

# Prototipo para la monitorización de ríos y alerta temprana de inundaciones en el corregimiento de Soná empleando LoRaWAN.

## Prototype for the detection and monitoring of floods in rivers in the town of Soná using LoRaWAN communication.

Ronald J. Juárez<sup>1\*</sup>, Edwin Rivera<sup>1\*</sup>, Eugenio Pérez<sup>1\*</sup>, Cristian Pinzón<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Licenciatura en Ingeniería de Sistemas y Computación, Centro Regional de Veraguas – Universidad Tecnológica de Panamá

<sup>2</sup>Docente de Pre-Grado, Centro Regional de Veraguas – Universidad Tecnológica de Panamá

### Resumen

Panamá se caracteriza por tener una larga temporada lluviosa, donde muchas veces se presentan eventos como tormentas tropicales y ondas, que provocan altos niveles de precipitación lluviosa. En el corregimiento de Soná cabecera existen muchas zonas pobladas y agrícolas que son afectadas cada año por las inundaciones, provocando pérdidas económicas y colocando en riesgo a muchas personas. Es por esto que en este artículo se describe y presenta un prototipo para la monitorización y alerta temprana de inundaciones para la cuenca del río San Pablo, empleando un sensor de color conectado a una placa Heltec Wireless Stick incrustados en una boya, la cual calcula la altura y el tiempo de acuerdo a la variación de los colores establecidos. Esta información es radiodifundida utilizando la modulación LoRa y el protocolo LoRaWAN hasta el servidor de The Things Stack y posteriormente presentada en la plataforma Ubidots. Como resultados se tiene el funcionamiento del diseño lógico y físico planteado, un tablero de complementos con la información recibida, la generación de gráficos sobre tiempo, altura y velocidad del movimiento de la boya y la programación de alertas por correo electrónico.

**Palabras clave** Internet de las Cosas, IoT, LoRaWAN, Long Range, LoRa, LPWAN, inundación, crecidas de ríos, desbordamientos, río San Pablo.

### Abstract

Panama is characterized by a long rainy season, where many times there are events such as tropical storms and waves, which cause high levels of rainfall. In the township of Soná cabecera there are many populated and agricultural areas that are affected every year by floods, causing economic losses and putting many people at risk. For this reason, this article describes and presents a prototype for monitoring and early warning of floods for the San Pablo river basin, using a color sensor connected to a Heltec Wireless Stick embedded in a buoy, which calculates the height and time according to the variation of colors. This information is broadcast using LoRa modulation and LoRaWAN protocol to The Things Stack server and then presented on the Ubidots platform. As results we have the operation of the logical and physical design proposed, a complementary board with the information received, the generation of graphs on time, height and speed of the buoy movement and the programming of alerts by e-mail.

**Keywords** Internet of Things, IoT, LoRaWAN, Long Range, LoRa, LPWAN, flooding, river flooding, overflows, San Pablo River.

\* Corresponding assessor: cristian.pinzon@utp.ac.pa

## 1. Introducción

En Panamá la temporada lluviosa inicia en el mes de mayo, durando hasta el mes de noviembre, siendo este último, junto a octubre, los de mayor precipitación. Durante esta temporada se presentan sistemas atmosféricos como tormentas tropicales y ondas, provocando grandes cantidades de lluvias [1].

Para el distrito de Soná, la probabilidad de precipitación pluvial en un día de temporada lluviosa es del 28 %, con meses de por lo menos 13 mm de agua [2].

Con toda esta precipitación se producen inundaciones en zonas pobladas y agrícolas en el corregimiento de Soná, afectando a muchas personas, ocasionando pérdidas económicas y en situaciones más delicadas, el riesgo de ocasionar pérdidas humanas. Eventos de inundaciones en esta región son frecuente año tras año como se presenta en [3].

Es importante destacar que el distrito de Soná y las instituciones de seguridad, llámese SINAPROC y Cuerpo de Bomberos no disponen de suficientes recursos para monitorear

todos los ríos con poblaciones aledañas en la provincia de Veraguas, mucho menos cuentan con algún sistema de alerta temprana para mitigar el impacto de las inundaciones.

Tomando estos antecedentes de referencia, se hace necesario la incorporación de recursos tecnológicos que ayuden a este tipo de problemas.

Durante los últimos años, el Internet de las cosas (IoT) ha extendido su área de aplicación gracias a la posibilidad de monitorizar y detectar eventos de forma automatizada.

Su principal objetivo es llevar datos del mundo físico hacia el mundo virtual, empleando el internet como medio de comunicación e intercambio de información [4].

La implementación del IoT requiere conectar de manera efectiva los dispositivos y sensores a internet, por ello se requiere encontrar la tecnología que mejor se adapte a los requisitos de la aplicación. Entre las más utilizadas están: wifi, ZigBee, Bluetooth, red celular, identificación por radiofrecuencia (RFID) y las redes de área amplia de baja potencia (LPWAN) [5].

Las redes LPWAN permiten un consumo muy reducido de energía, así como poder establecer comunicaciones de máquina a máquina (M2M) de largo alcance [6].

Este tipo de red tienen un perfil adecuado cuando se necesite transmitir pequeñas cantidades de información a largas distancias, donde el despliegue de otras redes representa un costo económico y geográfico [6].

Entre las tecnologías LPWAN que han surgido en el mercado están: SigFox, LTE-M, NB-IoT y LoRa.

La técnica de modulación de radio LoRa fue introducida en 2007 por la empresa Cycleo y adquirida por la empresa Semtech en 2012 [7]. Esta empresa mantiene la licencia de los dispositivos que emplean esta modulación y que conforman la capa física de la red.

Como se plantea en [7], el protocolo LoRaWAN conforma entonces la capa de enlace para estos equipos, siendo diseñada por la *LoRa Alliance* y presentando características como: una cobertura de cientos de metros, una capa de seguridad, fácil implementación, mantenimiento mínimo, costos reducidos de utilización y una comunicación bidireccional.

Estas características han sido aprovechadas en diversos trabajos como aplicaciones para la detección de incendios forestales [8], alertas de inundaciones [9] y detección de desastres naturales [10] y monitoreo del nivel de agua [11].

El auge de los proyectos basados en IoT, ha propiciado la aparición de plataformas web comerciales dedicadas al almacenamiento, visualización y análisis de datos. Entre ellas están: ThingsSpeak [12], Ubidots [13].

Este trabajo tiene como objetivo desarrollar un prototipo que ayude a la monitorización de ríos y genere alertas tempranas de inundaciones en el corregimiento de Soná,

empleando el protocolo de comunicación LoRaWAN para la transmisión de datos y la plataforma Ubidots.

El artículo está estructurado de la siguiente forma: primera sección corresponde a la introducción, la siguiente trata la descripción de la problemática que se plantea resolver, la tercera sección da a conocer la metodología de investigación empleada, la cuarta sección describe los materiales y métodos utilizados para la construcción del prototipo, la quinta sección muestra los resultados obtenidos y la sexta sección presenta las conclusiones del trabajo.

## 2. Descripción de la problemática

El corregimiento de Soná está ubicado en la zona norte del golfo de Montijo, siendo la cabecera del distrito de Soná en la provincia de Veraguas.

En Soná cabecera, se encuentra la cuenca #118 llamada río San Pablo. Este afluente mantiene un área de drenaje total de 2 453 km<sup>2</sup> y una longitud de 148 km hasta su desembocadura en el golfo de Montijo.

La cuenca del río San Pablo posee tres subcuencas que rodean el corregimiento de Soná: el río Tribique, el río Cobre y el río Tobálico; los cuales a su vez poseen ramificaciones en forma de arroyos que terminan de cubrir a la ciudad.

Debido al exceso de lluvias o a tormentas tropicales, estos afluentes suelen provocar inundaciones en las áreas aledañas, afectando directamente a los residentes de estos lugares que muchas veces son tomados por sorpresa sin tiempo de salvar sus pertenencias. Además de esto, también se dan afectaciones al sistema de toma de agua potable, dejando sin el recurso a todo el corregimiento durante días.

Actualmente, existen entidades dedicadas al monitoreo de estos fenómenos hidrológicos como lo es la empresa ETESA, la cual posee 3 estaciones hidrológicas en la cuenca del río San Pablo e instrumentos de medición como lo son el limnómetro, limnógrafo, sensor de presión, de radar y de burbujas.

Sin embargo, muchos de estos instrumentos son complejos, caros o demasiado sencillos en su funcionamiento, además de no tener la finalidad de monitorizar y prevenir a la población cuando detectan una crecida en el afluente. Debido a esto es fundamental encontrar sistemas que puedan realizar estas funciones de forma rápida y económica, que puedan utilizarse para la preparación ante estos desastres.

Por ello, se plantea en este trabajo la problemática de no poseer un sistema que pueda monitorizar y alertar de manera temprana a los estamentos de protección civil y a la población que reside cerca de la cuenca y sub cuencas del río San Pablo, en el corregimiento de Soná.

Basándose en la problemática de las inundaciones en el distrito de Soná, las limitaciones de los organismos de seguridad y prevención y el enorme potencial de la tecnología IoT se plantea una pregunta de investigación: ¿Cómo construir una solución automatizada, basada en IoT, para la

monitorización en tiempo real de ríos en el distrito de Soná, para activar alertas tempranas de inundación?

Teniendo como guía esta pregunta de investigación, se inicia el desarrollo de un proyecto innovador estructurando una arquitectura de hardware y software descritas en este artículo.

## 3. Metodología

### 3.1 Identificación del problema

Se identificó una problemática que afecta a la población aledaña a ríos en el corregimiento de Soná. Se plantearon diferentes opciones desde conceptos de visión artificial, sistemas de sirenas, etc.

### 3.2 Revisión bibliográfica

Se realizó una revisión bibliográfica referente al tema y las tecnologías que se podrían emplear. Se utilizaron repositorios de búsqueda UTP-RIDDA2 y portales de revistas como MDPI.

### 3.3 Identificación de las tecnologías

Se realizó un listado de todas las posibles opciones en cuanto a de hardware y software, y se seleccionó las tecnologías más adecuadas a la construcción del prototipo.

### 3.4 Construcción y prueba del prototipo

Se realizaron diferentes enfoques de diseños del prototipo, hasta seleccionar el diseño conceptual adecuado y se procedió a la construcción física y la evaluación del prototipo.

### 3.5 Resultados y conclusiones

El prototipo fue sometido a pruebas para su funcionamiento. En este trabajo se presentan los resultados en forma de tablas, gráficos e ilustraciones, así como las conclusiones del prototipo.

## 4. Métodos y materiales

### 4.1 Tecnologías de hardware

Corresponde a los dispositivos físicos y electrónicos que componen el funcionamiento del prototipo.

#### ▪ Heltec Wireless Stick (Heltec WS)

Cuenta con un microprocesador ESP32 de 2.4 GHz, un chip LoRa SX1276/SX1278, conexiones Wifi y Bluetooth integrados, pantalla OLED y 34 pines digitales [14].

#### ▪ Sensor RGB GY-31

Permite el reconocimiento de color combinando un arreglo de fotodiodos y un convertidor de corriente [15].

#### ▪ Raspberry Pi 4

Es mini ordenador basado en un SoC de arquitectura ARM, cuenta con conexión 2.4 - 5.0 GHz, wifi, Bluetooth 5.0/BLE, Ethernet, 40 pines GPIO y una SDRAM de 4GB [16].

#### ▪ RAK 2245 Pi HAT

Es una puerta de enlace basado en los chips Semtech 1301 y dual SX1257/58, cuenta con 8 canales, módulo GPS, compatible con las placas Raspberry Pi 3/4, soporta todas las bandas de frecuencia sin licencia global [17].

### 4.2 Tecnologías de software

Corresponde a las plataformas y servicios web que serán utilizados para el funcionamiento lógico del prototipo.

#### ▪ The Things Stack (TTS)

Es un servidor de red de código abierto, utilizado para crear y administrar redes compatibles con todas las versiones del modelo de red LoRaWAN, cumpliendo con los estándares y parámetros regionales establecidos por la LoRa Alliance. La versión *Community Edition* es la opción gratuita, descentralizada y de colaboración abierta [18].

#### ▪ Plataforma Ubidots

Es una plataforma web comercial, sin embargo, ofrece una licencia STEM que permite el envío, recepción, almacenamiento y visualización de datos provenientes de dispositivos IoT, además, proporciona un *dashboard* interactivo para los usuarios, así como *plugin* y tutoriales para la integración con plataformas externas como lo es TTS [13].

### 4.3 Tecnología Long Range Wide Area Network (LoRaWAN)

Es un protocolo estándar abierto que se basa en la modulación propietaria conocida como *Long Range* (LoRa) la cual es una variante de la modulación digital de frecuencia *Chirp Spread Spectrum* (CSS).

Una red de comunicación LoRa/LoRaWAN emplea una topología de red en estrella de forma jerárquica, donde los dispositivos finales radiodifunden sus mensajes encriptados hacia el *gateway* dentro del rango de emisión [19].

Todas las pasarelas están conectadas a internet y transmiten los paquetes de información hacia el servidor LoRaWAN [19].

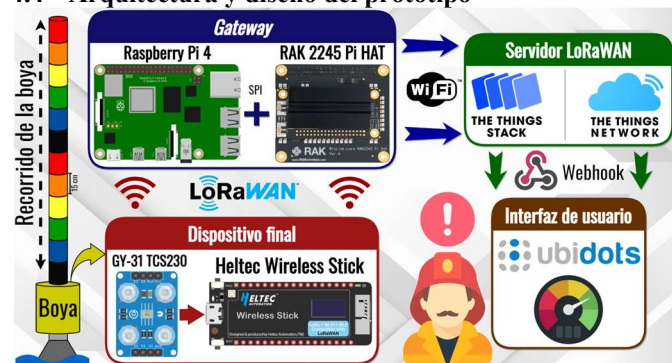
Este servidor central se conforma por varios sub servidores como el servidor de red (filtra las duplicaciones), el servidor de unión (activación de los dispositivos finales) y el servidor de aplicación (administrar los datos y permitir integraciones)[20].

La tecnología LoRaWAN puede alcanzar un rango de transmisión de 2-5 km en regiones urbanas y hasta 15 km para zonas rurales, sin embargo, estos valores dependen en gran medida de una serie de parámetros [21] como son: Factor de dispersión (SF), ancho de banda (BW), tasa de datos (DR), Potencia radiada isotrópica efectiva (EIRP), Frecuencia, Indicador de intensidad de la señal recibida (RSSI), Relación señal-ruido (SNR).

La obtención de las claves necesarias para la unión a una red LoRaWAN de un dispositivo final, se le conoce como "método de activación" y existen dos formas detalladas en [21] como es la Activación por personalización (ABP) y la Activación por aire (OTAA).

El protocolo LoRaWAN también define la forma en la que operan los dispositivos conectados a la red en tres clases distintas: Clase A (admite comunicación bidireccional), Clase B (se permite programar una ventana de recepción) y Clase C (ventana de recepción siempre disponible).

#### 4.4 Arquitectura y diseño del prototipo

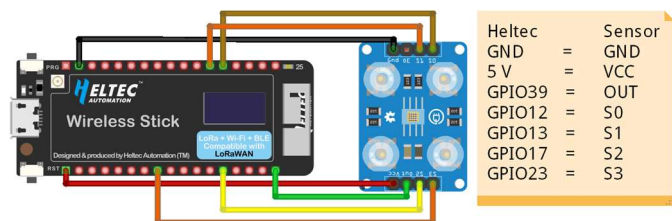


**Figura 1.** Visión general del sistema IoT para el prototipo, mostrando el flujo de la comunicación basada en una topología de red LoRaWAN.

En la figura 1 se muestra el flujo de comunicación del prototipo; se observa una comunicación unidireccional, iniciando en la obtención de datos desde el dispositivo final y finalizando en una interfaz de usuario.

Esta arquitectura se conforma por cuatro módulos:

- ❑ **Dispositivo final:** conformado por el sensor GY-31 encargado de leer el color correspondiente una altura determinada; enviando estos datos a la placa Heltec Wireless Stick programada para comparar, procesar y radiodifundir la información usando la modulación LoRa.
- ❑ **Gateway:** lo integra la placa Raspberry Pi 4 y el RAK2245 junto a un firmware suministrado por la empresa fabricante. Se encarga de recibir los paquetes de información enviados por el dispositivo final y de transmitirlos por conexión wifi hacia el servidor LoRaWAN.
- ❑ **Servidor LoRaWAN:** se utiliza la plataforma TTS para gestionar los paquetes que se transmiten entre el gateway y el dispositivo final, así como administrar las configuraciones de red para los dispositivos conectados mediante LoRaWAN. Se crea un webhook para integrar una plataforma externa como interfaz final.
- ❑ **Interfaz de usuario:** se emplea la plataforma comercial Ubidots con una licencia STEM que permitió conectar un complemento con el webhook configurado, permitiendo generar un tablero de información con los datos recibidos.

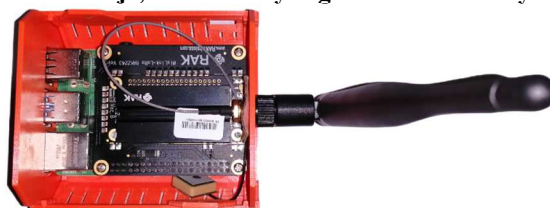


**Figura 2.** Circuito de conexión del sensor a la placa Heltec Wireless Stick.

En la figura 2 se presenta el esquema electrónico correspondiente a los pines de conexión entre el sensor GY-31 y la placa Heltec WS.

#### 4.4 Construcción del prototipo

##### 4.4.1 Montaje, activación y registro del Gateway



**Figura 3.** Vista superior del gateway LoRaWAN.

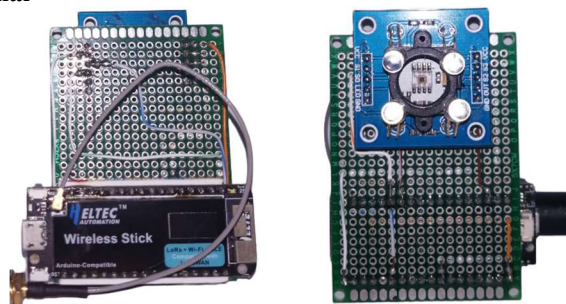
Realizado el montaje de los dispositivos que conforman el Gateway, como se observa en la figura 3, se procedió a la instalación y configuración del *firmware* que le dará el funcionamiento lógico al equipo.

**Tabla 1.** Parámetros del gateway configurados en la plataforma TTS.

| Parámetro          | Valor                        |
|--------------------|------------------------------|
| Servidor           | nam1.cloud.thethings.network |
| Plan de frecuencia | US915 (902-928 MHz)          |
| Sub banda electa   | #2 (903.9 MHz - 905.3 MHz)   |
| Estado             | Público                      |

Utilizando los parámetros mostrados en la tabla 1, se procedió al registro del gateway dentro de la plataforma TTS.

##### 4.4.2 Montaje, programación y registro del dispositivo final



**Figura 4.** Equipos integrados en una perfbord.

Se sueldan los equipos en una *perfbord* para tener un dispositivo más compacto, como se ilustra en la figura 4.

**Tabla 2.** Parámetros de configuración LoRaWAN para el dispositivo final.

| Parámetro             | Valor                        |
|-----------------------|------------------------------|
| Servidor              | nam1.cloud.thethings.network |
| Plan de frecuencia    | US915 (902-928 MHz)          |
| Sub banda electa      | 903.9 MHz                    |
| Ancho de banda        | 125 kHz                      |
| Version LoRaWAN       | Especificación 1.0.2         |
| Versión de parámetros | RP001 1.0.2                  |
| Método de activación  | ABP                          |
| Clase del dispositivo | A                            |

El registro del dispositivo final dentro de la plataforma TTS se realiza siguiendo los parámetros mostrados en la tabla 3.



Este proceso proporciona las claves: *devAddr*, *nwkSKey* y *appSKey* que se codifican posteriormente para la activación y emparejamiento del dispositivo.

Tabla 3. Clases implementadas dentro del código principal del prototipo.

| Clase          | Función   |
|----------------|---|
| SensorRGB      | Lógica de detección del color para el sensor GY-31.                       |
| Scanner        | Determina el nivel de agua detectado siguiendo el patrón de color electo. |
| TTN_esp32      | Permite integrarse a TTS.   |
| TTN_CayenneLPP | Codifica los datos en un <i>payload</i> .                                 |
| Heltec         | Control de pantalla y antena LoRa.  |

La programación se realizó en lenguaje C++ desarrollando una librería personalizada que incluyó dos clases nombradas: *SensorRGB* y *Scanner* [22]; además de clases incluidas en librerías como *TTN\_esp32.h*, *TTN\_CayenneLPP.h*, *heltec.h*, la funcionalidad de cada clase se detalla en la tabla 2.

4.4.3 Integración con la plataforma Ubidots

Se aprovechó la capacidad de integración que brinda TTS mediante la creación de un *webhook*. Este se conecta al complemento configurado dentro de la plataforma Ubidots, mediante un *Endpoint URL* privado, el cual recibe la información decodificada en formato JSON desde TTS.

5. Resultados

5.1 Funcionamiento del prototipo



Figura 5. Pruebas de flotabilidad y detección en un escenario real.

Se probó el diseño físico del prototipo en la orilla de la cuenca del río San Pablo en una zona comúnmente inundable, comprobando la flotabilidad a diversas profundidades sin presentar filtraciones a las partes electrónicas. En las exploraciones se muestran unos resultados satisfactorios, habiendo pasado las pruebas favorablemente.

Cabe señalar que las pruebas no se realizaron en condiciones reales de inundación, donde factores como el viento, vegetación, entre otras, puedan influir en los resultados obtenidos. De igual manera, se revela que el uso de estas tecnologías permite la monitorización de ríos y alerta temprana de inundaciones.

5.2 Presentación de la información en Ubidots

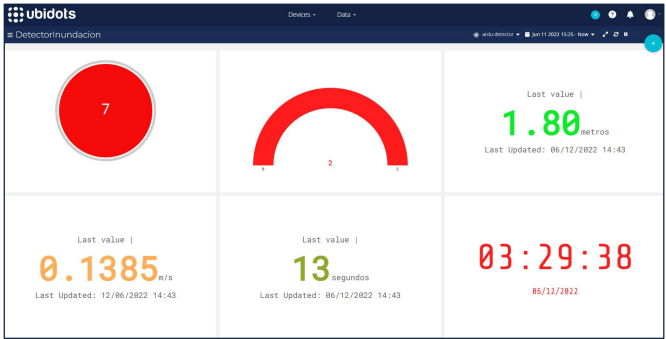


Figura 6. Tablero de complementos creado en Ubidots que muestra la elevación, tiempo de recorrido y velocidad de la boya.

La información enviada desde el dispositivo final se transmitió de forma correcta y automática a la plataforma Ubidots, creando un tablero de complementos dinámico donde se aprecia el color detectado, el nivel de los colores, el tiempo, altura y velocidad estimada de la boya.

5.3 Alertas por correo



Figura 7. Alertas de inundación enviadas por correo electrónico.

Se programaron alertas de correo electrónico para cada altura detectada por el prototipo, siendo recibidas instantáneamente al realizar las pruebas de funcionamiento.

6. Conclusiones

Es importante aprovechar las nuevas tecnologías en sensores y comunicaciones, con la finalidad de mitigar los estragos causados por desastres naturales como lo son las inundaciones que se dan en el corregimiento de Soná en la cuenca del río San Pablo.

Por ello, en este proyecto se planteó un prototipo con la capacidad de monitorizar y de alertar de forma temprana el riesgo de inundación a la población o estamento de protección civil, permitiendo alcanzar las siguientes conclusiones:

- ✓ El prototipo funciona a nivel lógico y físico, siendo capaz de detectar los diferentes colores y niveles establecidos.
- ✓ La modulación LoRa y el protocolo LoRaWAN permitió la comunicación entre el dispositivo final y el *gateway*, logrando transmitir el color detectado, el nivel al que pertenece dicho color, la altura y el tiempo de la boya.
- ✓ La plataforma Ubidots presenta características que permiten un prototipado rápido con una alta funcionalidad, a pesar de ser utilizada con una licencia STEM.
- ✓ Mediante este prototipo es posible saber que tan rápido se da el crecimiento y posterior desbordamiento de un río, al calcular la velocidad de acuerdo con la distancia que se encuentra la boya del suelo y el tiempo que demora en cambiar de un color a otro.
- ✓ Este prototipo mantiene un costo a nivel de hardware de 70 USD (sin *gateway*) y 800 USD a nivel de mano de obra.

Como trabajo futuro se pretende mejorar el diseño físico para asegurar la vida útil de los componentes electrónicos frente a las condiciones climáticas de la temporada lluviosa, además realizar un estudio para mejorar la cobertura de la red LoRa en el corregimiento de Soná cabecera para asegurar una comunicación estable de los dispositivos finales al *gateway*.

## REFERENCIAS

- [1] Hidrometeorológica de ETESA, “Régimen pluviométrico de Panamá,” 2022. <https://www.hidromet.com.pa/es/regimen-pluviometrico-panama> (accessed May 10, 2022).
- [2] Weather Spark, “El clima en Soná, el tiempo por mes, temperatura promedio (Panamá),” 2016. <https://es.weatherspark.com/y/17435/Clima-promedio-en-Soná-Panamá-durante-todo-el-año> (accessed May 14, 2022).
- [3] Crítica, “Desbordamientos de ríos e inundaciones en Soná,” *Periódico*, Jun. 08, 2022. <https://www.critica.com.pa/nacional/desbordamientos-de-rios-e-inundaciones-en-sona-591480> (accessed Jun. 08, 2022).
- [4] O. Elijah, T. A. Rahman, I. Orikumhi, C. Y. Leow, and M. N. Hindia, “An Overview of Internet of Things (IoT) and Data Analytics in Agriculture: Benefits and Challenges,” *IEEE Internet Things J.*, vol. 5, no. 5, pp. 3758–3773, Oct. 2018, doi: 10.1109/JIOT.2018.2844296.
- [5] S.-C. Ma *et al.*, “Inter-Multilevel Super-Orthogonal Space-Time Coding Scheme for Reliable ZigBee-Based IoMT Communications,” *Sensors*, vol. 22, no. 7, p. 2695, Mar. 2022, doi: 10.3390/S22072695.
- [6] J. Peña Queralta, T. N. Gia, Z. Zou, H. Tenhunen, and T. Westerlund, “Comparative Study of LPWAN Technologies on Unlicensed Bands for M2M Communication in the IoT: beyond LoRa and LoRaWAN,” *Procedia Comput. Sci.*, vol. 155, pp. 343–350, Jan. 2019, doi: 10.1016/J.PROCS.2019.08.049.
- [7] D. Davcev, K. Mitreski, S. Trajkovic, V. Nikolovski, and N. Koteli, “IoT agriculture system based on LoRaWAN,” *IEEE Int. Work. Fact. Commun. Syst. - Proceedings, WFCS*, vol. 2018-June, pp. 1–4, Jul. 2018, doi: 10.1109/WFCS.2018.8402368.
- [8] S. Sendra, L. García, J. Lloret, I. Bosch, and R. Vega-Rodríguez, “LoRaWAN Network for Fire Monitoring in Rural Environments,” *Electron. 2020, Vol. 9, Page 531*, vol. 9, no. 3, p. 531, Mar. 2020, doi: 10.3390/ELECTRONICS9030531.
- [9] D. E. Armijos P, “Sistema de Alerta Temprana de Riesgo de Inundaciones Basado en el Protocolo de Comunicación LoRa,” Universidad de Azuay, Cuenca, 2022.
- [10] H. P. Carrera O and A. L. Jose A, “Sistema de comunicación de alerta emergente en situaciones de desastres naturales mediante el uso de tecnologías Wifi, GSM y LPWAN,” Mar. 28, 2021. <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/24431/1/T-ESPE-044503.pdf> (accessed Apr. 23, 2022).
- [11] T. K. Chi, H. C. Chen, S. L. Chen, and P. A. R. Abu, “A High-Accuracy and Power-Efficient Self-Optimizing Wireless Water Level Monitoring IoT Device for Smart City,” *Sensors 2021, Vol. 21, Page 1936*, vol. 21, no. 6, p. 1936, Mar. 2021, doi: 10.3390/S21061936.
- [12] ThingSpeak, “IoT Analytics - ThingSpeak Internet of Things,” 2022. <https://thingspeak.com/> (accessed Jun. 08, 2022).
- [13] Ubidots, “IoT platform | Internet of Things,” 2022. <https://ubidots.com/> (accessed May 10, 2022).
- [14] Heltec Automation Docs, “Wireless Stick Documentation,” *fd88ac44*, 2019. [https://heltec-automation-docs.readthedocs.io/en/latest/esp32/wireless\\_stick/index.html](https://heltec-automation-docs.readthedocs.io/en/latest/esp32/wireless_stick/index.html) (accessed Apr. 30, 2022).
- [15] E. Caribe, “TCS230 Sensor de Reconocimiento de Color,” 2022. <https://electronicacaribe.com/product/tcs230-sensor-de-reconocimiento-de-color/> (accessed May 10, 2022).
- [16] Raspberry Pi, “Raspberry Pi 4 Model B,” 2022. <https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-4-model-b/> (accessed Apr. 29, 2022).
- [17] RAKwireless, “RAK2245 Pi HAT WisLink LPWAN Concentrator Datasheet,” *Documentation Center*, Jan. 10, 2022. <https://docs.rakwireless.com/Product-Categories/WisLink/RAK2245-Pi-HAT/Datasheet/#overview> (accessed Apr. 28, 2022).
- [18] B. Olayinka, “The Things Stack for LoRaWAN,” Jun. 10, 2021. <https://www.thethingsindustries.com/docs/> (accessed May 10, 2022).
- [19] C. Bouras, A. Gkamas, and S. A. K. Salgado, “Energy efficient mechanism for LoRa networks,” *Internet of Things*, vol. 13, p. 100360, Mar. 2021, doi: 10.1016/J.IOT.2021.100360.
- [20] R. Fujdiak, K. Mikhaylov, J. Pospisil, A. Povalac, and J. Misurec, “Insights into the Issue of Deploying a Private LoRaWAN,” *Sensors 2022, Vol. 22, Page 2042*, vol. 22, no. 5, p. 2042, Mar. 2022, doi: 10.3390/S22052042.
- [21] The Things Network, “Documentación LoRaWAN,” 2022. <https://www.thethingsnetwork.org/docs/lorawan/> (accessed May 13, 2022).
- [22] E. Rivera, E. Pérez, and R. Juárez, “RonaldJair19/ArduDetectorInundacion library,” *Github*, 2022. <https://github.com/RonaldJair19/ArduDetectorInundacion> (accessed Jun. 14, 2022).