



## **Red de estaciones de monitoreo de salinidad del Río Pánuco**

*Manuel Antonio Arenas Méndez<sup>1\*</sup>, Carlos Alberto Contreras Verteramo<sup>1</sup>, Reina Verónica Román Salinas<sup>1</sup>, Erik David Aduato Marciano<sup>1</sup>, Luis Edmundo Gomez Perez<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>TecNM-Instituto Tecnológico Superior de Pánuco

\*manuel.arenas@itspanuco.edu.mx

### **RESUMEN**

La acumulación de sales en suelo y agua dulce, conocida como salinización, es un problema global que afecta ríos, acuíferos y suelos productivos, se debe tanto a causas naturales como a actividades humanas. Esta problemática tiene graves implicaciones para la seguridad alimentaria e hídrica de millones de personas, especialmente donde la densidad poblacional es alta. La salinización provoca disminución de rendimientos agrícolas, originando transición de actividades primarias, pérdida de tierras cultivables y elevación de las tasas migratorias. El problema radica en que muchas desembocaduras de ríos se ven amenazadas por el aumento del nivel del mar y la extracción excesiva de agua, esto resulta en el incremento de la salinidad río arriba. La salinidad también tiene efectos negativos en la biodiversidad y la salud de los ecosistemas, además de impactar la seguridad alimentaria y los medios de vida de las comunidades locales.

El objetivo de este proyecto es implementar una red de estaciones de medición de salinidad en el Río Pánuco mediante un sistema embebido IoT que mide conductividad eléctrica (salinidad), turbidez y temperatura del agua. La red consta de dos estaciones, una maestra y una esclava, que se comunican a través de tecnología LoRa. Ambas estaciones funcionan continuamente las 24 horas mediante energía solar y baterías.

Palabras clave: estaciones de monitoreo, IoT, sistema embebido, salinidad, LoraWan

### **ABSTRACT**

Accumulation of salts in soil and fresh water known as salinization, is a global problem that affects rivers, aquifers and productive soils due to natural causes and human activities. This problem has serious implications on food and water security of millions of

people, especially where population density is high. Salinization causes decrease in agricultural yields, leading to the transition of primary activities, loss of agricultural land and increase of migration rates. Many river mouths are threatened by rising sea levels and excessive water extraction, resulting in higher salinization upstream. Salinity also has negative effects on biodiversity and ecosystem health, as well as impacts on food security and livelihoods of local communities. To address this issue, a real-time salinity monitoring system was developed for Pánuco River.

The main objective of this project is to implement a network of salinity measurement stations in Pánuco River, this was achieved through an embedded IoT system that measures electric conductivity (salinity), turbidity and water temperature. This network consists of two stations, master and slave, which communicate through LoRa technology. Both stations allow continuous monitoring 24 hours a day by means of solar power and batteries.

Keywords: monitoring stations, IoT, embedded system, salinity, LoraWan.

## **INTRODUCCIÓN**

La acumulación de sales solubles en suelos y agua dulce o salinización es un fenómeno global que se desarrolla a una escala sin precedentes. El proceso de salinización se origina por causas naturales, como inundación por marea y también por antropogénicas como la extracción excesiva de agua de ríos y subterránea; el exceso de sales puede contaminar irreversiblemente ríos, acuíferos y suelos, con implicaciones directas para la seguridad alimentaria e hídrica de millones de personas. La naturaleza ubicua de la salinización es cada vez más evidente, con un volumen sustancial de literatura que discute el fenómeno en cuerpos de agua costeros y continentales, en regiones tropicales áridas y semiáridas (Essink, 2001; Williams, 2001; Clarke et al. 2015; Ketabchi et al., 2016).

La amenaza emergente y las consecuencias negativas de la salinización se observan cada vez más frecuentemente en ecosistemas acuáticos como estuarios, lagos y lagunas costeras, humedales, islas pequeñas, deltas y otras variantes de desembocaduras, así como regiones costeras bajas. En particular, el tema surge como una importante

preocupación socioecológica para los deltas de los ríos globales, que albergan más de 500 millones de personas con más de siete veces la densidad de población media mundial. Como sistemas ecológicos costeros únicos y naturalmente dinámicos, los deltas y estuarios proporcionan importantes servicios ambientales que se traducen en billones de dólares, incluyen amplia diversidad biológica, suelos aluviales fértiles y hábitat acuático para la pesca (Giosan, et al. 2014; Ketabchi et al., 2014; Lauria et al. 2014).

La disminución de los rendimientos de los cultivos asociada con la salinización es una problemática común en desembocaduras de ríos a nivel mundial; la situación es particularmente urgente en países de ingresos medios con altas densidades poblacionales y ecológicamente vulnerables a los efectos del cambio climático. El Banco Mundial sugiere que el aumento de la salinidad posterior a un aumento del nivel del mar de 0,3 m causará una reducción neta de 0,5 millones de toneladas métricas de producción de arroz. La salinización de ríos obliga a la transición de actividades primarias, los agricultores deben cesar cultivos y en muchos casos vender sus tierras, en algunos casos esto resulta en conflictos locales y violencia. Además de la reducción en rendimientos de cultivos, la salinización ha provocado pérdida considerable de tierras cultivables, ganado y peces de agua dulce, componentes importantes de dietas locales; además de altas tasas de migración (Le et al., 2007; Belton, 2016; Dasgupta et al., 2018).

La finalidad de este desarrollo tecnológico es implementar un sistema de información que proporcione datos de salinidad en tiempo real del agua del Río Pánuco, para que los productores agrícolas mantengan control de la calidad de agua empleada para riego a través de información actualizada.

## **METODOLOGÍA**

Se implementó un prototipo de red de monitoreo conformado por dos estaciones que se denominarán a partir de este momento como MAESTRA y ESCLAVA. La estación MAESTRA (Figura 1) está compuesta por un gabinete Nema Ip65 (Grados de protección, s/f), con dimensiones 17x25 cm, contiene un sistema embebido (Figura 2) basado en un tarjeta de desarrollo TTGO T-Call ESP32 SIM800L (Georgiev, s/f) con conectividad vía internet por medio de una tarjeta SIM con plan de datos para envío de la información de

monitoreo de la red a la plataforma de análisis de datos para Internet de las Cosas ThingSpeak.



Figura 1.- Gabinete Nema Ip65.



Figura 2.- Sistema embebido estación MAESTRA.

El sistema embebido se compone un sensor TDS para la medición de salinidad (Gravity: Analog TDS sensor/ meter for Arduino, s/f), un sensor de turbidez (Gravity: Analog turbidity sensor for Arduino, s/f), una sonda para la medición de temperatura DS18B20 (Gravity: Waterproof DS18B20 temperature sensor kit, s/f), una tarjeta de desarrollo LoRa32 V2.0 (Tingo, s/f), una memoria SD CARD para el respaldo local de datos, un módulo de reloj de tiempo real para sincronización de fecha y hora de las mediciones, una pantalla oled de 128x64 pixeles para la visualización de información del sistema y un

circuito de gestión de energía para celda solar con una batería LIPO 1S. En la figura 3 se describe el algoritmo implementando en la tarjeta de desarrollo TTGO T-Call ESP32 SIM800L.

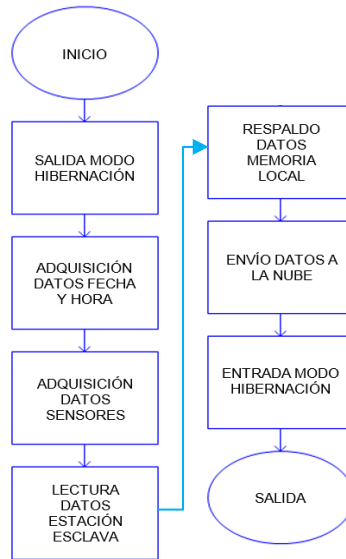


Figura 3.- Diagrama de flujo de algoritmo tarjeta de desarrollo TTGO T-Call ESP32 SIM800L.

En la figura 4 se describe el algoritmo implementando en la tarjeta de desarrollo LoRa32 V2.0.

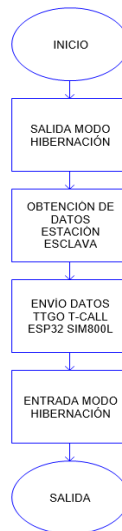


Figura 4.- Diagrama de flujo de algoritmo tarjeta de desarrollo tarjeta de desarrollo LoRa32 V2.0.

Para la obtención de las muestras de agua se diseñó un contenedor exterior, con soporte para los sensores, ahí se almacena la muestra de agua obtenida mediante bombeo desde

el río, (Figura 5), una vez concluida la medición el agua es purgada mediante una válvula eléctrica de desagüe.



Figura 5.- Dispositivo contenedor de muestras de agua para análisis.

La estación ESCLAVA se compone de un gabinete Nema Ip65, con dimensiones 17x25 cm, que contiene un sistema embebido (Figura 6) basado en un tarjeta de desarrollo LoRa32 V2.0 y una sonda para la medición de temperatura DS18B20, así como un circuito de gestión de energía para celda solar con una batería LIPO 1S.



Figura 6.- Sistema embebido estación ESCLAVA.

En la figura 7 se describe el algoritmo implementando en la tarjeta de desarrollo LoRa32 V2.0 de la estación ESCLAVA.



Figura 7.- Diagrama de flujo de algoritmo sistema embebido estación ESCLAVA.

Para la alimentación eléctrica y recarga de las baterías de las estaciones se emplearon dos celdas solares de 6V@8W y 6V@15W.

## RESULTADOS

Un prototipo de red de estaciones de monitoreo de salinidad del Río Pánuco conformado por dos estaciones con capacidad de comunicación de hasta 10 kilómetros de separación mediante tecnología LORA (LoRa alliance®, 2019). La estación MAESTRA mide y respalda de forma local y en la nube valores de salinidad, turbidez y temperatura de una muestra de agua que se obtiene del caudal del río mediante una bomba. Los datos se complementan con información de temperatura del agua medida en otro punto del río por una estación ESCLAVA. El tiempo de muestreo de los datos es configurable por el usuario. Ambas estaciones cuentan con celda solar y batería que les permiten operar de forma continua las 24 horas.

## **DISCUSIÓN**

Debido a que se trata de un prototipo inicial, es posible señalar que el impacto tecnológico se enfoca en el desarrollo de competencias de los estudiantes que participaron en el proyecto, como programación en la nube, desarrollo de sistemas IoT, implementación de prototipos, diseño CAD y otras, que complementan las adquiridas durante sus estudios profesionales.

## **CONCLUSIONES**

Como conclusiones podemos mencionar:

El prototipo de red de estaciones de monitoreo de salinidad tiene capacidad para realizar las mediciones de salinidad, temperatura y turbidez del agua, registrando los datos de forma local y en la nube adecuadamente. En el sitio <https://thingspeak.com/channels/2272292> es posible consultar y descargar los datos obtenidos durante las mediciones de prueba.

Los sensores empleados son de grado educativo, por lo tanto de bajo costo, y no se caracterizan por presentar una alta precisión en sus mediciones. El sistema de energía funciona satisfactoriamente realizando la carga de la batería en menos de cuatro horas, de acuerdo con el requerimiento de carga diurna de ésta. El programa de hibernación del circuito electrónico permite el ahorro de carga de la batería, haciendo posible una respuesta eficaz al consumo de energía generado durante el período de oscuridad.

## **LITERATURA CITADA**

Abedin, M. A., U. Habiba y R. Shaw. 2014. Salinity scenario in mekong, ganges, and indus river deltas, in *Water Insecurity: A Social Dilemma*. Emerald Group Publishing Limited. p. 115-138.

Ayers, R.S. y D.W. Westcot. 1985. *Water quality for agriculture*. Vol. 29: Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy.

Belton, B. 2016. Shrimp, prawn and the political economy of social wellbeing in rural Bangladesh. *Journal of Rural Studies*. 45: 230-242.

Clarke, D., S. Williams, M. Jahiruddin, K. Parks y M. Salehin. 2015. Projections of on-farm salinity in coastal Bangladesh. *Environmental Science: Processes & Impacts*. 17(6): 1127-1136.

Chen, J. y V. Mueller. 2018. Coastal climate change, soil salinity and human migration in Bangladesh. *Nature Climate Change*.

Dasgupta, S., M. M. Hossain, M. Huq y D. Wheeler. 2018. Climate Change, Salinization and High-Yield Rice Production in Coastal Bangladesh. *Agricultural and Resource Economics Review*. 47(1): 66-89.

Day, J. W., D. Pont, P. F. Hensel y C. Ibañez. 1995. Impacts of sea-level rise on deltas in the Gulf of Mexico and the Mediterranean: the importance of pulsing events to sustainability. *Estuaries*. 18(4): 636-647.

Echezuría, H., J. Córdova, M. González, V. González, J. Méndez y C. Yanes. 2002. Assessment of environmental changes in the Orinoco River delta. *Regional Environmental Change*. 3(1-3): 20-35.

Essink, G.H.O. 2001. Improving fresh groundwater supply—problems and solutions. *Ocean & Coastal Management*. 44(5-6): 429-449.

Frihy, O.E. 2003. The Nile delta-Alexandria coast: vulnerability to sea-level rise, consequences and adaptation. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*. 8(2): 115-138.

Georgiev, V. (s/f). T-Call V1.4. LILYGO®. Recuperado el 15 de septiembre de 2023, de [https://www.lilygo.cc/products/t-call-v1-4?\\_pos=1&\\_sid=0fe68a32f&\\_ss=r](https://www.lilygo.cc/products/t-call-v1-4?_pos=1&_sid=0fe68a32f&_ss=r)

Giosan, L., J. Syvitski, S. Constantinescu y J. Day. 2014. Climate change: protect the world's deltas. *Nature News*, 2014. 516(7529): p. 31.

Grados de protección. (s/f). Auersignal.com. Recuperado el 15 de septiembre de 2023, de <https://www.auersignal.com/es/datos-tecnicos/normas/grados-de-proteccion-ip/>

Gravity: Analog TDS sensor/ meter for Arduino. (s/f). Dfrobot.com. Recuperado el 15 de septiembre de 2023, de <https://www.dfrobot.com/product-1662.html>

Gravity: Analog turbidity sensor for Arduino. (s/f). Dfrobot.com. Recuperado el 15 de septiembre de 2023, de <https://www.dfrobot.com/product-1394.html>

Gravity: Waterproof DS18B20 temperature sensor kit. (s/f). Dfrobot.com. Recuperado el 15 de septiembre de 2023, de <https://www.dfrobot.com/product-1354.html>

Harrison, T. D. y Whitfield, A. K. 2006. Temperature and salinity as primary determinants influencing the biogeography of fishes in South African estuaries. *Estuarine Coastal and Shelf Science*. 66: 335-345.

Hoeppner, S.S., G.P. Shaffer y T.E. Perkins. 2008. Through droughts and hurricanes: Tree mortality, forest structure, and biomass production in a coastal swamp targeted for restoration in the Mississippi River Deltaic Plain. *Forest Ecology and Management*. 256(5): 937-948.

Homepage - LoRa alliance®. (2019, julio 9). LoRa Alliance®. <https://lora-alliance.org/>

Ibáñez, C., N. Prat y A. Canicio. 1996. Changes in the hydrology and sediment transport produced by large dams on the lower Ebro River and its estuary. *Regulated Rivers: Research & Management*. 12: 51-62.

Ketabchi, H., D. Mahmoodzadeh, B. Ataie-Ashtiani y C. T. Simmons. 2016. Sea-level rise impacts on seawater intrusion in coastal aquifers: Review and integration. *Journal of Hydrology*. 535: 235-255.

Lauria, V., I. Das, S. Hazra, I. Cazcarro, I. Arto, S. Kay, P. Ofori-Danson, M. Ahmed, M. A.R. Hossain, M. Barange y J. A. Fernandes. 2018. Importance of fisheries for food security across three climate change vulnerable deltas. *Science of The Total Environment*. 640: 1566-1577.

Le A. T., C.T.H., F. Miller y B.T. Sinh. 2007. Flood and salinity management in the Mekong Delta, Vietnam. Bangkok/Sustainable Mekong Research Network (Sumernet).

Lira, J., A. Morales y F. Zamora. 1997. Study of sediment distribution in the area of the Pánuco river plume by means of remote sensing. *Int. J. Remote Sensing*. 18(1): 171-182.

Parry, M.L., O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden y C.E. Hanson (Eds.). 2007. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 982pp.

Pritchard, D.W. 1967. What is an estuary: a physical viewpoint. *American Association for the Advancement of Science*. 83: 3-5.

Rengasamy, P. 2006. World salinization with emphasis on Australia. *Journal of experimental botany*. 57(5): 1017-1023.

Rattray, M. y E. Mitsuda. 1974. Theoretical analysis of conditions in a salt wedge. *Estuarine Coastal Marine Science*. 2: 375-394.

Sierra, J.P., A. Sanchez-Arcilla, P. A. Figeras, J. González Del Río, E. K. Rasmussen y C. Mösso. 2004. Effects of discharge reductions on salt wedge dynamics of the Ebro River. *River research and applications*. 20: 61-77.

Stommel, H. y H. G. Farmer. 1952. On the nature of estuarine circulation WHOI. Tech. Rep. 131: 52-88.

Tingo, T. (s/f). LoRa32 V1.0. LILYGO®. Recuperado el 15 de septiembre de 2023, de [https://www.lilygo.cc/products/lora32-v1-0?\\_pos=4&\\_sid=c07ba9261&\\_ss=r](https://www.lilygo.cc/products/lora32-v1-0?_pos=4&_sid=c07ba9261&_ss=r)

Williams, W. 2001. Anthropogenic salinisation of inland waters, in *Saline Lakes*. Springer. p. 329-337.