



DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i5.3063

Diseño de una red LoRa de bajo costo para el monitoreo del sector agrícola

Edison David Mañay Chochos

edmanay@outlook.com

<https://orcid.org/0000-0002-3447-2511>

Alfa Soluciones – Ingeniería, Ecuador

Oscar Fabricio Chicaiza Yugcha

o_chicaiza@istsb.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-4170-2186>

Instituto Tecnológico Superior Simón Bolívar, Ecuador

Israel Antonio Orozco Manobanda

i_orozco@istsb.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0003-2931-0240>

Instituto Tecnológico Superior Simón Bolívar, Ecuador

Mauricio D. Chiliquina

maurynpj@yahoo.es

<https://orcid.org/0000-0003-4443-4604>

Alfa Soluciones – Ingeniería, Ecuador

Carlos Julio Martínez Guamán

c_martinez@istsb.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0001-6832-902X>

Instituto Tecnológico Superior Simón Bolívar, Ecuador

Carmen Alexandra Guzmán Paillacho

g.alexandra22@hotmail.com

Investigadora Independiente, Ecuador

Correspondencia: edmanay@outlook.com

Artículo recibido 10 agosto 22. Aceptado para publicación: 10 septiembre 2022

Conflictos de Interés: Ninguna que declarar

Todo el contenido de **Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar**, publicados en este sitio están disponibles bajo

Licencia [Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) 

Cómo citar Mañay Chochos, E. D., Chicaiza Yugcha, O. F., Orozco Manobanda, I. A., Chiliquina, 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

RESUMEN

El propósito de la investigación es ayudar a los agricultores que dispongan de dispositivos de bajo costo para el monitoreo en tiempo real de los cultivos para minimizar pérdidas por efectos climáticos adversos en zonas de la región Andina del Ecuador. El diseño de la red de largo alcance (LoRa) está constituida por nodos finales, puerta de enlace y plataforma IoT thinger.io para crear la interfaz gráfica de usuario a fin de monitorear y controlar los equipos a distancia. Una de las características de zonas andinas son los terrenos irregulares; los parámetros evaluados son medidos en intervalos de 80m, la red alcanzó una distancia de 805m de cobertura. Para evaluar la sensibilidad de la señal, se ubicó los nodos finales en una quebrada a desniveles de 15m de profundidad donde la vegetación y los árboles, perjudicaron a la señal de comunicación registrando medidas de intensidad de señal recibida RSSI de -126 dBm y relación señal/ruido SNR de -9.25 dB.

Palabras clave: LoRa, monitoreo, red, agricultura.

Design of a low-cost LoRa network for monitoring the agricultural sector

ABSTRACT

The purpose of the research is to help farmers with low-cost devices for real-time monitoring of crops to minimize losses due to adverse weather effects in areas of the Andean region of Ecuador. The design of the long-range network (LoRa) consists of end nodes, gateway and IoT platform thinger.io to create the graphical user interface to monitor and control the equipment remotely. One of the characteristics of Andean areas is the uneven terrain; the evaluated parameters are measured at 80m intervals, the network reached a distance of 805m of coverage. To evaluate the sensitivity of the signal, the final nodes were located in a 15m deep ravine where vegetation and trees were detrimental to the communication signal, registering received signal strength measurements RSSI of -126 dBm and signal to noise ratio SNR of -9.25 dB.

Keywords: LoRa, monitoring, network, agriculture.

INTRODUCCIÓN

Los avances tecnológicos afectan directamente el comportamiento humano, ya que se han adaptado a utilizar Internet, sistemas informáticos, teléfonos inteligentes, sensores y otros dispositivos, para realizar actividades diferentes en su vida cotidiana. Asimismo, en función de las necesidades humanas se han desarrollado diferentes tipos de aplicaciones que permiten solucionar problemas en muchos campos.

Uno de los principales sectores beneficiados por la tecnología es el agropecuario, de acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), en el mundo se deberá producir un 70% más de alimentos en 2050 de lo que lo hizo en 2006 para alimentar a la creciente población en todo el mundo (FAO, 2018).

El sector agrícola está recurriendo al Internet de las Cosas (IoT) para el análisis, gestión y búsqueda de una mayor capacidad de producción a medida que aumenta la demanda de sus productos y operaciones. El crecimiento de tecnologías de comunicación y sensores para la agricultura, el fácil manejo e implementación, permiten medir diversos parámetros como la humedad, la temperatura y la acidez del suelo en diferentes lugares. (Miles et al., 2020), incluyendo áreas de difícil acceso como áreas montañosas, pendientes pronunciadas, lugares donde se puede desarrollar la agricultura.

En este sentido, el uso de estas tecnologías permite a los agricultores analizar los datos recogidos por los sensores, predecir las condiciones climáticas futuras y, por tanto, mejorar los rendimientos, reducir costes conservando los recursos utilizados.

Se han explorado grandes cantidades de trabajos sobre red LoRa y tecnologías de comunicación. En primer lugar, se identifican que las tecnologías de área amplia de baja potencia (LPWAN) se han vuelto populares a nivel mundial (Muteba et al., 2019), como LTE-M (Khalifeh et al., 2019), SigFox, la banda estrecha (NB)-IoT (Ratasuk et al., 2016) y el largo alcance LoRa (Lee & Ke, 2018), siendo estas dos últimas las que predominan en las comunicaciones inalámbricas.

Se desarrollan comparativas entre estas dos tecnologías, donde se identifica que LoRa tiene ventajas en términos de vida útil, capacidad y costo de la batería, mientras que NB-IoT ofrece beneficios en términos de calidad de servicio (QoS), latencia, confiabilidad y alcance (Migabo et al., 2017; Sinha et al., 2017).

Referente al uso de LoRa en la agricultura, en (Gutiérrez et al., 2019) se propone el desarrollo de un dispositivo de puerta de enlace móvil con redes de baja potencia y área amplia (LoRaWAN) que se utiliza para aumentar la productividad y la precisión de los invernaderos, los resultados muestran que este enfoque ayuda a los procesos actuales de

la agricultura, debido al bajo costo y la precisión de las mediciones de humedad y temperatura.

También se desarrollan trabajos sobre monitoreo agrícola con redes LoRa, en (Deng et al., 2020) se presenta un sistema de monitoreo del medio ambiente del suelo basado en un sensor de identificación por radiofrecuencia (RFID) y LoRa para realizar un monitoreo a largo plazo y de bajo costo. Además, en (Bhattacharjee et al., 2020) se propone una red IoT de largo alcance y baja potencia para monitorear la humedad del suelo, se utiliza LoRa como interfaz de comunicación, que utiliza la banda ISM de 868 MHz para la transmisión de señales. Por otro lado, se presenta un modelo denominado AgriPrediction (dos Santos et al., 2019), que combina un sistema de red inalámbrica de corto y mediano alcance con un motor de predicción para predecir alteraciones en los cultivos de manera proactiva, notificando así al agricultor las acciones correctivas.

En Ecuador el uso de sensores inteligentes a nivel agrícola es muy limitado, actualmente existen sensores que se utilizan para el censado, monitoreo y control de múltiples variables (Maila et al., 2019). El uso de estos sensores inalámbricos permite una eficiente gestión de la energía, son escalables, se puede incorporar nuevos sensores sin afectar el rendimiento, logrando la implementación de topologías dinámicas de red (Razfar et al., 2013).

Por lo descrito en párrafos anteriores, este trabajo presenta el diseño de una red LoRa de bajo costo, que permite monitorear variables implícitas en los procesos agrícolas como: temperatura ambiente, humedad relativa, humedad del suelo, radiación ultravioleta. Lo que va a permitir a los agricultores una oportuna toma de decisiones en las actividades agrícolas para así reducir las pérdidas por efectos climáticos adversos.

MATERIALES Y MÉTODOS

En la presente sección se describe a LoRa, el diseño de la arquitectura del sistema, los componente y configuración requerida.

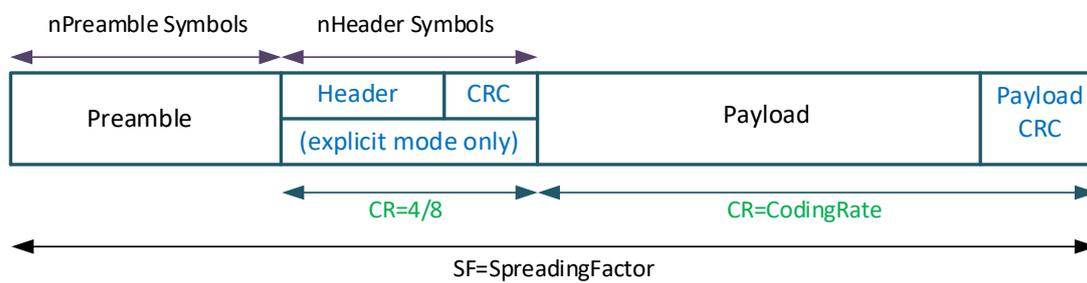
LoRa

LoRa es una tecnología de capa física de LoRaWAN, de licencia libre en bandas ISM, caracterizada por un bajo ancho de banda, un número limitado de mensajes (Elijah et al., 2021; Zhang et al., 2019). Emplea modulación Chirp Spread Spectrum (CSS) que permite un largo alcance y un bajo consumo de potencia (Sanchez-Iborra et al., 2018). En la comunicación LoRa se pueden personalizar algunos parámetros como: el factor de propagación (SF), tasa de codificación (CR) y el ancho de banda (BW). Los valores de cada parámetro dependen de la región donde se implementan los dispositivos LoRa, es decir; en Europa utiliza bandas de 868 MHz, 915 MHz en América del Norte y 433 MHz en Asia

(Leonardi et al., 2019; Zhang et al., 2019); sin embargo, el SF puede variar entre 7 y 12, cuanto más alto es, aumenta la relación señal/ruido (SNR), la sensibilidad, el rango de cobertura, el tiempo del símbolo (T_s) (Elshabrawy & Robert, 2019), y el tiempo en el aire (ToA), es decir, la duración de transmisión de un paquete. La modulación LoRa puede transmitir cuadros arbitrarios mediante dos tipos de formato de paquete, explícito e implícito. Generalmente la estructura del paquete consta de cuatro elementos: preámbulo, encabezado (opcional), carga útil de datos (limitado a 255 bytes) y un CRC de carga útil opcional (Leonardi et al., 2019; *Salesforce*, 2022). El formato se muestra en la Figura 1.

Figura 1

Formato de paquete LoRa



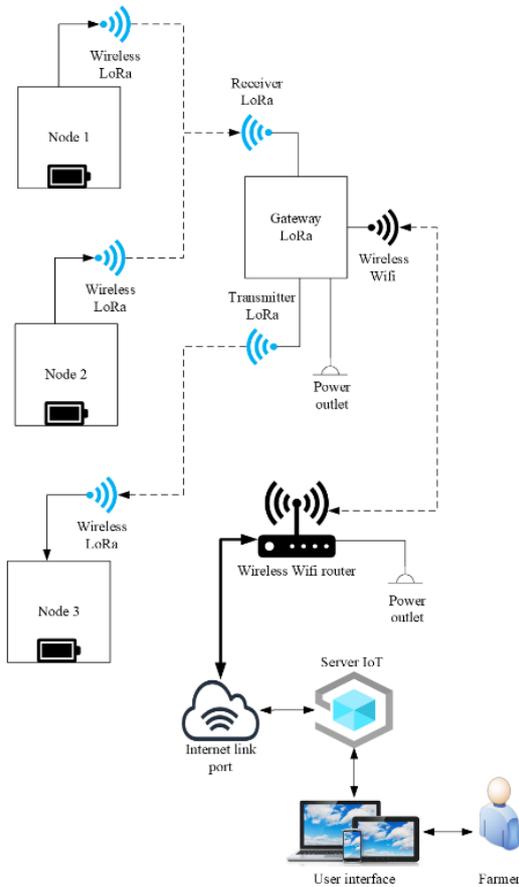
Arquitectura

La arquitectura del sistema se compone de diferentes niveles y elementos. En la Figura. 2 se muestra el diseño de la red LoRa con una topología en "estrella", compuesta por nodos finales, Gateway y una plataforma IoT. Los nodos finales se encargan de recolectar la información de los campos agrícolas mediante sensores de temperatura, humedad relativa, humedad del suelo y radiación ultravioleta; adicionalmente se realiza el control para el accionamiento de una bomba de agua con un nodo.

El Gateway, se encarga de recibir y reenviar la información que proviene de los nodos finales hacia el servidor IoT para ser visualizados en una interfaz de usuario en el que se puede monitorear las variables climáticas y controlar el estado de activación de un actuador.

Figura 2.

Ilustración de la arquitectura de la red LoRa



Nodos Finales

Los dispositivos finales están conformados por módulos, como un microcontrolador ESP32 que integra el chip de comunicación LoRa, una batería y sensores en los nodos transmisores; mientras que en el nodo receptor a diferencia de los sensores integra un relé.

Gateway

El Gateway reenvía la información que llega de los dispositivos finales, para transmitir paquetes de datos a través del internet (Singh et al., 2020). Cuenta con módulos LoRa para recepción y transmisión de datos. Adicionalmente se encarga de enviar la información a un servidor IoT mediante una conexión de internet, a través del módulo WiFi del MCU ESP32.

Aplicación de usuario

La interfaz de usuario permite que los datos sean visualizados en un servidor IoT (Valente et al., 2020), a través del despliegue de sensores se puede recopilar, transmitir, procesar y

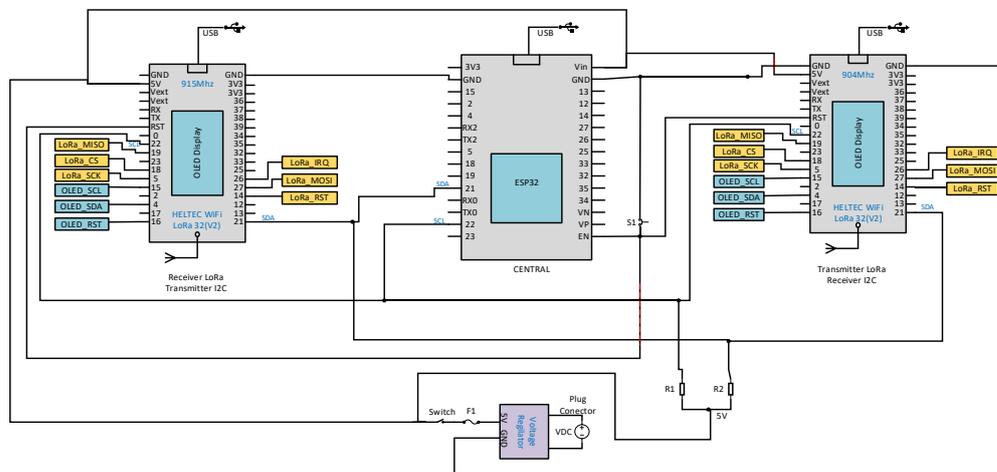
Diseño de una red LoRa de bajo costo para el monitoreo del sector agrícola

En la Figura. 6, se muestra el módulo Gateway que consta de dos dispositivos LoRa utilizando uno para la recepción de información mientras el otro para el envío de información, ambos de la marca HELTEC, también posee un módulo ESP32 que se comunica con los dispositivos de transmisión LoRa por comunicación I2C y tiene la capacidad de conexión Wifi para enviar los datos al servidor IoT. Al igual que los demás nodos posee un regulador de voltaje a 5VDC e interruptores de control de energía.

Los nodos finales están instalados en el cultivo mientras que el Gateway está instalada en la casa de un agricultor, que se conecta con Internet a través de una interfaz WiFi.

Figura 6

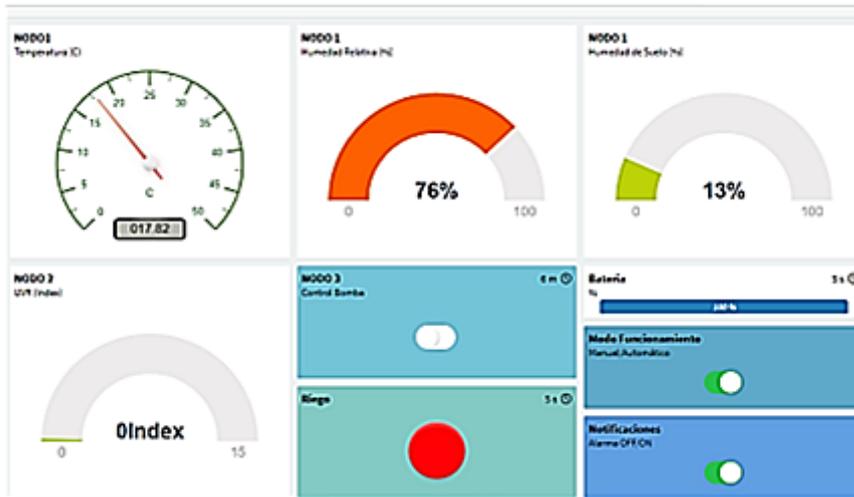
Gateway



Para la visualización de los datos, se diseñó una interfaz gráfica en Thinger.io como se muestra en la Figura. 7. Permite a los agricultores obtener datos e información de los cultivos. Además, con la capacidad de obtener los datos históricos sobre los cambios climáticos (Singh et al., 2020).

Figura 7

Interfaz de usuario



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El sistema LoRa diseñado, se desplego en la Comunidad Rural: Chirinche Bajo (latitud: -1.082956; longitud.: -78.648369) a una altura de 2980 metros sobre el nivel del mar, como se muestra en la Figura 8.

Figura 8

Sistema LoRa desplegado



El Gateway LoRa está instalado en el techo de una casa a 3.3 metros de altura, con la antena vertical. La antena omnidireccional tiene una ganancia de 2 dBi y un rango de frecuencia

de funcionamiento de 902 MHz a 928 MHz. Luego, los paquetes se recopilan a través del nodo final LoRa para ser reenviados al servidor IoT Thinger.io por Wifi/Ethernet.

El Gateway LoRa dispone de 2 antenas que operan en la banda de frecuencia de 915MHz en enlace ascendente y 904MHz en enlace descendente, los nodos operan en frecuencia similar al Gateway respectivamente, se encuentran colocados a una altura de 1.5 metros sobre el cultivo. Para evaluar la distancia de cobertura de la transmisión LoRa, los nodos adoptan el máximo factor de ensanchamiento SF=12, para transmitir los paquetes. Los principales parámetros utilizadas en las pruebas de campo se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1

Parámetros de los nodos LoRa

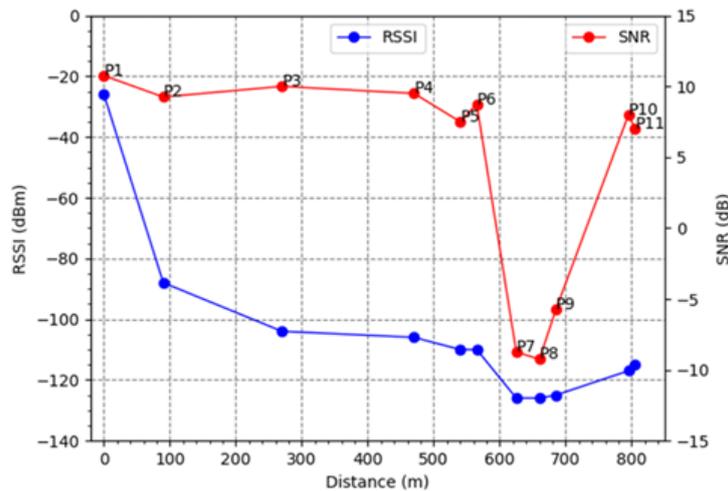
Parámetros	Valor/Configuración		
	Nodo 1	Nodo 2	Nodo 3
Transmisión	uplink	uplink	downlink
Frecuencia	915 MHz	915MHz	904MHz
Preámbulo	8 Symbol	8 Symbol	8 Symbol
Potencia de transmisión	+14 dBm	+14 dBm	+14 dBm
Tasa de codificación	4/5	4/5	4/5
Factor de propagación	12	12	12
Ancho de Banda	125kHz	125 kHz	125kHz
Tamaño del paquete	15 bytes	4 bytes	1 byte
Ganancia de la antena	+2 dBi	+2 dBi	+2 dBi

En el experimento, el nodo LoRa envía continuamente paquetes de enlace ascendente y se alejan gradualmente de la ubicación del Gateway LoRa. Para verificar la estabilidad de la señal de cobertura de la red LoRa, se registró el RSSI del enlace de radio en los puntos de la ruta de estudio mostrada en la Figura 8. Los parámetros de calidad de la señal recibida son medidos en una distancia media de 80 metros. Como se muestra en la Figura 9, el RSSI varía gradualmente con el aumento de la distancia, mientras que el SNR disminuye

drásticamente en los puntos (P7, P8, P9) a causa de presencia de árboles y pendientes en una quebrada.

Figura 9

Rendimiento de la cobertura de la transmisión LoRa



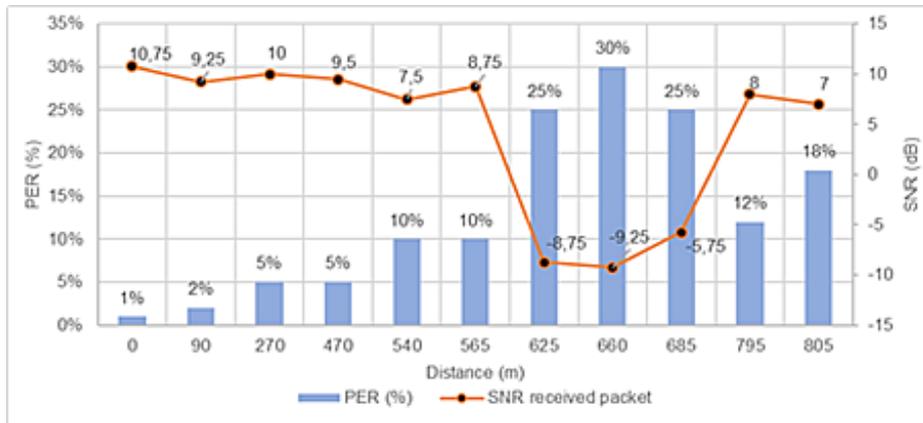
Se puede observar en la Figura 9, la distancia de cobertura del Gateway LoRa alcanza 805 metros de donde puede recibir los paquetes de enlace ascendente, mientras que el mínimo RSSI es -126 dBm y SNR -9.25 dB en los puntos (P7, P8, P9).

Tasa de error de paquetes (PER)

El número de paquetes con errores dividido por el número total de paquetes enviados en un período de 5 segundos, se puede determinar el porcentaje de pérdidas de paquetes (PER), en base a los estudios realizados el porcentaje de máximo de PER fue de 30%, con un SNR de -9.25 dB a una distancia de 660m, según la Figura. 9, es el punto P8, que representa el lugar más crítico, ya que, se encuentra dentro de una quebrada por lo tanto se genera mayor interferencia y ruido a la señal de comunicación de radio LoRa. En la Figura. 12, se puede observar el comportamiento de la tasa de pérdida de paquetes según la distancia de análisis.

Figura 12

Tasa de error de paquetes (PER)



CONSIDERACIONES FINALES

En la literatura se identifican trabajos relacionados que desarrollan redes LoRa a nivel mundial, no obstante, se evidencia que, en Ecuador, estas redes son muy limitadas por la brecha tecnológica que existe en las zonas andinas del Ecuador, además que los procesos agrícolas no son tecnificados por el poco conocimiento tecnológico de la población, lo que dificulta el éxito de implementación de nuevas tecnologías.

El alcance de la arquitectura red LoRa implementado es de 805m, sin embargo, cuando los nodos se ubican en lugares con interferencias; como en acantilados la sensibilidad de la señal disminuye ostensiblemente a un valor de RSSI de -126 dBm y el SNR de -9.25 dB, provocando perdidas de paquetes y aumento el tiempo de transmisión de datos hacia el Gateway. El presente trabajo benefició a 80 familias de la comunidad de Chirinche Bajo de la provincia de Cotopaxi en Ecuador, mediante el monitoreo oportuno de variables climáticas que mitiguen las perdidas agrícolas por efectos climáticos adversos.

LISTA DE REFERENCIAS

- Bhattacharjee, S. S., Shreeshan, S., Priyanka, G., Jadhav, A. R., Rajalakshmi, P., & Kholova, J. (2020). Cloud based Low-Power Long-Range IoT Network for Soil Moisture monitoring in Agriculture. *2020 IEEE Sensors Applications Symposium (SAS)*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/SAS48726.2020.9220017>
- Codeluppi, G., Cilfone, A., Davoli, L., & Ferrari, G. (2020). *LoRaFarM: a LoRaWAN-Based Smart Farming Modular IoT Architecture*. <https://doi.org/10.3390/s20072028>
- Deng, F., Zuo, P., Wen, K., & Wu, X. (2020). Novel soil environment monitoring system based on RFID sensor and LoRa. *Computers and Electronics in Agriculture*, 169, 105169. <https://doi.org/10.1016/J.COMPAG.2019.105169>

- 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/10.1016/J.COMPAG.2018.10.010>
- Elijah, O., Rahim, S. K. A., Sittakul, V., Al-Samman, A. M., Cheffena, M., Din, J. Bin, & Tharek, A. R. (2021). Effect of Weather Condition on LoRa IoT Communication Technology in a Tropical Region: Malaysia. *IEEE Access*, *9*, 72835–72843. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3080317>
- Elshabrawy, T., & Robert, J. (2019). Capacity Planning of LoRa Networks With Joint Noise-Limited and Interference-Limited Coverage Considerations. *IEEE Sensors Journal*, *19*(11), 4340–4348. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2019.2897156>
- FAO, F. (2018). The future of food and agriculture: alternative pathways to 2050. *Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome*.
- Gutiérrez, S., Martínez, I., Varona, J., Cardona, M., & Espinosa, R. (2019). Smart Mobile LoRa Agriculture System based on Internet of Things. *2019 IEEE 39th Central America and Panama Convention (CONCAPAN XXXIX)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/CONCAPANXXXIX47272.2019.8977109>
- Ji, M., Yoon, J., Choo, J., Jang, M., & Smith, A. (2019). LoRa-based Visual Monitoring Scheme for Agriculture IoT. *2019 IEEE Sensors Applications Symposium (SAS)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/SAS.2019.8706100>
- Khalifeh, A., Aldahdouh, K. A., Darabkh, K. A., & Al-Sit, W. (2019). A Survey of 5G Emerging Wireless Technologies Featuring LoRaWAN, Sigfox, NB-IoT and LTE-M. *2019 International Conference on Wireless Communications Signal Processing and Networking (WiSPNET)*, 561–566. <https://doi.org/10.1109/WiSPNET45539.2019.9032817>
- 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>
- Leonardi, L., Battaglia, F., & Lo Bello, L. (2019). RT-LoRa: A Medium Access Strategy to Support Real-Time Flows Over LoRa-Based Networks for Industrial IoT Applications. *IEEE Internet of Things Journal*, *6*(6), 10812–10823. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2019.2942776>
- Ma, Y.-W., & Chen, J.-L. (2018). Toward intelligent agriculture service platform with lora-

based wireless sensor network. *2018 IEEE International Conference on Applied System Invention (ICASI)*, 204–207.

Maila, B. R. V., Quinatoa-Arequipa, E., Javier-Guaña, E., & Muirragui-Irrazábal, V. (2019). Performance of wireless links based on the 802.11AC protocol: Ibarra case study - Ecuador. *2019 8th International Conference On Software Process Improvement (CIMPS)*, 1–8. <https://doi.org/10.1109/CIMPS49236.2019.9082419>

Migabo, E., Djouani, K., Kurien, A., & Olwal, T. (2017). A comparative survey study on LPWA networks: LoRa and NB-IoT. *Proceedings of the Future Technologies Conference (FTC), Vancouver, BC, Canada*, 29–30.

Miles, B., Bourenane, E. B., Boucherkha, S., & Chikhi, S. (2020). A study of LoRaWAN protocol performance for IoT applications in smart agriculture. *Computer Communications*, 164, 148–157. <https://doi.org/10.1016/J.COMCOM.2020.10.009>

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>

Ratasuk, R., Vejlgard, B., Mangalvedhe, N., & Ghosh, A. (2016). NB-IoT system for M2M communication. *2016 IEEE Wireless Communications and Networking Conference*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/WCNC.2016.7564708>

Razfar, M., Castro, J., Labonte, L., Rezaei, R., Ghabrial, F., Shankar, P., Besnard, E., & Abedi, A. (2013). Wireless network design and analysis for real time control of launch vehicles. *IEEE International Conference on Wireless for Space and Extreme Environments*, 1–2. <https://doi.org/10.1109/WiSEE.2013.6737574>

Salesforce. (2022). 2022-08-21. https://semtech.my.salesforce.com/sfc/p/#E0000000JeIG/a/2R0000001Rbr/6EfVZUorrpoKffvaF_Fkpgp5kzjiNyiAbqcpqh9qSjE

Sanchez-Iborra, R., Sanchez-Gomez, J., Ballesta-Viñas, J., Cano, M.-D., & Skarmeta, A. F. (2018). *Performance Evaluation of LoRa Considering Scenario Conditions*. <https://doi.org/10.3390/s18030772>

Shafi, U., Mumtaz, R., García-Nieto, J., Hassan, S. A., Ali, S., Zaidi, R., & Iqbal, N. (2019). *Precision Agriculture Techniques and Practices: From Considerations to Applications*. <https://doi.org/10.3390/s19173796>

Singh, R. K., Aernouts, M., De Meyer, M., Weyn, M., & Berkvens, R. (2020). *Leveraging*

LoRaWAN Technology for Precision Agriculture in Greenhouses.
<https://doi.org/10.3390/s20071827>

Sinha, R. S., Wei, Y., & Hwang, S.-H. (2017). A survey on LPWA technology: LoRa and NB-IoT. *Ict Express*, 3(1), 14–21.

Tao, W., Zhao, L., Wang, G., & Liang, R. (2021). Review of the internet of things communication technologies in smart agriculture and challenges. *Computers and Electronics in Agriculture*, 189, 106352.
<https://doi.org/10.1016/J.COMPAG.2021.106352>

Valente, A., Silva, S., Duarte, D., Pinto, F. C., & Soares, S. (2020). *Low-cost lorawan node for agro-intelligence iot.* <https://doi.org/10.3390/electronics9060987>

Widyawan Prakosa, S., Faisal, M., Adhitya, Y., Leu, J.-S., Köppen, M., & Avian, C. (2021). *Design and Implementation of LoRa Based IoT Scheme for Indonesian Rural Area.*
<https://doi.org/10.3390/electronics10010077>

Xu, J., Gu, B., & Tian, G. (2022). Review of agricultural IoT technology. *Artificial Intelligence in Agriculture*, 6, 10–22. <https://doi.org/10.1016/J.AIIA.2022.01.001>

Zhang, X., Zhang, M., Meng, F., Qiao, Y., Xu, S., & Hour, S. (2019). A Low-Power Wide-Area Network Information Monitoring System by Combining NB-IoT and LoRa. *IEEE Internet of Things Journal*, 6(1), 590–598.
<https://doi.org/10.1109/JIOT.2018.2847702>