



**UNIVERSIDAD DEL AZUAY**  
**FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

“Sistema de Alerta Temprana de Riesgo de Inundaciones  
Basado en el Protocolo de Comunicación LoRa.”

**Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:**

**INGENIERO ELECTRÓNICO**

**Autores:**

**DANIEL ESTEBAN ARMIJOS PRIORI**

**JAIME JOSÉ NARVÁEZ GUAYLLAS**

**Director:**

**ING. DANIEL ITURRALDE PIEDRA Ph.D.**

**CUENCA, ECUADOR**

**2020**

# Sistema de Alerta Temprana de Riesgo de Inundaciones Basado en el Protocolo de Comunicación LoRa.

## RESUMEN

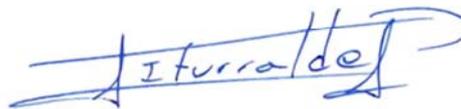
En el presente trabajo se implementa un sistema de alerta temprana de riesgo de inundaciones, usando el protocolo de comunicación LoRa (Long Range), se determina el alcance máximo entre el gateway y el nodo sensor, para lo cual se realizan pruebas de campo ubicando los nodos finales a diferentes distancias del gateway. Además, la alerta y datos pueden ser visualizados en un servidor web.

**Palabras Clave:** *Sistema de alerta temprana, LoRa, Inundaciones.*



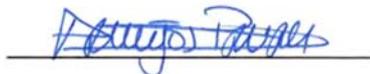
**Ing. Daniel Iturralde Piedra. Ph.D.**

**Coordinador de Carrera**



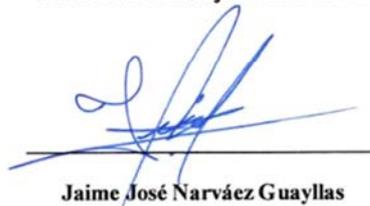
**Ing. Daniel Iturralde Piedra. Ph.D.**

**Director de Trabajo de Titulación**



**Daniel Esteban Armijos Priori**

**Autor**



**Jaime José Narváez Guayllas**

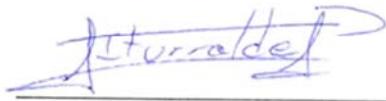
**Autor**

# Early Warning System for Flood Risk Based on the LoRa Communication Protocol.

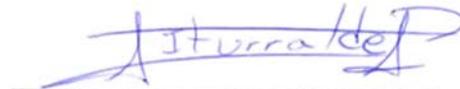
## ABSTRACT

In this work, an early flood risk warning system is implemented using the LoRa (Long Range) communication protocol. The maximum range between the gateway and the sensor node was determined through field tests carried out by locating the end nodes at different distances from the gateway. In addition, the alert and data can be viewed on a web server.

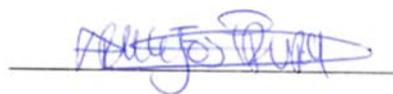
**Keywords:** *Early warning system, LoRa, Floods.*



Ing. Daniel Iturralde Piedra. Ph.D.  
Faculty Coordinator



Ing. Daniel Iturralde Piedra. Ph.D.  
Thesis Director



Daniel Esteban Armijos Priori  
Author



Jaime José Narváez Guayllas  
Author



Translated by  
Ing. Paúl Arpi

# Sistema de Alerta Temprana de Riesgo de Inundaciones Basado en el Protocolo de Comunicación LoRa.

Daniel Esteban Armijos Priori, Jaime José Narváez Guayllas  
Escuela de Ingeniería Electrónica  
Universidad del Azuay  
Cuenca, Ecuador  
dan\_ap29@es.uazuay.edu.ec, jaime.narvaez41@es.uazuay.edu.ec

**Resumen**—En el presente trabajo se implementa un sistema de alerta temprana de riesgo de inundaciones, usando el protocolo de comunicación LoRa (Long Range), se determina el alcance máximo entre el gateway y el nodo sensor, para lo cual se realizan pruebas de campo ubicando los nodos finales a diferentes distancias del gateway. Además, la alerta y datos poden ser visualizados en un servidor web.

**Palabras Clave**—Sistema de alerta temprana, LoRa, Inundaciones.

## I. INTRODUCCIÓN

Actualmente, existen diversas entidades dedicadas al monitoreo de las fuerzas de la naturaleza donde la tecnología juega un rol muy importante a la hora de obtener los parámetros físicos que permiten realizar un diagnóstico en base a estos. La búsqueda de sistemas que permitan cumplir con dicha función de manera rápida y a bajo coste, son una necesidad, debido a que sistemas con estas características pueden ser implementados para prever catástrofes naturales.

La tecnología LoRa es una propuesta para lograr la transmisión de los parámetros obtenidos, debido a su capacidad de transmitir datos a largas distancias y con bajo consumo de energía, además, permite la transferencia de los datos en la nube para la aplicación de internet de las cosas (IoT), que supone una gran reducción en costos con respecto a tecnologías de comunicación móvil.

El sistema propuesto proporciona una alerta temprana para posibles desbordamientos del río Yanuncay de Cuenca. Utilizando tecnología LoRa, se pueden obtener datos sobre varios puntos en una extensión del río, lo suficiente como para poder obtener el comportamiento de éste; así como también, utilizar un servidor en la nube para que los datos puedan ser visualizados en cualquier parte donde exista una conexión a internet. Las lluvias fuertes y repetidas son episodios constantes en la ciudad, esto provoca un aumento considerable del nivel de los ríos que cruzan por distintos sectores de la misma, por ende, una inundación puede provocar grandes catástrofes, y la implementación de un sistema de alerta temprana que ayude a tener una rápida respuesta ante dichos eventos, sería de vital importancia.

El caudal de los ríos en la ciudad de Cuenca varía mucho dependiendo del mes, el promedio del caudal en el mes de mayo del río Yanuncay es de 13 m<sup>3</sup>/s, un aumento de caudal implica un aumento significativo nivel del río [1].

En la actualidad es necesario contar con un sistema autónomo, capaz de alertar de forma rápida y específica, que cubra zonas conocidas por los desbordamientos y que represente un modo de prevenir o controlar rápidamente este tipo de emergencias, teniendo presente los aspectos económicos, sociales y ambientales que conllevan estas catástrofes.

Existen varios artículos que se encuentran relacionados con el tema que se propone en este trabajo, como se muestra a continuación:

En [2], se implementa un sistema de información geográfica (GIS) encargado de monitorear la calidad de las aguas residuales, la tecnología propuesta es un sistema LoRa para la transmisión de los datos de los sensores; los parámetros considerados para determinar la calidad del agua fueron la temperatura, turbiedad y pH, los datos obtenidos por los sensores son transmitidos desde el nodo sensor al gateway y posteriormente subidos a un servidor en la nube. Los resultados demostraron una gran efectividad del sistema y una gran precisión. En la Fig. 1 se aprecia la ubicación geográfica de los tres nodos sensores, el diagrama de bloques que se observa en la Fig. 2 es la representación de todo el sistema desarrollado.



Fig. 1 Aplicación basada en GIS mostrando la posición de las plantas.

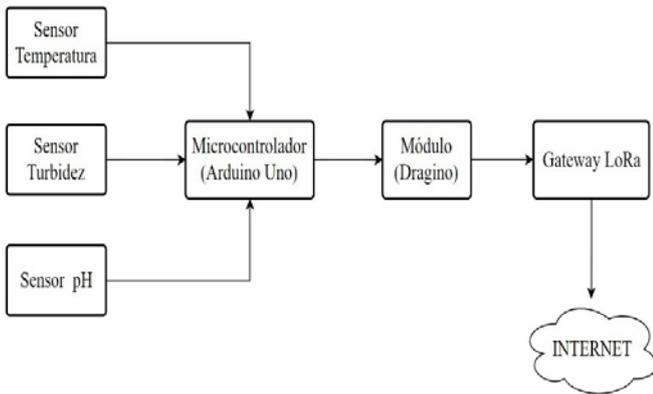


Fig. 2 Diseño de hardware implementado.

En [3] se implementó un sistema de monitoreo de los desechos utilizando LoRa, poca potencia fue necesaria para cubrir una gran distancia de rango de comunicación. De la misma manera que el anterior, los parámetros a medir fueron el nivel de pH, turbidez y temperatura, la interfaz usada para los servicios en la nube fue ThingSpeak. En la Fig. 3 se observa el diagrama de bloques del nodo sensor el cual tuvo un bajo valor de error en las mediciones, lo cual permite obtener pronósticos muy confiables. El alcance máximo obtenido fue de 200 m en línea de vista directa entre el nodo sensor y el gateway y de 100 m dentro la zona urbana.

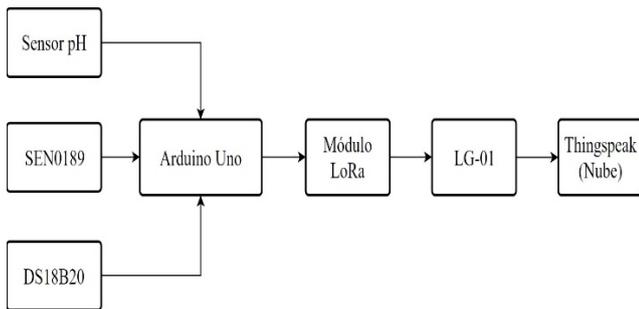


Fig. 3 Diagrama de bloques del sistema.

En [4] se realizó el monitoreo del pH, turbidez, conductividad eléctrica (EC), oxígeno disuelto (DO), nitrato, arsénico, fluoruro del agua. Los dispositivos LoRa con sus sensores están colocados en 200 tanques de agua usando tarjetas de desarrollo modelo RN2903 de Microchip, llegando así a determinar de manera satisfactoria que la comunicación en un medio boscoso y montañoso es ideal para el protocolo LoRa ya que en pruebas de campo se obtuvo como máximo una distancia de 2.5 km de área de cobertura del Gateway. En la Fig. 4, se observa la propuesta para la ubicación de los 250 nodos LoRa, que abarcan un total de 324 Km<sup>2</sup>. Luego de pruebas, concluyeron que con 16 dispositivos LoRa se puede abarcar toda el área. El nodo sensor y gateway ocupado en el desarrollo de esta publicación se observan en la Fig. 5.

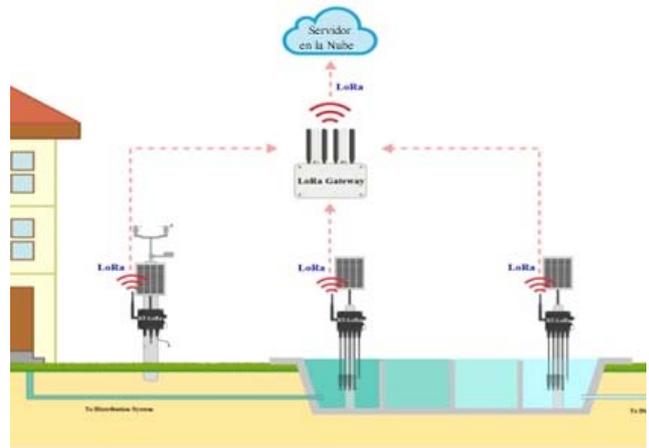


Fig. 4 Red de monitoreo basado en LoRa.



Fig. 5 Tarjetas microchip de desarrollo.

En [5] se diseñó e implementó un sistema de riego controlado por una aplicación móvil que está conectada a una red de sensores comunicados con protocolo LoRa. En la Fig. 6, se aprecia la bomba que está conectada a un generador hidroeléctrico, el cual produce la energía para cargar una batería de 4800 mAh, luego de realizar las pruebas llegaron a obtener una comunicación bastante satisfactoria entre el gateway y el nodo de irrigación hasta una distancia de 8 km.

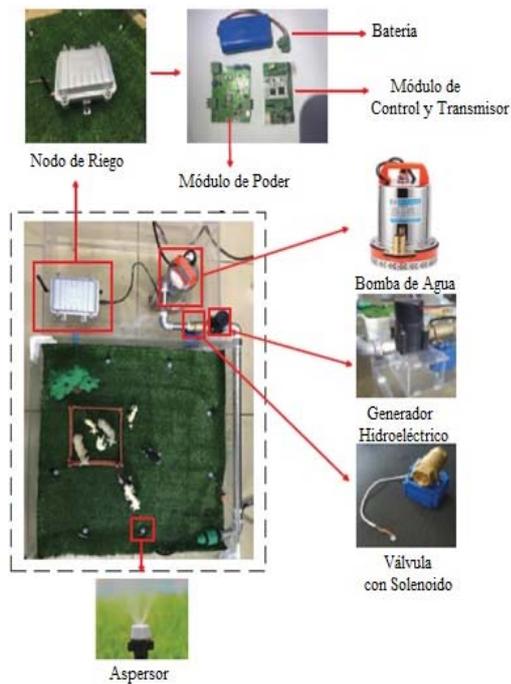


Fig. 6 Implementación del sistema de riego.

En [6] se publicó su investigación que presentaba el resultado de la unión de tecnologías de redes amplias de baja potencia (LPWAN) y PoC, implementado en el contexto de ciudades inteligentes, el monitoreo se realizó al río Liffey en el centro de Dublín. Se desplegó durante 8 meses un flotador que cuenta con un transceptor LPWAN basado en LoRa y un módem 3G para respaldo, incorporando varios sensores, los datos capturados de temperatura y profundidad se aprecian en la Fig. 7 y Fig. 8, además se adquirió humedad y presión barométrica, con la unidad GPS se obtiene ubicación y marca de tiempo y desde el sistema se adquiere la tensión de la batería.

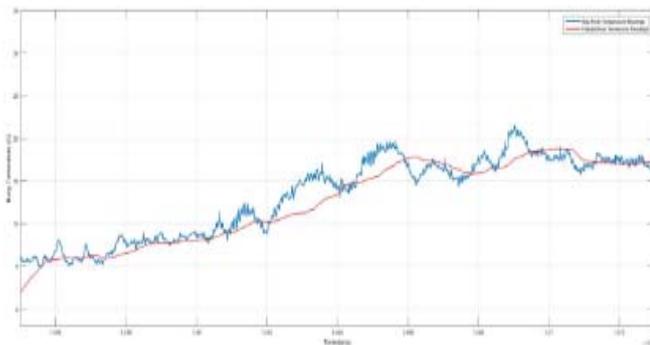


Fig. 7 Evolución de la temperatura del río en 8 meses.

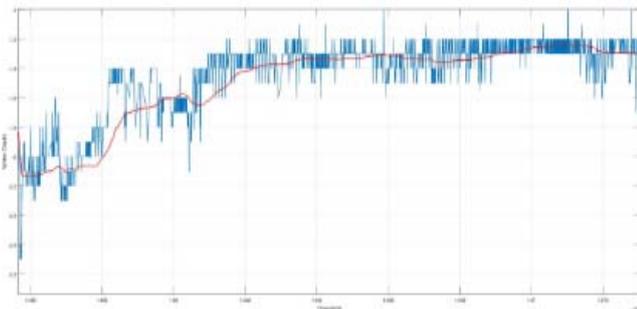


Fig. 8 Evolución de la profundidad del río en 8 meses.

El sistema propuesto en este trabajo cuenta con tres sensores de distancia ultrasónicos encargados de medir el nivel del agua fluyendo en el río, estos serán ubicados a una cierta altura sobre el nivel del mismo, la alimentación será mediante paneles fotovoltaicos. Como se indica en la Fig. 9, serán colocados en los ríos Yanuncay y Tarqui, 50 m antes del punto de convergencia entre estos, un tercer sensor se ubicará 100 m después de dicho punto y el gateway estará ubicado en la Universidad del Azuay. Las distancias irán aumentando hasta alcanzar una distancia máxima de comunicación entre el nodo sensor y el gateway.

Los datos obtenidos por los nodos sensores, serán almacenados en una base de datos a través del gateway, estos serán analizados para poder obtener una alerta temprana ante un desbordamiento inminente.

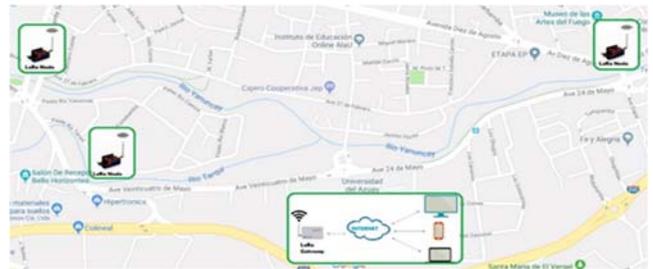


Fig. 9 Diagrama de funcionamiento.

La estructura del presente trabajo es la siguiente: en la sección II se presenta el marco teórico que sirve como soporte del presente trabajo, la sección III describe el software y hardware desarrollado para el sistema propuesto, la sección IV muestra los resultados encontrados, en la sección V se detallan las conclusiones y por último en la sección VI se presentan las referencias.

## II. MARCO TEÓRICO

### A. LoRa

Es una modulación inalámbrica en capa física utilizada para enlaces de comunicación de largo alcance, proviene de sus siglas en inglés "Long Range". Este protocolo se basa en la modulación Chirp Spread Spectrum (CSS) que tiene características similares a la modulación por conmutación de frecuencia FSK, pero con un aumento significativo en el rango de alcance. Esta se desarrolla en base a redes LPWAN las cuales están centradas en el desarrollo de millones de dispositivos previstos para IoT.

La principal ventaja está en la capacidad de largo alcance de la tecnología. Un solo gateway puede cubrir ciudades enteras o cientos de kilómetros cuadrados. El rango depende mayormente del medioambiente o de posibles obstrucciones en el lugar, aun así, LoRa y LoRaWAN tienen un mayor presupuesto de enlace que otras tecnologías estandarizadas.

Sin embargo, una sola tecnología no puede servir para todas las aplicaciones o dispositivos proyectados para IoT. WiFi y Bluetooth de baja potencia (BTLE) son estándares adoptados que sirven a aplicaciones relacionadas con comunicación de dispositivos personales.

La tecnología celular es mayormente requerida para aplicaciones con un alto rendimiento de datos. LPWAN está diseñada para optimizar la vida útil de la batería por varios años y está diseñada para el uso en sensores y aplicaciones con una baja tasa de transmisión de datos a través de largas distancias. En la Fig. 10 se listan algunas características de las distintas tecnologías existentes para la transmisión de datos.

Red de área local Corto alcance Comunicación	Area amplia de baja potencia (LPWAN) Internet de las Cosas	Red celular Tradicional M2M
40%	45%	15%
Estándares bien establecidos en la construcción	Bajo consumo de energía Bajo costo Posicionamiento	Cobertura existente Alta tasa de datos
Vida de la batería Aprovisionamiento Costo de red y dependencias	Alta tasa de datos Estándares emergentes	Autonomía Costo total
Bluetooth 4.0 WiFi	LoRa	GSM 3G H+ 4G

Fig. 10 características de tecnologías de transmisión de datos.

Los factores más importantes en LPWAN son:

- Arquitectura de la red
- Rango de comunicación
- Vida útil de la batería
- Robustez ante la interferencia
- Capacidad de la red
- Seguridad de la red
- Comunicación por una vía vs dos vías
- Variedad de aplicaciones

Como se aprecia en la Fig. 11, el protocolo LoRa es el de mayor rango de alcance, tiene una velocidad de transferencia de datos de 0,3 a 50 kbps, trabaja en las frecuencias de 868 MHz en Europa, 915 MHz en América, y 433 MHz en Asia. [7].



Fig. 11 Rango Protocolo LoRa.

## B. LoRaWAN

Define el protocolo de comunicación y la arquitectura del sistema para la red, este protocolo se enfoca en la vida útil de la batería de un nodo, calidad de servicio y seguridad, las diferentes capas de la arquitectura LoRa se aprecian en la Fig. 12.

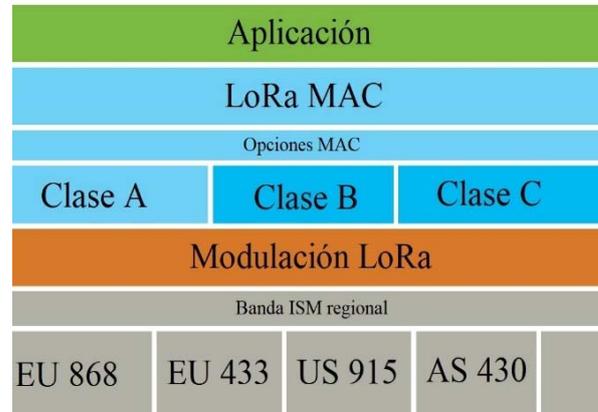


Fig. 12 Protocolo LoRaWAN.

En LoRaWAN los nodos sensores no están asociados con un gateway en específico, los mensajes transmitidos por los nodos sensores son enviados a múltiples gateway y este a su vez, será reenviado hasta el gateway principal [8].

- Duración de la batería

Los nodos sensores son asíncronos, se comunican cuando tienen datos listos para su envío, ya sean programados o controlados por eventos, a esto se lo conoce como el protocolo Aloha, lo que proporciona mayor duración de la batería.

- Seguridad

Se usan dos capas de seguridad: para la red y otra para la aplicación. La seguridad de la red garantiza la autenticidad de los nodos en la red, y en la capa de aplicación se garantiza que el operador de la red no tenga acceso a los datos.

- Capacidad de la Red

Para que una red en estrella de largo alcance sea viable, el gateway debe tener alta capacidad para recibir mensajes de un volumen muy alto de nodos. La alta capacidad de la red se logra utilizando una tasa transferencia de datos adaptativa y mediante el uso de un tranceptor multimodal multicanal en el gateway para que pueda recibir mensajes simultáneos en múltiples canales.

- Arquitectura

Como se observa en la Fig. 13 la topología estrella-de-estrellas es la usada por este protocolo, ya que reduce la complejidad y preserva la vida útil de la batería.

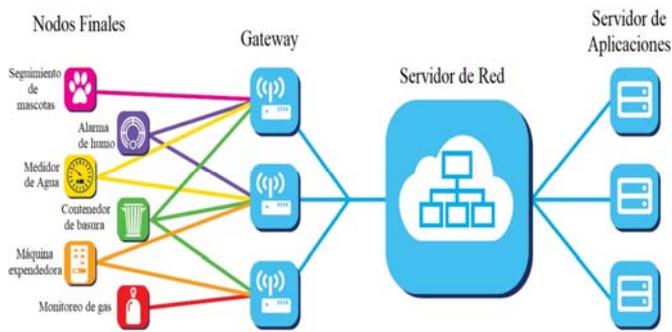


Fig. 13 Topología estrella-de-estrellas.

- Clases de dispositivos finales

Clase A: sensores alimentados por batería, mayor eficiencia energética.

Clase B: actuadores alimentados por batería.

Clase C: actuadores principales, no tienen latencia de comunicación.

- Comparación entre tecnologías LPWAN

Distintos sectores que manejan IoT comparan las opciones de LPWAN tanto desde una comparación técnica como desde una perspectiva de modelo de negocio. Las redes LPWAN se están implementando ahora porque existe un sólido argumento comercial que respalda su implementación inmediata, y el costo de implementar la red en bandas sin licencia es mucho menor al capital que sería con 3G. La Fig. 14 muestra una tabla comparativa de LoRaWAN con respecto a otras tecnologías.

Característica	LoRaWAN	Banda Estrecha	LTE Cat-1	LTE Cat-M	NB-LTE
Modulación	SS Chirp	UNB/GFSK/BPSK	OFDMA	OFDMA	OFDMA
Ancho de banda de RX	500-125KHZ	100Hz	20MHz	20-1.4MHz	200KHz
Tasa de bits	290bps-50Kbps	100bit/seg 12/8 bytes Max	10Mbit/seg	20Kbps-1Mbps	~20Kbit/seg
# Max Msjs/día	Ilimitada	140 Msjs/día	Ilimitada	Ilimitada	Ilimitada
Max potencia de salida	20dBm	20dBm	23-46dBm	23/30dBm	20dBmli
Duración de la batería-2000mAh	105 meses	90 meses		18 meses	
Eficiencia energética	Muy alta	Muy alta	Baja	Media	Media alta
Inmunidad a la interferencia	Muy alta	Baja	Media	Media	Baja
Seguridad	Si	No	Si	Si	Si
Movilidad					
Localización	Si	Movilidad limitada, Sin localización	Movilidad	Movilidad	Movilidad limitada, Sin localización

Fig. 14 Tabla comparativa entre tecnologías de transmisión de datos.

### C. Sistema de Alerta Temprana

También conocidos como SAT, hacen referencia a un conjunto de procedimientos para alertar sobre eventos adversos, de tipo natural o social, de carácter previsible, donde la parte fundamental es la recolección y procesamiento de datos, todo esto con la finalidad de obtener pronósticos o predicciones temporales sobre su acción y efectos posibles.

La importancia de estos sistemas está en que gracias a estos se puede conocer anticipadamente y con cierto nivel de certeza, una posible amenaza o algún tipo de catástrofe natural, también puede ser de índole social por actividades que puedan desencadenar situaciones peligrosas. Es, por tanto, que el principal objetivo es reducir o en lo posible evitar que se produzcan lesiones o fatalidades, daños materiales y/o naturales [9].

- Eventos donde implementar un SAT

Los Sistemas de Alerta Temprana son aplicables tanto a eventos naturales o provocados por la intervención del hombre, donde existen parámetros que permiten su vigilancia y monitoreo. Los eventos más comunes en los cuales se aplica un SAT son inundaciones, deslizamientos de tierra, huracanes, volcanes, tsunamis, incendios forestales, entre otros.

- Funcionamiento de un SAT

La Fig. 15 muestra el esquema de funcionamiento donde el primer paso para la implementación de un SAT es la lectura y registro de los datos obtenidos por un instrumento de medición, posteriormente se transmiten los datos para realizar un procesamiento y análisis de estos. Para poder obtener un pronóstico certero, los datos deben ser analizados por un experto, el cual establece un nivel y tipo de alerta; la difusión de la alerta es de vital importancia ya que muchos planes de emergencia o evacuación dependen de la velocidad con la que una comunidad puede ser alertada [9].



Fig. 15 Esquema de funcionamiento de un SAT. [9].

### III. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

Para el presente proyecto se propone la implementación de un sistema de alerta temprana ante el posible desbordamiento del río Yanuncay, está basado en el protocolo de comunicación LoRa. Mediante el uso de módulos de esta tecnología para Arduino junto a un sensor ultrasónico, se conforman los nodos finales, encargados de realizar la medición del nivel del afluente; además, también se dispone el uso de un gateway LoRa, encargado de recibir los datos desde los nodos finales y enviarlos al servidor en la nube. Los datos son almacenados y visualizados en el servidor mediante un portal web. Se espera generar un sistema eficiente que trabaje en frecuencia de 915 MHz, mediante una topología estrella de estrellas como se aprecia en la Fig.16.



Fig. 16 Topología del protocolo LoRa

A. Nodo final

- Hardware

El nodo final que se observa en la Fig. 17 está constituido por un módulo LoRa basado en una librería de código abierto, que permite transmitir datos a larga distancia con una mínima pérdida de mensajes, con muy bajo ruido y bajo consumo, trabaja en la frecuencia de 915 MHz [10], además incorpora un sensor ultrasónico MaxSonar el cual tiene un alcance máximo de 7.65 metros [11].

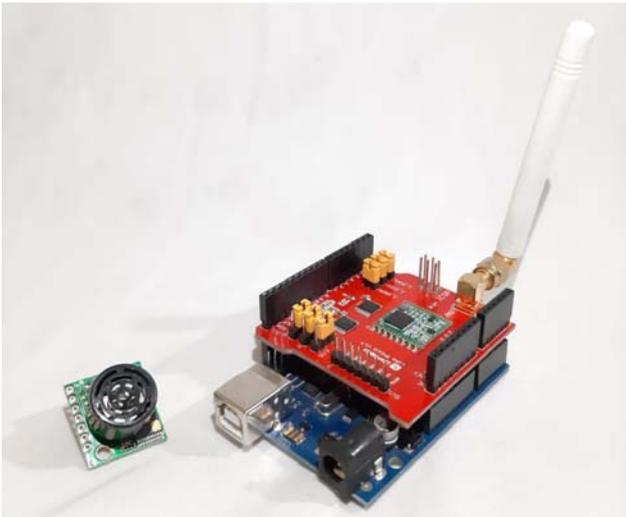


Fig. 17 Nodo final

Los nodos finales deben de tener la capacidad de alimentar a todos los componentes y funcionar de manera correcta durante 24 horas; por lo tanto, debe ser un sistema autónomo.

Para alimentar el nodo final, se usa un sistema fotovoltaico, capaz de satisfacer el consumo de energía de los componentes usados. Los sistemas fotovoltaicos son un grupo de equipos eléctricos y electrónicos que transforman la energía solar en energía eléctrica como se aprecia en la Fig. 18.

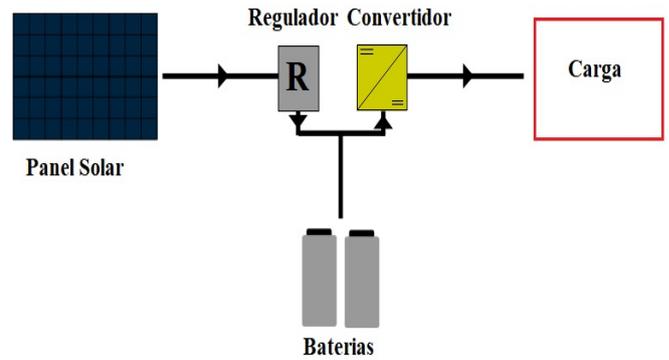


Fig. 18 Esquema de un sistema fotovoltaico

El sistema debe satisfacer un consumo de voltaje de 5.5 V y una corriente de 75 mA, para ello se dispone de dos paneles solares de 6 V a 3 W, con dos baterías de litio de 3.7 V a 4800 mAh, además cuenta con un módulo que cumple la función de regulador, encargado de cargar las baterías y alimentar el sistema, y otro módulo que cumple la función de convertidor el cual elevará el voltaje de 3.7 V a 5.5 V como se observa en la Fig.19.

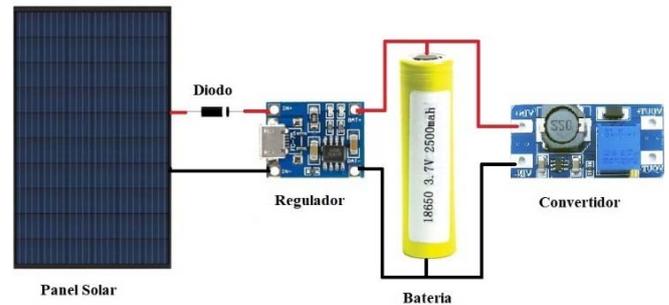


Fig. 19 Componentes del sistema fotovoltaico

En la Fig. 20 y Fig.21 se observa la fuente de alimentación diseñada para el sistema fotovoltaico.

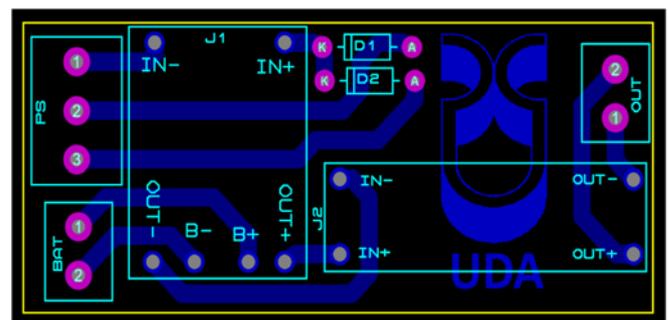


Fig. 20 Diseño PCB de la fuente de alimentación

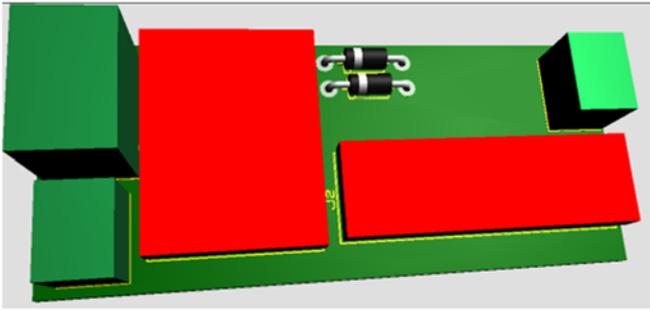


Fig. 21 Diseño 3D del PCB de la fuente de alimentación

Para obtener una irradiación solar óptima en la ciudad de Cuenca el panel solar debe estar ubicado  $30^\circ$  con respecto a norte y con una inclinación de  $16^\circ$  [12].

El diseño de la estructura del nodo final tuvo en consideración necesidades como la ubicación de los componentes electrónicos, el tamaño del panel solar y la distancia entre el sensor y el río, en la Fig. 22 se aprecia el diseño digital del nodo.

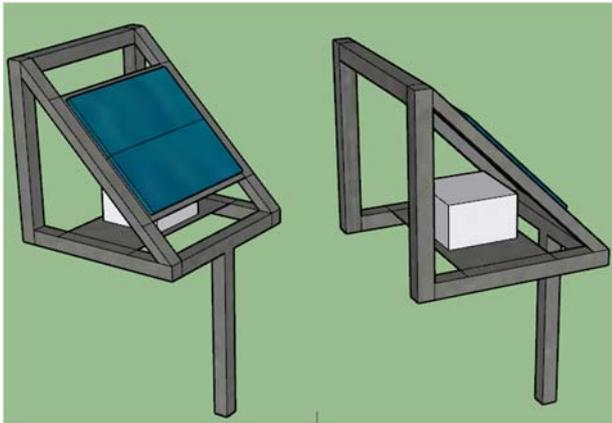


Fig. 22 Diseño digital del nodo

Una vez diseñados los planos se procedió a la realizar un prototipo para comprobar que las medidas fueran correctas, tras estas pruebas se realizó la construcción definitiva del nodo final como se muestra en la Fig. 23.



Fig. 23 Sistema final

- Software

El software está desarrollado en el IDE de Arduino, es aquí donde se establece la frecuencia en la que se va a transmitir y recibir los paquetes del protocolo de comunicación LoRa, los nodos son identificados mediante un identificador previamente establecido en cada uno de ellos, cada uno espera recibir una solicitud desde el gateway para luego enviar el dato que se obtiene desde el sensor, al finalizar este proceso, el nodo espera diez minutos para poder recibir una nueva solicitud desde el gateway; este proceso se repite continuamente como se puede apreciar en la Fig. 24.

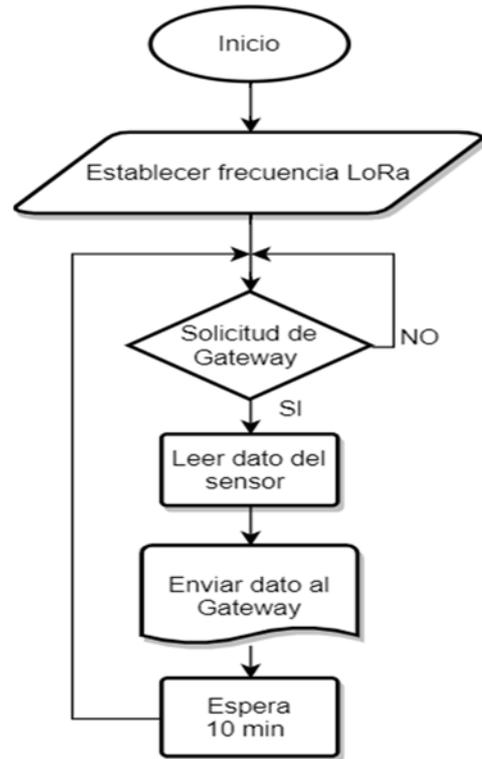


Fig. 24 Diagrama de flujo de nodo final

### B. Gateway

- Hardware

Se usará el dispositivo LG-01P de Dragino como gateway, el cual se basa en el código abierto OpenWrt, compatible con IDE de Arduino. Permite conectar la red LoRa a internet a través de ethernet o WiFi, tiene un bajo consumo, trabaja en la frecuencia de 915 MHz, con un rango máximo de alcance que va de 5 a 10 Km como se observa en la Fig. 25 [13].



Fig. 25 Gateway LoRa

- Software

De la misma manera que el nodo final, mediante el IDE de Arduino se genera el software para el gateway, este se encarga de enviar la solicitud al nodo final y al recibir la respuesta de mismo, envía dicho dato al servidor en la nube, posteriormente solicita la información al nodo siguiente. Dado el caso de no recibir respuesta, el gateway solicita la información al nodo siguiente; este proceso se repite continuamente como se aprecia en la Fig. 26.

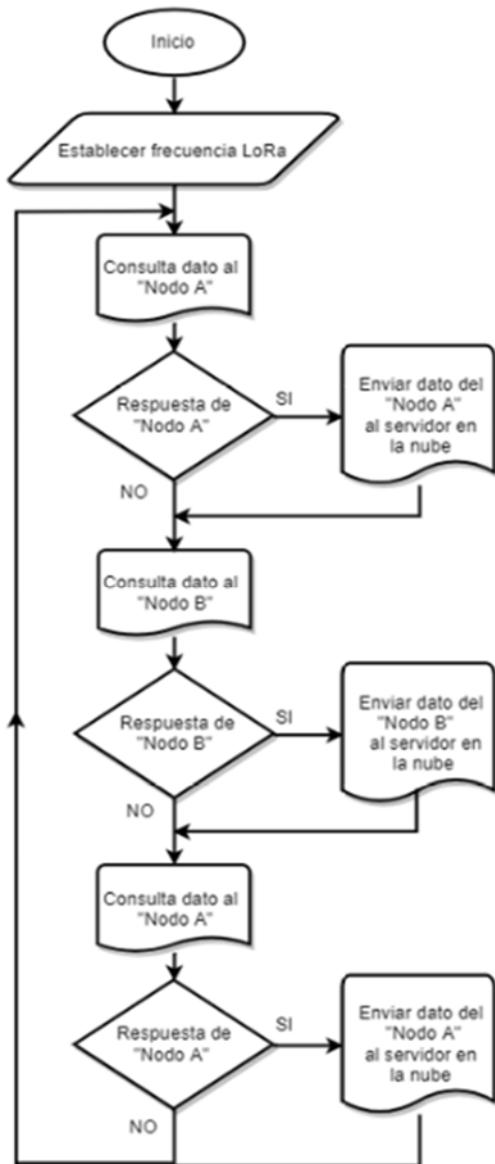


Fig. 26 Diagrama de flujo de gateway

### C. Servidor en la nube

El almacenamiento y visualización de los datos se realiza mediante el servidor ThingSpeak, el cual ofrece una plataforma de análisis de IoT para estos servicios. Este servidor cuenta con capacidad de ejecutar códigos de MATLAB, además realiza análisis y procesamiento en línea en el momento que van ingresando los datos [14]. La Fig. 27 representa este esquema de funcionamiento.

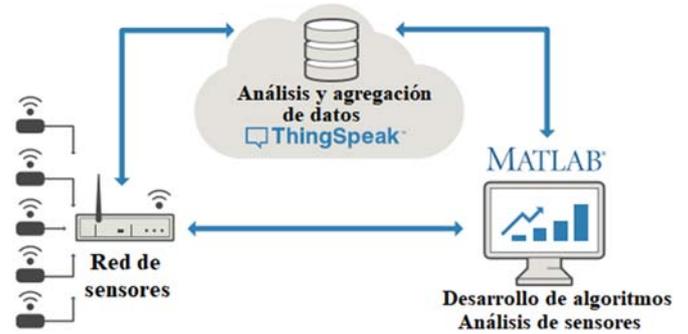


Fig. 27 Esquema de funcionamiento de ThingSpeak

Gracias a las características de este servidor, los datos enviados desde el gateway son analizados con el fin de obtener una reacción o alerta inmediata ante el cumplimiento de un evento o condición preestablecida, en este caso, el posible desbordamiento del río, donde al cumplirse, el servidor mediante su App ThingTweet permite generar un tweet que alertará del posible desbordamiento, para ello se debe vincular una cuenta de Twitter a ThingSpeak.

## IV. RESULTADOS

Para las pruebas de rango de alcance, el gateway fue ubicado en una zona alta de la ciudad, con la mayor línea de vista posible hacia los nodos finales. Se realizaron pruebas de conectividad con el nodo final en distintas ubicaciones para determinar las zonas donde se tiene cobertura, en base a esto se establecieron las ubicaciones definitivas a los nodos dentro de la zona de interés.

- Pruebas de conectividad

La finalidad de realizar estas pruebas es comprobar la distancia máxima en la zona de interés entre el nodo final y el gateway LoRa y así determinar la ubicación de los nodos finales que permitan obtener la medición del nivel del río en distintos puntos estratégicos dentro de la zona de interés, se analizaron diferentes ubicaciones para el gateway debido a la influencia que tiene la línea de vista en el protocolo LoRa.

Se realizó una prueba desde el piso número 12 de un edificio con línea de vista hacia la zona de interés, la prueba empezó con el nodo final lo más cerca del gateway, luego se fue incrementando la distancia entre estos hasta perder la comunicación, se obtuvo una distancia máxima de comunicación de 810 m [15].

La Fig. 28 muestra los resultados obtenidos para la prueba, donde se puede apreciar la ruta marcada por puntos, los cuales indican la intensidad de señal recibida en dBm, lo ideal es obtener valores cercanos a cero, valores entre 76 y 96 dBm son aceptables, por encima de 103 dBm se presentan fallas en la transmisión.



Fig. 28 Primera prueba de conectividad en la zona de interés.

Se realizó una segunda prueba, donde el gateway fue ubicado en el cerro “Turi” de más de 100 metros de altura con vista hacia toda la ciudad de Cuenca con el fin de garantizar la mejor línea de vista hacia la zona de interés. La distancia máxima fue de 2,47 Km desde el gateway hasta el punto más alejado de la zona de interés.

La Fig. 29 muestra los resultados de esta prueba, donde se puede observar que, en la zona de interés, en este caso el río, existen tramos donde no se obtiene comunicación alguna, esto es debido a que a mayor distancia la comunicación es más susceptible a los obstáculos que existan entre los dispositivos, es así que se constató que al mejorar la línea de vista se obtienen mejores resultados. Con estos datos, se determinaron las ubicaciones en las cuales los nodos finales permanecerán definitivamente, la Fig. 30 muestra las ubicaciones con el valor de intensidad recibido en dBm.



Fig. 29 Segunda prueba de conectividad en la zona de interés.



Fig. 30 Pruebas de conectividad.

- Pruebas de comunicación con el servidor

Esta prueba consistió en verificar el funcionamiento del servidor además de la comprobación de alerta que se debe realizar mediante la herramienta ThingTweet, se realizó la programación de los nodos finales para que envíen un dato hacia el gateway, el cual reenvía estos inmediatamente al servidor a través de un canal de comunicación. Cada dato es asignado a un visualizador gráfico en la interfaz de ThingSpeak, de esta manera se puede evidenciar la recepción de los datos, la Fig. 31 muestra la interfaz de ThingSpeak implementada donde se evidencia la recepción de datos, mientras que la Fig. 32 muestra las configuraciones del canal de comunicación.

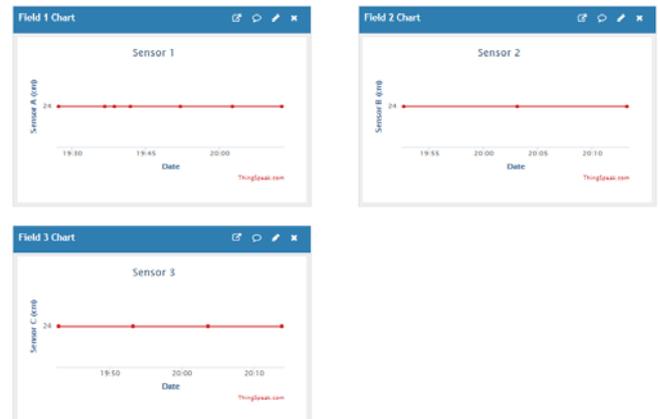


Fig. 31 Interfaz ThingSpeak.

### Channel Settings

Percentage complete 30%

Channel ID 783864

Name LoRa

Description

Field 1 Sensor A (cm)

Field 2 Sensor B (cm)

Field 3 Sensor C (cm)

Fig. 32 Configuración del canal de comunicación con el Servidor.

Para poder obtener la alerta, se utilizó la App ThingTweet que permite realizar operaciones lógicas con los datos entrantes al canal de comunicación con el objetivo de generar una reacción, en este caso fue un tweet describiendo el sensor que disparó dicha reacción, los datos enviados al servidor para esta prueba garantizaban el disparo de la alerta.

- Pruebas de campo

Para la obtención de los resultados, se ubicó el gateway en la Universidad del Azuay y el nodo final en el rio Yanuncay junto a la Estación de Bomberos “Cornelio Tamariz”, como se observa en la Fig. 33.



Fig. 33 Ubicación nodo final

Se realizó un análisis basado en las mediciones de la red Hidrometeorológica de la Empresa Pública Municipal de Telecomunicaciones, Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de Cuenca -ETAPA EP.

Se eligieron los días para el análisis según las mediciones de lluvia de la “Estación Meteorológica Izhcayrumi (Parte alta de la cuenca)” como se aprecia en la Fig. 34, y las mediciones de altura del agua desde el fondo del río de la “Estación Yanuncay Aj Tarqui (Escuela De Bomberos)”.

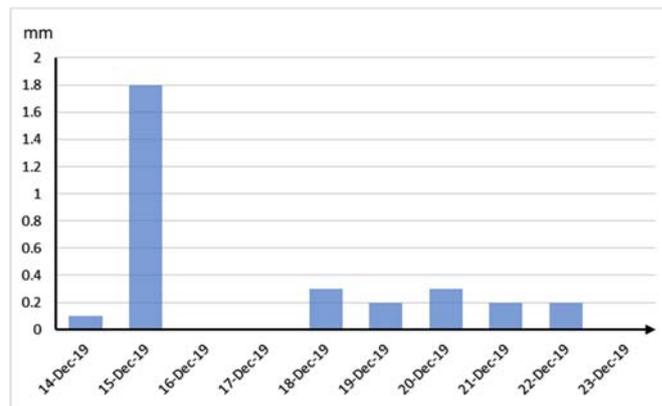


Fig. 34 Mediciones de lluvia

Basados en las mediciones de la Fig. 34 se obtuvo que los días 15 y 18 de diciembre del 2019 fueron los de mayor lluvia; por ende, serán los días que serán tomados en cuenta para el análisis.

Los datos obtenidos por el sensor el día 15 de diciembre desde las 14H00 se muestra en la Fig. 35, donde se obtuvieron los datos con un intervalo de diez minutos. Estos datos son contrastados con los datos obtenidos por el sensor de la estación Yanuncay, como muestra la Fig. 36. Los valores máximos se registraron aproximadamente a las 17H35, en donde el sensor del nodo final registró 117 cm de altura desde el fondo y la estación de ETAPA EP obtuvo un valor de 117.6 cm. Cabe resaltar que los sensores son de tecnologías diferentes, aun así, se puede apreciar que las gráficas tienen comportamientos similares.

De la misma manera, las figuras 38 y 39, son una comparación del funcionamiento de las distintas tecnologías utilizadas para la medición, donde se pueden apreciar los cambios en el nivel del río en el lapso de cuatro días, se observa que las gráficas mantienen un comportamiento similar.

## V. CONCLUSIONES

En base a la información recopilada referente a proyectos similares a este, se evidencia que el uso de LoRa para la transmisión de datos es de fácil aplicación, esto debido a que para realizar proyectos con esta tecnología se puede utilizar varias plataformas libres de desarrollo como Linux o Arduino que cuentan con librerías propuestas por los fabricantes de los dispositivos. Otra característica que se comprobó es el bajo consumo de energía, por otra parte, si bien se obtuvieron grandes distancias en la comunicación, la línea de vista es un factor que se debe tomar en cuenta a la hora de realizar proyectos con LoRa, debido a que, al disminuir este factor los datos son más propensos a perderse al momento de la transmisión.

La herramienta para el análisis de datos que ofrece LoRa, supone una gran ventaja frente a otras tecnologías, ThingSpeak cuenta con varias funciones que pueden ser utilizadas sobre los datos que almacena, gracias a esto los datos son analizados en tiempo real. Se realizó la

comprobación de la comunicación con tres nodos comunicándose a un mismo gateway, cuyos datos fueron presentados en la interfaz de ThingSpeak. Con relación a los datos obtenidos por el sistema propuesto durante el tiempo analizado, al ser comparadas con los datos de la red hidrometeorológica de ETAPA EP, se puede observar que los mismos mantienen un comportamiento similar, por lo que se puede decir que el sistema propuesto es capaz de dar un diagnóstico preciso sobre el estado del nivel del río. El sistema funciona con total autonomía debido al panel solar colocado y es capaz de emitir una alerta utilizando ThingTweet.

## VI. BIBLIOGRAFÍA

- [1] PVI, "Sistema permite alertar posibles inundaciones," *El Mercurio*, 9 Mayo 2018.
- [2] W. Yudi E., P. Agung B. and D. Galang F., "A GIS-based Waste Water Monitoring System Using Lora Technology," IEEE, Semarang, 2018.
- [3] M. S. Pakpahan, E. D. Widiyanto and R. Septiana, "Analysis on Batik Water Waste Monitoring," IEEE, Semarang, 2018.
- [4] M. Anto Merline and R. Vimalathithan, "Smart Water Quality Monitoring and Metering Using Lora for Smart Villages," IEEE, Coimbatore, 2018.
- [5] Z. Wenju, "Design and Implementation of Smart Irrigation," IEEE, Beijing, 2017.
- [6] W. Guibene, J. Nowack, N. Chalikias, K. Fitzgibbon, M. Kelly and D. Prendergast, "Evaluation of LPWAN Technologies for Smart Cities: River Monitoring Use-case," IEEE, Dublin, 2017.
- [7] LoRa Alliance, "LoRa Alliance," 1 Febrero 2019. [Online]. Disponible: <https://lora-alliance.org/>.
- [8] LoRa Alliance, "LoRa Alliance," 2015. [Online]. Disponible: <https://lora-alliance.org/sites/default/files/2018-04/what-is-lorawan.pdf>.
- [9] Unesco, "unesco," 2011. [Online]. Disponible: <http://www.unesco.org>. [Acceso 28 Abril 2019].
- [10] Dragino, "Dragino," 14 mayo 2019. [Online]. Disponible: <http://www.dragino.com/products/lora/item/102-lora-shield.html>. [Acceso 20 Agosto 2019].
- [11] MaxBotix, "MaxBotix," [Online]. Disponible: [https://www.maxbotix.com/documents/XL-MaxSonar-EZ\\_Datasheet.pdf](https://www.maxbotix.com/documents/XL-MaxSonar-EZ_Datasheet.pdf). [Acceso 25 Agosto 2019].
- [12] D. A. Alvarez Lozano, "Evaluación de la orientación y ángulo de inclinación óptimo e una superficie plana para maximizar la captación de irradiación solar en Cuenca-Ecuador," Cuenca, 2017.
- [13] Dragino, "Dragino," 11 Agosto 2019. [Online]. Disponible: <https://www.dragino.com/products/lora/item/117-lg01-p.html>. [Acceso 20 Agosto 2019].
- [14] The MathWorks, Inc., "ThingSpeak," 2019. [Online]. Disponible: <https://thingspeak.com/>. [Acceso 31 Agosto 2019].
- [15] C. Heredia, "Análisis Experimental de la Movilidad de un Terminal Utilizando el Protocolo LoRa," Universidad del Azuay, Cuenca, 2019.

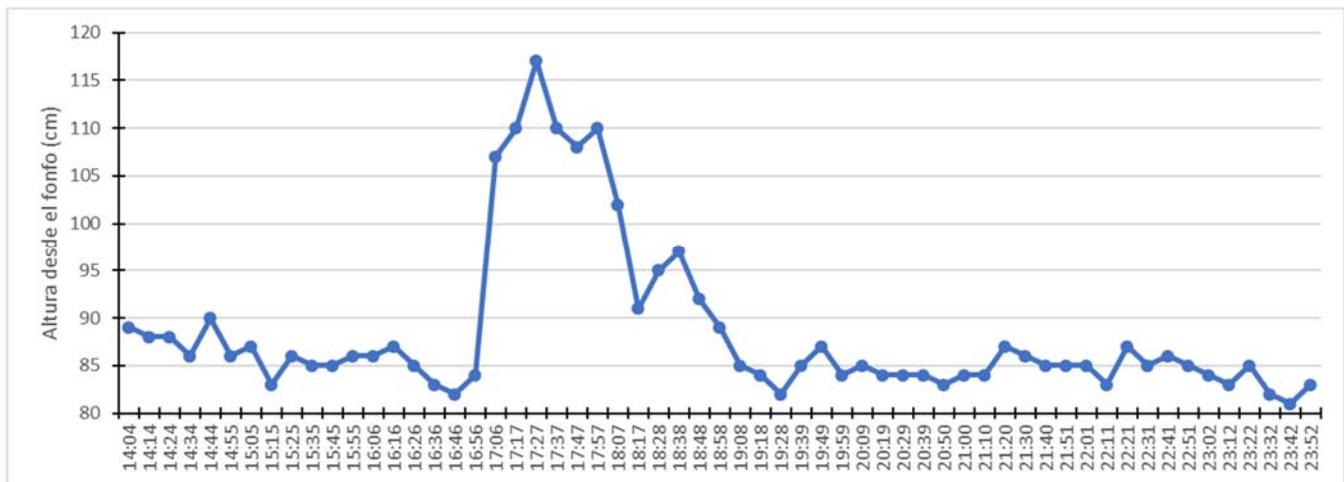


Fig. 36 Mediciones nodo final

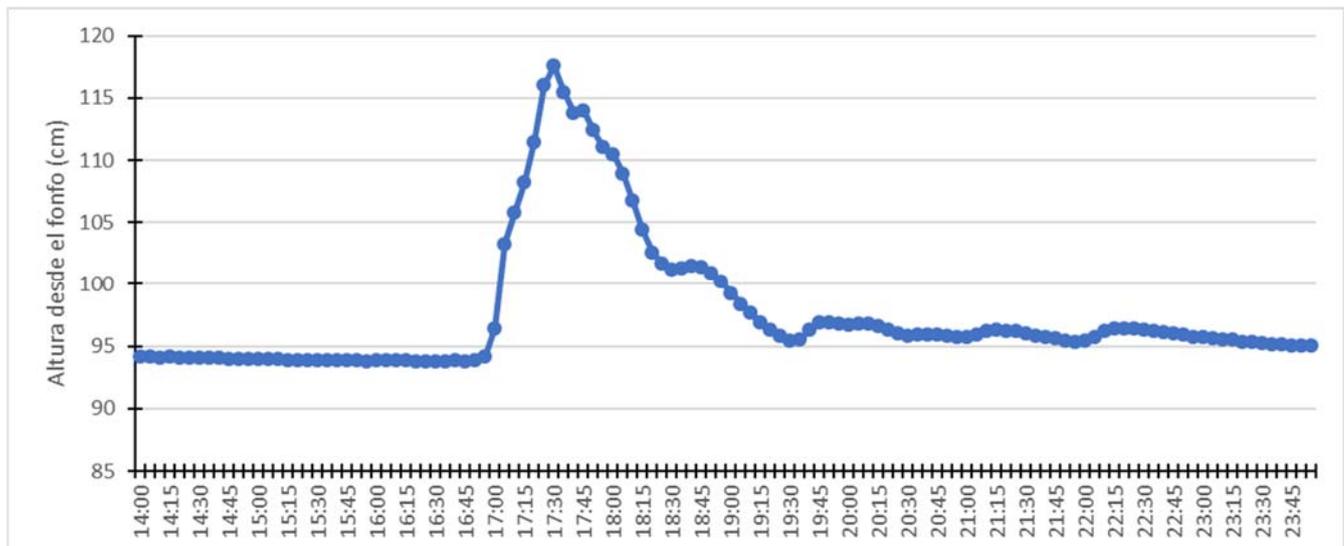


Fig. 35 Mediciones estación ETAPA

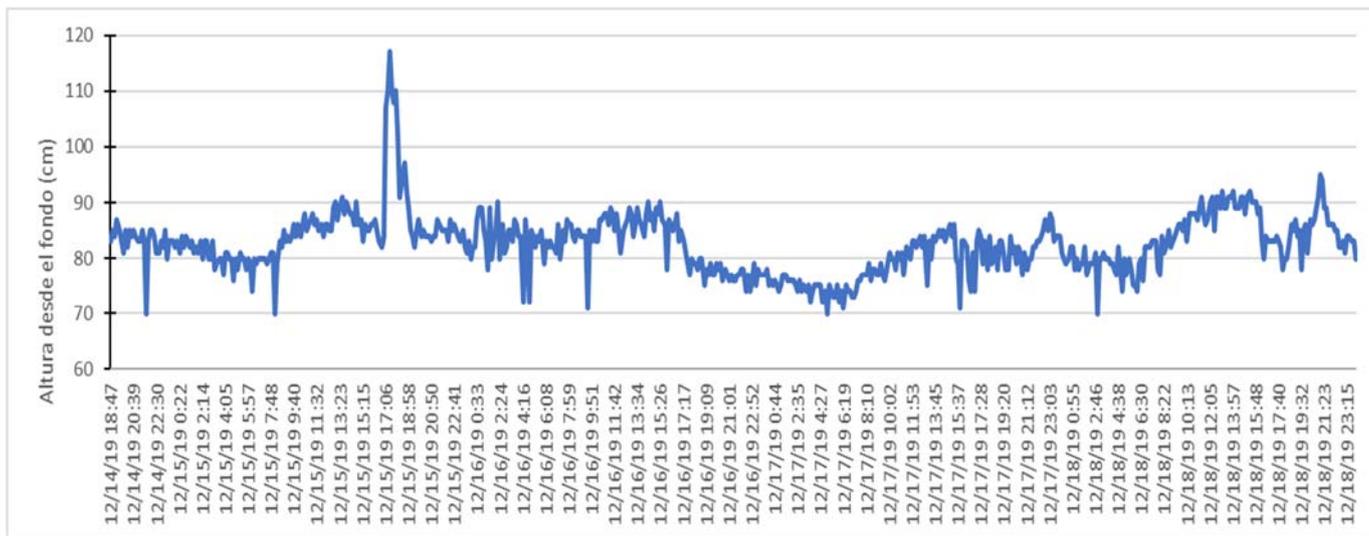


Fig. 37 Mediciones nodo final

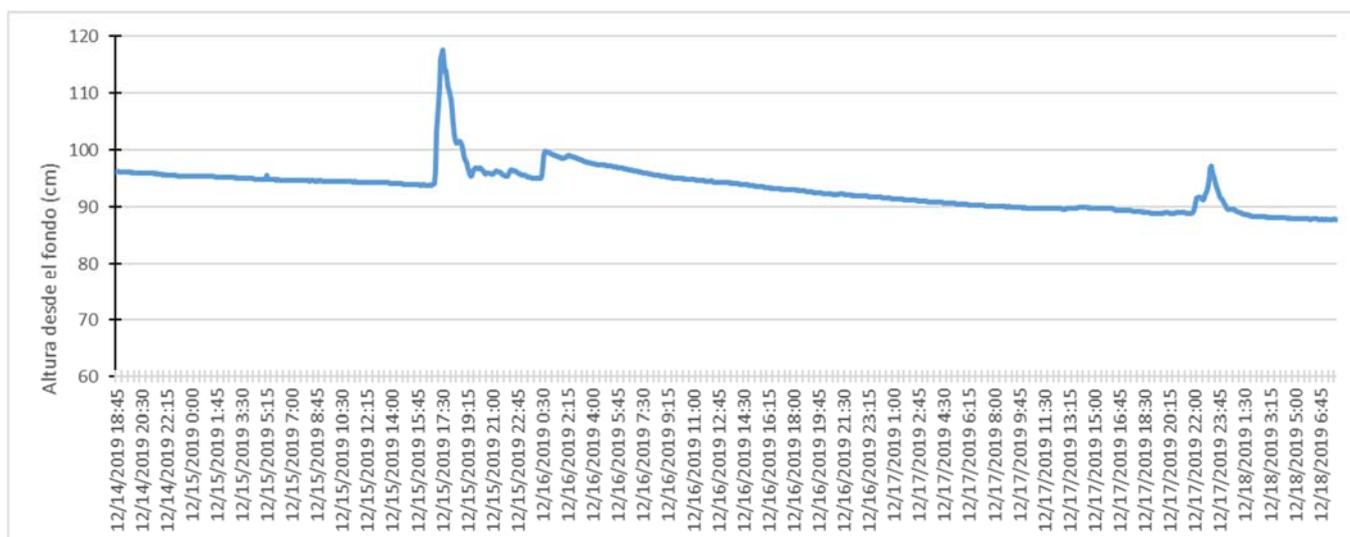


Fig. 38 Mediciones estación ETAPA