

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

Unidad de investigación de la facultad de ingeniería
eléctrica y electrónico



INFORME FINAL DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**“MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AGUA MEDIANTE TECNOLOGÍA
LORA EN UN SISTEMA HIDROPÓNICO PARA MEJORAR EL CULTIVO DE
LECHUGA EN ZONAS URBANAS DE VENTANILLA, CALLAO 2024”**

AUTOR: Dr. Santiago Linder Rubiños Jimenez

COLABORADOR: Dr. Marcelo Carlos Damas Flores

APOYO EXTERNO: Ing. Eduardo Nelson Chavez Gallegos

ADMINISTRATIVOS DE APOYO: Pebes Paucar de Carmen Zoila María

PERIODO DE EJECUCIÓN: 01 de febrero de 2024 al 31 de diciembre
del 2024

Resolución de aprobación: 321-2024-R

CALLAO, 2024

Signature

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'E. J. ...', enclosed in a thin black rectangular border.

DEDICATORIA

A Dios, por ser el que guía mis pasos cada día, a mi Madre e hijas, por su constante apoyo para que luche por mis objetivos.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por permitirme seguir y lograr mis objetivos, a la Universidad Nacional del Callao por ser la que me enseñó a trazar metas y gracias a mi familia por apoyarme en cada decisión y proyecto.

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'E. Pineda', written in a cursive style.

ÍNDICE

RESUMEN.....	3
ABSTRACT.....	3
INTRODUCCIÓN.....	3
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	4
1.1. Descripción de la realidad problemática.....	4
1.2. Formulación del Problema.....	5
1.3. Objetivos.....	5
1.4. Justificación.....	6
1.5. Delimitantes de la investigación.....	7
II. MARCO TEÓRICO.....	8
2.1. Antecedentes: internacionales y nacionales.....	8
2.2. Bases Teóricas.....	15
2.3. Definición de Términos básicos.....	27
III. HIPÓTESIS Y VARIABLES.....	30
3.1. Hipótesis.....	30
3.1.1. Operacionalización de variables.....	30
IV. METODOLOGÍA DEL PROYECTO.....	32
4.1. Diseño metodológico.....	32
4.2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	32
4.3. Método de investigación.....	32
4.4. Población y muestra.....	35
4.5. Lugar de estudio y periodo desarrollado.....	35
4.6. Técnicas e instrumentos para la recolección de la información.....	35
4.7. Análisis y procesamiento de datos.....	35
V. RESULTADOS.....	36
5.1. Resultados inferenciales.....	36
VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	41
VII. CONCLUSIONES.....	42
VIII. RECOMENDACIONES.....	42
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	43
X. ANEXOS.....	48
8.1. Modelo del sistema hidropónico.....	49



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1.1. “Interfaz principal del panel de administración del sistema”	8
Figura 2.1.2. La figura indica el diagrama de conexión de los componentes electrónicos que conforman al Nodo Final	10
Figura 2.1.3. Topología de red para implementación de IoT con Sigfox, LoRaWAN o NB-IoT.....	11
Figura 2.1.4. Diseño del sistema de control	12
Figura 2.1.5. Contrastación de valores pH, CE en modulo con sistema en Post”. 13	
Figura 2.2.1. Arquitectura IoT de 3 capas	17
<i>Figura 2.2.2. Arquitectura del sistema IoT.....</i>	<i>18</i>
<i>Figura 2.2.3. Esquema general del sistema IoT</i>	<i>20</i>
<i>Figura 2.2.4. Arquitectura LoRa</i>	<i>22</i>
<i>Figura 2.2.6. Sistema hidropónico NFT con IoT integrado.....</i>	<i>25</i>
<i>Figura 2.2.7. Cultivo hidropónico NFT de la lechuga</i>	<i>26</i>
<i>Figura 2.2.8. Diagrama de flujo de la programación</i>	<i>27</i>
Figura 5.1.1. Potencia de señal desde el dispositivo portátil emisor hasta la base receptora	36
Figura 5.1.2. Potencia de la señal a distancias de 0, 400 y 1200 metros.....	37
<i>Figura 5.1.3. Mediciones de sincronización del sensor</i>	<i>39</i>
<i>Figura 5.1.4. Altura de la planta antes y después del sistema acuapónico automatizado</i>	<i>40</i>
<i>Figura 5.1.5. Número de hojas antes y después del sistema acuapónico automatizado</i>	<i>40</i>
<i>Figura 5.1.6. Peso de la planta antes y después del sistema acuapónico automatizado</i>	<i>41</i>

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.2.1. Niveles de conductividad eléctrica por cultivo	16
Tabla 2.2.2. Detalles específicos de los sensores	18
Tabla 2.2.3. Detalles específicos de los actuadores	19
Tabla 2.2.4. Características entre Sigfox, LoRa y NB-IoT	21
<i>Figura 2.2.5. LoRaWAN en el modelo OSI.....</i>	<i>22</i>
Tabla 2.2.5. SNR y velocidades de datos para varios SF utilizando LoRa	24
Tabla 3.1. Operacionalización de variables.....	31
Tabla 5.1.1. Resultados de temperatura del agua en la prueba de calibración.	37
Tabla 5.1.2. Tabla de resultados del nivel de pH en la prueba de calibración .	38
Tabla 5.1.4. Tabla de resultados del nivel de TDS en la prueba de calibración	39
Tabla 8.1. Matriz de consistencia.....	48



RESUMEN

Este proyecto se enfocó en el diseño e implementación de un sistema de adquisición y registro de señales con tecnología IoT para el seguimiento de las condiciones de temperatura, pH, TDS y conductividad eléctrica de cultivos hidropónicos de lechuga. La metodológica utilizada en este proyecto fue la de validación de instrumentos, la cual permitió la verificación del funcionamiento correcto del sistema. De igual forma, se validó la captura de datos por medio de los sensores conectados al SoC (system on chip) ESP32, quien transmitió los datos a la plataforma Firebase. Este proceso permitió lograr la interoperabilidad de los distintos sensores al transmitir esta información hacia la plataforma de IoT para su posterior procesamiento; los resultados obtenidos permitieron hacer los ajustes correspondientes para que el sistema funcionara de la manera deseada, se observó una mejora en el crecimiento de las plantas, evidenciado por la diferencia en los valores de altura, número de hojas, largo de hojas y peso de las plantas antes y después de la instalación del sistema de control, el cual fue de 7.76 cm, 5 hojas, 5.6 cm y 42.1 g, respectivamente. Concluyendo que el uso de estos sistemas trae grandes beneficios que ayudan a conocer y procesar de manera remota las condiciones del cultivo hidropónico.

Palabras clave: IoT, Hidroponía, LoRa, monitoreo



ABSTRACT

This project focused on the design and implementation of a signal acquisition and registration system with IoT technology to monitor the conditions of temperature, pH, TDS and electrical conductivity of hydroponic lettuce crops. The methodology used in this project was instrument validation, which allowed verification of the correct functioning of the system. Likewise, the data capture was validated through the sensors connected to the ESP32 SoC (system on chip), which transmitted the data to the Firebase platform. This process made it possible to achieve interoperability of the different sensors by transmitting this information to the IoT platform for subsequent processing; The results obtained allowed the corresponding adjustments to be made so that the system worked in the desired way, an improvement in the growth of the plants was observed, evidenced by the difference in the values of height, number of leaves, length of leaves and weight of the plants before and after the installation of the control system, which was 7.76 cm, 5 leaves, 5.6 cm and 42.1 g, respectively. Concluding that the use of these systems brings great benefits that help to know and remotely process the conditions of hydroponic cultivation.

Keywords: IoT, Hydroponics, LoRa, monitoring



INTRODUCCIÓN

La Agricultura Peruana de hoy en día está en riesgo debido al cambio climático. En los últimos 40 años, hubo una disminución del 20% a 30% de los glaciares; colocando en peligro a la agricultura convencional, provocando la desertificación del suelo, el desequilibrio en las tierras agrícolas, la calidad de los cultivos y las condiciones productivas [1]. Además, se debe considerar que la progresiva caída de la superficie del suelo fértil, debido a los fenómenos de urbanización y el vertimiento directo de las aguas residuales domésticas a las aguas superficiales sin un previo tratamiento, que se ha convertido en un problema muy grave a la sociedad. Las aguas residuales frecuentemente son contaminadas por descargas industriales y domésticas [2] lo que puede contaminar el agua de riego, con materia fecal convirtiéndose en una fuente de microorganismos patógenos como *Escherichia coli*, *Salmonella spp.*, *Listeria spp.*, *Shigella spp.*, *Cryptosporidium spp.* virus entéricos, etc. [3].

Los agricultores según el tipo de cultivo optan por usar métodos que permitan mitigar estas deficiencias, mejorar la calidad de sus cosechas y tener una mejor producción. Con el crecimiento acelerado de la población, la agricultura tradicional puede no ser suficiente para cubrir las necesidades alimentarias, haciéndose necesario el desarrollo de sistemas inteligentes y técnicas que coadyuven a gestionar mejor los recursos naturales [4]. La hidroponía ha surgido como una alternativa sustentable que apoya a la producción de alimento en lugares donde se dificulta la siembra ya sea por el clima o por falta de espacio físico para cultivos. La hidroponía permite la producción de hortalizas de forma intensiva en espacios reducidos tanto en áreas rurales como urbanas, una de las hortalizas más utilizadas en la gastronomía peruana es la lechuga [5]; por lo que la técnica de la Hidroponía para producirla se ha difundido en las principales ciudades del Perú, ya que la calidad y variedad de las lechugas que se obtienen es muy buena, así como también en cantidad, la población, también recurre a esta producción porque se necesitan condiciones climáticas adecuadas para mejorar el producto y tener un producto que ofrece un mayor cuidado por la salud y la nutrición [6]. Debido a esto el incremento de los niveles de supervisión y



control de las variables de producción de los cultivos agrícolas se manifiesta como una opción para contribuir al desarrollo competitivo de estos cultivos

Por ello en esta investigación se implementará un sistema que mejore el cultivo de lechugas por hidroponía mediante el control de los valores de pH, conductividad eléctrica y temperatura en la solución nutritiva con un sistema IoT de monitoreo del cultivo hidropónico para asegurar que los parámetros se encuentren dentro del rango y controlar el crecimiento del cultivo de lechugas.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática

Para satisfacer la demanda, la agricultura en el año 2050 necesitará producir casi un 50% más de alimentos [7]. Sin embargo, la estricta dependencia de la práctica agrícola de la disponibilidad de agua en una época de cambios climáticos drásticos (desertificación), hace que el escenario sea aún más complejo [8], especialmente cuando se utiliza aguas servidas o aguas de río, para el caso específico de hortalizas de hoja como la lechuga, las cuales van a ser consumidas crudas, pudiendo ser una fuente de infección para el ser humano de parásitos gastrointestinales, como el caso de bacterias, protozoos y huevos de helmintos que se pueden adherir a las hojas. Aunque se han implementado planes para mejorar el uso del suelo y el agua, lo anterior indica la necesidad de fortalecer el desarrollo de prácticas más inteligentes que contribuyan a la reducción de factores de riesgo [9].



Una de las técnicas más utilizadas es la hidroponía que puede llegar a solucionar problemas globales, cómo la escasez de los recursos hídricos, la contaminación de los cultivos, entre otros. Aunque, el conocimiento poco tecnificado que tienen las personas en el cuidado de los sistemas hidropónicos, hace que recurran a la búsqueda de información que les ayude con el mejoramiento de estos cultivos sin suelo, pero esto por sí solo no es suficiente debido a que se requiere una constante supervisión

del suministro de la solución nutritiva, es por esto que el uso de sistemas de control ha obtenido popularidad [10], ya que la falta de monitoreo de los valores del pH del agua, la temperatura del ambiente y temperatura del agua afecta el rendimiento de un sistema hidropónico. Además, otro problema es el trabajo, esfuerzo y la pérdida de tiempo que se produce cuando el hombre se dedica a realizar el registro de datos de forma manual durante el proceso del cultivo [11].

De lo acontecido es que nos preguntamos cómo, de qué manera, qué relación existe entre la aplicación del control en el sistema de hidroponía NFT y la producción de lechugas en huertos urbanos, y si esto nos permitirá dar solución a nuestro problema de investigación, es por ello que formulamos el siguiente problema de investigación.



1.2. Formulación del Problema

1.2.1. Problema General

P.G.1 ¿Cómo el monitoreo de la calidad del agua mediante tecnología lora en un sistema hidropónico podrá mejorar el cultivo de lechuga en zonas urbanas de ventanilla, callao 2024?

1.2.2. Problemas Específicos

P.E.1. ¿Cómo el monitoreo de la calidad del agua mediante tecnología lora en un sistema hidropónico podrá mejorar la biomasa de la lechuga en zonas urbanas de ventanilla, callao 2024?

P.E.2. ¿Cómo el monitoreo de la calidad del agua mediante tecnología lora en un sistema hidropónico podrá mejorar el rendimiento de la lechuga en zonas urbanas de ventanilla, callao 2024?

1.3. Objetivos

1.3.1 Objetivo general

O.G. Aplicar el monitoreo de la calidad del agua mediante tecnología lora en un sistema hidropónico para mejorar el cultivo de lechuga en zonas urbanas de ventanilla, Callao 2024.

1.3.2. Objetivos específicos

O.E.1. Diseñar un sistema de monitoreo de la calidad del agua mediante tecnología lora en un sistema hidropónico para mejorar la biomasa de la lechuga en zonas urbanas de ventanilla, Callao 2024.

O.E.2. Implementar un sistema de monitoreo de la calidad del agua mediante tecnología lora en un sistema hidropónico para mejorar el rendimiento de la lechuga en zonas urbanas de ventanilla, Callao 2024.

1.4. Justificación

1.4.1. Justificación teórica

Según [12] indica que “La justificación teórica se hace cuando el propósito del estudio es generar reflexión y debate académico sobre el conocimiento existente, confrontar una teoría, contrastar resultados, hacer epistemología del conocimiento existente o cuando se busca mostrar las soluciones de un modelo.”

De acuerdo con los objetivos de estudio, su resultado permite el aprendizaje de los elementos requeridos para la implementación del IoT con LoRaWAN que capturan los datos de la calidad del agua del sistema hidropónico, para mejorar el crecimiento del cultivo.

1.4.2. Justificación práctica

Según [13] indica que “la justificación práctica, se debe de hacer cuando el desarrollo de la investigación ayuda a resolver un problema o por lo menos, propone estrategias que al aplicarse contribuirían a resolverlo.”



De lo mencionado por el autor, existe una justificación práctica en esta investigación, ya que la aplicación de tecnología de monitoreo remoto de parámetros permitirá identificar y regular cualquier anomalía del sistema hidropónico con lo cual se puede mejorar el crecimiento del cultivo de lechuga.

1.4.3. Justificación metodológica

Según [13] “la justificación metodológica del estudio se da cuando el proyecto que se va a realizar propone un nuevo método o una nueva estrategia para generar conocimiento válido y confiable”


El presente proyecto tiene un enfoque que se centra en el crecimiento del cultivo de lechuga con el uso de nodos sensores y actuadores para ajustar los valores de la calidad del agua que varía de acuerdo a los niveles de pH, temperatura y otros factores, y así evitar la contaminación que se produce al utilizar los sistemas convencionales.

1.5. Delimitantes de la investigación

Según [14], “La delimitación habrá de efectuarse en cuanto al tiempo y el espacio, para situar nuestro problema en un contexto definido y homogéneo. ”

De lo expuesto por el autor, mis delimitaciones son las siguientes:

Delimitación Espacial



La delimitación espacial de este proyecto de investigación es las zonas urbanas de Ventanilla, en Callao, quedando cualquier otro espacio fuera de esta zona descartada.

Delimitación Temporal

El proyecto de investigación tendrá una duración de 12 meses, iniciándose en agosto del 2024. El cual no es tiempo suficiente para experimentar con las diferentes tecnologías IoT para mejorar el crecimiento del cultivo de lechuga.

Delimitación Teórica

En el presente proyecto de investigación se está implementado un dispositivo de monitoreo remoto en el que se aplicará sensores, protocolos de comunicación y dispositivos de telecomunicación para mejorar el crecimiento del cultivo de lechuga.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes: internacionales y nacionales

ANTECEDENTES INTERNACIONALES

[15], en su trabajo de investigación titulado “DISEÑO DE UNA SOLUCIÓN IOT PARA MONITOREO DE LAS CONDICIONES ÓPTIMAS DE UN CULTIVO HIDROPÓNICO DE FLORES EN INVERNADERO”, para obtener el título de ingeniero de sistemas, que tuvo como objetivos diagnosticar el uso de soluciones tecnológicas de Internet de las Cosas y diseñar un framework conceptual de solución tecnológica IoT para monitorear cultivos de flores en invernadero, para ello se utilizó un método de tres fases, en la primera fase se hace el diagnóstico del problema, estados actuales, funcionamiento de los sistemas a tratar y contextualización de las situaciones que se presentan en este ámbito. Para la segunda fase se tiene en cuenta el diseño del framework el cual se realiza teniendo en cuenta el diagnóstico hecho en la primera fase, en esta fase se sientan las bases de la siguiente fase. El framework se hace para establecer los criterios con los que debe funcionar el sistema. En la tercera fase debe tener en cuenta el framework diseñado en la fase dos para de esta manera abarcar a nivel de diseño y construcción las características clave identificadas en el framework conceptual. Con esto se logró obtener la interfaz que se puede apreciar en la figura N°1

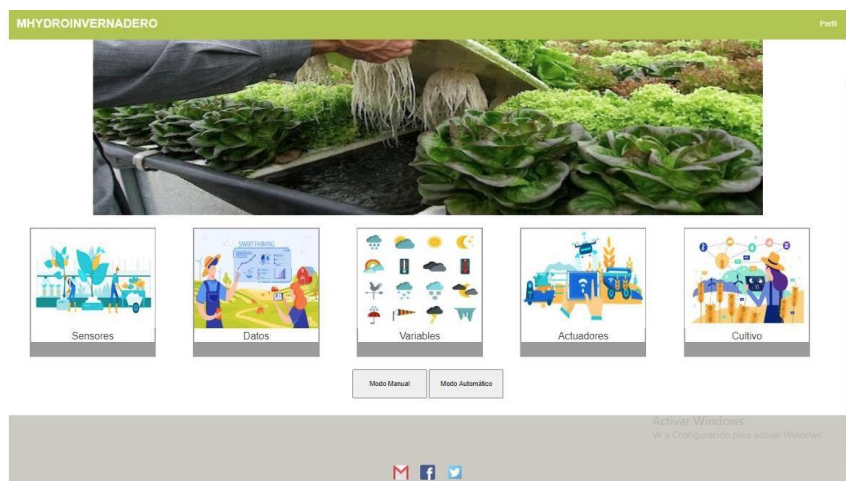


Figura 2.1.1. “Interfaz principal del panel de administración del sistema”

Se obtuvo como resultado el diseño de la arquitectura del sistema de monitoreo de flores en invernadero empleando tecnologías IoT, para lo cual se realizó un proceso de levantamiento de requerimientos funcionales y no funcionales, que fueron útiles para la elaboración del diseño de una base de datos relacional y del diagrama de bloques, el cual ilustra de forma general la interacción de los elementos del sistema. Finalmente, con la visión panorámica de todo lo anterior, se realizó un diseño 3D del sistema en la aplicación sketchup, donde se puede visualizar los elementos físicos que conforman el sistema y una posible ubicación de cada elemento dentro del invernadero.

Según [16], en su trabajo de investigación titulado “Implementación de una red de sensores inalámbricos para la monitorización de variables físicas en cultivos hidropónicos mediante tecnología LoRa”, para obtener el título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones, que tuvo como objetivos Analizar las características, prestaciones y topologías de red que presenta la tecnología LoRa y los estándares requeridos para el desarrollo de la red de sensores inalámbrica y desarrollar una interfaz gráfica orientada a la Web que permita al usuario visualizar en tiempo real las variables físicas del cultivo hidropónico monitorizado para evaluar el desempeño de la red inalámbrica, para ello utilizó un nodo inteligente instalado en el sistema hidropónico, el mismo que contiene sensores conectados a la red LoRaWAN que permitieron medir variables físicas como el pH, humedad, temperatura y nivel del agua como se puede ver en la figura 2. Además, se proporcionó al usuario una plataforma de visualización basada en la Web para que tenga un reporte detallado de los valores adquiridos mediante el nodo y pueda controlar los elementos de salida mediante actuadores como relés, estableciendo rangos de operación de los sensores que enviará alertas en tiempo real vía SMS. Como resultado de la implementación, fue posible determinar que para una producción de 40 plantas el consumo de agua es progresivo pues aumenta

de 8.5 litros a 14 litros, los rangos de pH de 6 y 6.5 de la solución nutritiva permiten que las plantas crezcan y maduren apropiadamente.

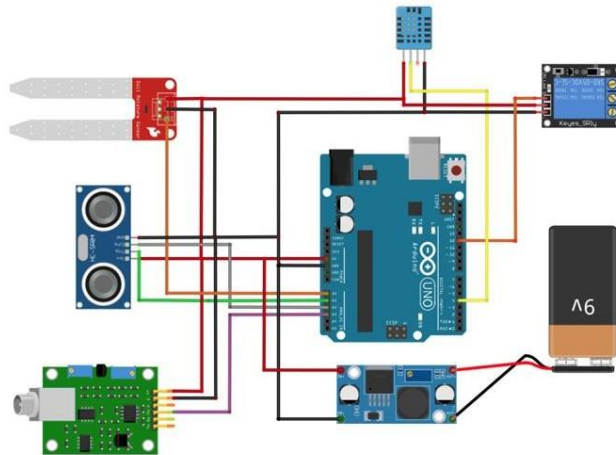


Figura 2.1.2. La figura indica el diagrama de conexión de los componentes electrónicos que conforman al Nodo Final

Según [17], en su trabajo de investigación titulado “Diseño de investigación de un sistema electrónico mediante el uso de tecnologías de IoT para el monitoreo remoto de pH en agua de solución de nutrientes en un sistema de cultivo hidropónico para mejora de calidad y rendimiento de los cultivos”, para obtener el título de Ingeniero en electrónica, que tuvo como objetivo proponer un sistema tecnológico mediante el uso de tecnologías del IoT con topología LPWAN que está disponible en Sigfox, LoRaWAN y NB-IoT que permita la visualización de forma remota del estado del nivel de pH en agua de solución en sistemas de cultivos hidropónicos urbanos, para ayudar a minimizar las fuentes de contaminación y así garantizar, rendimiento, calidad e inocuidad en las cosechas como se puede ver en la Figura 3. Mediante la toma de datos de forma periódica de los valores de pH del agua de solución del sistema de cultivo hidropónico del grupo bajo análisis. Posteriormente se realizó un análisis estadístico inferencial con pruebas paramétricas como el coeficiente de correlación de Pearson y regresión lineal, y prueba de t.

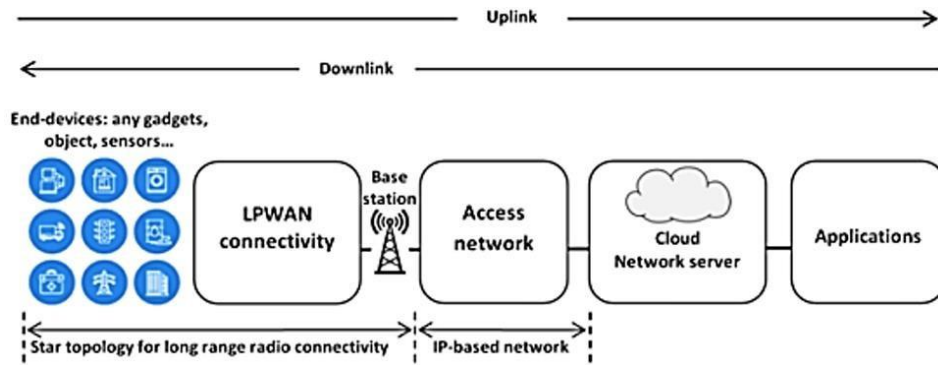



Figura 2.1.3. Topología de red para implementación de IoT con Sigfox, LoRaWAN o NB-IoT

Con los datos de los niveles de pH el productor podrá disponer de trazabilidad en los procesos y tomar decisiones para garantizar niveles correctos de pH en la solución que permita el correcto desarrollo de los cultivos. Determinando finalmente, si existe correlación entre la medición constante de los niveles de pH y la calidad y rendimiento de las cosechas obtenidas.



Según [18] en su trabajo de investigación titulado “SISTEMA HIDROPÓNICO INTELIGENTE APLICADO A LA PRODUCCIÓN DEL FORRAJE VERDE CON ARQUITECTURA IoT” para la obtención de su título Profesional de Ingeniero en Electrónica y Comunicaciones, que tuvo como objetivo desarrollar un sistema hidropónico inteligente aplicado a la producción de forraje con arquitectura IoT, para ello utilizó una metodología que engloba las tecnologías de análisis, monitoreo y control para el diseño y ensamble de dispositivos electrónicos. Aportando una alternativa de alimentación saludable para animales de granja, finalmente en este trabajo se recomendó seleccionar adecuadamente los sensores y actuadores que mejor se adapten a las condiciones de evolución del cultivo teniendo en cuenta como mínimo: rango de medición, precisión y exactitud para generar mediciones de calidad aportando así un óptimo control en el cultivo.

ANTECEDENTES NACIONALES

[6], en su trabajo de investigación titulado “Diseño e implementación de un sistema de control y automatizado para la etapa de germinación y acondicionamiento de lechugas hidropónicas de la empresa FAGSOL S.A.C. monitoreado a tiempo real”, para optar el título profesional de ingeniero electrónico de la “UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUÍPA”, la cual tuvo como objetivo, diseñar e implementar un sistema de control y automatizado para la etapa de germinación y acondicionamiento de lechugas hidropónicas de la empresa FAGSOL S.A.C. monitoreado a tiempo real la temperatura, la luz, el pH entre otros. Para ello, se emplea programación basada en el entorno de desarrollo de Arduino para el microcontrolador, y la plataforma Thiger.io para la presentación de los parámetros en un Servidor Web. Se concluye que la temperatura es un parámetro importante en el crecimiento, desarrollo y en su crecimiento de las lechugas hidropónicas; se desarrolla en climas de cálido a frío moderado. Se realizó un gráfico de los datos obtenidos por el sensor de temperatura, el cual se puede descargar desde la misma plataforma. Se puede apreciar que la temperatura se encuentra dentro de los rangos del cual se estableció en la plataforma.

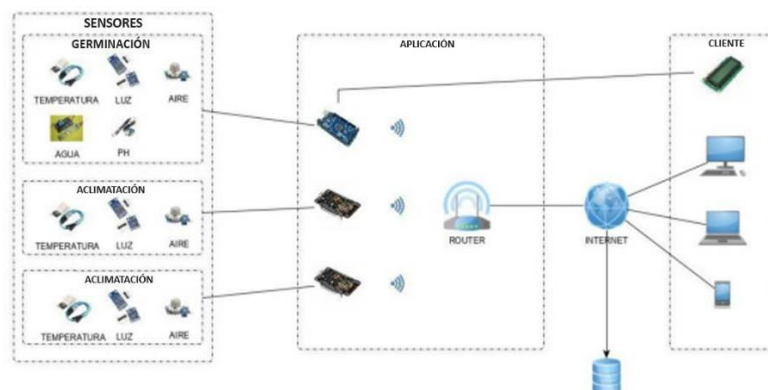


Figura 2.1.4. Diseño del sistema de control

[7], en la tesis para optar por el título de Ingeniero Informático y Sistemas de la UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC, titulada “Aplicación de un sistema de control basado en IoT para el

balance de la solución nutritiva en el cultivo de lechuga por hidroponía en el Distrito de Chilca, Lima, 2021” que tuvo el objetivo determinar en que medida la aplicación de un sistema de control basado en IoT mejora el balance de la solución nutritiva en el cultivo de lechuga por hidroponía en el Distrito de Chilca, Lima, 2021. Para ello inicia con la siembra de semillas de lechuga, luego se ha realiza las evaluaciones correspondientes obteniendo valores como peso, tamaño, numero de hojas. Teniendo 75 unidades de lechugas evaluadas tanto para el módulo con la implantación IoT. La implementación de IoT en el sistema hidropónico para el cultivo de lechuga ha logrado diferencias significativas (ver Figura N° 5); Para la medición de la eficiencia, se aplicó tanto en modulo con sistema (CS) y sin sistema (SS) en el sistema acuapónico, esta medición de eficiencia se realizó mediante el control de tiempo para la obtención del valor de pH, CE, temperatura de agua para la cual he definido como lectura SS y lectura CS.



Figura 2.1.5. Contrastación de valores pH, CE en modulo con sistema en Post”.

Según [19] en su trabajo de investigación titulado “SISTEMA HIDROPÓNICO AUTOMATIZADO PARA EL CONTROL DE PARÁMETROS DE SOLUCIÓN NUTRITIVA EN HUERTOS URBANOS” para la obtención de su título Profesional de Ingeniero Mecánico Electricista, que tuvo como objetivo Diseñar un sistema hidropónico automatizado para el control de parámetros de solución nutritiva en huertos urbanos, para ello utilizó una metodología de tipo aplicada ya que

utilizó conocimientos obtenidos, de enfoque cuantitativo y alcance descriptivo, en el que se planteó dar solución a los problemas que se manifiestan durante el desarrollo del estudio. En la investigación se formularon los problemas en base a la información básica obtenida, la aplicación de este tipo de investigación estuvo orientada a mejorar el sistema de control, con la finalidad de optimizar su funcionamiento, calificando como eficiente o deficiente dependiendo del estudio realizado, finalmente en este trabajo se recomendó el uso de materiales resistentes al agua y que el diseño sea adaptable para espacios reducidos, los cuales podrán ser aprovechados para la producción de hortalizas



Según [20] en su trabajo de investigación titulado “Diseño de un sistema de control automático de ph y conductividad eléctrica para garantizar el balance de la solución nutritiva de un sistema hidropónico NFT en la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo” para la obtención de su título Profesional de Ingeniero Electrónico, que tuvo como objetivo diseñar un Sistema de Control Automático de pH y conductividad eléctrica para garantizar el balance de la solución nutritiva de un sistema hidropónico NFT en la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, para ello utilizó una metodología con intervención puesto que se modificara las variables de interés, en este caso el Ph y la conductividad Eléctrica mediante un sistema de control automático, es prospectiva puesto que se planifica la recolección de datos del estado de la planta de lechuga, después de la intervención, es transversal puesto que se mide la variables de estudio una sola vez y finalmente es descriptivo puesto que se estimará el estado de la planta de lechuga (Una variable), teniendo en cuenta el color de la hoja y raíz, finalmente en este trabajo se recomendó aprender sobre los cuidados que se debe tener para cultivar lechugas en sistemas hidropónico y garantizar el balance de la solución nutritiva a través del control de Ph y conductividad eléctrica.

2.2. Bases Teóricas

Ventajas y desventajas de los cultivos hidropónicos

La técnica hidropónica o hidroponía nos ofrece algunas ventajas positivas ya que permite manejar el cultivo en todo su desarrollo obteniendo un producto de calidad sin dejar de lado las prácticas agrícolas. A continuación, menciona algunas ventajas y desventajas [21].

- Ventajas:

- Permite cultivar la misma especie cuantas veces sean necesarias.
- Ahorra significativamente el consumo de agua
- Facilita el control de pH y otras necesidades de la planta.
- Permite lograr productos de mayor calidad
- Acorta el tiempo para la cosecha.

- Desventajas:

- Se debe tener conocimiento básico acerca del producto que se va a cultivar
- Las instalaciones del sistema deben pasar por un mantenimiento cada cierto tiempo

Función del pH en la hidroponía

Las plantas son seres vivos por lo tanto se alimentan continuamente usando las raíces para hacer el proceso de absorción y tomar los elementos nutritivos necesarios y disponibles. Cuando el pH se encuentra desequilibrado ya sea muy básico o muy ácido genera un estrés a la planta ya que no podrá tomar los nutrientes eficientemente para llevarlos a las hojas y realizar el proceso de la fotosíntesis lo que trae consigo una disminución en el rendimiento y calidad de los cultivos [22].

Función de la conductividad eléctrica (CE) en hidroponía

La C.E. indica el contenido de sales del agua o la solución nutritiva y se expresa en deciSiemens por metro (dS/m). Cuando se agregan los fertilizantes o las soluciones concentradas para preparar la solución nutritiva, la C.E. de la solución

no debe exceder de 2.0 dS/m, de lo contrario las plantas podrían ser afectadas por toxicidad, principalmente en cultivos sensibles a las sales [23].

En la tabla 2.2.1. se muestra un ejemplo de los niveles de conductividad óptima para diferentes tipos de cultivo.

Tabla 2.2.1. Niveles de conductividad eléctrica por cultivo

Niveles de conductividad eléctrica por cultivo	
Cultivo	Conductividad eléctrica dS/m
Lechuga	1.3
Espinaca	2.0
Tomate	2.5
Frutilla	1.0
Apio	1.8

Temperatura en hidroponía

La temperatura de la solución nutritiva influye en la absorción de agua y nutrimentos. La temperatura óptima para la mayoría de las plantas es de aproximadamente 22 °C; en la medida que la temperatura disminuye, la absorción y asimilación de los nutrimentos también lo hace [24].

TDS en hidroponía

El TDS tiene un impacto significativo en los sistemas hidropónicos, ya que indica la concentración de minerales y nutrientes disueltos en la solución nutritiva. Este parámetro afecta directamente el crecimiento, la salud y la productividad de las plantas.

Internet de las cosas

El Internet de las Cosas Internet de las cosas o IoT habla de la conexión de los objetos tecnológicos a internet y este concepto indudablemente se deriva del avance de la tecnología y la necesidad que esto trae de compartir y controlar las cosas que nos rodean como se puede ver en la figura 2.2.1.

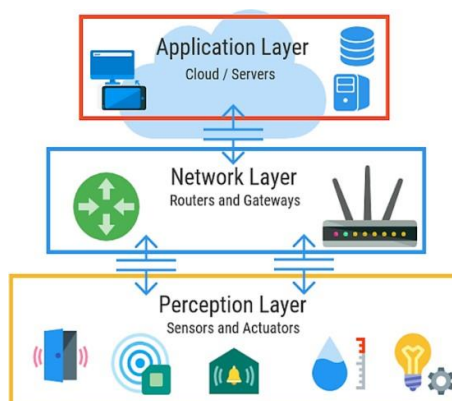


Figura 2.2.1. Arquitectura IoT de 3 capas

Las lechugas como cultivo hidropónico

La lechuga (*Lactuca sativa*) es una de las hortalizas hidropónicas más cultivadas. Debido a que la lechuga es una verdura de hoja comúnmente consumida en todo el mundo como una rica fuente de vitamina C, fibra, hierro y beneficios para la salud humana [25]. Además, porque actualmente existe la reducción de las tierras agrícolas que se han convertido en viviendas. Por lo que una solución en el mundo de la agricultura moderna es el sistema de cultivo hidropónico para abordar el suministro de lechuga porque puede cultivar plantas sin utilizar suelo [26]. Este tipo de cultivo representa una alternativa para los productores que buscan tecnologías de cultivo que garanticen su mejor producción, como es el caso del cultivo de lechuga en un sistema hidropónico del NFT (Nutrient Film Technique) [27], la lechuga es habitualmente seleccionada en el sistema hidropónico por ser el cultivo de más fácil manejo y ciclo más corto (45 a 60 días) asegurando así un retorno sobre el capital más rápido [28].

ARQUITECTURA DE IoT Y SENSORES DE REDES INALÁMBRICAS (WSN) PARA APLICACIONES DE AGRICULTURA

Las WSN integradas con tecnologías de IoT han avanzado rápidamente en varios dominios agrícolas. El sistema IoT sirve como una red donde dispositivos físicos, maquinaria, sensores y objetos se comunican sin problemas sin requerir intervención humana. En este marco, las WSN son cruciales y extienden su

influencia a muchas aplicaciones agrícolas en tiempo real [29]. La descripción general de las arquitecturas de IoT y WSN se ve en la Figura 2.2.2.

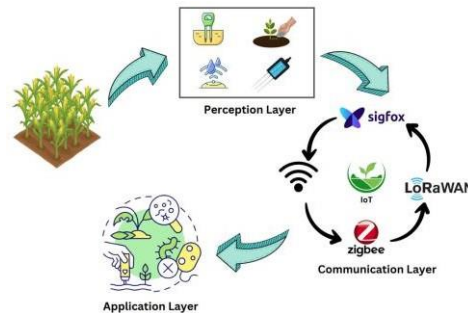


Figura 2.2.2. Arquitectura del sistema IoT

Arquitectura del sistema propuesto

- Sensores

Los sensores utilizados para nuestro sistema propuesto pueden ser digitales o analógicos (Ver Tabla 2.2.2.). Estos sensores simples están conectados a pines digitales/analógicos del microcontrolador para enviar y recibir datos. Para facilitar la conexión de sensores complejos, se pueden utilizar varios protocolos (o interfaces) de comunicación de hardware [30].

Tabla 2.2.2. Detalles específicos de los sensores

N°	Nombre del sensor	Tipo	Input	Parámetro	Rango
1	DS18B20	Análogo	3-5.5V	Temperatura	-55°C a 125°C
2	pH-4502C	Análogo	3.3-5.5V	pH	0-14
3	DFR0300	Análogo	3-5V	Conductividad eléctrica	1-15ms/cm
4	Sen0244	Análogo	3.3-5.5V	TDS	0 ~ 1000ppm

- Actuadores

El módulo actuador también consta de relés como actuadores, peltier para controlar el nivel de temperatura y bombas colocadas en cada depósito de solución de control para la recirculación del agua. Se utilizan motores paso a paso para poder realizar el pH UP que aumenta los niveles de pH y el pH down disminuye los niveles de pH. Además, Nutrient A y B para aumentar los

niveles de TDS de nutrientes y una bomba que podría hacer fluir agua al filtro para reducir los niveles de TDS. Todos los actuadores mencionados se pueden ver en la tabla 2.2.3.

Tabla 2.2.3. Detalles específicos de los actuadores

N°	Nombre del actuador	Fabricante	Voltaje de operación	Corriente
1	Motor paso a paso (28BYJ-48)	Nylamp Mechatronic	5VDC	55mA
2	Peltier (TEC1-12706)	Nylamp Mechatronic	12VDC	0-6A
3	Bomba de agua (Resun SP-3800L)	Ocean store	220 V	250mA

- **Microcontrolador**

Se utilizó un microcontrolador ESP32 con 38 pines, convertidor analógico digital (DAC), convertidor analógico digital (ADC) y conectividad Wi-Fi incorporada. Está diseñado para centrarse en aplicaciones de IoT. El microcontrolador ESP32 se utiliza como dispositivo de monitoreo para el proceso hidropónico y controla los niveles de agua, sal, Ph y temperatura. Todos los datos recopilados por los sensores se procesan dentro del microcontrolador ESP32 antes de enviarse a una base de datos para guardarlos para su uso posterior.

- **Unidad de Comunicación:**

Permite la transmisión de datos a otros nodos o a una estación base. Puede utilizar tecnologías inalámbricas como el transceptor LoRa SX1276. Esta unidad también puede recibir datos de otros nodos.

Sistema general

Se puede visualizar en la figura 2.2.3. cada componente mencionado como parte del sistema que se utilizará para el sistema de monitoreo del cultivo hidropónico de lechuga

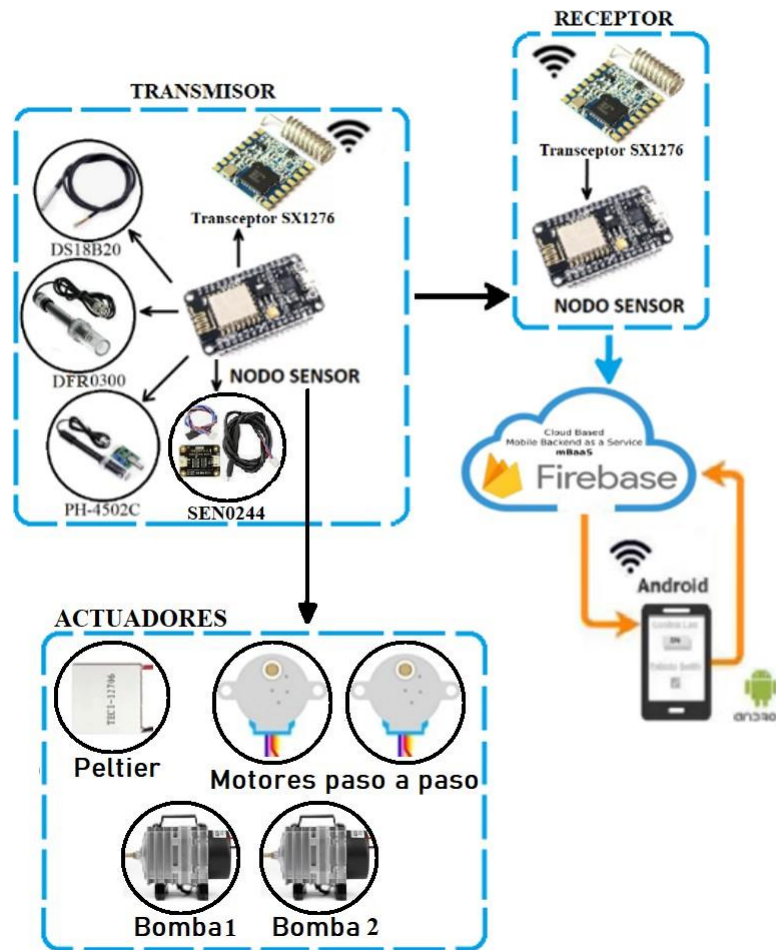


Figura 2.2.3. Esquema general del sistema IoT

Tecnologías LPWAN

LPWAN es muy adecuado para aplicaciones de IoT que solo necesitan transmitir pequeñas cantidades de datos a larga distancia. Muchas tecnologías LPWAN han surgido en el ancho de banda de frecuencia con y sin licencia. Entre ellas, Sigfox, LoRa y NB-IoT son las tecnologías emergentes líderes en la actualidad que implican muchas diferencias técnicas [31]. A continuación, se observa en la Tabla 2.2.4., las características de Sigfox, LoRa y NB-IoT donde se refleja que LoRa es la ideal para el proyecto a desarrollar porque es una tecnología con estabilidad en ancho de banda, gran eficiencia energética y velocidad de datos, flexibilidad, bajo costo, una infraestructura desplegable y con buen rendimiento y seguridad en la red [32]

Tabla 2.2.4. Características entre Sigfox, LoRa y NB-IoT

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]

- **Concepto y método de arquitectura LoRa**

El dispositivo en cuestión es el nodo Easy LoRa, que luego se comunica con la puerta de enlace LoRa utilizando un módulo de radiofrecuencia (RF) LoRa específico. El Gateway utilizado es el Dragino Gateway. La función de SX1276 es recibir todos los datos enviados por el nodo final LoRa, que continuarán al servidor de red o a los usuarios que utilizan 3G/4G/Ethernet/Wi Fi incluido en el servidor de aplicaciones del servidor de red como Visor de datos en tiempo real (Ver Figura 2.2.4.). Además, se menciona al servidor MQTT (Message Queuing Telemetry Transport), que es un método simple para transmitir datos cuando se comunica con dispositivos IoT y servidores de aplicaciones o servidores de Internet [33].

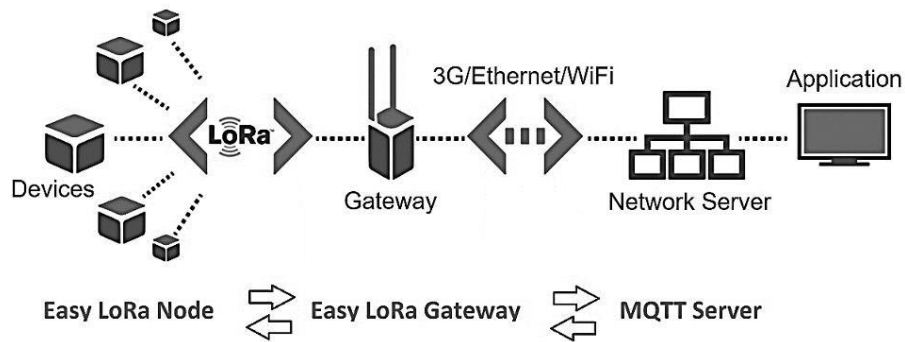


Figura 2.2.4. Arquitectura LoRa

- Especificación LoraWAN

LoRaWAN en el modelo OSI (Ver figura 2.2.5.), correspondería a la capa MAC, el cual es un estándar abierto de LPWAN de alta capacidad, largo alcance y bajo consumo de energía para redes IoT de nodos LoRa. El estándar aprovecha las características de LoRa, optimiza la duración de la batería, la calidad de servicio para los nodos de LoRa y garantiza la interoperabilidad de las diversas redes de LoRaWAN en todo el mundo.

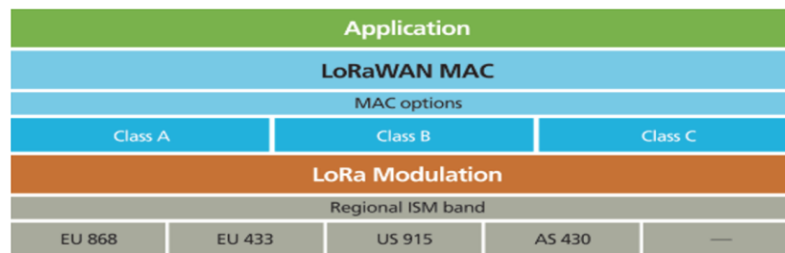


Figura 2.2.5. LoRaWAN en el modelo OSI

El protocolo es totalmente bidireccional, lo que permite entrega de mensajes confiable (confirmaciones). Incluye la definición de cifrado End to end para seguridad y privacidad de los datos, registro vía aérea de los nodos finales y la capacidad de multidifusión [17].

ESTADOS DE LOS NODOS

En esta subsección se presentan los estados de los nodos. Dependiendo de los diferentes nodos y sus funcionalidades específicas, cada uno de los nodos pasa por un conjunto diferente de estados:

- Estado de registro: cuando el nodo está en el primer estado, se reenvía un mensaje de REGISTRO al centro de datos para recibir su ID de nodo.

- Estado de verificación: Se verifica el correcto funcionamiento del nodo, sus elementos y las comunicaciones. En caso de detección de un error, se envía un informe con un mensaje de ERROR al Centro de Datos. Si el nodo funciona correctamente, no se reenvía ningún mensaje. El estado se puede volver a alcanzar a petición de los usuarios.

- Estado de adquisición: Los datos se obtienen de los sensores y se reenvían al siguiente nodo.

- Estado de los datos: Se reenvía un mensaje de DATOS al Centro de Datos con la información disponible.

- Estado de acción: Este estado se alcanza cuando se recibe un mensaje de ACCIÓN [34].

EVALUACIÓN DE ALCANCE

El alcance alcanzado depende de la potencia de transmisión del transmisor y de la velocidad de datos utilizada. La velocidad de datos de un sistema LoRa depende del ancho de banda utilizado y del factor de dispersión (SF). El SF determina la relación señal-ruido (SNR) requerida en el receptor hasta que sea posible la demodulación. La sensibilidad del receptor se puede calcular utilizando la Ecuación de abajo.

$$S = -147\text{Db} + 10\log\text{BW} + \text{NF} + \text{SNR}$$

S= Receiver sensitivity

BW = Bandwidth

NF = Noise figure

SNR = Required signal-to-noise ratio

El NF describe el ruido inherente del receptor. El único factor controlable es el SF utilizado que da como resultado la SNR mínima requerida. La elección de SF influye en la velocidad de datos. El uso de SF alto permite una gran cobertura, pero reduce el posible rendimiento de datos. La Tabla 2.2.5. muestra la SNR mínima requerida y las velocidades de datos (DR) alcanzables para varios SF [35].

Tabla 2.2.5. SNR y velocidades de datos para varios SF utilizando LoRa

SF	7	8	9	10	11	12
SNR (dB) [36]	-6	-9	-12	-15	-17.5	-20
DR (kb/s) [27]	5.47	3.13	1.76	0.976	0.537	0.293

El sistema NFT

El sistema NFT (Técnica de película nutritiva) también es bastante popular entre los cultivadores hidropónicos domésticos debido a su simplicidad. NFT se basa en una bomba que funciona continuamente para suministrar un flujo bajo pero continuo de nutrientes sobre las raíces de las plantas. Como ocurre con todos los sistemas de recirculación, la concentración de nutrientes disminuirá con el tiempo a medida que las plantas absorban los minerales disueltos y la transpiración de las hojas de las plantas. La conductividad eléctrica (CE) y el pH de la solución deben mantenerse agregando nutrientes adicionales, y toda la solución también cambiará periódicamente. Los nutrientes A y B contienen diferentes iones minerales. Los nutrientes A y B deben agregarse por separado de acuerdo con la concentración medida por la CE y luego consultar la tabla para agregar la cantidad adecuada de líquido. La evaporación también afecta el equilibrio del pH. Después de un período de uso, el usuario necesita valor de pH medido para determinar la cantidad de fosfato que se debe agregar al valor objetivo [36]. Teniendo en cuenta todo lo anterior se puede afirmar que el cultivo hidropónico requiere de un control preciso de los parámetros climáticos para una producción de alta calidad. Los parámetros más importantes son el pH, la temperatura y la conductividad eléctrica. Estos parámetros se pueden monitorear a través de cualquier dispositivo de detección y monitoreo. Los dispositivos de detección/monitoreo están controlados por un microcontrolador. El

microcontrolador se gestiona conectándose al módulo LoRa, que transfiere toda la información de los dispositivos sensores relacionados con la hidroponía al almacenamiento en la nube. En la Figura 2.2.6. se muestra una estructura hidropónica típica [37].

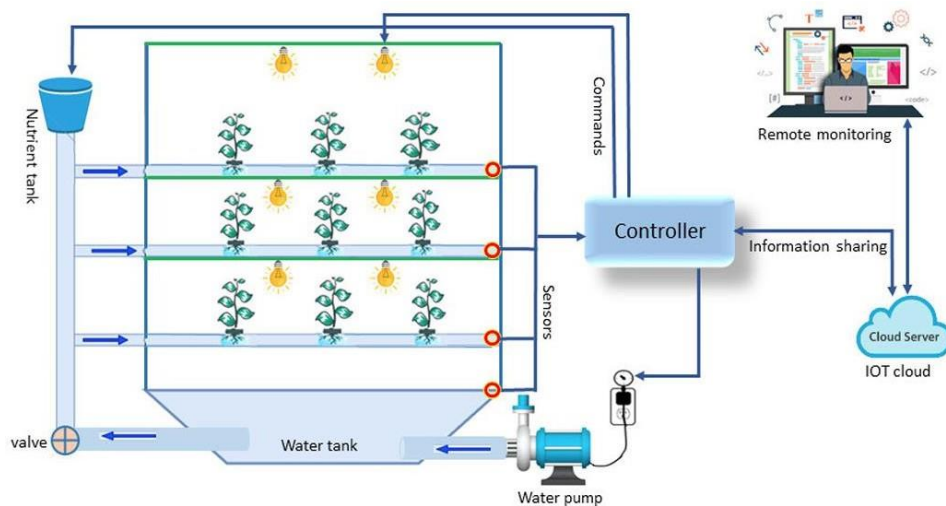


Figura 2.2.6. Sistema hidropónico NFT con IoT integrado

Cultivo hidropónico de lechuga en sistema NFT

El cultivo hidropónico de lechuga en el sistema NFT comienza con la siembra de las semillas de lechuga variedad Green Oak, en vasos de siembra con un volumen de 5 centímetros cúbicos, una semilla por vaso. Después de eso, coloque las copas de plantación en bandejas de plástico de 30 x 45 centímetros llenas de agua hasta una profundidad de aproximadamente 1/4 del volumen de la copa y manténgalas a una temperatura de 25 ± 2 grados Celsius. Una vez que las plántulas comiencen a germinar y se conviertan en plántulas jóvenes con 4-5 hojas verdaderas y una altura de aproximadamente 5-7 centímetros, transfiera

las plántulas al sistema NFT con una circulación de solución nutritiva (experimento de control) y las plántulas de lechuga de Green Oak. Variedad cultivada en el sistema NFT con una circulación de solución nutritiva controlada por sensores IoT. Mantenga una distancia de plantación de 20 centímetros entre cada planta como se puede ver en la Figura 2.2.7. Posteriormente, ajuste el valor de pH de la solución nutritiva para que esté dentro del rango de 6 a 7 y la

conductividad eléctrica (CE) para que sea de 0.80 a 1.00 miliSiemens por centímetro (mS/cm) en ambos experimentos. Para este experimento, cambia la solución nutritiva una vez por semana, tres veces en total [38]



Figura 2.2.7. Cultivo hidropónico NFT de la lechuga

Diagrama de flujo

La Figura 2.2.8. muestra el diagrama de flujo general del sistema en función de los parámetros monitorizados y controlados. El sistema utiliza el microcontrolador ESP32, para el diseño del cerebro de este sistema de herramienta. Este hardware utiliza varios sensores y actuadores con los cuales el sistema monitorea y controla parámetros [39] como el de la temperatura con un sensor de temperatura (DS18B20). Si la temperatura superaba los 34°C, el peltier se activaría automáticamente. El peltier se desactiva una vez que la temperatura alcanzó niveles normales. A continuación, muestra el flujo de monitoreo del valor de pH, el cual fue configurado en base a las necesidades del cultivo seleccionado y medido con un sensor de pH (PH-4502C). El rango de pH especificado estaba entre 6.0 y 7.0. Si el nivel de pH se volvía excesivamente ácido o alcalino. También, se utilizó el sensor de conductividad eléctrica (DFR0300), el cual estuvo configurado en el rango de 0.80-1.00 milliSiemens per centimeter (mS/cm) y el sensor SEN0244 medira el nivel de TDS que tendrá que estar entre los 560 y 840 ppm. Por último, se presentó el flujo de seguimiento y control del nivel del agua, determinando el nivel del agua en función de la altura del contenedor en centímetros. El nivel normal del agua era de 30 cm, mientras que el nivel bajo del agua era de 10 cm. Si el nivel del agua excedía los 30 cm,

la bomba de agua dejaba de funcionar. Si el nivel del agua caía por debajo de los 10 cm, el LED del sistema hidropónico se ponía rojo y activaba la bomba [40]. En hidroponía inteligente, los cambios físicos en el entorno que observa el sensor se enviarán de forma inalámbrica desde el nodo MCU a través del transceptor SX1276, luego, al usar Firebase como base de datos, los datos del sensor se pueden mostrar en una aplicación web y en una aplicación de Android en tiempo real que fue diseñado en App inventor [41].

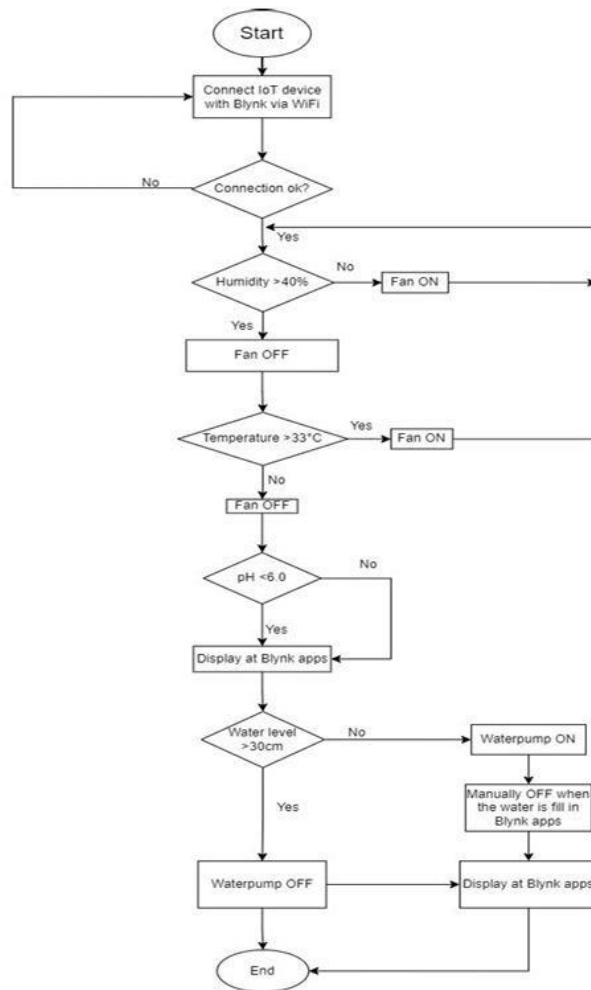


Figura 2.2.8. Diagrama de flujo de la programación

2.3. Definición de Términos básicos


Rendimiento: Se define, como la proporción entre el producto o el resultado obtenido y los medios utilizados; o la relación de la producción

total de un cierto cultivo cosechado en una hectárea de terreno utilizado. Usualmente, se mide en tonelada métrica por hectárea.

Costo de producción: Los costos de producción son estimaciones monetarias de todos los gastos que se han hecho dentro de la empresa, para la elaboración de un bien.

Zonas urbanas: Áreas densamente pobladas con infraestructura desarrollada, como edificios residenciales, comerciales y servicios básicos, donde el espacio para la agricultura tradicional es limitado.

Redes de Comunicación: Es un conjunto de medios técnicos que permiten la comunicación a distancia entre equipos autónomos. Normalmente se trata de transmitir datos, audio y vídeo por ondas electromagnéticas a través de diversos medios.



Interfaces de comunicación: Una interfaz de comunicación está basada en dispositivos que transmiten señales proporcionadas por sensores en información que puede ser procesada por una unidad de control y convierte los comandos enviados a los actuadores en comandos ejecutables.

Canales de cultivo: Las plantas cultivadas hidropónicamente al no contar con un medio sólido de sostén, éste es brindado a las plantas por el tipo de contenedor utilizado como también por el canal de cultivo, el cual permite la sujeción de las plantas.

El monitoreo en tiempo real: se refiere a la observación, medición y recopilación de datos de un sistema o proceso de manera inmediata, con la capacidad de proporcionar información actualizada de forma constante.

Calidad del agua: Conjunto de características físicas, químicas y biológicas que determinan la aptitud del agua para un uso específico, como el riego hidropónico.

Agricultura urbana: Práctica de cultivar alimentos en áreas urbanas o periurbanas, aprovechando espacios reducidos y tecnologías innovadoras como la hidroponía.

LoRaWAN: Red de área amplia de baja potencia basada en la tecnología LoRa, que permite la interconexión de múltiples dispositivos para el envío y recepción de datos en tiempo real.

Red de sensores: Sistema compuesto por múltiples sensores interconectados que recopilan y transmiten datos de diferentes parámetros en tiempo real para su análisis y control.

A small, stylized handwritten signature in black ink, located to the left of the 'Red de sensores' text block.

III. HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1. Hipótesis

Hipótesis general

H.G. Aplicar el monitoreo de la calidad del agua mediante tecnología lora en un sistema hidropónico mejorará el cultivo de lechuga en zonas urbanas de ventanilla, Callao 2024

H.O. Aplicar el monitoreo de la calidad del agua mediante tecnología lora en un sistema hidropónico no mejorará el cultivo de lechuga en zonas urbanas de ventanilla, Callao 2024

Hipótesis específicas

H.E.1. Diseñar un sistema de monitoreo de la calidad del agua mediante tecnología lora en un sistema hidropónico mejorará la biomasa de la lechuga en zonas urbanas de ventanilla, Callao 2024.

H.E.2. Implementar un sistema de monitoreo de la calidad del agua mediante tecnología lora en un sistema hidropónico mejorará el rendimiento de la lechuga en zonas urbanas de ventanilla, Callao 2024.

3.1.1. Operacionalización de variables

Definición conceptual de variables

Variable independiente: Monitoreo de la calidad del agua

El monitoreo de la calidad del agua es el proceso de registro y análisis de parámetros físicos, químicos y biológicos del agua, con el objetivo de evaluar su aptitud para un propósito específico, como el cultivo hidropónico

Variable dependiente: Cultivo de lechuga

El cultivo de lechuga puede variar de acuerdo al tipo de sistema que se aplique teniendo en cuenta la rotación de cultivos, competencia por nutrientes y las condiciones de crecimiento

Tabla 3.1. Operacionalización de variables.

Variable		Definición Conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores
Variable independiente	Monitoreo de la calidad del agua	El monitoreo de la calidad del agua es el proceso de registro y análisis de parámetros físicos, químicos y biológicos del agua, con el objetivo de evaluar su aptitud para un propósito específico, como el cultivo hidropónico	Es el procedimiento mediante el cual se miden y registran continuamente parámetros clave del agua, utilizando sensores electrónicos conectados a un sistema de transmisión de datos	Conectividad Regulación de parámetros	Potencia de señal Latencia Temperatura PH Conductividad eléctrica TDS
Variable dependiente	Cultivo de lechuga	El cultivo de lechuga puede variar de acuerdo al tipo de sistema que se aplique teniendo en cuenta la rotación de cultivos, competencia por nutrientes y las condiciones de crecimiento	Se refiere a la cantidad de lechuga que se obtiene durante la cosecha y como puede variar de acuerdo al tipo de sistema que se aplique	Biomasa de la lechuga Rendimiento de la lechuga	Peso Altura Número de hojas Tiempo de producción Cantidad



IV. METODOLOGÍA DEL PROYECTO

4.1. Diseño metodológico

El tipo de Investigación es cuantitativa pues en ella se toman datos de las diferentes variables físicas y estos serán evaluados para medir la calidad del agua.

El nivel de la investigación es Descriptivo-Explicativo. Descriptiva porque describe las características de los sistemas de hidroponía y se realiza una descripción detallada de todos los elementos del sistema. Es Explicativa

porque se analiza las relaciones causa efecto del sistema hidropónico respecto a los valores de los indicadores que mejoran el crecimiento de la lechuga.

4.2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

La presente investigación toma datos comparativos entre el uso del sistema de monitoreo aplicado en hidroponía y el crecimiento de los cultivos de lechuga en una zona urbana de Ventanilla. Un diseño Experimental – Pre-Experimental.

4.3. Método de investigación

4.3.1. Armado del sistema hidropónico

Se utilizó unos tubos de policloruro de vinilo (PVC) tienen orificios circulares de 4 cm de radio, en los que se ubican las plantas de lechuga, y en la base tiene otros orificios para la entrada de agua con nutrientes. Estas tuberías contienen un sifón de campana que drena el agua bombeada de regreso al tanque a través de un circuito cerrado. La bomba de agua, que se encuentra en el fondo del tanque, desde su posición bombea el agua hasta la parte superior a través de las tuberías. El aumento de temperatura hace que aumenten los niveles de toxicidad, provocando una mayor producción de amoníaco y otros compuestos nitrogenados. Para monitorear y alertar cambios en los niveles de las variables, el sistema acuapónico recolecta información de las variables a



través de los sensores del dispositivo, en forma de temperatura, turbidez, pH, oxígeno disuelto, TDS, amoníaco y nivel de agua en el estanque. A través de la microcomputadora, los datos recibidos por los sensores serán analizados utilizando el programa creado en Python, y luego se utilizará la tecnología de Internet de las Cosas (IoT) para enviarlos al servidor en la nube, para su registro e interfaz de usuario. De este modo, se permite al productor monitorear y evaluar continuamente el estado del estanque desde una gran distancia en tiempo real.

4.3.2. Calibración de sensores

La precisión representa un factor fundamental que influye en el rendimiento de cada instrumento de medición. Por ello, en esta investigación se utilizó la desviación estándar, el error relativo y el coeficiente de variación. Estas herramientas estadísticas garantizarán la fiabilidad de los resultados obtenidos y así detectar posibles errores en los datos recogidos.

- Desviación estándar

La desviación estándar es una medida de dispersión en un conjunto de datos, que muestra qué tan dispersos están los datos alrededor de la media, lo que nos permite evaluar la consistencia y precisión de los datos. La desviación estándar obtenida en cada ensayo realizado nos permite conocer la precisión de las muestras. Esto se puede calcular usando la siguiente Ecuación.

$$\sigma_x = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}}{(n - 1)}$$

La linealidad está estrechamente relacionada con la proporcionalidad de la entrada y la salida. Los sensores calibrados en este dispositivo de monitoreo son: sensores de pH, temperatura del agua, electroconductividad, TDS, temperatura y humedad. Esta calibración mejora la precisión de las mediciones.

- Error relativo

El error relativo es una medida que indica la precisión de una medición, en este caso se presenta como la diferencia entre las lecturas del sensor y el valor real. Se mide expresado en porcentajes del valor real como se muestra en la siguiente ecuación. Esta ecuación indica que cuanto menor sea el valor de error relativo, más preciso será el sensor.



$$RE = \frac{|Measured\ value - Real\ value|}{Real\ value} (100\%)$$

- Coeficiente de variación

El coeficiente de variación es una medida estadística que proporciona una medida de la variabilidad de los datos en relación con su tamaño promedio. Resultados útiles para comparar la dispersión de las diferentes variables. Esto se puede calcular usando la siguiente ecuación.

$$\text{Coeficiente de variación} = \sigma / \mu$$

Donde σ es la desviación estándar y μ es la media

4.3.3. Procedimiento experimental

El proceso de calibración del nodo sensor se inició utilizando equipos industriales certificados, a través de comparaciones se calculó la precisión de los sensores de los sistemas de hidroponía. Una vez automatizado el sistema, se cultivaron 30 plántulas de lechuga, las cuales tenían características específicas con una altura de 5 y 7 cm, y varias hojas entre 4 y 5. Las raíces de las plántulas de lechuga se limpiaron con agua destilada antes del cultivo, cada una se envuelto en una esponja y luego colocado dentro de un vaso que se introducía en los tubos de PVC del sistema. Posteriormente, se registraron datos sobre el crecimiento de plantas, antes y después de que se instalara el sistema hidropónico automatizado para compararlos.

4.4. Población y muestra

La población está determinada por un sistema hidropónico ubicado en la zona urbana de ventanilla

Determinación de la Muestra: un sistema hidropónico ubicado en la zona urbana de ventanilla

Método de muestreo no probabilístico.

4.5. Lugar de estudio y periodo desarrollado

Esta investigación se encuentra dirigida por locación en el distrito de Ventanilla de la Región Constitucional de Callao – Perú y será desarrollado en el periodo de un año.

4.6. Técnicas e instrumentos para la recolección de la información.

Entre los sensores utilizados tenemos los siguientes: un sensor de temperatura (DS18B20), que permite temperaturas entre -55°C a 125°C , con una precisión de $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$, alimentado por un voltaje de 3 a 5V; un sensor de pH (pH 4502C), que permite medir el pH en un rango de 0 a 14 alimentado de 3.3 a 5.5 VDC; un sensor de sólidos disueltos totales (SEN0244), que permite medir rangos de 0 a 2000ppm utilizando un voltaje de funcionamiento de 3.3 a 5.5 CVV y el sensor de conductividad (DFR0300). Estos sensores se compararán con instrumentos ya validados como el HANNA - HI98129 para el caso del pH, el HANNA - HI98129 para la conductividad eléctrica. Se procesará los datos recolectados con Excel.

4.7. Análisis y procesamiento de datos.

Mediante el método de repetibilidad se obtiene la precisión del proceso o sistema. Se trata de realizar mediciones repetidas de la misma magnitud en condiciones idénticas utilizando el mismo sistema de medición y con el mismo operador. En este caso, las pruebas para cada sensor se realizaron en diferentes intervalos y cantidades. En el caso de sensores, los valores específicos pueden depender de las especificaciones del fabricante. Sin embargo, mantener $\text{CV} < 2\%$, error relativo $< 1\%$, y una desviación estándar baja, asegura que el sistema está bien calibrado.

V. RESULTADOS

5.1. Resultados inferenciales

Durante las pruebas de conectividad, el dispositivo emisor que contenía el dispositivo LoRa se movió para tomar diez muestras en cada distancia. Cuando se utilizaron los transceptores LoRa para enviar la información del sistema hidropónico, se detectaron algunas pequeñas perturbaciones en la señal recibida cuando alejamos el sistema del punto central; la potencia de la señal recibida en dB se midió en la base receptora como se ve en la Figura 5.1.1. Entre 0 y 400 metros se percibe una potencia entre -30 y -89 decibelios, lo que significa que se percibió una señal excelente o buena en este rango. Entre 400 y 800 metros se percibe una potencia entre -90 y -110 decibelios, lo que significa que a estas distancias la señal recibida por la base receptora no tiene tanta calidad como en el primer rango, pero la señal recibida sigue siendo aceptable. Entre 800 y 1200 metros se percibe una potencia de -110 a -120 decibeles, lo que significa que la señal recibida es de mala calidad, y se perciben perturbaciones en la base receptora. A distancias superiores a 1200 metros, la comunicación con el dispositivo portátil se pierde como se ve en la Figura 5.1.2.

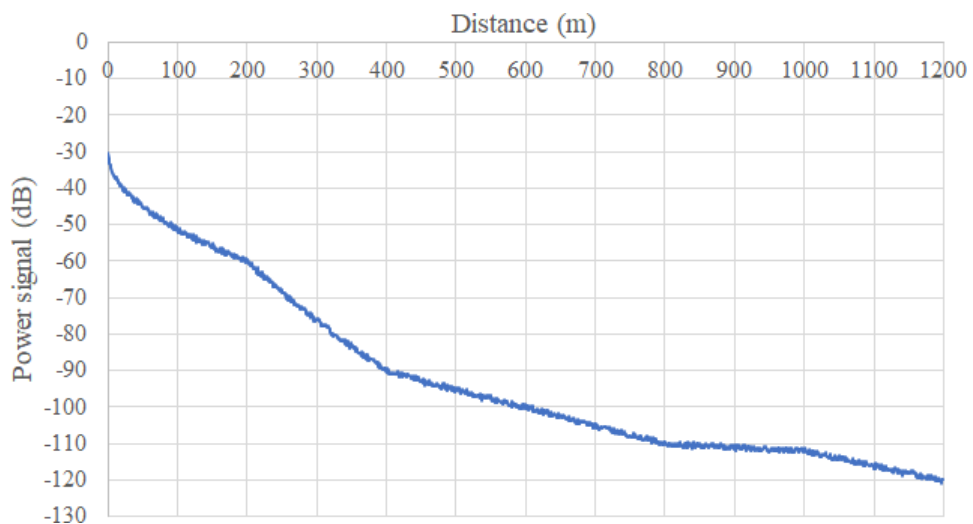


Figura 5.1.1. Potencia de señal desde el dispositivo portátil emisor hasta la base receptora

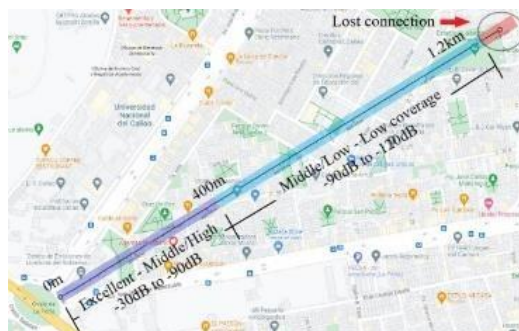


Figura 5.1.2. Potencia de la señal a distancias de 0, 400 y 1200 metros.

Análisis de calibración de sensores.

Mediante el método de repetibilidad se obtiene la precisión del proceso osistema. Se trata de realizar mediciones repetidas de la misma magnitud en condiciones idénticas utilizando el mismo sistema de medición y con el mismo operador. En este caso, las pruebas para cada sensor se realizaron en diferentes intervalos y cantidades. Utilizando 4 mediciones diferentes en el agua (5, 10, 30y 40°C), con el termómetro de mercurio que tiene la capacidad más precisa para medir temperatura, se realizó el proceso de calibración del sensor DS18B20 y cada uno se midió 10 veces. Como se puede observar en la Tabla 5.1.1., se muestran los valores obtenidos, la desviación estándar, el coeficiente de variación y el error relativo del sensor DS18B20.

Tabla 5.1.1. Resultados de temperatura del agua en la prueba de calibración.

Temperatura del agua	Termometro de mercurio	DS18B20 promedio	Desviación standard	Coeficiente de variación (%)	Error Relativo (%)
5	5	5.08	0.40	1.93	0.40
10	10	10.04	0.19	1.86	0.92
30	30	30.10	0.74	1.54	0.67
50	50	50.18	0.16	0.31	0.9675

La Tabla 5.1.2. muestra los valores de la prueba de pH utilizando el instrumento HANNA - HI98129 y el sensor PH-4502C. Se obtuvieron 4 valores de pH diferentes a partir de la calibración del sensor de pH utilizando el “instrumento de tampón líquido de pH”. Estos valores se analizaron para evaluar la precisión y consistencia del sensor calibrado.

Tabla 5.1.2. Tabla de resultados del nivel de pH en la prueba de calibración

Tampon líquido pH	HANNA - HI98129	PH- 4502C promedio	Desviación standard	Coefficiente de variación (%)	Error Relativo (%)
4.01	4.01	4.0925	0.71	2.24	1.55
5	5	5.0375	0.39	1.85	0.75
7	7	7.08625	0.82	1.65	1.52
10.01	10.01	10.05875	0.28	1.95	0.49

Para medir los valores de conductividad eléctrica se utilizaron instrumentos como la solución de Conductividad 1413 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para calibrar el HANNA - HI98129 a una temperatura del líquido de 25°C. Permitiendo así comparar los valores obtenidos para conductividad eléctrica, utilizando los sensores DFR0300. La Tabla 5.1.3. muestran los valores obtenidos al medir cuatro tipos diferentes de agua, la desviación estándar, el coeficiente de variación y el error relativo de los



sensores DFR0300

Table 5.1.3. Tabla de resultados del nivel de conductividad eléctrica en la prueba de calibración

Líquido	HANNA - HI98129 ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	SEN DFR0300 ($\mu\text{S}/\text{cm}$) average	Desviación Standar	Coefficiente de variación (%)	Error relativo (%)
Agua destilada	105.3	106.0125	1.79	1.64	0.93
Agua potable	247.1	248.0625	1.91	0.77	0.38
agua de tambor	328.6	329.7875	1.90	0.57	0.36
agua del rio	2381.4	2406.7	1.76	0.08	0.52

La Tabla 5.1.4. muestra los valores obtenidos al medir cuatro tipos diferentes de agua, la desviación estándar, el coeficiente de variación y el error relativo del sensor SEN0244, respectivamente.

Tabla 5.1.4. Tabla de resultados del nivel de TDS en la prueba de calibración

Liquid	HANNA - HI98129 (ppm)	SEN0244 (ppm) average	Desviación Standar	Coeficiente de variación (%)	Error relativo (%)
Agua potable	52.6	54.02	1.06	1.96	2.70
Agua de rio	128.4	126.97	1.63	1.29	1.1
Agua de lluvia	176.1	178.82	2.23	1.24	1.54
Agua potable	1236	1241.31	1.94	0.16	0.42

Como prueba inicial de funcionamiento y rendimiento, el nodo sensor mide el tiempo de respuesta de cada sensor, recopilando información detallada sobre el rendimiento individual. Siendo fundamental para garantizar la precisión y confiabilidad del sistema de monitoreo. La Figura 5.1.3. muestra que la medición de EC es la que consume la mayor cantidad de tiempo, tomando un tiempo promedio de 1.08 s para cada ciclo de medición y envío. Por otro lado, el tiempo promedio que tarda el sensor de pH es de aproximadamente 1 s. Mientras que el sensor EC tarda aproximadamente 1.3 s, los sensores de temperatura y TDS tardan aproximadamente 0.883 s y 0.705 s respectivamente.

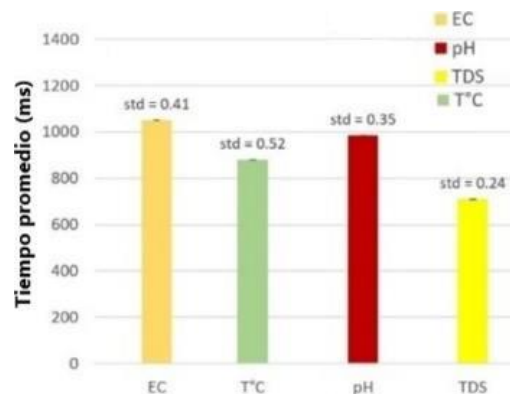


Figura 5.1.3. Mediciones de sincronización del sensor

Como se evidencia en la Figura 5.1.4., existe una diferencia significativa en la altura variable de la plántula de lechuga. El sistema acuapónico con el sistema

de control obtuvo mejores resultados con una altura promedio de 19.92 cm, en comparación con la ausencia del sistema de control, ya que la cifra fue menor, alcanzando una altura promedio de 12.19 cm. Esta es una diferencia considerable, que es un buen indicador del funcionamiento del sistema acuapónico.

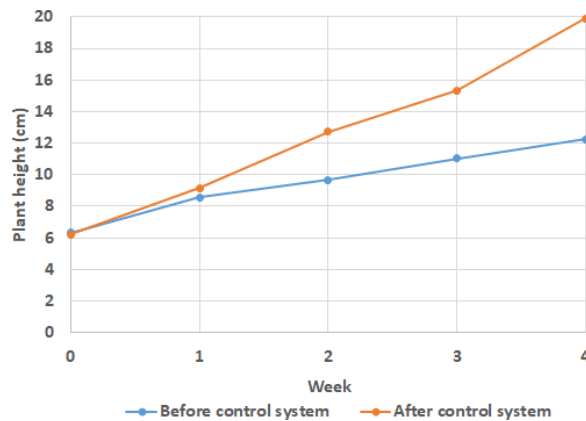


Figura 5.1.4. Altura de la planta antes y después del sistema acuapónico automatizado.

Como se ve en la Figura 5.1.5, durante las 4 semanas de cultivo se pudo analizar el número y longitud de las hojas de lechuga. Los resultados muestran que debido al sistema de control aplicado al sistema acuapónico se obtuvo un promedio de 17 hojas por planta y 25.8 cm de longitud de hoja. Esto es superior a los resultados obtenidos sin la aplicación del sistema acuapónico, donde se obtuvo un promedio de 12 hojas por planta y 20.2 cm de longitud de hoja.

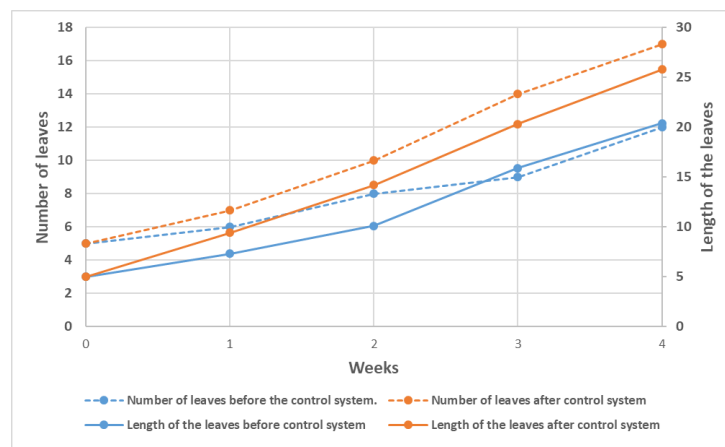


Figura 5.1.5. Número de hojas antes y después del sistema acuapónico automatizado.

La Figura 5.1.6. muestra las diferencias significativas en el peso de la lechuga después del trasplante de plántulas de lechuga. El peso promedio con la aplicación del sistema acuapónico automatizado fue de 176.4 g de peso fresco, mientras que sin utilizar el sistema el valor promedio máximo fue de 134.8 gramos. La variación de peso fue mayor durante la cuarta semana.

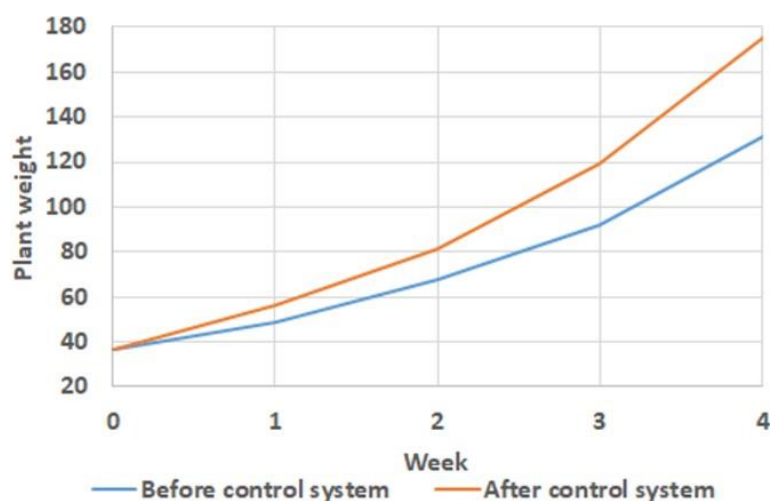


Figura 5.1.6. Peso de la planta antes y después del sistema acuapónico automatizado.

VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1. Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados.

Hipótesis general

En la figura 17, 18 y 19 podemos ver que el cultivo de lechugas presenta una clara mejoría en sus características físicas tanto en la altura, el número de hojas y el peso en comparación al obtenido del uso de sistemas tradicionales. Con estas características se puede cubrir mejor la producción de cultivo.

6.2 Contrastación de los resultados con otros estudios similares

Respecto con la investigación de Lean Karlo [42] en el 2021, se analizó durante cinco semanas, la lechuga cultivada en la configuración hidropónica y se obtuvo un número de hojas mayor tanto en número como en tamaño, que la lechuga sembrada con el método habitual, al igual que

en esta investigación. Sin embargo, la cantidad de hojas obtenidas en nuestro estudio fue mayor en 10 hojas y menor en tamaño por 23 cm aproximadamente.

VII. CONCLUSIONES

El sensor de pH tiene una tasa de precisión más baja que los otros sensores ya que tiene un coeficiente de variación (CV) de 7,24, un error relativo de 4,55 y una desviación estándar de 0,82. Por el contrario, el sensor de turbidez tiene un mejor índice de precisión, porque tiene un CV de 1,61, un error relativo de 2,25 y una desviación estándar de 0,73. Por tanto, el sistema de detección, a pesar de estas variaciones en sus resultados, demuestra ser preciso a la hora de detectar los parámetros de calidad del agua.



Al utilizar el sensor TDS para enviar información, los tiempos oscilaron entre 0.68 segundos y 1.27 segundos. El sensor TDS fue el más adecuado para un sistema acuapónico, ya que permite que la información llegue al usuario casi en tiempo real. Por otro lado, el sensor de OD resulta ser el menos eficiente porque tarda un poco en enviar la información.

Por otro lado, el crecimiento de la lechuga también experimentó mejoras significativas. Se observaron diferencias notables en la altura, número de hojas, largo de hojas y peso de las plantas, antes y después del sistema de control, con incrementos de 7,74 cm, 5 hojas, 5,6 cm y 41,6 g respectivamente. Estas diferencias fueron más significativas a medida que pasaban las semanas posteriores al día en que se instaló el sistema de control.

VIII. RECOMENDACIONES

Es importante instalar un gateway en una posición estratégica para maximizar la cobertura y configurar la frecuencia de operación según la normativa local (como 915 MHz en América o 868 MHz en Europa).

Para garantizar la operatividad de los nodos remotos, considera fuentes de energía como baterías recargables y paneles solares. Reduce la frecuencia de envío de datos si los parámetros cambian lentamente, para ahorrar energía y evitar congestión en la red.



Se recomienda llevar un registro de los datos recolectados para analizar tendencias y tomar decisiones informadas. Se debe establecer un plan de mantenimiento regular para garantizar el buen funcionamiento de los sensores y componentes electrónicos.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] N. Sharma, S. Acharya, K. Kumar, N. Singh, and O. P. Chaurasia, "Hydroponics as an advanced technique for vegetable production: An overview," *J. Soil Water Conserv.*, vol. 17, no. 4, p. 364, 2018, doi: 10.5958/2455-7145.2018.00056.5.
- [2] A. K. & F. H. Chinmay Bepery, Sudipto Baral, "Advanced Home Automation System Using Raspberry-Pi and Arduino," *Int. J. Comput. Sci. Eng.*, vol. 8, no. 2, pp. 1-10, 2019, [Online]. Available: http://www.iaset.us/archives?jname=14_2&year=2019&submit=Search.
- [3] T. Changmai, S. Gertphol, and P. Chulak, "Smart Hydroponic Lettuce Farm using Internet of Things," *2018 10th Int. Conf. Knowl. Smart Technol. Cybern. Next Decad. KST 2018*, pp. 231-236, 2018, doi: 10.1109/KST.2018.8426141.
- [4] S. Charumathi, R. M. Kaviya, J. Kumariyarasi, R. Manisha, and P. Dhivya, "Optimization and Control of Hydroponics Agriculture using IOT," *Asian J. Appl. Sci. Technol.*, vol. 1, no. 2, pp. 96-98, 2017, [Online]. Available: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2941105.
- [5] M. Komal and M. K. Bhardwaj, "Implementation of Controlled Hydroponics in Urban Infrastructure," *IOSR J. Mech. Civ. Eng.*, vol. 11, no. 5, pp. 48- 53, 2014, doi: 10.9790/1684-11554853.
- [6] E. Larico, "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL Y AUTOMATIZADO PARA LA ETAPA DE GERMINACIÓN Y ACONDICIONAMIENTO DE LECHUGAS HIDROPÓNICAS DE LA

EMPRESA FAGSOL S.A.C. MONITOREADO A TIEMPO REAL,”
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUÍPA, 2019.

- [7] Y. Cayllahua Utani, “Aplicación de un sistema de control basado en IoT para el balance de la solución nutritiva en el cultivo de lechuga por hidroponía en el Distrito de Chilca, Lima, 2021,” UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC, 2023.
- [8] K. Villanueva, “Remoción de plomo en aguas contaminadas mediante un sistema hidropónico con *Impatiens walleriana*,” Universidad César Vallejo, 2022.
- [9] T. Hernando, “Diseño e implementación de un sistema de adquisición y registro de señales e imágenes con tecnología IoT para el seguimiento de las condiciones de cultivos hidropónicos de lechuga,” ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERIA JULIO GARAVITO, 2021.
- [10] M. A. Yate Bonilla and M. Á. Zambrano Saya, “PROTOTIPO IOT DE MONITOREO Y CONTROL DE VARIABLES AMBIENTALES PARA UN CULTIVO HIDROPÓNICO DE HORTALIZAS,” UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA, 2021.
- [11] D. Condor Navarro and F. Romero Ubaldo, “Desarrollo de la lechuga (*Lactuca sativa* L.) por hidroponía con diferentes soluciones nutritivas,” UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ, 2023.
- [12] R. Hernandez Sampieri, C. Fernandez Collado, and M. del P. Baptista Lucio, *Metodología de la investigación*. 2010.
- [13] C. A. Bernal Torres, *Metodología de la investigación*, TERCERA ED. 2010.
- [14] Artigas Wileidys; and Robles Miguel, “Metodología de la investigación: Una discusión necesaria en Universidades Zulianas,” *Rev. Digit. Univ.*, vol. 11, no. 11, pp. 1-17, 2010.
- [15] M. Briceño and W. Cubides, “DISEÑO DE UNA SOLUCIÓN IOT PARA MONITOREO DE LAS CONDICIONES ÓPTIMAS DE UN CULTIVO HIDROPÓNICO DE FLORES EN INVERNADERO,” UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA, 2020.
- [16] J. Loya Lasluisa, “Implementación de una red de sensores inalámbricos

para la monitorización de variables físicas en cultivos hidropónicos mediante tecnología LoRa,” Universidad de las fuerzas armadas, 2022.

- [17] P. José Alejandro, “DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE UN SISTEMA ELECTRÓNICO MEDIANTE EL USO DE TECNOLOGÍAS DE IOT PARA EL MONITOREO REMOTO DE PH EN AGUA DE SOLUCIÓN DE NUTRIENTES EN UN SISTEMA DE CULTIVO HIDROPÓNICO PARA MEJORA DE CALIDAD Y RENDIMIENTO DE LOS CULTIVOS,” Universidad de San Carlos de Guatemala, 2020.
- [18] A. F. Acosta Tenelema, “SISTEMA HIDROPÓNICO INTELIGENTE APLICADO A LA PRODUCCIÓN DEL FORRAJE VERDE CON ARQUITECTURA IoT,” UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO, 2022.
- [19] M. Portilla Inga, “Sistema hidropónico automatizado para el control de parámetros de solución nutritiva en huertos urbanos,” Universidad César Vallejo, 2022.
- [20] R. H. Granda Delgado, “Diseño de un sistema de control automático de ph y conductividad eléctrica para garantizar el balance de la solución nutritiva de un sistema hidropónico NFT en la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo,” Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, 2022.
- [21] D. Gavilán Quispe, “INFLUENCIA DE SEIS SUSTRATOS INORGANICOS DIFERENTES EN EL CRECIMIENTO DE LA ALBAHACA (*Ocimum basilicum* L.) UTILIZANDO LA TECNICA HIDROPONICA, SJL. 2018,” Universidad Cesar Vallejo, 2018.
- [22] M. Martínez, “Aplicación de diferentes dosis de fertilización bajo un sistema hidropónico y sus efectos en la calidad y rendimiento del cultivo de espinaca (*Spinacia oleracea* L.) y acelga (*Beta vulgaris*), Universidad Cesar Vallejo -Chiclayo, Perú.,” Universidad César Vallejo, 2018.
- [23] M. Serquén, “Calidad de *Lactuca sativa* L. producida en cultivo hidropónico Nutrient Film Technique en el vivero de la Universidad Cesar Vallejo - Chiclayo, 2015,” Universidad Cesar Vallejo, 2017.
- [24] H. L. ORTEGA CABELLO and Z. PAJUELO RODRIGUEZ, “MODELO DE SIMULACION DE UN SISTEMA HIDROPONICO PARA DEMOSTRAR CULTIVOS DE HORTALIZAS EN EL VALLE DE LA PROVINCIA DE HUÁNUCO, 2019,” UNIVERSIDAD NACIONAL “HERMILIO VALDIZÁN,”

2021.

- [25] P. R, N. P. K, V. V, and S. Jois, "Morphological characters of hydroponically grown lettuce (*Lactuca sativa*) treated with Pranic Agriculture," *Egypt. J. Agric. Res.*, vol. 0, no. 0, pp. 0-0, 2021, doi: 10.21608/ejar.2021.98969.1159.
- [26] M. F. Firmansyah, "Hydroponic Cultivation business of Lettuce (*Lactuca sativa* L.) at BBPP Ketindan Lawang Malang," *Semin. Nas. Agroteknologi*, vol. 2024, no. 2023, pp. 31-36, 2024, doi: 10.11594/nstp.2024.4006.
- [27] M. M. Maroneze, L. Q. Zepka, J. G. Vieira, M. I. Queiroz, and E. Jacob-Lopes, "A tecnologia de remoção de fósforo: Gerenciamento do elemento em resíduos industriais," *Rev. Ambient. e Agua*, vol. 9, no. 3, pp. 445-458, 2014, doi: 10.4136/1980-993X.
- [28] C. S. Soares *et al.*, "Production of lettuce in NFT hydroponic system at different planting seasons and irrigation regimes," *Aust. J. Crop Sci.*, vol. 14, no. 7, pp. 1042-1047, 2020, doi: 10.21475/ajcs.20.14.07.p1828.
- [29] M. N. Mowla, N. Mowla, A. F. M. S. Shah, K. M. Rabie, and T. Shongwe, "Internet of Things and Wireless Sensor Networks for Smart Agriculture Applications: A Survey," *IEEE Access*, vol. 11, no. December, pp. 145813-145852, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3346299.
- [30] R. Khadijah Febriana, R. Thakur, and S. Roy, "Enhancing Hydroponic Farming Productivity Through IoT-Based Multi-Sensor Monitoring System," *Int. Conf. Internet Things, Big Data Secur. IoT BDS - Proc.*, no. IoT BDS, pp. 351-357, 2024, doi: 10.5220/0012741300003705.
- [31] K. Mekki, E. Bajic, F. Chaxel, and F. Meyer, "A comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment," *ICT Express*, vol. 5, no. 1, pp. 1-7, 2019, doi: 10.1016/j.icte.2017.12.005.
- [32] S. Chanalata, "Hidropónico automatizado con monitoreo remoto mediante comunicación LoRa y aplicación IoT," UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL, 2022.
- [33] P. D. P. Adi, A. Kitagawa, D. A. Prasetya, R. Arifuddin, and S. Yoseph, "LoRaWAN Technology in Irrigation Channels in Batu Indonesia," *J. Ilm. Tek. Elektro Komput. dan Inform.*, vol. 7, no. 3, p. 522, 2022, doi: 10.26555/jiteki.v7i3.22258.

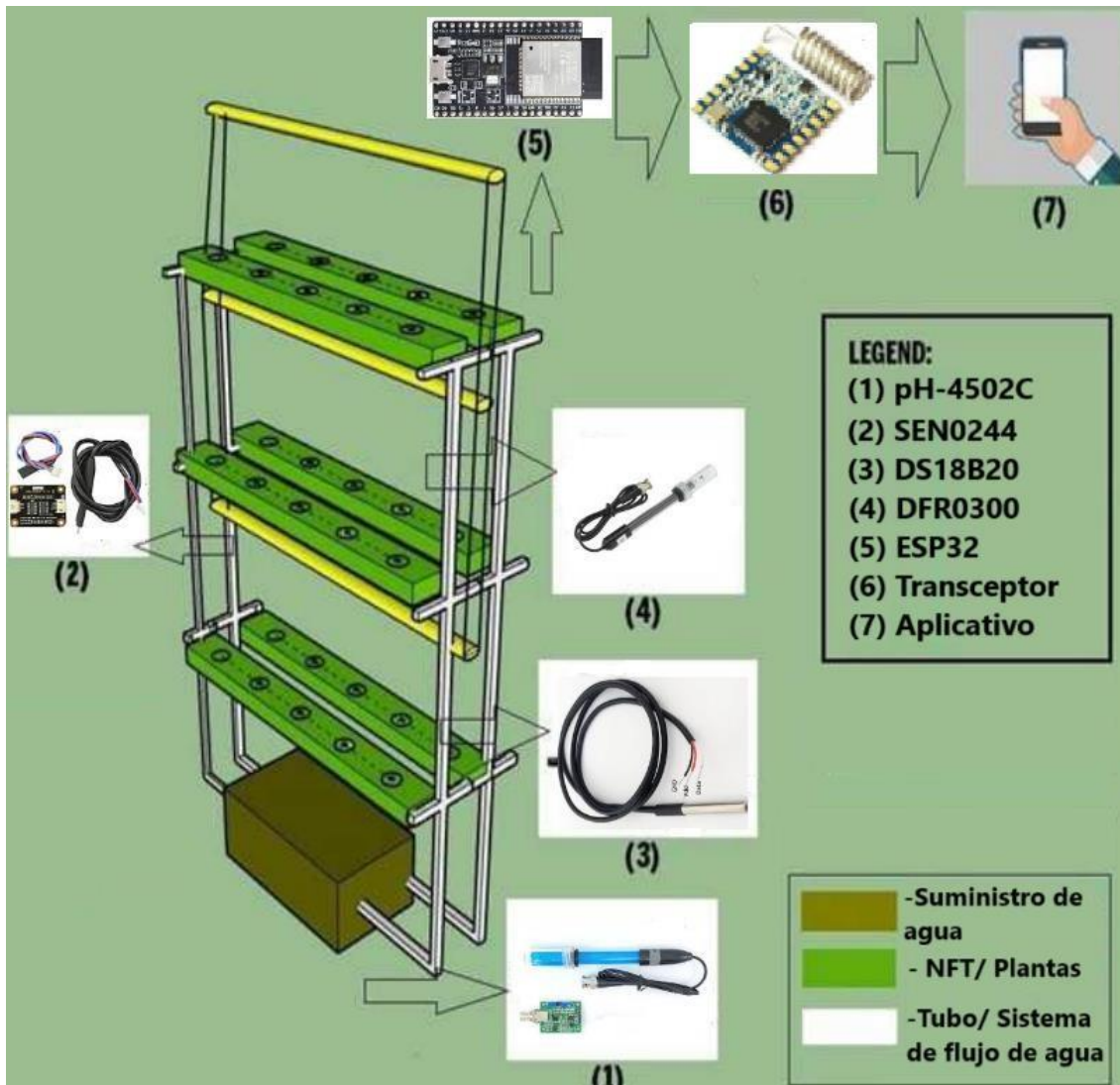
- [34] A. Aldegheishem, N. Alrajeh, L. Garcia, and J. Lloret, "SWAP: Smart Water Protocol for the Irrigation of Urban Gardens in Smart Cities," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 39239-39247, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3165579.
- [35] P. Bolte, U. Witkowski, and R. Morgenstern, "Open Lorawan Sensor Node Architecture for Agriculture Applications," *Comput. Sci. Inf. Technol.*, pp. 43-62, 2021, doi: 10.5121/csit.2021.111505.
- [36] F. L. Chao, T. H. Liu, and X. C. Huang, "Extend Course for Product Designer in Digital Mobile Era," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 280, no. 1, 2017, doi: 10.1088/1757-899X/280/1/012044.
- [37] B. Shreya *et al.*, "LoRa Based Framework for Smart Greenhouse Monitoring Systems," *Int. J. Res. Appl. Sci. Eng. Technol.*, vol. 10, no. June, pp. 2321-9653, 2022, [Online]. Available: www.ijraset.com.
- [38] N. Songneam, T. Siringam, and S. Rattanasuwan, "Development of Hydroponics Lettuce Production Process to Increase Productivity and Quality using Automated Control System via Internet of Things (IoT) Technology," *Kurd. Stud.*, vol. 4883, pp. 4846-4865, 2024.
- [39] I. Novianty, W. Sholihah, and R. Puji Mumpuni, "Nutrition Control and Moisture Control in Hydroponic Plants Based on IoT (Internet of Things)," *E3S Web Conf.*, vol. 454, pp. 1-12, 2023, doi: 10.1051/e3sconf/202345402016.
- [40] A. A. Hayu and M. J. Homam, "Development of Smart Hydroponic System using Internet of Things," *Evol. Electr. Electron. Eng.*, vol. 4, no. 2, pp. 732-739, 2023, [Online]. Available: <http://publisher.uthm.edu.my/periodicals/index.php/eeee>.
- [41] I. S. M. Firdaus, M. R. Fikri, and M. Rosmiati, "Monitoring and Controlling Smart Hidroponics Using Android and Web Application," *3rd 2021 East Indones. Conf. Comput. Inf. Technol. EIConCIT 2021*, pp. 177-182, 2021, doi: 10.1109/EIConCIT50028.2021.9431896.
- [42] L. K. S. Tolentino *et al.*, "HyLo: Implementation of LoRaWAN in an Automated Hydroponics System," *2021 IEEE Int. Conf. Mob. Networks Wirel. Commun. ICMNWC 2021*, no. August 2024, 2021, doi: 10.1109/ICMNWC52512.2021.9688540.

X. ANEXOS

Tabla 8.1. Matriz de consistencia

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES, DIMENSIONES E INDICADORES	TECNICAS E INSTRUMENTACION	METODOLOGIA
<p>Para satisfacer la demanda, la agricultura en el año 2050 necesitará producir casi un 50% más de alimentos [7]. Sin embargo, la estricta dependencia de la práctica agrícola de la disponibilidad de agua en una época de cambios climáticos drásticos (desertificación), hace que el escenario sea aún más complejo [8], especialmente cuando se utiliza aguas servidas o aguas de río, para el caso específico de hortalizas de hoja como la lechuga, las cuales van a ser consumidas crudas, pudiendo ser una fuente de infección para el ser humano de parásitos gastrointestinales, como el caso de bacterias, protozoos y huevos de helmintos que se pueden adherir a las hojas. Aunque se han implementado planes para mejorar el uso del suelo y el agua, lo anterior indica la necesidad de fortalecer el desarrollo de prácticas más inteligentes que contribuyan a la reducción de factores de riesgo [9].</p>	<p>Objetivo general:</p> <p>O.G. Aplicar el monitoreo de la calidad del agua mediante tecnología lora en un sistema hidropónico para mejorar el cultivo de lechuga en zonas urbanas de ventanilla, Callao 2024.</p> <p>Objetivos Específicos:</p> <p>O.E.1. Diseñar un sistema de monitoreo de la calidad del agua mediante tecnología lora en un sistema hidropónico para mejorar la biomasa de la lechuga en zonas urbanas de ventanilla, Callao 2024.</p> <p>O.E.2. Implementar un sistema de monitoreo de la calidad del agua mediante tecnología lora en un sistema hidropónico para mejorar el rendimiento de la lechuga en zonas urbanas de ventanilla, Callao 2024.</p>	<p>Hipótesis General:</p> <p>H.G. Aplicar el monitoreo de la calidad del agua mediante tecnología lora en un sistema hidropónico mejorará el cultivo de lechuga en zonas urbanas de ventanilla, Callao 2024</p> <p>Hipótesis Específicas:</p> <p>H.E.1. Diseñar un sistema de monitoreo de la calidad del agua mediante tecnología lora en un sistema hidropónico mejorará la biomasa de la lechuga en zonas urbanas de ventanilla, Callao 2024.</p> <p>H.E.2. Implementar un sistema de monitoreo de la calidad del agua mediante tecnología lora en un sistema hidropónico mejorará el rendimiento de la lechuga en zonas urbanas de ventanilla, Callao 2024.</p>	<p>Variable independiente Monitoreo de la calidad del agua Dimensiones e Indicadores:</p> <p>D1: Conectividad I1: Potencia de señal I2: Latencia</p> <p>D2: Regulación de parámetros I1: Temperatura I2: PH I3: Conductividad eléctrica I4: TDS</p> <p>Variable dependiente: Cultivo de lechuga Dimensiones e Indicadores:</p> <p>D1: Biomasa de la lechuga I1: Peso I2: Altura I3: Número de hojas</p> <p>D2: Rendimiento de la lechuga I1: Tiempo de producción I2: Cantidad</p>	<p>Técnicas:</p> <p>Mediciones directas</p> <p>Para las mediciones de los indicadores de nuestra variable dependiente.</p> <p>Instrumento:</p> <p>Cuestionario El cuestionario para el presente trabajo de investigación servirá de herramienta de investigación que consiste en una serie de preguntas y otras indicaciones con el propósito de obtener información de los consultados.</p>	<p>Tipo y Diseño de la Investigación:</p> <p>Para el presente trabajo de investigación:</p> <p>Tipo de Investigación: Aplicada</p> <p>Diseño de la Investigación:</p> <p>Pre-Experimental</p> <p>Nivel de la Investigación: Descriptivo-Explicativo</p> <p>Población Y Muestra:</p> <p>Población:</p> <p>De lo expuesto por los autores, mi población es de tipo finita para el presente trabajo de investigación se identifica como población a un sistema hidropónico ubicado en la zona urbana de ventanilla.</p> <p>Muestra:</p> <p>Se considera como muestra a un sistema hidropónico ubicado en la zona urbana de ventanilla, ya que la población es inferior de 50. Por lo tanto, la muestra es igual a la población.</p>
<p>Problema General:</p> <p>P.G.1 ¿Cómo el monitoreo de la calidad del agua mediante tecnología lora en un sistema hidropónico podrá mejorar el cultivo de lechuga en zonas urbanas de ventanilla, callao 2024?</p> <p>Problemas Específicos</p> <p>P.E.1. ¿Cómo el monitoreo de la calidad del agua mediante tecnología lora en un sistema hidropónico podrá mejorar la biomasa de la lechuga en zonas urbanas de ventanilla, callao 2024?</p> <p>P.E.2. ¿Cómo el monitoreo de la calidad del agua mediante tecnología lora en un sistema hidropónico podrá mejorar el rendimiento de la lechuga en zonas urbanas de ventanilla, callao 2024?</p>					

8.1. Modelo del sistema hidropónico



[Handwritten signature]