



## Aplicación de tecnologías inalámbricas al monitoreo climatológico en la cuenca del Río Paute

### Application of wireless technologies to climate monitoring in the Paute River basin

**Andres Vazquez-Rodas**

Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones, Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador  
andres.vazquezr@ucuenca.edu.ec

**Fabian Astudillo-Salinas**

Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones, Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador  
fabian.astudillos@ucuenca.edu.ec

**Luis I. Minchala**

Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones, Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador  
ismael.minchala@ucuenca.edu.ec

doi: <https://doi.org/10.36825/RITI.09.17.009>

Recibido: Octubre 21, 2020

Aceptado: Enero 19, 2021

**Resumen:** El Programa para el Manejo del Agua y Suelo (PROMAS) de la Universidad de Cuenca, realiza investigación y consultoría en el campo de monitoreo y conservación de recursos hídricos. Dicho programa requiere principalmente el monitoreo de varias variables mediante la utilización de estaciones meteorológicas. Desde sus inicios, el programa ha desplegado alrededor de 130 estaciones en un área de interés geográfica extensa, que comprende desde el sector del Cajas en la provincia del Azuay hasta la provincia del Cañar. Las estaciones meteorológicas guardan las variables de interés en su memoria interna y por tanto, la obtención de los datos recopilados por los distintos sensores para su análisis requiere el desplazamiento del personal hacia los sitios, que en su mayoría son de difícil acceso y por tanto se hacen con una periodicidad de entre 30 y 45 días. En este contexto, el presente artículo describe los avances de un proyecto en curso que tiene como principal objetivo el de dotar a las estaciones meteorológicas con la capacidad de transmisión inalámbrica de los datos recopilados por los sensores en tiempo real hacia el centro de datos del Promas ubicado en el campus de la Universidad de Cuenca.

**Palabras clave:** *Redes Inalámbricas de Sensores, LoRa, ZigBee, Monitoreo Meteorológico, Registradores de Datos, LoRaWAN.*

**Abstract:** The program for the management of the water and soil (PROMAS) is a research department of the University of Cuenca. It focuses on the monitoring and conservation of the water sources and natural resources. Among others, such program mainly requires the monitoring of several variables by means of a set of hydro-

meteorological stations. From its beginning, the program has deployed around 130 stations in an extensive geographic area of interest, ranging from the Cajas sector in the province of Azuay to the province of Cañar. Currently, the meteorological stations stores the variables of interest in their internal memory. Then, the analysis of the collected data requires the physical displacement of the Promas staff to the different sites. Due to the fact that most of the remote sites are of difficult access, the personal obtain the information with a periodicity of around 30 and 45 days. In this context, this paper describes the work on progress whose main objective is to provide to the meteorological stations with the wireless transmission capacity of the data collected by the sensors to the Promas data center in real time.

**Keywords:** *Wireless Sensor Networks, LoRa, ZigBee, Environmental Monitoring, Hydro-Meteorological Stations, LoRaWAN,*

## 1. Introducción

En la actualidad, la investigación científica en varias áreas del conocimiento requiere del monitoreo permanente de ciertos fenómenos físicos y/o recursos naturales. Para realizar el monitoreo de estos fenómenos/recursos de interés se utilizan principalmente registradores de datos especiales, que tienen la capacidad de tomar medidas o muestras de los parámetros que describen las variables de interés. La información recopilada por los diversos sensores que componen los registradores de datos generalmente es almacenada en la memoria interna del dispositivo, que comúnmente es de una capacidad limitada. En muchos casos, como en el despliegue de estaciones hidro-meteorológicas, por ejemplo, los dispositivos de monitoreo se encuentran distribuidos a lo largo de un área geográficamente extensa y de difícil acceso.

El Programa para el Manejo del Agua y Suelo (PROMAS) de la Universidad de Cuenca, un referente en Ecuador en investigación del área de recursos y hídricos, cuenta con alrededor de 130 estaciones climatológicas distribuidas en un área geográfica extensa que comprende la cuenca del río Paute, desde el sector del Cajas en la provincia del Azuay, hasta la provincia del Cañar. Cada una de estas estaciones climatológicas, dispone de un conjunto de sensores que miden información de diferentes parámetros de interés, como por ejemplo sensores de nivel de agua y pluviómetros. A pesar de la fuerte inversión realizada por el Promas para implementar esta red monitoreo hidro-meteorológico, la transmisión de información entre estas estaciones y el centro de datos se realiza de manera manual. Es decir, personal del Promas debe desplazarse y recorrer físicamente una a una las estaciones para descargar los datos de cada uno de los sensores en un medio de almacenamiento portable. Este esquema es costoso, y debido a la escasez de personal para esta tarea, el tiempo de barrido (latencia) es importante, dado que las estaciones son visitadas aproximadamente una vez al mes. En caso de no cumplir este proceso, y debido a la capacidad reducida de los dispositivos de almacenamiento en las estaciones, puede existir incluso la pérdida de la información almacenada.

Es importante recalcar que, debido a esta capacidad de almacenamiento limitada de los sensores, los datos almacenados en su memoria interna requieren ser transmitidos o copiados hacia un dispositivo externo para su procesamiento y análisis. Entre las opciones para la copia/extracción de los datos están: i) la actual transmisión manual, en la que una persona visita cada estación, descarga los datos desde los dispositivos de monitoreo, y los lleva, a la central de monitoreo, utilizando cualquier método de almacenamiento; ii) una posible transmisión alámbrica, en la que se cuenta con una red basada en medios de comunicación guiados, tales como cable telefónico, fibra óptica, etc., que conecte los diferentes sensores con la central de monitoreo, muy difícil de alcanzar en estos casos debido a ubicación remota de los sitios y el costo que implicaría dicho despliegue y; iii) la transmisión inalámbrica de los datos, en la cual la conexión de los diferentes sensores con la central de monitoreo se realiza a través de medios de comunicación no guiado, tales como microonda, satélite, etc. Como se ha mencionado, los dos primeros métodos de copia/transmisión de datos no son los más adecuados debido a que muchos de los sensores están ubicados remotamente en los páramos, sitios montañosos y zonas geográficas de difícil acceso, complicando el acceso periódico para la descarga manual de los datos y el costo que involucraría el despliegue y mantenimiento de una red basada en medios guiados. El diseño e implementación de una red inalámbrica es evidentemente la mejor opción para la interconexión de sensores con la central de monitoreo, debido a su flexibilidad, escalabilidad y menor costo.

El proyecto en curso y descrito en el presente artículo se centra por tanto en desarrollar una arquitectura de red inalámbrica que sea capaz de minimizar la latencia de la información generada en los sensores de las estaciones

meteorológicas del Promas. Esto con el objetivo de disponer de información en tiempo real para su utilización en el análisis, la gestión de riesgos, generación de alertas tempranas, y para contribuir a la conservación de las fuentes y cuencas hídricas de la región austral del Ecuador.

El resto del documento está estructurado de la siguiente manera: la Sección 2 presenta el estado del arte, destacando trabajos que han motivado y han inspirado la presente propuesta. En la Sección 3 se describe la Metodología utilizada en el trabajo. La Sección 4 presenta los resultados alcanzados en el proyecto. Finalmente, en la Sección 6 se incluyen las principales conclusiones y trabajos futuros.

## 2. Estado del arte

Las estaciones meteorológicas registran información utilizando sensores internos o externos. Los sensores miden diferentes tipos de variables meteorológicas. Estas variables pueden servir por ejemplo para la predicción del clima o para el análisis de riesgos. Sin embargo, para obtener el máximo provecho de los datos registrados por las estaciones, es necesario que estos estén disponibles en tiempo real. Por ejemplo: el proyecto SensorScope [1] persigue este objetivo haciendo uso de las redes de sensores inalámbricos (WSN, Wireless Sensor Networks), estas redes son muy versátiles ya que pueden auto organizarse y permiten un ruteo con varios saltos, para la entrega de información a su destino.

Otro proyecto que hace uso de las WSNs para el monitoreo ambiental es LUSTER [2] que propone sensores ambientales destinados a entornos remotos y hostiles. Se propone una arquitectura jerárquica que incluye una capa de sensado basado en una capa MAC TDMA, una capa de almacenamiento distribuido confiable y una capa superior de red tolerante a retardos, que permite incrementar la confiabilidad de la red cuando las conexiones a las puertas de enlace y servidores se pierde.

Por su parte, en [3], los autores utilizan una WSN para el monitoreo de un volcán activo. Los nodos se basan en radios CC2420 IEEE 802.15.4 operando a 2.4 GHz y utilizan multi-salto. La puerta de enlace del sistema dispone de un modem FreeWave para la transmisión de los datos hacia la ubicación del observatorio principal.

En [4] se describe la infraestructura completa y los servicios de una red de sensores para el monitoreo de cuencas hídricas. El proyecto es manejado por el Departamento de Energía de Cuencas Hidrográficas de Estados Unidos y se enfoca en el Río del Este en Colorado. El trabajo resalta los retos y los potenciales problemas y soluciones que implica la adquisición, mantenimiento, e integración de los diversos datos de las redes de sensores en las cuencas hídricas.

En [5] se propone un marco de referencia jerárquico para un sistema de monitoreo ambiental distribuido basado en redes de bajo consumo y largo alcance (LPWANs *Low Power Wide Area Networks*), que busca optimizar el consumo de energía y las capacidades de los dispositivos finales. La arquitectura incluye una capa de sensado basada en terminales LoRa, una capa de transmisión y un centro de control. En la capa de sensado se incluye un nivel con la propuesta del planificador que permite reducir el consumo energético del sistema. Los autores afirman que alcanzan un incremento del 136.22% en la vida de las baterías mediante el planificador basado en el modelo de sustituto.

En [6] se propone un sistema integrado de gestión y monitoreo medioambiental basado en una capa de percepción de Internet de las Cosas, una capa de red que realiza las funciones básicas de transmisión de la información y permite la interconexión de distintos sistemas y plataformas, incluyendo para esto redes de acceso y de transporte. Finalmente, una capa de aplicación es responsable de las funciones de almacenamiento, organización, procesamiento y compartición de la información recopilada por los diversos sensores. El sistema se evalúa en Xinjiang, región ubicada al noroeste de China.

En [7] se presenta un estudio sobre tecnologías de monitoreo ambiental y control en un sistema de internet de las cosas inteligente. Se propone igualmente un sistema jerárquico que incluye una capa de percepción inteligente que obtiene y transmite los datos a un servidor de nivel de aplicación a través de una capa de comunicación de red y una capa de aplicación que ejecuta el análisis de los datos.

Un trabajo previo realizado para el Promas proponía el uso de una red móvil de segunda generación para la transmisión inalámbrica de los datos de las estaciones remotas, sin embargo, el sistema no cumplió sus cometidos principalmente porque la cobertura de los operadores móviles en las zonas de interés es mayoritariamente limitado y nulo en muchos de los emplazamientos. Adicionalmente, otro problema es el alto consumo de energía de los dispositivos basados en tecnologías como GSM y GPRS y por tanto su continua necesidad de exposición a

radiación solar de los paneles solares utilizados para recargar las baterías de los dispositivos. Evidentemente, una solución más escalable para el sistema de monitoreo es la implementación de una red inalámbrica de sensores que no dependa exclusivamente de la cobertura móvil celular sino que se complemente con la misma.

### 3. Metodología y descripción del escenario

El presente trabajo pretende diseñar e implementar una arquitectura de comunicaciones inalámbricas para la transmisión de datos entre las estaciones hidro-meteorológicas remotas y los servidores centrales del Promas, utilizando dispositivos de bajo costo y propendiendo la eficiencia energética. Para esto se utilizará el método científico, con la aplicación de un desarrollo experimental al término de cada fase.

Las estaciones de monitoreo y los registradores de datos del Promas sobre las cuales se pretende actuar incluyen sensores de lluvia (pluviómetros); detectores de nivel de agua basados en sensores de presión y temperatura; estaciones climatológicas que fundamentalmente registran temperatura, humedad y viento; sensores de viento que miden la componente horizontal del viento y la dirección del mismo. Las estaciones están desplegadas en un área geográficamente extensa y principalmente en las fuentes hídricas de la zona sur del Ecuador, algunas de ellas en el parque nacional El Cajas, declarado como humedal de importancia internacional en 2002 y en 2014 la UNESCO lo declaró como una de las áreas núcleo de la Reserva de Biósfera Macizo El Cajas (Figura 1).



**Figura 1.** Ejemplos de ubicación de las estaciones hidro-meteorológicas del Promas.

De acuerdo a las necesidades del personal del Promas que lleva a cabo el análisis de los datos obtenidos de las estaciones meteorológicas es importante mencionar que la tasa de transmisión requerida por las estaciones es baja. Por tanto, para este tipo de aplicación se busca optimizar el consumo energético de los dispositivos y por tanto es importante controlar el tiempo en el que el interfaz de radio está activo para transmisión y recepción. De acuerdo a esto, la periodicidad planteada para la transmisión de datos es de 5 minutos pero puede ajustarse dinámicamente a tiempos superiores en caso de requerirlo. El consumo energético debe mantenerse lo más bajo posible.

Inicialmente la propuesta contemplaba el uso de nodos sensores basados en la tecnología ZigBee, puertas de enlace implementadas en el sistema embebido Raspberry Pi y un enlace ascendente basado en WiFi complementado con enlaces de microondas hacia el centro de datos. El diagrama general del diseño de la versión preliminar de los dispositivos sensores se muestra en la Figura 2. La evaluación de esta primera versión de prototipo evidenció un consumo energético muy elevado. Además del limitado alcance de los nodos sensores basados en IEEE 802.15.4.

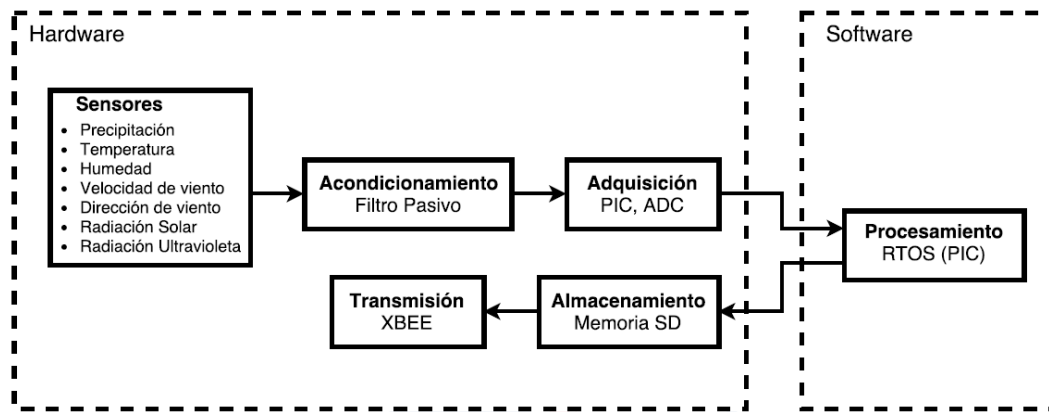


Figura 2. Esquema general de dispositivos registradores de datos basados en tecnología ZigBee.

Con el avance y desarrollo de las tecnologías de comunicación de largo alcance y bajo consumo, LPWAN, el diseño de la red se centró en la utilización de la tecnología de capa física LoRa, en conjunto con la arquitectura de red LoRaWAN. La Figura 3 ilustra el esquema general de red de transmisión de datos propuesto en las siguientes versiones de la propuesta.

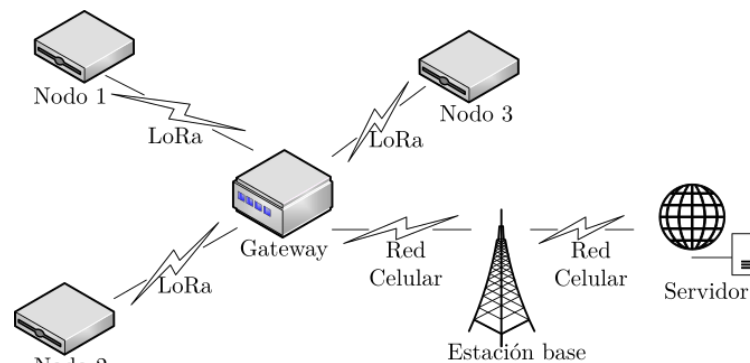


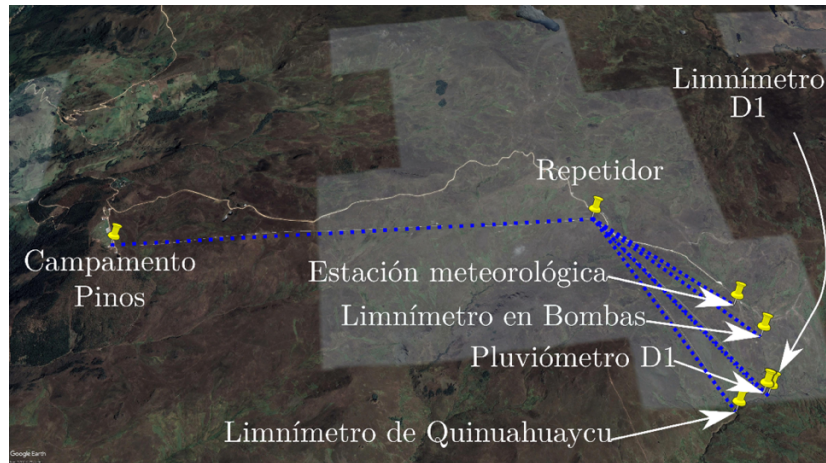
Figura 3. Esquema general de transmisión de datos basado en la tecnología LoRa.

#### 4. Resultados

Como se ha mencionado anteriormente, las estaciones meteorológicas están ubicadas en zonas remotas que carecen de energía eléctrica y por tanto la propuesta debe tener su alimentación propia, y deben ser energéticamente eficientes. Debido a la cantidad de estaciones desplegadas, el costo de la solución también debe estar limitado. Considerando que cualquier solución de red inalámbrica de sensores incluye una puerta de enlace, una de las primeras tareas llevadas a cabo dentro del presente proyecto fue la optimización del consumo energético de un computador Raspberry Pi con el fin de que éste pueda ser utilizado eficientemente como puerta de enlace de la red de sensores. En este sentido, se realizó un estudio comparativo del comportamiento y consumo de energía del Raspberry bajo diferentes escenarios y configuraciones de hardware y software. Se encontró que la distribución de sistema operativo Raspbian Lite resultó ser la más eficiente. Las configuraciones de velocidad de reloj por defecto no son las más eficientes desde el punto de vista energético y por tanto, se ha evidenciado que las configuraciones de frecuencias de operación de la SDRAM a 100 MHz, el CPU a 100 MHz y del GPU a 100 MHz, son más viables para reducir el consumo. El apagado de los componentes de hardware que no son requeridos en el sistema contribuye también a una reducción del consumo de energía. Juntando estas optimizaciones, se ha logrado un ahorro en el consumo de energía de alrededor del 20% en comparación con la configuración por defecto del dispositivo. Los detalles de este trabajo se encuentran reportados en [8].

En base al esquema general de la Figura 3 con su topología en estrella, y con la información del perfil de terreno de las estaciones piloto se establece que el punto más cercano a las estaciones con acceso a Internet a través de GPRS está disponible en el emplazamiento Los Pinos. La distancia promedio entre las distintas estaciones y el sitio Los Pinos es de 5.33 Km. A pesar de que los fabricantes de los dispositivos LoRa reportan rangos de cobertura

teóricos de entre 10 y 20 Km, una evaluación experimental revela que, debido a las condiciones adversas de los emplazamientos y la falta de línea de vista entre las estaciones y la ubicación de la puerta de enlace en el campamento Los Pinos, no sea posible establecer un enlace de un solo salto desde las estaciones hacia la puerta de enlace LoRa. Por esta razón, se ha añadido un nodo repetidor ubicado a una distancia promedio de 1.68 Km de las estaciones y a una distancia de 4 Km de la ubicación de la puerta de enlace en Los Pinos pero con línea de vista. La Figura 4 muestra la topología de red descrita y utilizada para el despliegue de la red de sensores basada en LoRa.



**Figura 4.** Topología de la red inalámbrica de sensores basada en la tecnología LoRa.

Para el caso de las estaciones de monitoreo limnigráfico de nivel de agua, se ha desarrollado un prototipo de registrador de datos basado en el microcontrolador LoPy4 de Pycom. El sistema propuesto se compone de 3 subsistemas principales (Figura 5): el subsistema de fuente de energía; el registrador de datos que incluye un reloj en tiempo real, acondicionamiento de la señal, la adquisición de datos, una unidad de procesamiento, el almacenamiento de los datos y la transmisión de los datos; y finalmente el subsistema sensor utilizado para medir el nivel de agua.

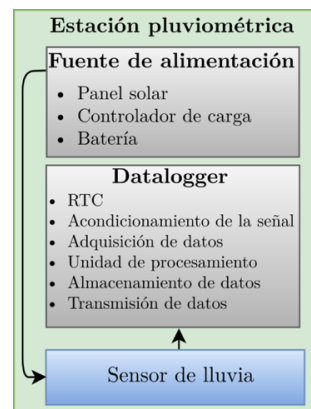
La configuración del nodo se realiza a través de una red WiFi. El sistema embebido LoPy4 incluye un chipset de doble núcleo y dispone de cuatro tecnologías inalámbricas distintas (LoRa, Sigfox, WiFi, Bluetooth). La comunicación entre la estación limnigráfica y la puerta de enlace se realiza mediante la tecnología LoRa a una frecuencia de 915 MHz. La puerta de enlace incluye un módulo GPRS para permitir el enlace ascendente hacia el servidor del centro de datos. La evaluación del consumo energético del nodo muestra un consumo promedio alrededor de 59.81 mW. Debido a las condiciones ambientales adversas de los emplazamientos y a la presencia constante de niebla, solamente se dispone de pocas horas de luz solar al día. El sistema utiliza una batería de ácido sólido de 7200 mAh – 12 V. Con estas consideraciones y debido a que la fuente de alimentación incluye un panel solar de 30 W, se estima una recarga teórica de batería cada 45 días. Los detalles de este prototipo están disponibles en [9].

Siguiendo la misma estructura anterior, el prototipo de registrador de datos para el monitoreo de intensidad de lluvia se muestra en la Figura 6. El sistema se basa igualmente en el sistema embebido LoPy4 de Pycom y la comunicación LoRa se realiza a través del módulo integrado SX1272 de Semtech, operando en la banda de 915 MHz. El análisis del consumo energético de este prototipo revela un consumo promedio de 70.69 mW, lo cual implica un ciclo de recarga de batería de alrededor de 38 días mediante el panel solar. El diseño final del PCB de este registrador de datos se muestra en la Figura 7, los detalles del diseño están disponibles en [10].

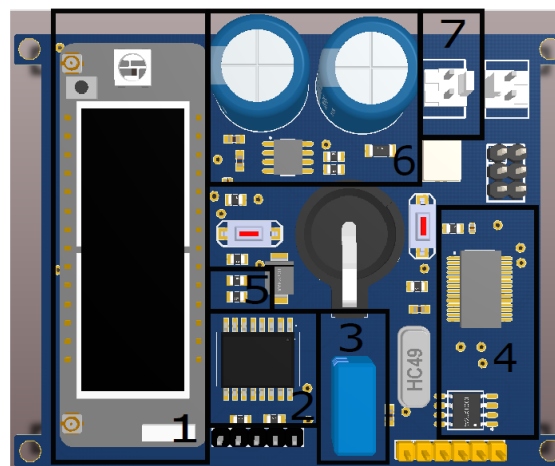




**Figura 5.** Estructura general de una estación limnigráfica con sensor de nivel de agua.



**Figura 6.** Estructura general de una estación pluviométrica con sensor de intensidad de lluvia.



**Figura 7.** Prototipo de registrador de monitoreo de intensidad de lluvia.

## 5. Conclusiones

El proyecto descrito en el presente artículo está enfocado en desarrollar una arquitectura de red capaz de minimizar la latencia de la información generada en los sensores de las estaciones meteorológicas desplegadas en la cordillera de los Andes en las cuencas y fuentes hídricas de la zona sur del Ecuador. El cambio climático, la explotación irracional de los recursos naturales y los efectos de la minería ilegal en la zona son algunas de los problemas que pueden detectarse a través del análisis de los datos hidro-meteorológicos disponibles en tiempo real. La información de los sensores de nivel de agua y de intensidad de lluvia disponibles en tiempo real puede contribuir además con la reducción del tiempo de reacción de la gestión de riesgos y prevención de inundaciones en ciudades como Cuenca atravesada por sus 4 ríos y con experiencias previas y continuas de desbordamiento de los mismos. La evolución de las tecnologías inalámbricas de bajo consumo y largo alcance como LoRa y su arquitectura

LoRaWAN han evidenciado su utilidad y mejores prestaciones en comparación con tecnologías de WSN anteriores en términos de bajo consumo, alcance y escalabilidad. Sobre todo en los emplazamientos remotos y en los climas hostiles como los entornos de interés del presente trabajo. Las evaluaciones iniciales en campo de los primeros prototipos muestran resultados satisfactorios y motivan la continuación del trabajo. Los trabajos futuros incluyen la integración del sistema, la mejora y optimización de los prototipos iniciales en base a los resultados de la evaluación. La evaluación de la carga y operación de la red con una mayor cantidad de nodos operativos. El despliegue completo y evaluación de la arquitectura LoRaWAN completa con todas sus potencialidades.

## 6. Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por la Dirección de Investigación de la Universidad de Cuenca (DIUC) y el Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones.

## 7. Referencias

- [1] Ingelrest, F., Barrenetxea, G., Schaefer, G., Vetterli, M., Couach, O., Parlange, M. (2010). SensorScope: Application-Specific Sensor Network for Environmental Monitoring. *ACM Transactions Sensor Networks*, 6 (2), 1-32. doi: <https://doi.org/10.1145/1689239.1689247>
- [2] Selavo, L., Wood, A. D., Cao, Q., Sookoor, T., Liu, H., Srinivasan, A., Wu, Y., Kang, W., Stankovic, J. A., Young, D., Porter, J. (2007). LUSTER: Wireless Sensor Network for Environmental Research. Trabajo presentado en *5th International Conference on Embedded Networked Sensor Systems*, Sydney, Australia. doi: <https://doi.org/10.1145/1322263.1322274>
- [3] Werner-Allen, G., Lorincz, K., Welsh, M., Marcillo, O., Johnson, J., Ruiz, M., Lees, J. (2006). Deploying a wireless sensor network on an active volcano. *IEEE Internet Computing*, 10 (2), 18–25. doi: <https://doi.ieeecomputersociety.org/10.1109/MIC.2006.26>
- [4] Varadharajan, C., Agarwal, D. A., Brown, W., Burrus, M., Carroll, R. W. H., Christianson, D. S., Dafflon, B., Dwivedi, D., Enquist, B. J., Faybishenko, B., Henderson, A., Henderson, M., Hendrix, V. C., Hubbard, S. S., Kakalia, Z., Newman, A., Potter, B., Steltzer, H., Versteeg, R., Williams, K. H., Wilmer, C., Wu, Y. (2019). Challenges in Building an End-to-End System for Acquisition, Management, and Integration of Diverse Data From Sensor Networks in Watersheds: Lessons From a Mountainous Community Observatory in East River, Colorado. *IEEE Access*, 7, 182796–182813. doi: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2957793>
- [5] Tong, J., Cui, M., Tian, M., He, Y. (2018). Surrogate Model-Based Energy-Efficient Scheduling for LPWA-Based Environmental Monitoring Systems. *IEEE Access*, 6, 59940–59948. doi: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2874948>
- [6] Fang, S., Xu, L. D., Zhu, Y., Ahati, J., Pei, H., Yan, J., Liu, Z. (2014). An Integrated System for Regional Environmental Monitoring and Management Based on Internet of Things. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 10 (2), 1596–1605. doi: <https://doi.org/10.1109/TII.2014.2302638>
- [7] Lu, T., Chen, X., Bai, W. (2019). Research on environmental monitoring and control technology based on intelligent Internet of Things perception. *The Journal of Engineering*, 2019 (23), 8946–8950. doi: <https://doi.org/10.1049/joe.2018.9154>
- [8] Astudillo-Salinas, F., Barrera-Salamea, D., Vazquez-Rodas, A., Solano-Quinde, L. (2016). Minimizing the power consumption in Raspberry Pi to use as a remote WSN gateway. Trabajo presentado en *8th IEEE Latin-American Conference on Communications (LATINCOM)*, Medellín, Colombia. doi: <https://doi.org/10.1109/LATINCOM.2016.7811590>
- [9] Guaman, J., Astudillo-Salinas, F., Vazquez-Rodas, A., Minchala, L. I., Placencia, S. (2018). Water Level Monitoring System Based on LoPy4 Microcontroller with LoRa technology. Trabajo presentado en *IEEE XXV International Conference on Electronics, Electrical Engineering and Computing (INTERCON)*, Lima, Perú. doi: <https://doi.org/10.1109/INTERCON.2018.8526436>
- [10] Placencia, S., Astudillo-Salinas, F., Vazquez-Rodas, A., Minchala, L. I., Guaman, J. (2019). Rainfall Intensity Datalogger System. LoPy4-Based Design and Implementation. Trabajo presentado en *16th ACM International Symposium on Performance Evaluation of Wireless Ad Hoc, Sensor, & Ubiquitous Networks (PE-WASUN)*, Miami Beach FL, USA. doi: <https://doi.org/10.1145/3345860.3361513>