



**Ciencia Latina**  
Internacional

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.  
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), marzo-abril 2024,  
Volumen 8, Número 2.

[https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v8i2](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i2)

# **DISEÑO Y DESARROLLO DE UN DISPOSITIVO CON TECNOLOGÍA LORA PARA EL MONITOREO DEL ESTRÉS ABIÓTICO EN CULTIVOS DE LECHUGAS**

## **DESIGN AND DEVELOPMENT OF DEVICES WITH LORA TECHNOLOGY FOR MONITORING ABIOTIC STRESS IN LETTUCE CROPS**

**Paúl Arsecio Salazar Castillo**

Instituto Superior Tecnológico Martha Bucaram de Roldós, Ecuador

**Marco Antonio Vásquez Ojeda**

Instituto Superior Tecnológico Martha Bucaram de Roldós, Ecuador

**Santiago David Montoya Puglla**

Instituto Superior Tecnológico Martha Bucaram de Roldós, Ecuador

**Julio César García Rodríguez**

Instituto Superior Tecnológico Martha Bucaram de Roldós, Ecuador

**Daniel Alejandro Robalino Peñaloza**

Instituto Superior Tecnológico Martha Bucaram de Roldós, Ecuador

DOI: [https://doi.org/10.37811/cl\\_rem.v8i2.11096](https://doi.org/10.37811/cl_rem.v8i2.11096)

## Diseño y Desarrollo de un Dispositivo con Tecnología LoRa para el Monitoreo del Estrés Abiótico en Cultivos de Lechugas

**Paúl Arsecio Salazar Castillo<sup>1</sup>**

[pasalazar@institutos.gob.ec](mailto:pasalazar@institutos.gob.ec)

<https://orcid.org/0009-0000-3009-1837>

Instituto Superior Tecnológico  
Martha Bucaram de Roldós  
Nueva Loja – Ecuador

**Marco Antonio Vásquez Ojeda**

[mavasquez@institutos.gob.ec](mailto:mavasquez@institutos.gob.ec)

<https://orcid.org/0009-0001-1811-0756>

Instituto Superior Tecnológico  
Martha Bucaram de Roldós  
Nueva Loja - Ecuador

**Santiago David Montoya Puglla**

[smontoya@institutos.gob.ec](mailto:smontoya@institutos.gob.ec)

<https://orcid.org/0009-0007-7542-1992>

Instituto Superior Tecnológico  
Martha Bucaram de Roldós  
Nueva Loja – Ecuador

**Julio César García Rodríguez**

[juliogarcia.imb@gmail.com](mailto:juliogarcia.imb@gmail.com)

<https://orcid.org/0009-0007-2710-2962>

Instituto Superior Tecnológico  
Martha Bucaram de Roldós  
Nueva Loja - Ecuador

**Daniel Alejandro Robalino Peñaloza**

[danielrobalino.imb@gmail.com](mailto:danielrobalino.imb@gmail.com)

<https://orcid.org/0009-0008-0457-4403>

Instituto Superior Tecnológico  
Martha Bucaram de Roldós  
Nueva Loja - Ecuador

### RESUMEN

El estudio se centra en la implementación de un dispositivo con tecnología LoRa para monitorear el estrés abiótico en cultivos de lechugas. Se diseñó un dispositivo que incorpora sensores de temperatura, humedad ambiental y del suelo para el monitoreo, y luego transmite los datos a través de LoRa a una puerta de enlace, que a su vez los reenvía a una plataforma IoT en la nube para su visualización. Los resultados mostraron una temperatura promedio de 15.03°C, humedad ambiental promedio del 80.4% y humedad del suelo promedio del 79.58%. Estos valores están dentro de los rangos óptimos para el cultivo de lechugas, lo que sugiere un entorno propicio para un crecimiento saludable. Además, se observó una duración de la batería del dispositivo de monitoreo de aproximadamente 10 horas, lo que permite un monitoreo continuo en ubicaciones remotas. La integridad de la señal LoRa permaneció satisfactoria, con una media de -83.68 dBm para la intensidad de la señal recibida (RSSI) y un SNR de 9.99 en términos de relación señal-ruido. Los resultados respaldan la eficacia del sistema de monitoreo LoRa para monitorear las condiciones climáticas en el cultivo de lechugas y prevenir el estrés abiótico en plantas, beneficiando así la gestión agrícola en entornos rurales.

*Palabras clave: monitoreo lora, cultivo de lechugas, condiciones climáticas, dispositivo autónomo, eficiencia agrícola*

---

<sup>1</sup> Autor principal

Correspondencia: [pasalazar@institutos.gob.ec](mailto:pasalazar@institutos.gob.ec)

# Design and Development of Devices with Lora Technology for Monitoring Abiotic Stress in Lettuce Crops

## ABSTRACT

The study focuses on implementing a LoRa technology device to monitor abiotic stress in lettuce crops. A device was designed incorporating temperature, ambient humidity, and soil moisture sensors for monitoring, transmitting data via LoRa to a gateway, which then relays it to an IoT platform in the cloud for visualization. Results showed an average temperature of 15.03°C, average ambient humidity of 80.4%, and average soil moisture of 79.58%, all within optimal ranges for lettuce cultivation, suggesting a conducive environment for healthy growth. Additionally, the monitoring device's battery lasted approximately 10 hours, enabling continuous monitoring in remote locations. LoRa signal integrity remained satisfactory, with an average received signal strength indicator (RSSI) of -83.68 dBm and a signal-to-noise ratio (SNR) of 9.99. These findings support the effectiveness of the LoRa monitoring system in monitoring weather conditions in lettuce cultivation and preventing abiotic stress in plants, thus benefiting agricultural management in rural environments.

**Keywords:** *LoRa monitoring, lettuce cultivation, weather conditions, autonomous device, agricultural efficiency*

*Artículo recibido 25 marzo 2024  
Aceptado para publicación: 26 abril 2024*



## INTRODUCCIÓN

El avance tecnológico ha transformado significativamente la vida cotidiana de las personas, quienes han adoptado el uso de una variedad de dispositivos para llevar a cabo diversas actividades. Esta evolución tecnológica ha dado lugar al desarrollo de aplicaciones que satisfacen nuestras necesidades y resuelven problemas en diversos campos. Uno de los sectores que más ha aprovechado estos avances es la agricultura. La creciente demanda de alimentos a nivel mundial, según la FAO, para el 2050 se debe generar un aumento del 70% en la producción agrícola (Mañay Chochos et al., 2022; Rivera Guzmán et al., 2022). El Internet de las Cosas (IoT) destaca el potencial de los sensores inalámbricos en todas las etapas del cultivo, desde la preparación del suelo hasta el transporte de la cosecha. Sin embargo, también plantea desafíos al integrar esta tecnología con las prácticas agrícolas tradicionales (Ayaz et al., 2019).

Debido al avance del IoT, las tecnologías de Red de Área Amplia de Bajo Consumo (LPWAN) son esenciales para vincular numerosos dispositivos debido a su eficiencia energética, calidad de servicio, costo reducido y extensa cobertura (Mañay Chochos et al., 2022; Muteba et al., 2019). Por lo tanto, entre ellas, la tecnología LoRa emerge como una alternativa prometedora y eficiente para la transmisión a larga distancia en áreas rurales para el monitoreo agrícola (Lee & Ke, 2018).

Se han revisado estudios que aplican la comunicación LoRa para la supervisión de campos en áreas rurales y urbanas. En la investigación de Suji Prasad et al., (2022) desarrollaron un sistema inteligente de gestión y monitoreo agrícola utilizando redes LoRa para zonas rurales con el propósito de mejorar la eficacia de las prácticas agrícolas. Establecieron un servidor de red privada que se conectaba a una pasarela para recopilar datos de los nodos finales y enviarlos a la nube. La conectividad de red con LoRa, permitió superar problemas de comunicación y ahorrar energía durante la transmisión de datos. Por otro lado, dos Santos et al., (2019) implementaron un modelo llamado AgriPrediction, diseñado igualmente para el entorno rural, que asiste a los agricultores en la toma de decisiones anticipadas respecto a sus cultivos. Este sistema, basado en una red inalámbrica con tecnología LoRa, busca identificar posibles anomalías en la humedad y temperatura. También, Codeluppi et al., (2020) en su estudio propusieron una plataforma LoRaFarM, basada en redes de largo alcance, modulares y de bajo costo con el objetivo de mejorar la gestión de granjas.



La efectividad de la plataforma fue evaluada en una granja ubicada en Italia, donde se recopilaban datos ambientales, como la temperatura, la humedad del aire y del suelo, durante un período de tres meses en cultivos agrícolas como uvas y hortalizas de invernadero. Además, desarrollaron una aplicación basada en la web para visualizar los datos recopilados.

Uno de los objetivos del monitoreo continuo de los campos agrícolas es comprender la variación climática a la que están expuestos los diferentes cultivos, ya que, un clima desfavorable puede generar estrés en las plantas. El término "estrés" en el contexto de la fisiología vegetal se refiere a la intensidad de la presión ambiental que provoca cambios en la fisiología de una planta (Chiliquinga Malliquinga & Mañay Chochos, 2021). Por lo tanto, el cambio climático puede provocar situaciones de estrés abiótico en los cultivos, principalmente mediante cambios en la precipitación y la temperatura. Estos factores tienen una influencia significativa en el crecimiento y desarrollo de las plantas (Cáceres Rodríguez et al., 2022).

En el presente estudio se llevará a cabo el monitoreo de un cultivo de lechugas (*Lactuca sativa* L.). La lechuga es una verdura de hoja verde que se cultiva en todo el mundo y es famosa por ser una fuente saludable y deliciosa de vitaminas (Hernández, 2024; Kim et al., 2016). La lechuga es una planta versátil que puede adaptarse a diversos climas y tipos de suelo. Su período de cultivo habitualmente se extiende de 50 a 60 días. La temperatura ideal para su desarrollo se sitúa entre los 15 y 20 grados centígrados, aunque puede soportar temperaturas más bajas. Es crucial que el suelo esté bien drenado y mantenga un nivel adecuado de humedad. (Quintero, 2020).

El trabajo describe el diseño y desarrollo de un dispositivo LoRa para monitorear variables climáticas, incluyendo temperatura, humedad ambiental y del suelo, para validar el estrés abiótico en la huerta de lechugas. Los parámetros ambientales son fundamentales, ya que influyen en el estrés abiótico entonces el monitoreo permitirá obtener datos climáticos reales a los que están expuestos el cultivo de lechugas.

En las secciones siguientes se detallará la metodología desarrollada, que incluye la arquitectura del sistema de monitoreo, el diseño del dispositivo LoRa, así como el algoritmo de control y la interfaz de usuario en la web. En la sección de resultados, se presentarán los datos de monitoreo realizados en el cultivo de lechugas, así como la calidad de la señal en el monitoreo. Finalmente, se presentarán las consideraciones finales.

## MATERIALES Y MÉTODOS

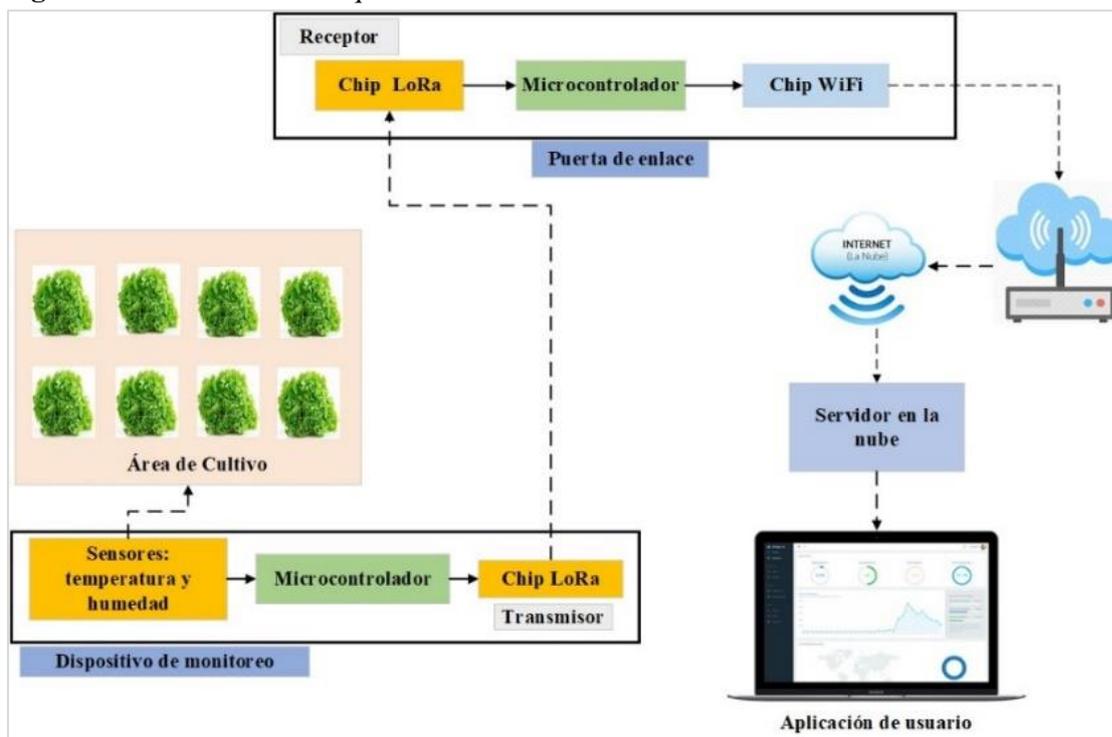
El tipo de investigación llevado a cabo es de índole aplicada, con un enfoque metodológico descriptivo. Este enfoque se centra en detallar la arquitectura del sistema de monitoreo, el diseño del dispositivo LoRa, el algoritmo de control y la interfaz de usuario en la plataforma web.

### Arquitectura del sistema de monitoreo

La arquitectura del sistema de monitoreo para el cultivo de lechugas consta de un dispositivo de monitoreo en el campo, un dispositivo que actúa como puerta de enlace (pasarela) entre la capa de red LoRa y el servidor en la nube. El dispositivo de monitoreo en el campo recopila información de diversas variables mediante sus sensores, transmitiéndola luego a la pasarela, que la reenvía al servidor en la nube que exhibe una interfaz de usuario con los indicadores de las condiciones climáticas (Vega-Luna et al., 2019). La

Figura 1 ilustra la arquitectura empleada en este proceso.

**Figura 1.** Ilustración de la arquitectura del sistema de monitoreo

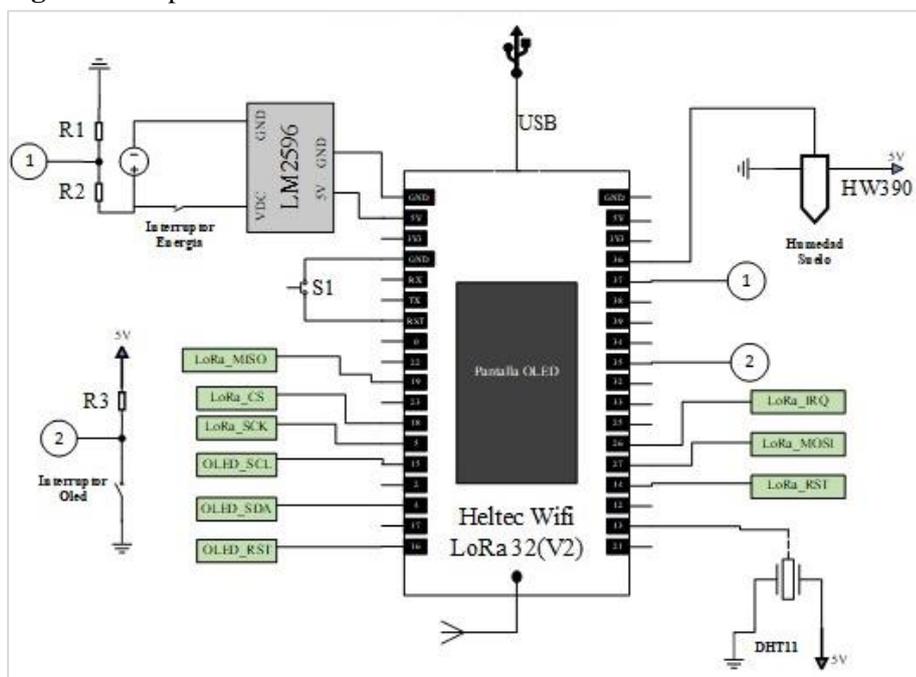


### Diseño de dispositivos LoRa

El dispositivo de monitoreo se diseñó considerando la necesidad de funcionar de manera autónoma, para lo cual se prevé el uso de una batería. Esto facilita su despliegue sencillo y permite el monitoreo en campos agrícolas.

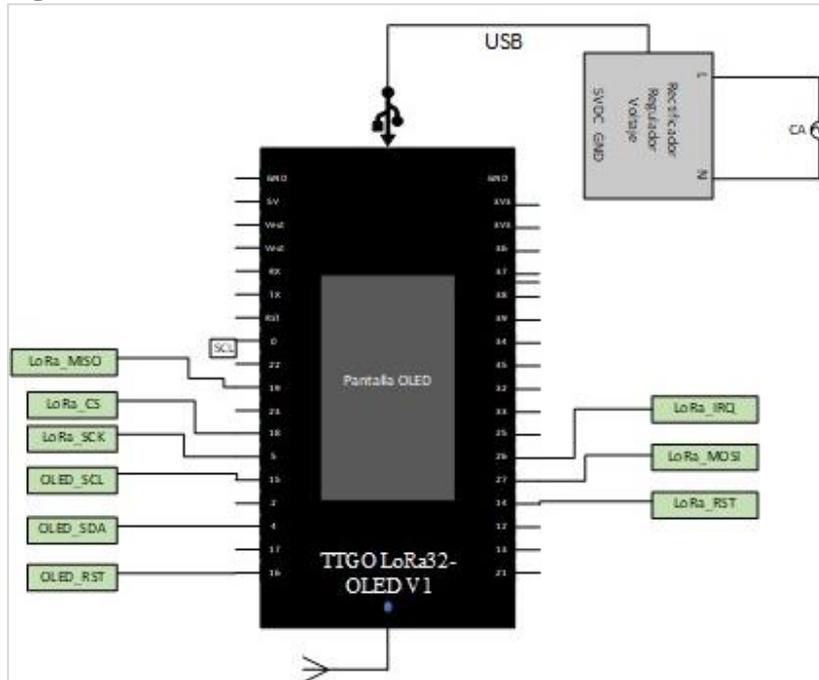
El diseño del dispositivo de monitoreo se inspiró en investigaciones previas realizadas por (Rivera Guzmán et al., 2022) y (Mañay Chochos et al., 2022). Sin embargo, nuestro dispositivo presenta variaciones sustanciales. Está compuesto por un módulo Heltec Wifi LoRa 32(V2), que integra el chip LoRa SEMTECH SX1276, el microcontrolador ESP32 y una pantalla OLED de 0.96 pulgadas. Además, incluye los sensores DHT21 para medir la temperatura y la humedad del ambiente, y un sensor capacitivo de humedad del suelo HW390 (Heredia Rivadeneria & Lucero Andrade, 2021). Se incorpora también un módulo LM2596 configurado para proporcionar una alimentación de 5V al dispositivo, así como una batería LiPo TURNIGY de 1300 mAh y 2 celdas a 7.4V, recargable. En la Figura 2 se presenta el diagrama electrónico del dispositivo de monitoreo.

**Figura 2.** Dispositivo de monitoreo



La puerta de enlace recibe información del dispositivo de monitoreo a través de la tecnología LoRa y la transmite a un servidor en la nube vía Internet. Está equipada con un procesador TTGO LoRa32-OLED V1 que incluye un microcontrolador ESP32, una pantalla OLED de 0.96 pulgadas, un módulo LoRa con el chip SEMTECH SX1276 y un módulo WiFi para conectividad a Internet y comunicación con el servidor IoT. Se alimenta a través de un conector micro USB conectado a un cargador de 5V para celulares. La Figura 3 muestra la puerta de enlace.

**Figura 3.** Puerta de enlace



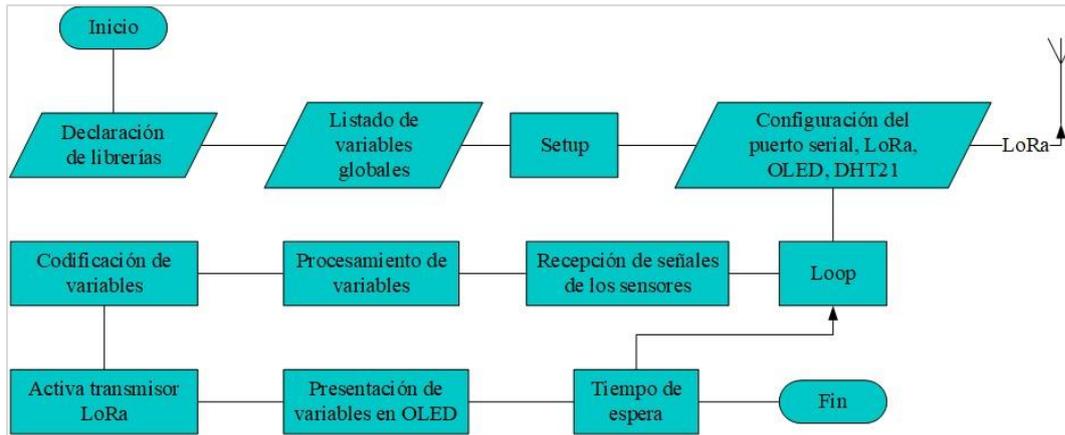
### Algoritmos de los dispositivos

El algoritmo constituye el núcleo central de control de los dispositivos LoRa, debiendo ser estructurado adecuadamente para cumplir con las tareas planificadas. Su estructura incluye librerías, variables, configuración y la lógica que define el objetivo de monitoreo, control, transmisión o recepción. Las tarjetas de control fueron programadas en el entorno de desarrollo integrado (IDE) de Arduino.

La configuración de la comunicación LoRa se estableció con los siguientes parámetros de red: una frecuencia de enlace de 915 MHz, un ancho de banda de 125 kHz, un factor de propagación de 12 y una potencia de transmisión de 14 dBm, mientras que los demás parámetros de LoRa se dejaron en su configuración predeterminada.

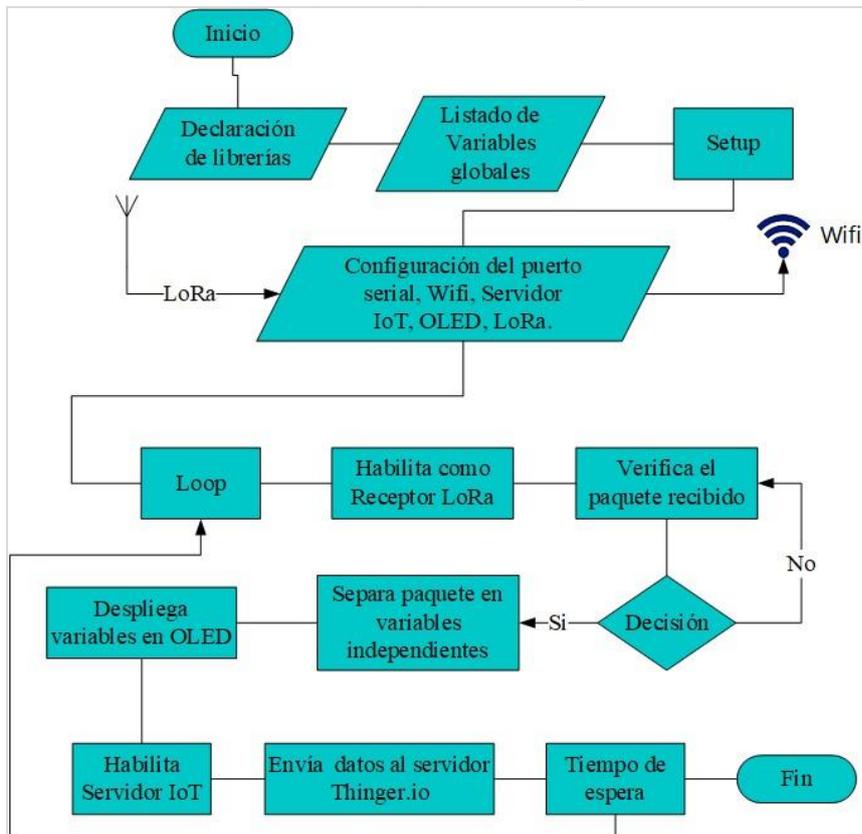
El intercambio de datos entre el dispositivo y la puerta de enlace se estableció en intervalos de 10 minutos (Dusun, 2024). Se proporciona una representación esquemática de la estructura del algoritmo empleado en el dispositivo de monitoreo en la Figura 4.

**Figura 4.** Representación esquemática del código del dispositivo de monitoreo



La secuencia de operaciones del algoritmo de la pasarela se muestra en la Figura 5. El programa desarrollado habilita a la pasarela para recibir los datos del dispositivo de monitoreo mediante la comunicación LoRa, tras lo cual transmite las variables al servidor IoT utilizando el módulo Wifi. Los parámetros de comunicación LoRa son similares a los configurados en el dispositivo de monitoreo, mientras que el intervalo de actualización para enviar las variables al servidor IoT se estableció en 1000ms.

**Figura 5.** Diagrama de flujo del algoritmo de la pasarela





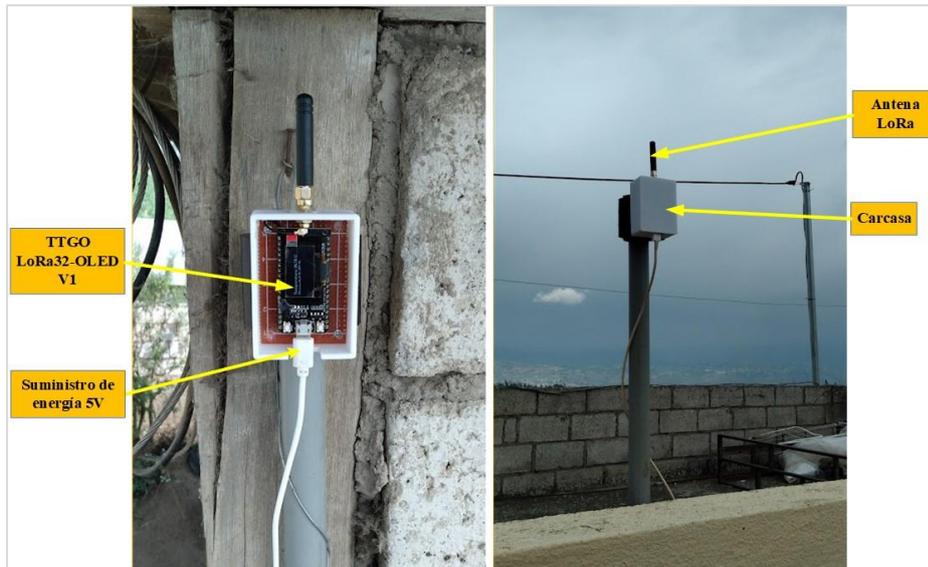
El dispositivo de monitoreo se instaló en una huerta destinada al cultivo de lechugas, montado en un poste a una altura de 80 cm sobre el suelo. Dado que el dispositivo está expuesto a condiciones climáticas adversas como sol, lluvia, viento y polvo, se protegió con una carcasa impresa en 3D utilizando termoplástico PLA. La Figura 8 ilustra la ubicación del dispositivo de monitoreo, que registra las condiciones climáticas, consideradas factores que pueden inducir estrés abiótico en el cultivo de lechugas.

**Figura 8.** Implementación del módulo de monitoreo en la huerta de lechugas



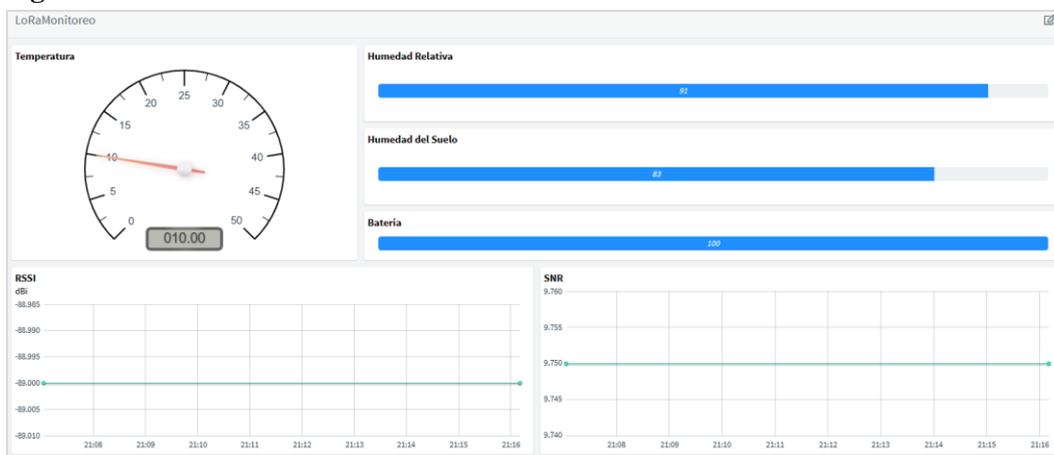
La función principal de la pasarela es doble: en primer lugar, recibe las señales del dispositivo de monitoreo mediante comunicación LoRa y luego transmite los datos al servidor IoT mediante conexión Wifi. Se instala en una vivienda con acceso a Internet a través de un enrutador, lo que posibilita una cobertura Wifi para conectar el módulo de la puerta de enlace con la plataforma IoT. Esta puerta de enlace se sitúa en la terraza de la casa a una altura de aproximadamente 3 metros sobre el suelo. Aunque habitualmente este tipo de estaciones base se instalan a mayor altura para garantizar una mejor cobertura, esta disposición se consideró adecuada para el propósito del proyecto. Además, dado que el dispositivo está instalado en la vivienda, se alimenta directamente desde la red eléctrica. La Figura 9 ilustra la implementación de la puerta de enlace.

**Figura 9.** Implementación de la pasarela para el sistema de monitoreo



Se diseñó una interfaz gráfica con el fin de visualizar el estado actual de las variables en tiempo real a través de la plataforma thinger.io, como se aprecia en la Figura 10. Esta herramienta proporciona una visión clara del clima al que está expuesto el cultivo de lechugas, lo que permite un seguimiento preciso de las condiciones ambientales. Además, esta interfaz permite la recopilación de datos para construir una base sólida que posibilite futuros análisis del comportamiento climático en los cultivos.

**Figura 10.** Interfaz de usuario



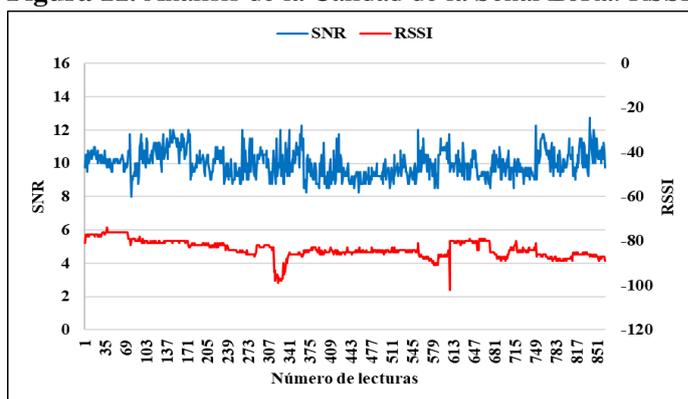
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la mayoría de los casos, los campos agrícolas en Ecuador carecen de supervisión constante de las condiciones climáticas a las que está expuesto el cultivo de lechugas. Por esta razón, se instaló un dispositivo de monitoreo para supervisar las variables climáticas y determinar si este está sufriendo estrés abiótico el cultivo. La instalación de los equipos tuvo lugar el sábado 24 de febrero de 2024, coincidiendo

con la siembra del cultivo de lechugas. Se recopilieron datos climáticos tanto durante el día como por la noche con el objetivo de crear una base de datos con perfiles climáticos reales. El monitoreo se mantuvo activo hasta el 28 de marzo de 2024. Los resultados obtenidos incluyen perfiles de temperatura, humedad ambiente y del suelo, así como la duración de la batería y el rendimiento de la calidad de la señal LoRa. Las métricas fundamentales para evaluar el rendimiento del enlace de comunicación LoRa fueron el indicador de intensidad de la señal recibida (RSSI) y la relación señal-ruido (SNR). Se estableció una configuración específica de los parámetros principales en el dispositivo de transmisión (monitoreo): el factor de dispersión (SF) en 12, el ancho de banda (BW) en 125 kHz y una potencia de transmisión (Tx) en 14 dB, de similar manera en el dispositivo receptor (puerta de enlace). Según indicado por (MOKO LoRa, 2024) el límite de intensidad de la señal recibida (RSSI) para la configuración indicada es de -137 dBm, mientras que la relación señal-ruido (SNR) alcanza un límite de -20 dB.

Los indicadores de señal LoRa relevantes se guardaron en la base de datos de la plataforma web Thinger para examinar el perfil de la señal de comunicación entre los dispositivos, como se ilustra en la Figura 11, durante el período de recolección de datos de monitoreo, se observó un RSSI promedio de -83.68 dBm y un SNR de 9.99. Según los indicadores registrados, las señales permanecen dentro de los límites de alcance de comunicación de LoRa, lo que indica una buena recepción de datos.

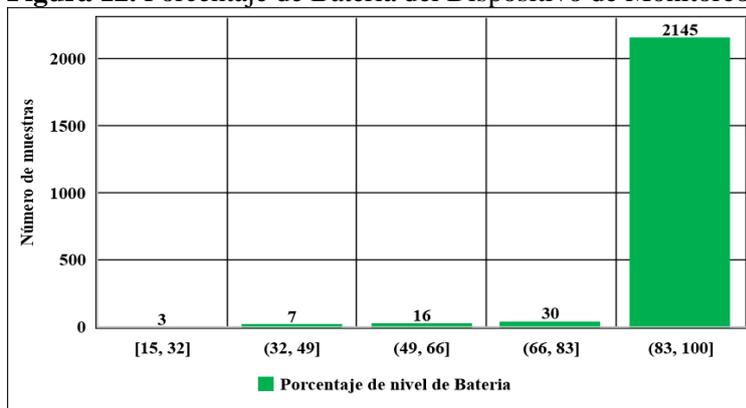
**Figura 11.** Análisis de la Calidad de la Señal LoRa: RSSI y SNR



Para garantizar el monitoreo continuo de los cultivos en ubicaciones remotas, es crucial considerar la alimentación de energía de los dispositivos. Por esta razón, se incorporó una batería al dispositivo de monitoreo. Además, se aprovechó la oportunidad para registrar el porcentaje de carga de la batería, lo que permite analizar la duración de la energía suministrada al dispositivo antes de que se agote. Los datos recopilados se presentan en la Figura 12.

En la Figura 12, se observa que el porcentaje de la batería se mantiene mayoritariamente en el rango del 83 al 100 por ciento durante la mayoría de los registros. Esto indica que el suministro de energía es adecuado hasta que el nivel de la batería desciende por debajo del 66 por ciento, momento en el cual la energía suministrada ya no es suficiente. Basándonos en estos datos, se determinó que el tiempo óptimo de funcionamiento del dispositivo en el campo es de aproximadamente 10 horas. Después de este período, es necesario recargar la batería con un cargador específico antes de volver a colocar el dispositivo en el cultivo de lechugas.

**Figura 12.** Porcentaje de Batería del Dispositivo de Monitoreo

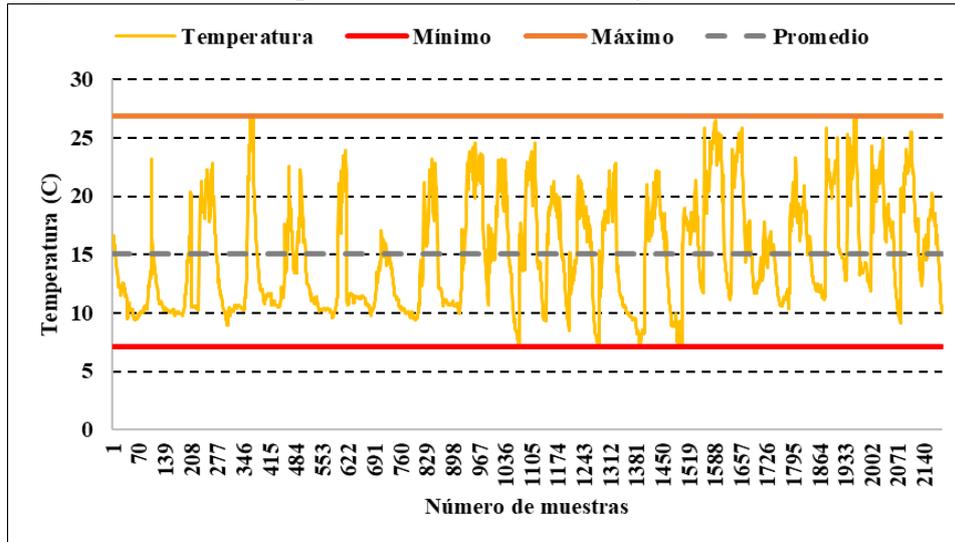


### Análisis del estrés abiótico

La lechuga es una planta notablemente adaptable a una variedad de climas, como se discutió en la sección de introducción. Se ha establecido que su temperatura óptima de crecimiento se sitúa entre los 15 y 20 grados centígrados, aunque puede tolerar condiciones más frías de hasta 10 grados centígrados. En la Figura 13 se muestra el perfil de temperatura al que estuvo expuesto el cultivo de lechugas durante el período de monitoreo.

Para asegurar un crecimiento adecuado del cultivo, es crucial que la temperatura del ambiente se mantenga dentro de rangos óptimos. Al analizar los datos registrados en la plataforma IoT y presentados en la Figura 13, se determinó que el cultivo estuvo expuesto a una temperatura promedio de 15.03 grados centígrados. Este promedio indica que las condiciones térmicas son favorables para el desarrollo de las lechugas, lo que permite un crecimiento saludable y evita el estrés térmico en las plantas. Es importante destacar que, aunque se observaron breves períodos en los que la temperatura descendió a un mínimo de 7.1 grados y otros en los que alcanzó un máximo de 26.9 grados, el cultivo se mantuvo visualmente saludable durante el monitoreo.

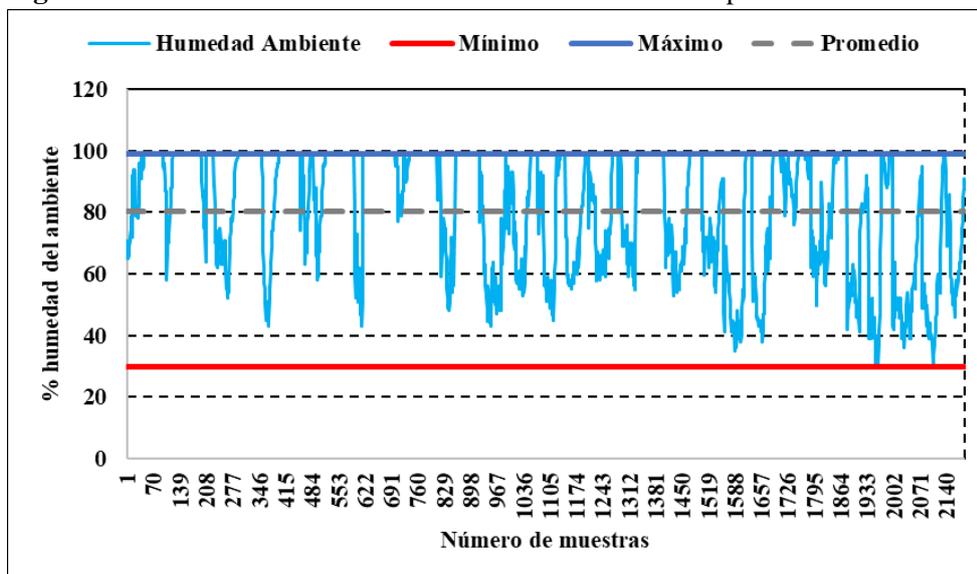
**Figura 13.** Perfil de temperatura del cultivo de lechugas



La humedad ambiental y la temperatura están estrechamente relacionadas, por lo que es crucial tener registros de la humedad del ambiente para un análisis completo. En la Figura 14, se observa la variabilidad de la humedad ambiental a lo largo del tiempo de registro.

Durante el período de monitoreo, se registró un promedio de humedad ambiental del 80.4%. Sin embargo, hubo momentos de calor en los que la humedad descendió hasta un mínimo del 30%, así como períodos de alta humedad, alcanzando un máximo del 99%. Estos cambios pueden atribuirse a la presencia de lluvia, que satura la humedad ambiental. A pesar de estas variaciones, el cultivo se mantuvo saludable, ya que el promedio de humedad se mantuvo en niveles adecuados para su desarrollo en la mayor parte del tiempo de monitoreo, evitando así el estrés en las plantas de lechugas.

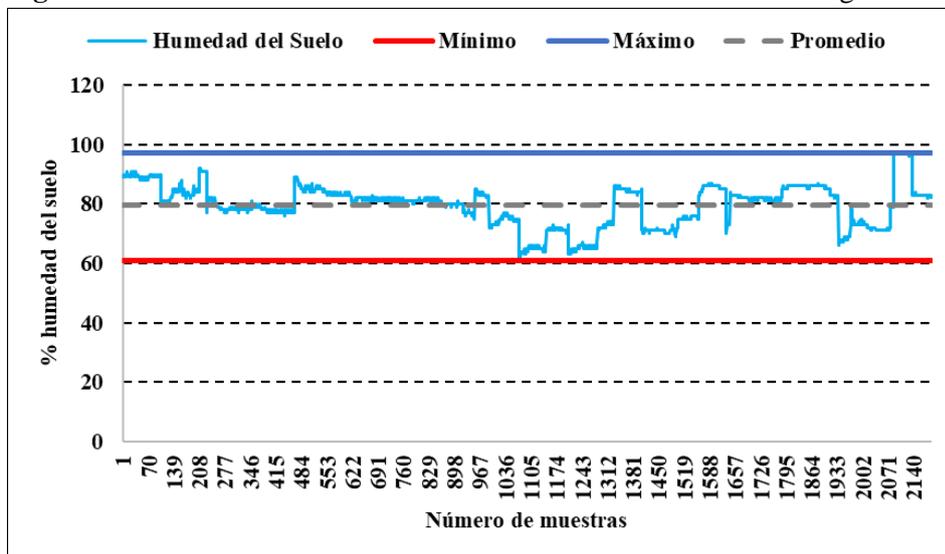
**Figura 14.** Variabilidad de la humedad ambiental durante el período de monitoreo



La lechuga es una planta que prospera en una variedad de suelos, siempre y cuando estos estén bien drenados y mantengan una humedad equilibrada.

En la sierra ecuatoriana, los suelos comunes son los Andisoles y Molisoles, cuya humedad depende de los recursos hídricos y las precipitaciones. En el lugar donde se encuentra el cultivo de lechugas el turno de riego es luego de una semana, y la humedad del suelo varía también según las lluvias. En la Figura 15 se muestra la tendencia durante el período de monitoreo, donde se observó que la humedad del suelo alcanzó un máximo del 97% debido a los períodos de lluvia, disminuyendo gradualmente al 61% a lo largo de la semana. Además, los datos revelaron que la humedad promedio del suelo se mantuvo en un 79.58%, lo que sugiere un buen drenaje del suelo que ayuda a prevenir el estrés en las plantas de lechuga.

**Figura 15.** Variación de la Humedad del Suelo en el Cultivo de Lechugas



La evaluación de los datos climáticos, como se muestra en las Figuras 13, 14 y 15, reveló que el cultivo de lechugas estuvo expuesto a condiciones climáticas con una temperatura promedio de 15.03 grados centígrados, una humedad ambiental promedio del 80.4% y una humedad del suelo promedio del 79.58%. Al comparar estos valores con las características de desarrollo del cultivo de lechugas mencionadas en la sección de Introducción, se confirma que el cultivo se desarrolló en un entorno adecuado, lo que sugiere que no experimentó estrés abiótico. La Figura 16 ilustra el aspecto saludable del cultivo de lechugas.

**Figura 16.** Condiciones climáticas y estado del cultivo de lechugas



### CONSIDERACIONES FINALES

El desarrollo tecnológico, especialmente en el campo de la agricultura, ha sido fundamental para mejorar la eficiencia y la productividad en la producción de alimentos. En este estudio, se diseñó y desarrolló un sistema de monitoreo basado en la tecnología LoRa para supervisar un cultivo de lechugas. Los resultados obtenidos y discutidos proporcionan una visión detallada de las condiciones ambientales a las que estuvo expuesto el cultivo y su impacto en el crecimiento de las plantas.

La implementación del sistema de monitoreo permitió obtener datos precisos sobre variables climáticas clave, como temperatura, humedad del aire y humedad del suelo. La calidad de la señal LoRa se mantuvo dentro de los límites adecuados, lo que aseguró una comunicación efectiva entre los dispositivos de monitoreo y la puerta de enlace. Esto garantizó la recolección continua de datos climáticos a lo largo del período de estudio.

El análisis de los datos climáticos reveló que el cultivo de lechugas se desarrolló en un entorno óptimo, con una temperatura promedio de 15.03 grados centígrados, una humedad ambiental promedio del 80.4% y una humedad del suelo promedio del 79.58%. Estas condiciones fueron consistentes con los requisitos de crecimiento de las lechugas, lo que sugiere que el cultivo no experimentó estrés abiótico durante el período de monitoreo.

En conclusión, el uso de tecnologías de monitoreo como LoRa ofrece una herramienta valiosa para los agricultores al proporcionar información en tiempo real sobre las condiciones climáticas y el estado de las plantas. Esto permite tomar decisiones informadas para optimizar el rendimiento y la calidad de los cultivos, lo que contribuye a la seguridad alimentaria y la sostenibilidad agrícola en general.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Ayaz, M., Ammad-Uddin, M., Sharif, Z., Mansour, A., & Aggoune, E. H. M. (2019). Internet-of-Things (IoT)-based smart agriculture: Toward making the fields talk. *IEEE Access*, 7, 129551–129583. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2932609>
- Acosta Silva, S., & Paredes Cruz, I. (2022). Prevención y tratamiento de la litiasis renal: Medidas dietéticas y farmacológicas. *Revista Científica De Salud Y Desarrollo Humano*, 3(1), 148–170. <https://doi.org/10.61368/r.s.d.h.v3i1.50>
- Cáceres Rodríguez, J. L., Eduard, Diego Andres, Cortés Gómez, M. C., & Balaguera Lopez, H. E. (2022). Role of brassinosteroids in fruit trees with emphasis on abiotic stress conditions: A review. *Ciencia y Agricultura*, 19(3). <https://doi.org/10.19053/01228420.v19.n3.2022.15367>
- Chiliquinga Malliquinga, D. M., & Mañay Chochos, E. D. (2021). *Sistema de agricultura inteligente con entorno de realidad virtual mediante el uso de tecnología LORA orientado a minimizar el estrés abiótico*. <http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/handle/21000/28921>
- Codeluppi, G., Cilfone, A., Davoli, L., & Ferrari, G. (2020). LoRaFarM: A LoRaWAN-Based Smart Farming Modular IoT Architecture. *Sensors*, 20(7). <https://doi.org/10.3390/s20072028>
- dos Santos, U. J. L., Pessin, G., da Costa, C. A., & da Rosa Righi, R. (2019). AgriPrediction: A proactive internet of things model to anticipate problems and improve production in agricultural crops. *Computers and Electronics in Agriculture*, 161, 202–213. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.10.010>
- Chavarría Oviedo, F., & Avalos Charpentier, K. (2022). Material Designing for English Language Learners With ASD, Visual Impairments and Muteness. *Sapiencia Revista Científica Y Académica*, 2(2), 71–91. Recuperado a partir de <https://revistasapiencia.org/index.php/Sapiencia/article/view/23>
- Dusun. (2024). *Qué es una puerta de enlace IoT (Guía completa 2024): definición, ejemplos, funciones*. DusunIoT. <https://www.dusuniot.com/es/blog/what-is-an-iot-gateway/>
- González, L. (2023). Evaluación de la Conexión entre la Administración Educativa Participativa y la Excelencia en la Enseñanza en Instituciones Públicas de América Latina. *Emergentes - Revista Científica*, 3(1), 132–150. <https://doi.org/10.60112/erc.v3i1.25>



- Heredia Rivadeneria, A. E., & Lucero Andrade, P. F. (2021). Diseño e implementación de una red inalámbrica de sensores con tecnología LoRa para monitoreo industrial orientado a OPC de arquitectura unificada. In *Repositorio Institucional Universidad de Cuenca*. <https://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/35875>
- Hernández, B. (2024). *Cultivo de Lechuga: Guía Completa de Siembra*. Sembrar En Casa. <https://sembrarencasa.net/cultivo-de-lechuga/>
- Kim, M. J., Moon, Y., Tou, J. C., Mou, B., & Waterland, N. L. (2016). Nutritional value, bioactive compounds and health benefits of lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Journal of Food Composition and Analysis*, 49, 19–34. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jfca.2016.03.004>
- Lee, H. C., & Ke, K. H. (2018). Monitoring of Large-Area IoT Sensors Using a LoRa Wireless Mesh Network System: Design and Evaluation. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 67(9), 2177–2187. <https://doi.org/10.1109/TIM.2018.2814082>
- Mañay Chochos, E. D., Chicaiza Yugcha, O. F., Orozco Manobanda, I. A., Chiliquinga, M. D., Martínez Guamán, C. J., & Guzmán Paillacho, C. A. (2022). Diseño de una red LoRa de bajo costo para el monitoreo del sector agrícola. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(5), 104–120. [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v6i5.3063](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i5.3063)
- MOKO LoRa. (2024). *¿Cuáles son los factores que afectan el rango de LoRaWAN?* Tecnología MOKO Limitada. <https://www.mokolora.com/es/factors-affecting-the-lorawan-range/>
- Muteba, F., Djouani, K., & Olwal, T. (2019). A comparative Survey Study on LPWA IoT Technologies: Design, considerations, challenges and solutions. *Procedia Computer Science*, 155, 636–641. <https://doi.org/10.1016/J.PROCS.2019.08.090>
- Pintos, M. M. (2022). La responsabilidad social de los abogados. *Estudios Y Perspectivas Revista Científica Y Académica*, 2(2), 92–114. <https://doi.org/10.61384/r.c.a.v2i2.23>
- Quintero, J. J. (2020). La lechuga. *Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid (España)*.
- Rivera Guzmán, E. F., Mañay Chochos, E. D., Chiliquinga Malliquinga, M. D., Baldeón Egas, P. F., & Toasa Guachi, R. M. (2022). LoRa Network-Based System for Monitoring the Agricultural Sector in Andean Areas: Case Study Ecuador. *Sensors*, 22(18). <https://doi.org/10.3390/s22186743>

Suji Prasad, S. J., Thangatamilan, M., Suresh, M., Panchal, H., Rajan, C. A., Sagana, C., Gunapriya, B., Sharma, A., Panchal, T., & Sadasivuni, K. K. (2022). An efficient LoRa-based smart agriculture management and monitoring system using wireless sensor networks. *International Journal of Ambient Energy*, 43(1), 5447–5450. <https://doi.org/10.1080/01430750.2021.1953591>

thinger.io. (2024). *Console thinger*. <https://console.thinger.io/console/statistics>

Vega-Luna, J. I., Sánchez-Rangel, F. J., & Cosme-Aceves, J. F. (2019). Monitoring System for Doors and Windows of a Data Center with IoT. *Ingenius*, 2019(22), 72–79. <https://doi.org/10.17163/ING.S.N22.2019.07>

