiliza un ventilador mediante 1 relé que va activarse cuando la temperatura no esté en el rango establecido y otro relé se activa si la temperatura es muy baja va accionar el calefactor hasta que cumpla la temperatura establecida.

El sensor Electrode pH E201-BNC va permitir medir el pH con ayuda de una sonda que es la que adquiere la lectura. Mediante los macro nutrientes para el sistema hidropónico clase A, C, B, junto con el pH que se mantendrá estable para el crecimiento del cultivo de 6.5 pH que es el óptimo nivel para mantener los nutrientes regulados para todo el sistema. Si baja su pH a valores menores a 5.0 se mostrará un indicador para revisar el pH y nivelar su valor ideal y valores superiores a 6.5 otra alarma de advertencia.

Mediante la herramienta de esquemas para circuitos basados en Arduino para ver las conexiones de la parte automatizada se utiliza "Fritzing". Como se muestra en la Figura 6:

Figura 6

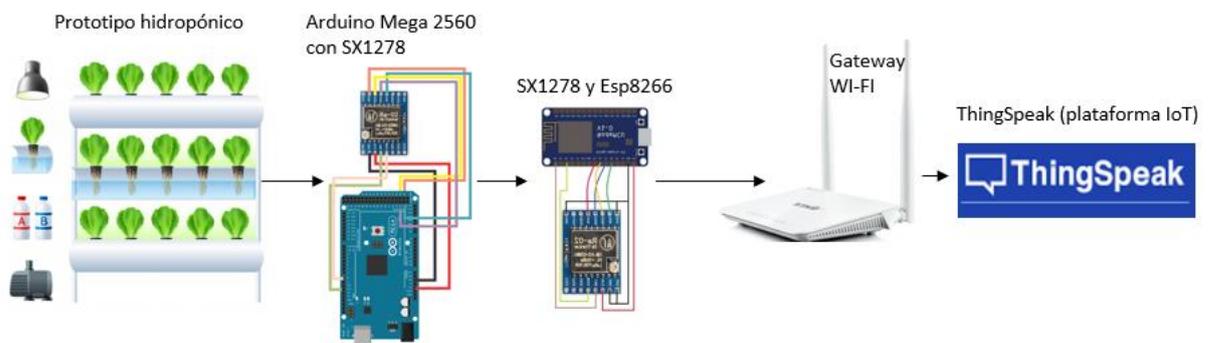
Esquema electrónico del sistema hidropónico



Finalmente, desde el otro extremo de una vivienda por medio de una antena, va recibir los datos del prototipo hidropónico hacia otro modulo LoRa SX1278 Ra-02 433 MHz que cuenta con un largo alcance LoRaTM permitiendo inmunidad de altas interferencias mediante los transceptores SX1287 con mínimo consumo de corriente que va actuar como nodo 1 cliente procesando los datos de los sensores anteriores mencionados y va ser transmitidos por el ESP8266 hacia una red Wi-Fi que va ser enviados los datos recopilados la aplicación IoT “ThingSpeak” siendo una herramienta analítica de datos, desarrollada por el usuario para mostrar información respectiva de cada sensor, se realiza un HMI para que pueda ser monitoreada por el usuario final mediante la clave API que se recibe de ThingSpeak. Como se muestra en la figura 7:

Figura 7

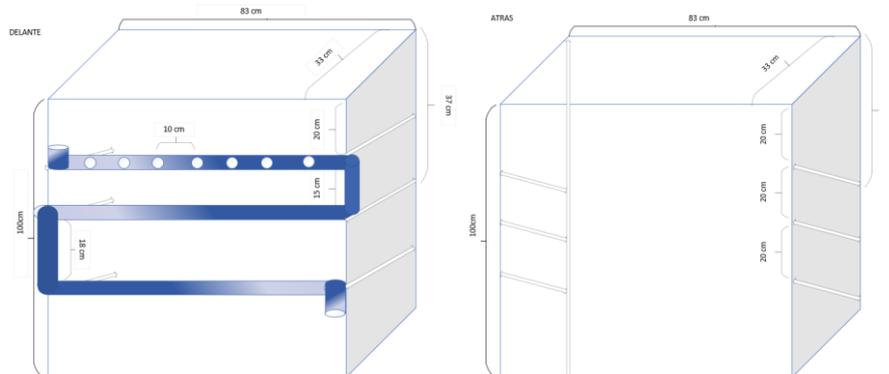
Diagrama de información IoT



Para la construcción del prototipo se usó 3 filas de tubos PVC con medida de 78 cm de largo, unidos con 2 codos PVC, en el que se perforaron con diámetro de 2cm para colocar la planta en vasos plásticos con una distancia de 10 cm entre ellas. Utilizando como soporte una estructura de hierro de 100 cm x 83 cm x 33 cm. Todo este complemento es colocado a una estructura de hierro donde su estructura lateral tiene un leve desprendimiento a 37 cm. Como muestra la Figura 8:

Figura 8

Prototipo Hidropónico



c. Estrategias y/o técnicas

Con la técnica de investigación cualitativa se procede a la construcción de prototipo hidropónico en conjunto con las herramientas de la Tabla 2 donde se controla las variables de nivel de agua, temperatura-humedad y pH con un sistema NFT que ha sido el más eficiente en diversas áreas de la hidroponía. En conjunto con la técnica documental para tener una comunicación inalámbrica que permita transmitir los datos de cada sensor hacia una plataforma IoT.

Por la técnica de campo se obtiene los resultados del cultivo satisfactoriamente mediante la observación y el comportamiento de la automatización cuando ocurre algún evento fuera de las condiciones programadas como se describe anteriormente en la explicación del aporte.

También, se aplica la técnica experimental en la que se comprueba la transmisión de datos a ciertas distancias como se muestra en la Tabla 4 que permita monitorear sin pérdida de datos.

2.3 Validación de la propuesta

El presente proyecto ha sido validado por Ing. Flavio David Morales Arévalo, Mg. Se adjunta como Anexo 1.

El presente proyecto ha sido validado por Ing. Victor Hugo Benitez Bravo, Mg. Se adjunta como Anexo 2.

El presente proyecto ha sido validado por Ing. Bryan Leonel Cevallos Garcia. Se adjunta como Anexo 3.

2.4 Matriz de articulación de la propuesta

En la presente matriz se sintetiza la articulación del producto realizado con los sustentos teóricos, metodológicos, estratégicos-técnicos y tecnológicos empleados.

Tabla 3

Matriz de articulación

Ejes o partes principales del proyecto		Breve descripción de los resultados de cada parte	Sustento teórico que se aplicó en la construcción del proyecto	Metodologías, herramientas técnicas y tecnológicas que se emplearon
1	Construcción del prototipo hidropónico	1.1. Tabla de materiales electrónicos en base a funcionalidades y beneficios. 1.2. Análisis de costos y factibilidad 1.3. Diseño del sistema hidropónico considerando la zona geográfica.	Medio Ambiente y productividad Comunicaciones Inalámbricas Internet de las Cosas	Análisis documental e investigación de campo Elaboración
2	Tecnología LoRa	2.1. LoRa SX1278 Ra-02 hacia una red Wi-Fi 2.2. Línea de vista 2.3. Almacenamiento de datos	Programación del Arduino Mega 2560 Diseño de circuitos electrónicos Airlinks	Análisis documental y Experimental
3	Pruebas de funcionamiento	3.1. Control automatizado de las variables de temperatura-humedad, nivel de agua y pH. 3.2. Procesamiento de datos, Tx-Rx 3.3. Visualizar y analizar flujo de datos en la aplicación ThingSpeak	Cableado eléctrico del prototipo Funcionamiento y lectura de los sensores Comunicación IoT Análisis gráfico de datos en vivo Producto final de las hortalizas	Experimental de prueba y error

2.5 Análisis de resultados. Presentación y discusión.

El prototipo hidropónico realizado en el presente proyecto, consta de todos los sensores mencionados en los objetivos; temperatura-humedad-nivel de agua y pH, y los actuadores que van a reaccionar de acuerdo a las condiciones que se establecieron en la explicación del aporte donde se visualiza funcional su conexión electrónica y eléctrica en la siguiente Figura 9

Figura 9

Prototipo hidropónico final



Con la comunicación LoRa se transmite los datos recibidos del prototipo hidropónico, el cual recolecta los datos de los sensores y son enviados en una cadena de string cada 1 segundo que se distingue una de la otra variable con la letra "A" y se separada entre "/" cada valor almacenado. como se ilustra en la Figura 10

Figura 10

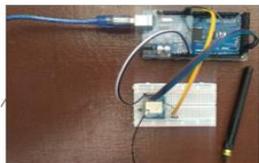
Transmisor LoRa

```

LoRaSender $
Serial.println("LoRa Sender");
if (!LoRa.begin(433E6)) {
  Serial.println("Starting LoRa failed!");
  while (1);
}
}

void loop() {
leertemphum(); //LEER DHT22
leer(); //LEER EL HCSR04
leerph(); // LEER SENSOR PH
/////////////////////////////////ENVIO POR SERIAL
Serial.print('A');
Serial.print(t);
Serial.print('/');
Serial.print(h);
Serial.print('/');
Serial.print(d);
Serial.print('/');
Serial.println(ph);
/////////////////////////////////
// send packet LORA
LoRa.beginPacket();
LoRa.print("A");
LoRa.print(t);
LoRa.print('/');
LoRa.print(h);
LoRa.print('/');
LoRa.print(d);
LoRa.print('/');
LoRa.println(ph);
LoRa.endPacket();
//count++;
delay(1000);
}

```



Nota, en la parte superior derecha de observa la conexión física de los módulos

Anteriormente mediante una antena tipo látigo se conecta inalámbricamente a una distancia máxima de 600 metros al receptor LoRa que haciendo uso de la librería del ESP8266 da acceso a la red local para obtener internet como se observa en la Figura 11 y los datos son recibidos del transmisor cada 1 segundo que lo identifica guardándose en variables independientes con el fin de que cada valor sea enviado a la plataforma IoT “ ThingSpeak” cómo se ilustra en la Figura 12.

Figura 11

Receptor LoRa

```

LoRaReceiverESP8266_Thingspeak $ secrets.h
#include <SPI.h>
#include <LoRa.h>

#include <ESP8266WiFi.h>
#include "secrets.h"
#include "ThingSpeak.h"

#define ss 15
#define rst 16
#define dio0 2

char ssid[] = SECRET_SSID; // your network SSID (name)
char pass[] = SECRET_PASS; // your network password
int keyIndex = 0; // your network key Index number (needed only for WEP)
WiFiClient client;

unsigned long myChannelNumber = SECRET_CH_ID;
const char * myWriteAPIKey = SECRET_WRITE_APIKEY;

String dato1;
String dato2;
String dato3;
String dato4;

String myStatus = "";
char *s;

String datar;
float t=0;
float h=0;
float d=0;
float ph=0;

```



```

secrets: Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
// Use this file to store all of the private cr ^
// and connection details

#define SECRET_SSID "ALFA_MWLA"
#define SECRET_PASS "AmirR_1424"

#define SECRET_CH_ID 1854611
#define SECRET_WRITE_APIKEY "8ADH37NSYA0EM9C2"

```

Nota, en la parte superior derecha de observa la conexión física de los módulos, adicional en la parte inferior el login de la red Wi-Fi local y la librería del módulo ESP8266 y ThingSpeak

Figura 12

Conexión a la red Wi-Fi

```
LoRaReceiverESP8266_Thingspeak$ secrets.h
// read packet LORA 433
while (LoRa.available()) {
  datar=datar+char(LoRa.read()); // LEO Y GUARDO EN LA VAR data
}
Serial.println(datar);
procesar();
Serial.print(" with RSSI ");
Serial.println(LoRa.packetRssi());
}
delay(1000); // Wait 5 seconds to update the channel again
}
void procesar(){
  int ini=datar.indexOf('A');
  int fin = datar.indexOf('A',datar.indexOf('A')+1);
  datar=datar.substring(ini,fin);
  Serial.print("data:");
  Serial.println(datar);

  int index1 = datar.indexOf('/');
  int index2 = datar.indexOf('/',index1+1);
  int index3=datar.indexOf('/',index2+1);
  //int index4=datar.indexOf('/',index3+1);

  dato1=datar.substring(1, index1);
  dato2=datar.substring(index1+1, index2);
  dato3=datar.substring(index2+1, index3);
  dato4=datar.substring(index3+1, fin);

  Serial.print("dato1:");Serial.println(dato1);
  Serial.print("dato2:");Serial.println(dato2);
  Serial.print("dato3:");Serial.println(dato3);
  Serial.print("dato4:");Serial.println(dato4);
}

LoRaReceiverESP8266_Thingspeak$ secrets.h
dato1=datar.substring(1, index1);
dato2=datar.substring(index1+1, index2);
dato3=datar.substring(index2+1, index3);
dato4=datar.substring(index3+1, fin);

Serial.print("dato1:");Serial.println(dato1);
Serial.print("dato2:");Serial.println(dato2);
Serial.print("dato3:");Serial.println(dato3);
Serial.print("dato4:");Serial.println(dato4);
sendth();
}

void sendth(){
  // set the fields with the values
  ThingSpeak.setField(1, dato1);
  ThingSpeak.setField(2, dato2);
  ThingSpeak.setField(3, dato3);
  ThingSpeak.setField(4, dato4);

  // set the status
  ThingSpeak.setStatus(myStatus);

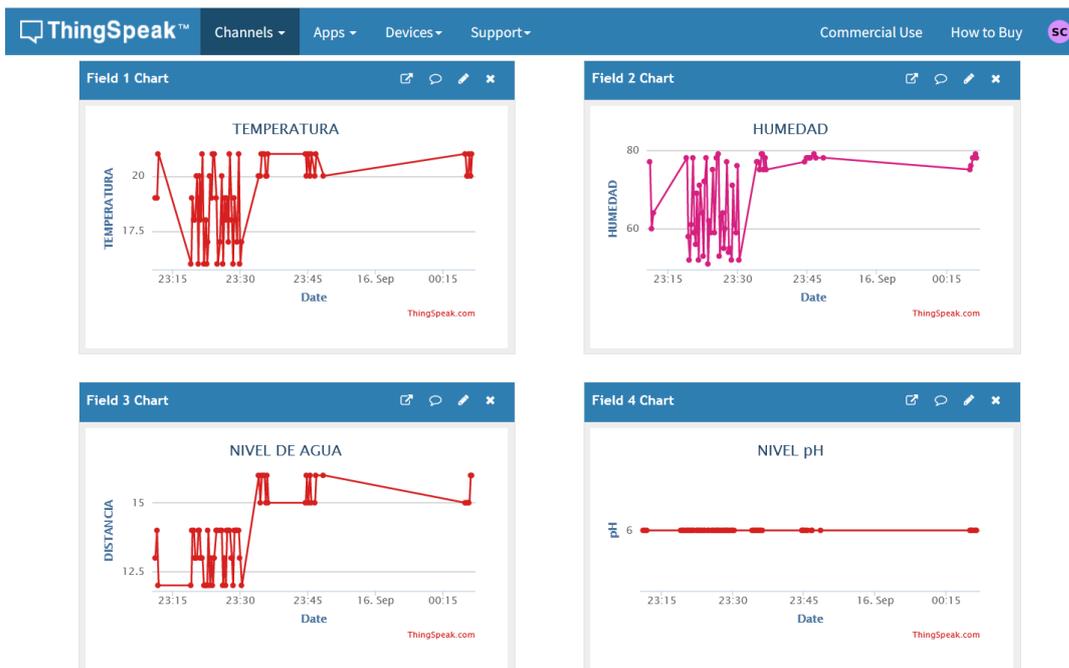
  // write to the ThingSpeak channel
  int x = ThingSpeak.writeFields(myChannelNumber, myWriteAPIKey);
  if (x == 200){
    Serial.println("Channel update successful.");
  }
  else{
    Serial.println("Problem updating channel. HTTP error code " + String(x));
  }
}
```

Nota, se observa en la parte derecha de las líneas de código los datos obtenidos enviarse en cada campo de ThingSpeak para ser analizado posteriormente

Finalmente se puede obtener las siguientes graficas mediante la aplicación IoT “ThingSpeak”, se identifica que la transmisión de datos tiene una latencia de 15 segundos para recibir los datos hacia el internet, pero aun así los datos logran llegar completos, como se observa en la Figura 13.

Figura 13

Resultados del Prototipo Hidropónico

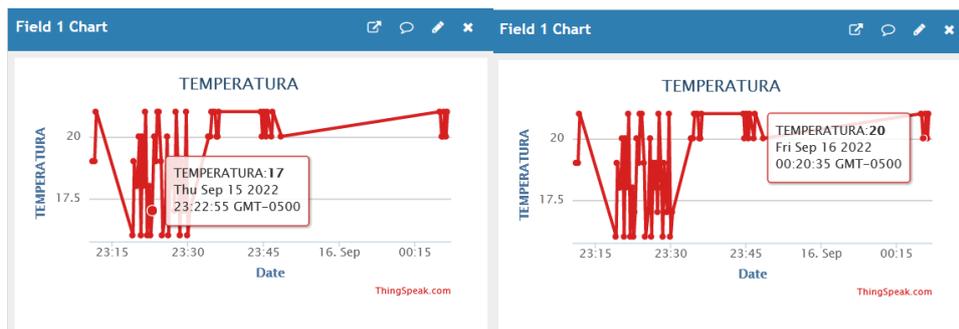


Nota, en la parte superior izquierda se observa el login personal, siendo una plataforma IoT gratuita para ciertas cantidades de datos se logró receptor los parámetros de temperatura, humedad, nivel de agua y pH del prototipo del presente proyecto.

Partiendo de la Figura 13, se analizará el comportamiento de cada variable planteada en los objetivos. Partiendo como base la temperatura mayor a 16°C y menor a 22 °C produce un buen crecimiento para el cultivo en proyectos propuestos, sin embargo, por la zona geográfica del prototipo se considera un valor óptimo de 20°C que se mantiene como se muestra en la Figura 14.

Figura 14

Pruebas de campo de temperatura

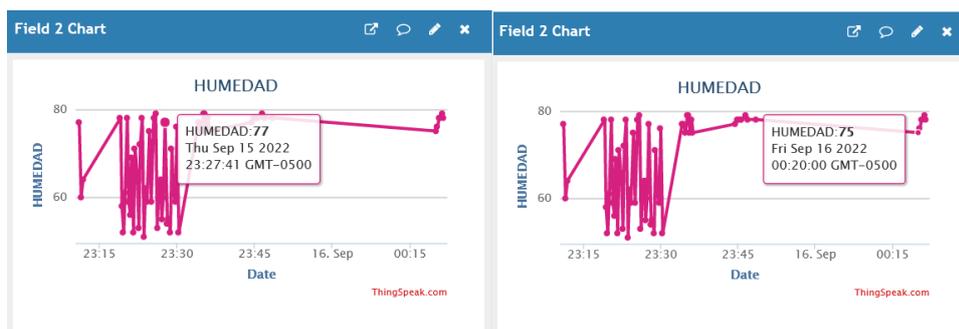


Nota, se puede observar que en las mediciones de campo realizadas después de 30 minutos a una distancia mayor a 550 m pierde datos.

Se analiza el comportamiento de la humedad como base la humedad alrededor del 80% un buen crecimiento para el cultivo en proyectos propuestos como (Cevallos García & Rubio Echeverría, 2021), sin embargo, por la zona geográfica del prototipo después de controlar mediante el calefactor a una temperatura de 20°C se aproxima entre el 75% al 77%, se ilustra en la Figura 15.

Figura 15

Pruebas de campo de la humedad

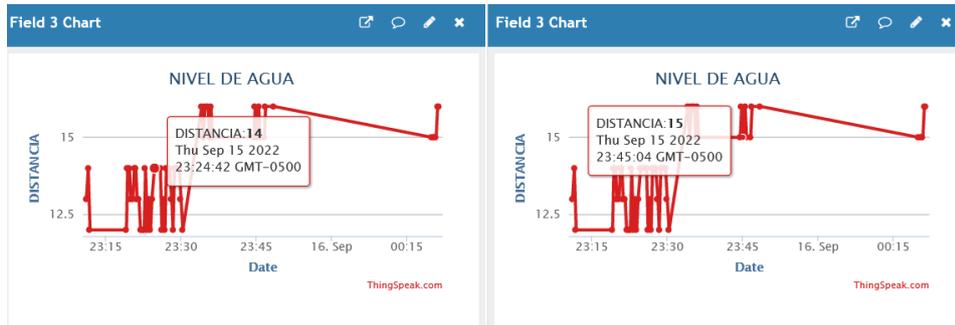


Nota, se puede observar que en las mediciones de campo realizadas después de 30 minutos a una distancia mayor a 550 m pierde datos.

Para el comportamiento del nivel del agua en la tubería del prototipo se puede observar en la Figura 16, se toma 15 cm del valor mínimo para que no exista desbordamiento, sin embargo, por elevación del suelo del sitio de instalación del prototipo tiende a un leve llenado de agua que en la práctica se activa la electroválvula volviendo al caudal constante con valores entre 15 cm hasta 17cm que se identifica normal donde la bomba estaría todo el tiempo en riego.

Figura 16

Pruebas de campo del nivel de agua

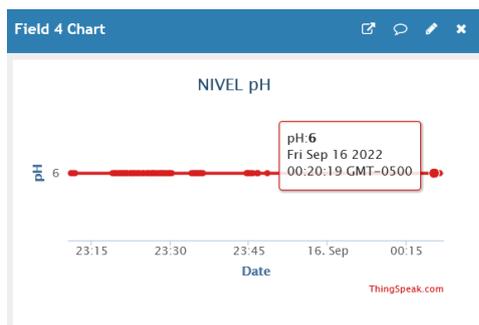


Nota, se puede observar que en las mediciones de campo realizadas después de 30 minutos a una distancia mayor a 550 m pierde datos.

En cuanto para el comportamiento del nivel pH, es decir los nutrientes que reciben las hortalizas en prototipo se puede observar en la Figura 17 que se mantiene a un valor de 6.0 pH, que estaría dentro del rango normal (Briceño Jején & Cubides Porras, 2020).

Figura 17

Pruebas de campo del nivel de pH

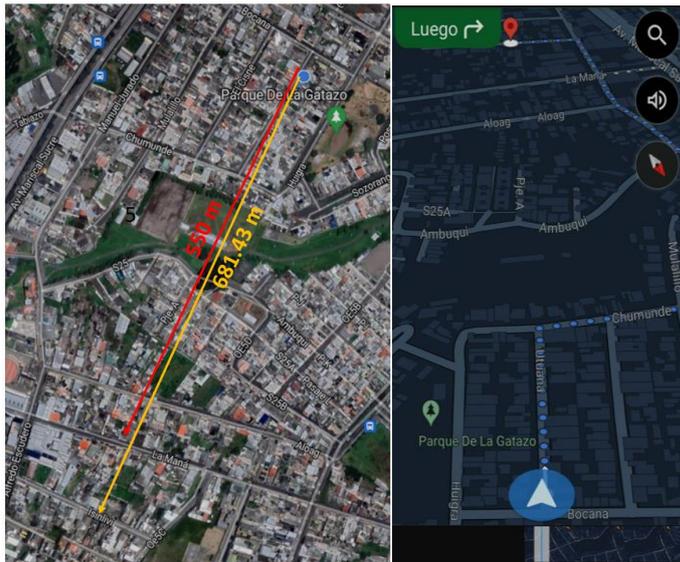


Nota, se puede observar que en las mediciones de campo realizadas después de 30 minutos a una distancia mayor a 550 m pierde datos.

Se realiza pruebas de alcance de los módulos LoRa SX1278 Ra-02 433 MHz donde se puede apreciar en la Figura 18 la distancia máxima que se puede recibir exitosamente los datos con ayuda de las aplicaciones Google Map y Filds area measure PRO, para visualizar los obstáculos dentro de la ciudad, distancia y tiempo.

Figura 18

Aplicación Filds area measure PRO y Google Map



De acuerdo a la Figura 4, la iniciativa fue obtener un alcance de 681.43 m y las pruebas obtenidas experimentalmente se deduce a una distancia de 550 m por la interferencia de la ciudad o equipos conectados a la frecuencia de 433 MHz al ser una frecuencia libre, los datos son obtenidos cuando se logra estabilizar los parámetros de temperatura, humedad, nivel de agua y pH, como se ilustra en la Tabla 4.

Tabla 4

Pruebas de distancia de los módulos LoRa SX1278 Ra-02

Hora	Distancia	Interferencia	Datos recibidos
23h30	5 m	NO	SI
23h35	50 m	NO	SI
23h40	100 m	NO	SI
23h45	200 m	SI	SI
23h46	300 m	SI	SI
23h47	400 m	SI	SI
23h48	550 m	NO	SI
23h49	600 m	SI	NO
00h00	630 m	NO	NO
00h05	650 m	SI	NO
00h10	681.43 m	SI	NO
00h20	550 m	NO	SI

Por otro lado, mediante la técnica cualitativa llevo a la construcción de un prototipo hidropónico que está sujeto a las características para un área urbana, donde en la Tabla 5 se observa un presupuesto de \$242,95 para tales dimensiones como se muestran en la Figura 10.

Tabla 5

Costos de las herramientas que se utilizó para el prototipo

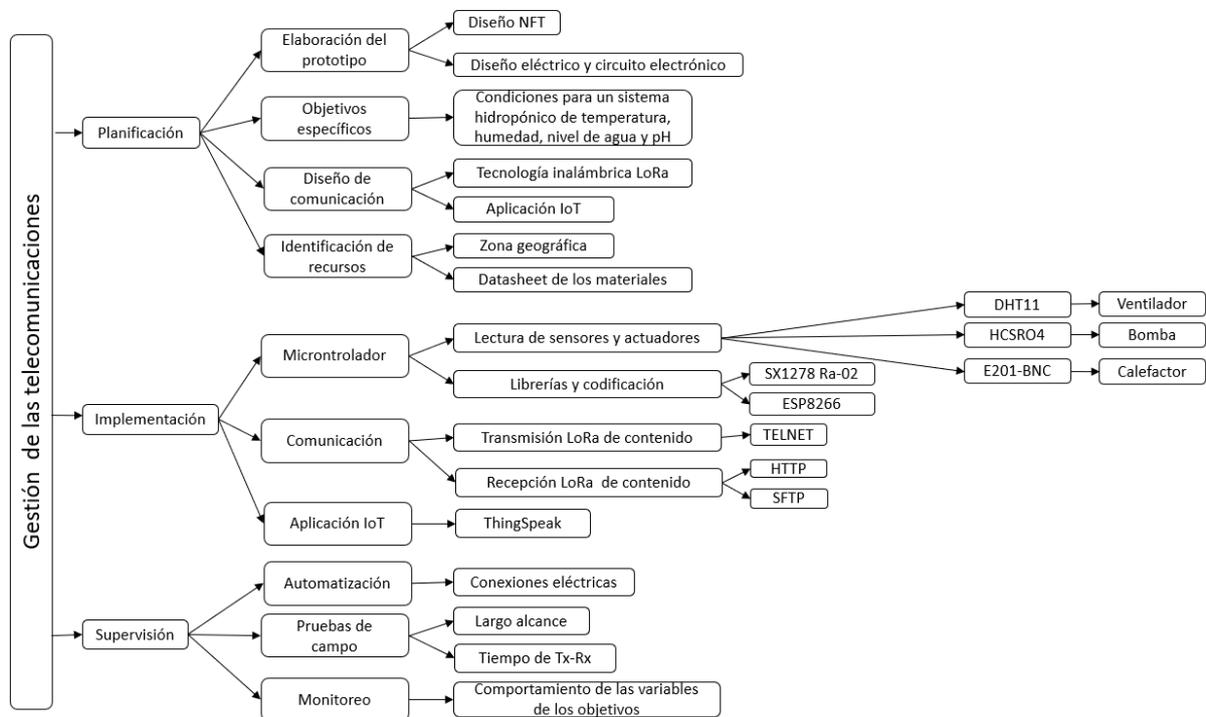
Cant.	Herramienta	Unidad	Costo
2	Módulo Transceptor LoRa SX1278 Ra-02 433MHz	20,00	40,00
1	Sensor ultrasónico HCSR04	2,25	2,25
1	Sensor DHT11	2,25	2,25
1	Sensor Electrodo pH E201-BNC	42,00	42,00
1	Reloj de precisión DS3231	5,65	5,65
1	Arduino Mega 2560	15,50	15,50
1	Módulo ESP8266	14,00	14,00
1	Bomba de agua de membrana R385	10,00	10,00
1	Electroválvula KTO 309-243 + Adaptador Cobre	15,00	15,00
1	Electro-ventilador	3,00	3,00
2	Modulo Relé 2CH 5v	3,50	7,00
1	Calefactor	19,00	19,00
1	Fuente ATX12v p4 400w	20,00	20,00
1	Tubos PVC	7,00	7,00
2	Codos PVC	2,50	5,00
1	Manguera rígida delgada	1,80	1,80
1	Plástico 5m	1,00	5,00
1	Estructura de hierro	10,00	10,00
1	Recipiente plástico de 3 litros	3,50	3,50
2	Funda de semillas	1,00	2,00
1	Vasos de plásticos pequeños	1,00	1,00
10	Cable UTP cat 5	1,20	12,00
1	Implementación de ThingSpeak	0,00	0,00
1	Desarrollo de programación Arduino y Gateway	0,00	0,00
TOTAL:			242,95

2.5.1 Gestión de las telecomunicaciones

El presente proyecto pudo incluirse dentro de la Gestión de las telecomunicaciones, dado que está orientado a mejorar la calidad del producto y rentabilidad del prototipo de acuerdo a la necesidad modernizando con la intervención de la tecnología IoT dando solución a la problemática de estar directamente en revisión del huerto optimizando el tiempo del agricultor, que permite comunicar e interactuar a largas distancias entre el cliente final y el servidor, por otro lado, en una zona urbana se puede mejorar la conexión con equipos más robustos, previstos para la operación, administración y mantenimiento con un proceso de diseño, implementación y supervisión. En el siguiente esquema se puede mostrar cómo se gestiona en la Figura 19.

Figura 19

Esquema de Gestión de las telecomunicaciones



Al momento de realizar el diseño hidropónico mediante la técnica cualitativa se despliega las opciones para la elaboración para cumplir los objetivos del presente proyecto.

Para la implementación se elige un cultivo NFT hidropónico y las configuraciones de cada sensor a través del microcontrolador Mega 2560, para enviar sus datos y recibirlos en conjunto con los módulos LoRa SX1278 Ra-02 433 MHz hacia el ES8266 que se envían al internet para gestionar la información.

Del mismo modo, la supervisión del funcionamiento se lo realiza por fases de conexiones eléctricas, circuitos electrónicos que lleven al control y estabilizar al sistema hidropónico a la región donde se encuentra situado el prototipo, también la comunicación LoRa que permite conectarse a una determinada distancia para tener un monitoreo desde cualquier parte que el cliente final se encuentre, se verifica que aunque existe un tiempo de retardo de 15 segundos los datos no se pierden en el transcurso de la técnica de campo. Y así detectar las posibles anomalías que se presenten en el cultivo.

CONCLUSIONES

En el presente proyecto, después de indagar las diversas tecnologías inalámbricas para largas distancias como se muestra en la Tabla 1, donde se elige la tecnología LoRa por su red privada, protocolo abierto no licenciado, inmunidad a interferencias, tasa de datos adaptativa, gran alcance y bajo costo, se le considera la mejor para el área urbana, utilizando los módulos LoRa SX1278 Ra-02 que permiten la transmisión de datos exitosamente por canales diferentes sin colisiones gracias a su comunicación half dúplex dado que el problema de inestabilidad en las redes inalámbricas es común.

Con la técnica de investigación Ecuador va constantemente en aumento poblacional donde queda poco espacio geográfico para sembrar y escasas áreas fértiles en las regiones, siendo una necesidad de construir un prototipo hidropónico donde se acelera el tiempo de producción de gran calidad para consumo evitando plagas y la contaminación existente de un cultivo tradicional, aprovechando un espacio reducido dentro del área urbana y con ayuda de la automatización se recolecta datos enviados a una plataforma IoT que mejora el control de sus principales parámetros para el crecimiento satisfactorio.

La tecnología permite el crear bienes y servicio que contribuyen a la conservación del medio ambiente mejorando el rendimiento económico y un impacto a la sociedad, en la Figura 8 se observa la estructura NFT (Nutrient Film Technique) de cultivo hidropónico que consiste en una inclinación en el canal que el ingreso del agua cubra la raíz de la planta y quede en contacto con la solución nutritiva, junto con todas las herramientas electrónicas su costo de elaboración se observa en la Tabla 5, que puede ser una inversión recuperada, reflejándose en la calidad del producto ya sea para futuras ventas o en consumo propio.

La plataforma IoT “ThingSpeak” por ser de uso gratuito pero limitado de acuerdo a la utilidad del presente proyecto fue útil para realizar pruebas experimentales en gestionar los resultados de temperatura-humedad, nivel de agua y pH con un tiempo de respuesta de 1 segundo al transmitir y receptar y un tiempo de 15 segundos para transmitirse a ThingSpeak con un buen rendimiento para visualizar las condiciones de funcionamiento del prototipo como se muestra en la Tabla 4 a una distancia tope de 550 m experimentalmente para recolectar los datos, donde 131, 43 m de tu total de línea de vista como se mostraba en la Figura 4 no fue posible concretar por las interferencias del ambiente y físicas.

RECOMENDACIONES

La línea de vista para comunicar una red inalámbrica debería ser más del 60% zona de Fresnel para que no haya interferencia sin embargo al ser una frecuencia libre 433 MHz en zonas urbanas tiende a presentar mayor ruido por los dispositivos activos.

Es importante tomar en cuenta la región donde se encuentra el prototipo hidropónico dado que las condiciones de las variables varían de acuerdo a su lugar geográfico.

Para la elaboración del prototipo se debe considerar una fuente ATX12v p4 400w de poder igual o mayor a la que se ocupó en el prototipo para que abastezca a todos los elementos electrónicos que se utilicen y también para un futuro funcionamiento un conservador de energía cuando exista corte de luz.

Se debe considerar la plataforma IoT con uso ilimitado bajo una mensualidad si existiese un escalamiento de productividad para mayor obtención de datos. “ThingSpeak” es una buena opción al mantener una red privada con SSL.

BIBLIOGRAFÍA

- 7Gaus. (marzo de 2022). *Tipos de investigación*. <https://www.significados.com/tipos-de-investigación/>
- Alliance, L. (Noviembre de 2015). *LoRaWAN: What is it?* LoRa Alliance: <https://lora-alliance.org/sites/default/files/2018-04/what-islorawan.pdf>
- Briceño Jejen, M., & Cubides Porras, W. (2020). Diseño de una solución IoT para monitoreo de las condiciones óptimas de un cultivo hidropónico de flores en invernadero. 12.
- Calderón, A., Dini, M., & Stumpo, G. (2016). Los desafíos del Ecuador para el cambio estructural con inclusión social. CEPAL. 54-60.
- Camberos Ortiz, D. C., & Forero Giraldo, H. H. (2020). Desarrollo de una red punto a punto con tecnología LoRa y servidor web. 1.
- Cevallos García, B. L., & Rubio Echeverría, S. W. (2021). Desarrollo de una red IoT con tecnología LoRa para gestión de invernaderos. 1-2., B. L., & Rubio Echeverría, S. W. (2021). Desarrollo de una red IoT con tecnología LoRa para gestión de invernaderos. 1-2.
- Espinal Pacheco, E. P. (2022). Sistema de monitoreo y seguimiento para personas con Síndrome de Down utilizando tecnología Long Range (LoRa). 15-45.
- Espinoza Guerrero, L. A. (2021). PLATAFORMA BASADA EN INTERNET DE LAS COSAS (IoT) PARA LA MEDICIÓN Y MONITOREO REMOTO DEL NIVEL DE GAS SULFURO DE HIDRÓGENO GENERADO POR BATERÍAS DE MONTACARGAS ELÉCTRICOS EN ENTORNOS LOGÍSTICOS. 65-75.
- Gaybor Murillo, M. A., & Maridueña Chunga, M. D. (2017). Diseño de un sistema de adquisición de datos de una red e sensores inalámbricos que miden variables oceanográficas en el perfil costanero de Santa Elena, usando tecnología LoRa. SANTA ELENA. *ESPOL*, 17.
- Ibrahim, D. M. (2019). Internet of thing technology based on LoRaWAN Revolution. . *10th International Conference on Information and Communication System (ICICS)*, 1-4.
- Jimenez Cevallos, J. S., Logacho Sarango, E. A., Cuenca Loarte, J. V., & Guevara, D. (2022). *Observatorio Redes de datos y comunicaciones*. Ubidots: <https://observatorioelt.ister.edu.ec/ubidots/>
- Lavric, A., & Loan Petrariu, A. (2018). LoRaWAN Communication Protocol: The New Era of IoT. *14th International Conference on DEVELOPMENT AND APPLICATION SYSTEM*, 1-3.
- Lavric, A., & Popa, V. (2017). Internet of Things and LoRa Low-Power Wide-Area Networks. *Simposio Internacinal de Señales, Circuitos y Sistemas (ISSCS)*, 1-5.
- López, E. J. (2018). Hidroponic production of crops. *Idesia*, 1-3.
- Loya Lasluisa, J. A. (2022). Implementación de una red de sensores inalámbricos para la monitorización de variables físicas en cultivos hidropónicos mediante tecnología LoRa. 231.
- MAGAP. (16 de agosto de 2018). *Ministerio de Agricultura y Ganadería*. <https://www.agricultura.gob.ec/lechuga-se-produce-de-forma-hidroponica/>
- Mogrovejo Narváez, D. L. (2019). MONITOREO DE VARIABLES INDUSTRIALES BASADAS EN PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN LoRa. 19-22.

- Moreno Miranda, C., Moreno Miranda, R., Pilamala Rosales, A. A., Molina Sanchez, J. I., & Cerda Mejía, L. (09 de septiembre de 2019). *Uptc*. El sector hortofrutícola de Ecuador: <https://www.redalyc.org/journal/5600/560059292003/html/>
- Navarro, O. J., Sendra, S., Ameigeiras, P., & Lopez, S. J. (2018). Integración de LoRaWAN y 4G/5G para el Internet Industrial de las Cosas. . *IEEE*, 60-67.
- Oratile, K., Bassey, I., & Adnan, M. (2017). IoT Devices and Applications based on LoRa/LoRaWAN. 2-4.
- Pérez Garcia, R. (2017). Evaluación de LoRa/LoRaWAN para escenarios de Smart City. 7-21.
- Porras Pumalema, C. D. (2021). Análisis, desarrollo e implementación de un sistema hidropónico EBB and FLOW automatizado para la fundación ecosur-Ecuador. 3.
- SEMTECH. (2022). *LoRa*. Plataforma para IoT: <https://www.semtech.com/lora/>
- Sinha, R., Wei, Y., & Hwang, S. (2017). Una encuesta sobre la tecnología LPWA: LoRa y NB-IoT. *TIC Express* 3, 14-20.
- ThingSpeak. (2022). *ThingSpeak*. ThingSpeak for IoT Projects: https://thingspeak.com/pages/learn_more
- Torres, C., & Balmaseda Espinosa, C. (2020). Inversión en sistemas hidropónicos: análisis comparativo de materiales, escalas y sistemas. *Revista Científica y Tecnológica UPSE*, 1-18.
- Velasteguí Silva, F. P. (2021). Cultivo hidropónico de lechuga Green salad bowl habilitado por IoT en Tungurahua (Ecuador). 38-54.
- Veloso, C. (2018). *Tools*. ARDUINO MEGA 2560 CARACTERÍSTICAS: <https://www.electrontools.com/Home/WP/arduino-mega-2560-caracteristicas/>
- Wixted, A., Kinnaird, P., Larijani, H., Tait, A., Ahmadiania, A., & Strachan, N. (2016). Evaluación de LoRa y LoRaWAN para redes de sensores inalámbricos. *SENSORES IEEE*, 1-3.

ANEXOS

ANEXO 1
VALIDACIÓN DEL PROYECTO DE TITULACIÓN



Yo, **Mgs. Flavio David Morales Arévalo**, con C.I **1712900214**, en mi calidad de validador de la propuesta del proyecto titulado: **Hidropónico automatizado con monitoreo remoto mediante comunicación LoRa y aplicación IoT.**

Elaborado por el Ing. **Stephanie Celinda Chanalata Encalada**, con C.I **1722337530**, estudiante de la Maestría en Telecomunicaciones, mención gestión de las telecomunicaciones de la Universidad Tecnológica Israel (UISRAEL), como parte de los requisitos para obtener el Título de Magister, me permito declarar haber revisado el proyecto y realizado la evaluación de criterios.

Quito D.M., 16 de septiembre de 2022



Flavio Morales Arévalo

C.I. 1712900214

Registro SENESCYT 1004-13-86035295

ANEXO 2

VALIDACIÓN DEL PROYECTO DE TITULACIÓN



Yo, **Mgs. Benitez Bravo Victor Hugo**, con C.I. **0602990699**, en mi calidad de validador de la propuesta del proyecto titulado: **Hidropónico automatizado con monitoreo remoto mediante comunicación LoRa y aplicación IoT.**

Elaborado por el Ing. **Stephanie Celinda Chanalata Encalada**, con C.I. **1722337530**, estudiante de la Maestría en Telecomunicaciones, mención gestión de las telecomunicaciones de la Universidad Tecnológica Israel (UISRAEL), como parte de los requisitos para obtener el Título de Magister, me permito declarar haber revisado el proyecto y realizado la evaluación de criterios.

Quito D.M., 16 de septiembre de 2022



Víctor Hugo Benítez Bravo.

C.I. 0602990699

Registro SENESCYT 1079-15-86066386

ANEXO 3

VALIDACIÓN DEL PROYECTO DE TITULACIÓN



Yo, **Ing. Cevallos García Bryan Leonel**, con C.I **172282233-3**, en mi calidad de validador de la propuesta del proyecto titulado: **Hidropónico automatizado con monitoreo remoto mediante comunicación LoRa y aplicación IoT.**

Elaborado por el Ing. **Stephanie Celinda Chanalata Encalada**, con C.I **1722337530**, estudiante de la Maestría en Telecomunicaciones, mención gestión de las telecomunicaciones de la Universidad Tecnológica Israel (UISRAEL), como parte de los requisitos para obtener el Título de Magister, me permito declarar haber revisado el proyecto y realizado la evaluación de criterios.

Quito D.M., 16 de septiembre de 2022



Ing. Cevallos García Bryan Leonel.

C.I. 172282233-3

Registro SENESCYT 1034-2021-2326448