

DISEÑO DE UNA RED LPWAN PARA LA ADQUISICIÓN Y TRANSMISIÓN REMOTA DE DATOS DE MONITOREO EN GRANJAS ACUÍCOLAS

DESIGN OF AN LPWAN NETWORK FOR THE ACQUISITION AND REMOTE TRANSMISSION OF MONITORING DATA IN AQUACULTURE FARMS

Toscano García M. A.¹, Figueroa Millán P. E.², Benavides Delgado J. R.², Chávez Valdez R. E.², Farías
Mendoza N.²

¹Estudiante de Maestría en la División de Estudios de Posgrado e Investigación; Tecnológico Nacional de
México/I.T. Colima; 28979 Villa de Álvarez, Colima

²Docente en la División de Estudios de Posgrado e Investigación; Tecnológico Nacional de México/I.T.
Colima; 28979 Villa de Álvarez, Colima.

E-mail: g1946020@colima.tecnm.mx, patricia.figueroa@colima.tecnm.mx, rbenavides@colima.tecnm.mx,
echavez@colima.tecnm.mx, nfarias@colima.tecnm.mx

RESUMEN.

En México la acuicultura genera productos alimenticios de calidad e ingresos relevantes para el país, buscando incrementar su producción año con año; para esto, se requiere la automatización de los procesos de producción, especialmente en el monitoreo y adquisición de la información referente a la calidad del agua de los estanques. La inclusión de tecnologías en la acuicultura permite solventar esta problemática, entre éstas el Internet de las Cosas, el cual permite automatizar la adquisición de la información. Por lo tanto, esta investigación se enfoca en el diseño de una red LPWAN basada en LoRa y LTE CAT-M1 para la adquisición, transmisión, almacenamiento y visualización de los parámetros fisicoquímicos del agua de los estanques, la cual permitirá la adquisición remota de los datos de monitoreo, reduciendo la mano de obra y el costo de traslado de los empleados que se encargan de realizar las actividades de monitoreo.

Palabras clave: acuicultura, Internet de las cosas, LoRa, LoRaWAN, LTE CAT-M1.

ABSTRACT.

In Mexico, aquaculture generates quality food products and relevant incomes for the country to increase its production year by year. For this, production processes automation is required, especially in information monitoring and acquisition regarding to the quality of the water in the ponds. The inclusion of technologies as Internet of Things in the aquaculture sector allows to solve this problem. Therefore, this research focuses on the design of an LPWAN network based on LoRa and LTE CAT-M1 for the acquisition, transmission, storage and visualization of the water quality of ponds, allowing remote acquisition of the monitoring data and cost reduction of employees labor and travel for carrying out monitoring activities.

Keywords: aquaculture, Internet of Things, LoRa, LoRaWAN, LTE CAT-M1.

1. INTRODUCCIÓN.

Acorde con Aguilera y Noriega [1] la acuicultura se define como “el intento del hombre por incrementar la productividad

de los recursos acuáticos mediante la manipulación deliberada de sus procesos fisiológicos de crecimiento, reproducción y mortalidad, haciendo uso de insumos como alimento y mano de obra”. Esta consiste en diferentes actividades tales como la cría, la crianza y la recolección de animales de sus entornos de agua dulce y salada; principalmente esta actividad se realiza con fines alimenticios. A nivel mundial, la acuicultura proporciona más del 50% de los productos del mar destinados para el consumo humano y se seguirá incrementando con el paso de los años [2]. Las granjas acuícolas están compuestas por uno o varios estanques en donde se lleva a cabo la cría, la crianza y la recolección de las especies. Estos estanques están expuestos a cambios climáticos y a otros factores que modifican las características del agua, siendo esta parte esencial del hábitat de las especies; por lo que, en algunas granjas se realizan monitoreos de estos parámetros con sensores electrónicos manuales que permiten tomar mediciones. Sin embargo, este tipo de actividades lo hacen de manera local y presencial, lo que obliga a contar con más personal y que éstos tengan que trasladarse a la granja acuícola para realizar dichas actividades a diferentes horas durante el día y la noche. Debido a esto, surge la necesidad de implementar un sistema que permita la adquisición y transmisión de los datos del monitoreo de los parámetros fisicoquímicos del agua de forma remota a través del Internet de las cosas. El Internet de las Cosas es una tecnología que se está utilizando cada vez más en diferentes áreas, ya que ofrece características que ayudan al manejo de la información que se genera en diferentes áreas, por ejemplo, en el hogar, las oficinas, las fábricas, etc. [3]. Por otro lado, la acuicultura de precisión es un área en donde se están implementando tecnologías innovadoras que hacen posible la recopilación, el procesamiento y el análisis de grandes volúmenes de datos. La acuicultura de precisión implica una variedad de sensores utilizados para obtener información sobre el entorno de la granja y con base en esto tomar decisiones que optimicen la salud de los peces, el crecimiento y el rendimiento económico; además, de reducir el riesgo para el medio ambiente [4]. Así, en la actualidad existen empresas enfocadas a desarrollar

tecnologías y soluciones IoT que benefician las actividades en la acuicultura, esto a través de dispositivos electrónicos que cuentan con características para extraer, procesar y transmitir, entre otras, información que se almacena y se analiza, permitiendo hacer más eficientes algunas de las actividades que se involucran en la acuicultura como por ejemplo, la medición de los parámetros fisicoquímicos del agua, la adquisición y transmisión de datos, creación de una base de datos con el histórico de los parámetros, monitoreo remoto de los parámetros, etc.[5]; Así mismo, existen otras soluciones formuladas para la adquisición y transmisión de datos, de las cuales describo las siguientes:

Triana y Rodríguez [6] proponen un prototipo de solución IoT con tecnología “LoRa” en monitoreo de cultivos agrícolas. La adquisición de datos procedentes de los sensores de temperatura, humedad, radiación y pH tienen comunicación inmediata con el sistema Arduino Uno R3 + LoRa shield, a esto se le nombra “NODO”; el nodo envía los datos a través de LoRa hacia el respectivo Gateway (Dragino LG-01S). El Gateway envía los datos de cada nodo a un servidor público llamado “thingspeak”, este servidor cuenta con un “id” y “canal id” para determinar qué nodo está transmitiendo la información. La información que se encuentra en cada uno de los canales se enlaza a través de un “API key”; el cual, permite realizar la implementación en el programa Visual Studio de un Web Service. Se crea una base de datos relacional en SQL server, donde se almacenan los datos para su posterior procesamiento y por medio de procedimientos almacenados en SQL server se realiza el tratamiento de la información que graficará en la aplicación web. Esta aplicación posee una interfaz que permite visualizar la información de los sensores de cada nodo, estadísticas y alertas cuando las medidas no están dentro de los parámetros que se pueden establecer mediante la misma interfaz. Sin embargo, utilizan una pasarela fabricada por un proveedor, la cual no cuenta con características para poder implementarse en una red LoRaWAN. Además, en caso de que fallara la comunicación entre la pasarela y el servidor, ocasionaría la pérdida de esos datos sensados, ya que no se cuenta con un respaldo de forma local.

Por otro lado, Olivo [7] plantea un prototipo para el monitoreo automatizado de parámetros de calidad del agua en una granja de camarón. El sistema está conformado por un nodo sensor, un nodo coordinador y nodo de publicación. El nodo sensor monitorea la calidad del agua y transmite estos datos de forma inalámbrica a través de ZigBee al nodo coordinador. El nodo coordinador recibe los datos y los registra en una base de datos. En el nodo de publicación, los usuarios podrán visualizar los parámetros monitoreados a través del Internet mediante una página Web. Si bien, en la actualidad ya se cuenta con otras tecnologías para la transmisión de los datos, se podría optar por LoRa, ya que presenta mejores características en cuanto a mayor distancia de cobertura, menor consumo de energía, mayor longitud de carga útil, entre otras.

También Flores y Aracena [8] presentan un sistema de monitoreo remoto de acuicultura en estanques para la crianza

de camarones. El sistema se basa en la arquitectura cliente-servidor y está conformado por cuatro subsistemas, los cuales son: subsistema de monitoreo y alertas, subsistema recolector de datos serial, subsistema de nodo recolector de datos y subsistema de almacenamiento de datos (servidor). El subsistema “Nodo recolector de datos” concierne a un nodo sensor conformado por un microcontrolador, sensores y el dispositivo XBee de comunicación inalámbrica. El Subsistema “recolector de datos serial” se encarga de requerir los datos, al nodo recolector de datos a través de un programa realizado en el entorno de desarrollo Processing. Este programa permite poner a la escucha el puerto serial por donde ingresan los datos enviados del nodo sensor, el cual se ejecuta en el computador que actúa como servidor. A través de un puerto USB se conecta un transceptor XBee, éste funge como coordinador de la red inalámbrica y envía las peticiones que se ejecutan en Processing. El Subsistema de “Almacenado de datos” es el encargado de guardar la información que es enviada desde el subsistema recolector de datos seriales en las tablas de una base de datos MYSQL. Además, ejecuta las solicitudes de envío de datos desde el subsistema de monitoreo y alerta para generar gráficos o informes. El Subsistema de “Monitoreo y alerta” trabaja para que el usuario pueda monitorear los datos de manera local o remota, este subsistema hace referencia a las vistas hechas en CodeIgniter, un framework PHP, para el desarrollo de la aplicación con interfaz gráfica usuario en entorno web, mostrando el estado de los estanques, el historial de las variables medidas del agua y ambiente, la configuración de niveles mínimos y máximos, la selección de datos para generación de informes e historiales. Además, notifica por correo electrónico a los usuarios registrados en el sistema si las variables medidas han sobrepasado los niveles mínimos y máximos. No obstante, este sistema no se podría implementar en una zona rural en donde no exista la infraestructura de un proveedor de servicios de Internet, ya que la transmisión y visualización de los datos depende de que el servidor esté conectado al Internet por medio de Ethernet o WiFi.

Por otra parte, Nava et al. [9] desarrollaron una aplicación de sistemas embebidos e IoT para el monitoreo de estanques acuícolas en El dorado, Sinaloa. El sistema está conformado por un nodo Gateway, un nodo de monitoreo y la plataforma en línea para IoT. Los nodos de monitoreo son colocados en los estanques de cosecha de camarón, en donde se recolectan los datos de temperatura y oxígeno disuelto, y los cuales se envían a través de la tecnología LoRa al nodo gateway que sube dicha información a la red mediante la tecnología 3G, utilizando protocolo MQTT. Los datos pueden ser observados en la plataforma ResIoT.io para su monitoreo. Sin embargo, para algunas empresas el presupuesto podría ser una limitante para implementar este proyecto, ya que la pasarela utilizada es de la marca Multitech, la cual tiene un costo de 549 dólares en su página oficial. Así mismo, en este sistema la pasarela utiliza la transmisión de los datos a través de la tecnología 3G. De igual modo, se podría cambiar por la tecnología 4G LTE para aprovechar sus cualidades que consisten en mayor potencia y velocidad en la transmisión de datos.

Por último, Niswar et al. [10] presentaron un sistema de monitoreo de calidad del agua para cultivo de cangrejo de caparazón blando basado en IoT. Este sistema utiliza una red de sensores inalámbricos que se basa en LoRa y un protocolo de transporte de telemetría en cola (MQTT) para intercambiar mensajes entre pequeños dispositivos integrados, dispositivos móviles y sensores. El sistema consiste principalmente en un nodo sensor como publicador, el agente de Raspberry pi MQTT Raspberry (Modelo 3) y dispositivos clientes móviles como suscriptores. El nodo sensor está diseñado con pequeños dispositivos incrustados, interfaz inalámbrica LoRa y sensores de calidad del agua, es decir, sensor de temperatura del agua, sensor de pH y sensor de salinidad. Éste está configurado a una aplicación de monitoreo basado en la web usando node-red como tablero (dashboard) que contiene funciones para acceder a los niveles de calidad del agua de forma remota. No obstante, en caso de fallo de comunicación entre la pasarela y el servidor, se perderían esos datos censados porque no se cuenta con un respaldo de forma local. La transmisión de los datos se hace a través de la tecnología Zigbee; sin embargo, en la actualidad ya se cuenta con una tecnología llamada LoRa que proporciona mejoras en cuanto a mayor distancia de cobertura, menor consumo de energía, mayor longitud de carga útil, etc.

2. MATERIAL Y MÉTODOS.

2.1 Metodología.

El método empleado para el desarrollo de este trabajo de investigación es la metodología para el monitoreo de la agricultura con tecnología WSN (Wireless Sensor Networks) [11], la cual consiste en las siguientes fases, como se ilustra en la Figura 1:

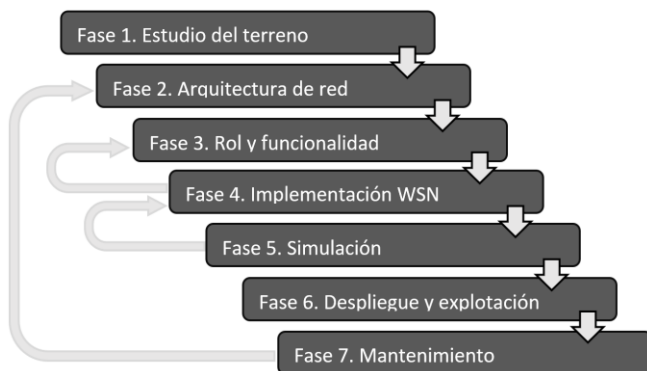


Figura 1.- Fases de la metodología para el monitoreo de la agricultura con tecnología WSN.

2.2 Fases de la Metodología.

A continuación, se describe a detalle cada una de las fases que conforman la metodología propuesta para el desarrollo de este proyecto.

2.2.1 Estudio del terreno.

En esta fase se realizó una investigación de campo, tomando como caso de estudio la granja acuícola San Buenaventura del municipio de Manzanillo en el estado de Colima, México. Se visitó la granja con la finalidad de conocer y recopilar

información sobre las instalaciones, tomando en cuenta los siguientes puntos: contabilizar el número de estanques, medir la distancia que existen entre ellos, ubicar las áreas en donde posiblemente se colocarán los dispositivos para determinar la topología de red, observar obstáculos que hay dentro y fuera de la granja acuícola que pudieran causar problemas de interferencia para la adquisición y transmisión de los datos, y finalmente valorar si existen condiciones favorables para el uso de las tecnologías IoT para llevar a cabo el proyecto. Esta granja se ubica en el kilómetro 299 de la carretera libre San Buenaventura, Manzanillo, Colima (ver Figura 2).

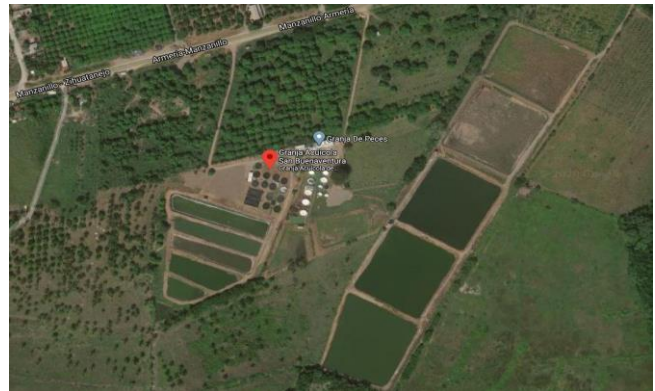


Figura 2.- Ubicación de la granja acuícola San Buenaventura.



La granja acuícola cuenta con una superficie de 2 hectáreas con un espejo de agua de 1.5 hectáreas, en donde se encuentran varios estanques tipo rústicos, de los cuales se cosecha alrededor de 2 toneladas de camarón y otras especies. En estos estanques habitan alrededor de 59 organismos por metro cuadrado.

2.2.2 Arquitectura de red.

En esta fase se hizo un análisis de los componentes que hay en el mercado para la construcción del prototipo, buscando una tecnología con características que se adecúen a las necesidades del proyecto sin que el hardware estuviese demasiado sobrado o muy limitado. También se consideró características como el alcance, el bajo consumo de energía, la confiabilidad, el costo y que fuera de uso libre. En la Tabla 1 se muestra los componentes seleccionados con una breve descripción de ellos.

Tabla 1.- Descripción de los componentes de hardware de la Red LPWAN.

Componentes	Descripción
Expansion Board 3.1 [12]	Placa de desarrollo. 

Modulo Fipy v1.2 [13]	Herramienta de desarrollo WiFi (802.11), LoRa (915 MHz) y LTE Cat M1 / NB1.
	
Dragino Lora Shield v1.2 [14]	Transceptor de largo alcance (915 MHz).
	

El nodo sensor, fuera del alcance de este proyecto, se construyó con un Arduino Mega 2560 al cual se le adaptaron diferentes sensores para realizar la lectura de los parámetros fisicoquímicos del agua, en específico: oxígeno disuelto, pH, conductividad y temperatura. En el alcance de este proyecto se le agregará la funcionalidad al nodo sensor para la transmisión de los datos a través de la tecnología de Lora, utilizando un Dragino Lora Shield v1.2. Por otro lado, la arquitectura de la red LPWAN propuesta se ilustra en la Figura 3.

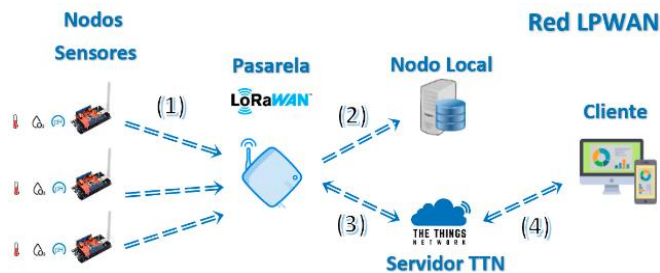


Figura 3. Arquitectura Red LPWAN.

La Figura 3 muestra la arquitectura de red que se pretende implementar en el presente proyecto, su esquema será cliente-servidor y su topología en tipo estrella. La red estará conformada por nodos sensores con sus transceptores, una pasarela LoRaWAN, un nodo local, un servidor TTN [15] y el cliente. El flujo de la comunicación en la Red LPWAN es el siguiente:

- (1) El nodo sensor envía los datos recopilados a la pasarela mediante LoRa.
- (2) La pasarela recibe los datos enviados desde el nodo sensor, después los envía al nodo local a través de WiFi y también a su vez al TTN por medio de LTE Cat M1.
- (3) El servidor TTN recibe y almacena los datos, posteriormente envía los datos a petición del cliente.
- (4) El cliente a través de un dispositivo solicita y recibe los datos del servidor TTN.

2.2.3 Rol y funcionalidad.

En la Tabla 2 se muestra una breve descripción del rol y de la función de cada uno de los componentes que conforman la Red LPWAN.

Tabla 2.- Rol y funcionalidad de la Red LPWAN.

Componentes	Rol - Función
Arduino Mega 2560 y sus sensores.	Nodo sensor Se encarga de recopilar los datos de los parámetros del agua a través de sus sensores, la construcción e implementación del nodo sensor queda fuera del alcance de este artículo.
Dragino Lora Shield v1.2	Transceptor Es el módulo que se acopla al nodo sensor para realizar la función de transmitir los datos a través de la tecnología LoRa hacia la pasarela.
Expansion Board v3.1 con módulo FiPy v1.2	Pasarela LoRaWAN Su labor es adquirir los datos que vienen de los nodos sensores por medio de la tecnología LoRa, posteriormente los transmite a través de WiFi al nodo local y a su vez también los transmite utilizando la tecnología LTE Cat M1 hacia el servidor TTN.
PC escritorio	Nodo local Su cometido es recibir los datos que vienen de la pasarela por medio del WiFi y guardarlos en una base de datos en su disco duro.
Web services	Servidor TTN Dentro de sus funciones está la de recibir, almacenar y presentar los datos que vienen de la pasarela. Por otra parte, implementa las medidas de seguridad de la red para la conexión de los nodos sensores y la transmisión de datos.
Dispositivo	Cliente Su propósito es consumir la información presentada por el servidor TTN.

2.2.4 Implementación WSN.

Actualmente, se está trabajando en esta fase, la cual permitirá escribir el código de los procesos que van a permitir que cada uno de los componentes pueda realizar sus funciones específicas dentro de la arquitectura de red. Para lo cual, en la pasarela se empleará el software Visual Studio Code con el lenguaje de programación MicroPython y la librería Pymakr. Para el transceptor del nodo sensor se utilizará el software Arduino IDE con el lenguaje de programación C++ y la librería Arduino-LMIC basada en la IBM LMIC.

2.2.5 Simulación.

En esta fase como trabajo futuro se efectuarán las pruebas utilizando el software SimpleIoTSimulator, el cual es un simulador de dispositivos IoT que permite crear entornos de prueba formados por miles de sensores y puertas de enlace. Este simulador admite muchos de los protocolos del IoT más comunes como MQTT, MQTT-SN, CoAP, HTTP, Modbus, BACnet y LoRa [16].

2.2.6 Despliegue y explotación.

En la penúltima fase, como trabajo futuro se realizará la implementación e instalación de cada uno de los componentes y el despliegue físico de la red para poder continuar con su puesta en marcha. La presente fase se divide principalmente en 2 actividades:

1. Se les provee los bloques de código a cada uno de los elementos de la red.
2. Se posicionan físicamente cada uno de los elementos en el campo para formar la red físicamente, se pretende colocar un nodo sensor en cada uno de los estanques (ver Figura 4). Posteriormente la pasarela se situará en un espacio en la que se pueda proteger de las inclemencias del clima y junto a ésta se encontrará el nodo local.



Figura 4.- Ubicación de los componentes de hardware dentro de la granja acuícola.

2.2.7 Mantenimiento.

En esta última fase se crea un manual de operación de la Red LPWAN, en donde se incluirán instrucciones de cómo agregar o eliminar un nodo sensor a la red, las configuraciones, posibles fallas y soluciones, etc.

3. RESULTADOS.

La Granja acuícola San Buenaventura cuenta con el equipo para hacer las mediciones de los parámetros fisicoquímicos de los estanques de manera local; por lo que, es necesario implementar un sistema que permita la adquisición y transmisión de los datos para poder consultarlos de forma remota utilizando las tecnologías del Internet de las Cosas; Implementando una red LPWAN se aprovecharán los beneficios que nos ofrecen estas tecnologías en cuanto al nivel de seguridad, alcance en la transmisión de los datos, entre otras.

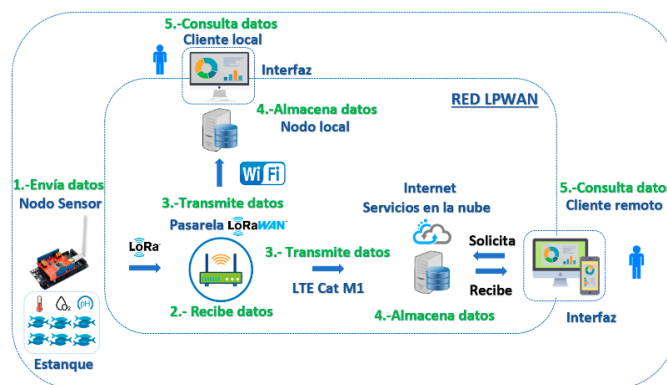


Figura 5.- Funcionamiento de la Red LPWAN.

La red LPWAN, ilustrada en la Figura 5 como modelo conceptual, permitirá que los datos monitoreados por el nodo sensor se puedan enviar a la pasarela, y esta a su vez adquiere y retransmite estos mismos datos tanto para el nodo local como para al servidor en la nube (TTN). Al mismo tiempo, se crea una base de datos con un histórico de los parámetros fisicoquímicos del agua de los estanques para su consulta local y remota, con ello se logrará reducir la contratación de personal y los gastos de traslado para realizar las actividades del monitoreo. Además, se optimizan los tiempos y sobre todo se obtendrá un aumento en la eficiencia de la producción de las especies.

4. CONCLUSIONES.

La implementación de una red LPWAN en la Granja Acuícola de San Buenaventura permitirá la adquisición y transmisión de los parámetros fisicoquímicos del agua de los estanques para que estos datos sean consultados de manera remota, lo que permitirá reducir costos, incrementar la productividad y rentabilidad de la granja acuícola. Además, se creará un histórico en una base de datos con la información transmitida para sus futuras consultas, transformándose en una herramienta de apoyo para la toma de decisiones.

5. AGRADECIMIENTOS.

En especial al CONACYT por mantener el Programa Nacional de Posgrado de Calidad e incentivar la formación en maestrías y doctorados, mediante el programa de Becas; al Tecnológico Nacional de México campus Instituto

Tecnológico de Colima por ocuparse de la formación de capital humano que brinde soluciones informáticas al sector productivo, gubernamental y de servicios de la región.

6. BIBLIOGRAFÍA.

- [1] P. Aguilera y P. Noriega. La tilapia y su cultivo. México: Fondepesca, 1985.
- [2] C. Martínez, “¿Cuál es el papel del IoT en acuicultura y la seguridad alimentaria?”, Telcel.com [en línea], disponible: <https://www.telcel.com/empresas/tendencias/notas/acuicultura-y-seguridad-alimentaria-con-iot>, sitio visitado: 7-Oct- 2019.
- [3] Andalucía es Digital, “¿Qué es Internet de las Cosas?”, Blog de Andalucía es Digital [en línea], disponible: https://www.blog.andaluciaesdigital.es/que-es-internet-de-las-cosas/#Que_es_Internet_de_las_Cosas, sitio visitado: 10- Oct- 2019.
- [4] F. O'Donncha y J. Grant, “Precision Aquaculture”, IEEE Internet of Things Magazine [en línea], disponible: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8982744>, sitio visitado: 13- Oct- 2019.
- [5] Lain Holding, “Tilapia: control de calidad del agua 100 % IOT”, Lain Holding [en línea], disponible <https://lainholding.com/tilapia-control-de-calidad-del-agua/>, sitio visitado: 19- Oct- 2019.
- [6] J. C. Triana y R. E. Rodríguez, “Prototipo de solución IoT con tecnología Lora en monitoreo de cultivos agrícolas”, Universidad Francisco José de Caldas [en línea], disponible: <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/13388/1/TrianaUsecheJordanCamilo2018.pdf>, sitio visitado: 17- Oct- 2019.
- [7] M. Olivo, “Prototipo para el monitoreo automatizado de parámetros de calidad del agua en una granja de camarón”, Instituto Tecnológico de Colima [en línea], disponible: <https://dspace.itcolima.edu.mx/bitstream/handle/123456789/1238/TESES%20MAURICIO%20OLIVO%20GUTIERREZ.pdf?sequence=1&isAllowed=y>, sitio visitado 22- Oct- 2019.
- [8] S. Flores y D. Aracena, “Sistema de monitoreo remoto de acuicultura en estanques para la crianza de camarones”, Revista Ingeniare [en línea], disponible: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/ingeniare/v26s1/0718-3305-ingeniare-26-00055.pdf>, sitio visitado: 26- Oct- 2019.
- [9] J. Nava et al., “Aplicación de Sistemas Embebidos e IoT Para el Monitoreo de Estanques Acuícolas en Eldorado, Sinaloa”, Universidad Autónoma de Zacatecas [en línea], disponible: <http://revistas.uaz.edu.mx/index.php/MemUni/article/view/795/731>, sitio visitado: 30- Oct- 2019
- [10] M. Niswar et al., “IoT-based water quality monitoring system for soft-shell crab farming”, 2018 IEEE International Conference on Internet of Things and Intelligence System [en línea], disponible: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8600828>, sitio visitado: 4- Nov- 2019
- [11] S. E. Díaz et al., “A novel methodology for the monitoring of the agricultural production process based on wireless sensor networks”, Universidad Carlos III de Madrid [en línea], disponible: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169911000548>, sitio visitado: 8- Nov- 2019
- [12] pycom, “Expansión Board 3.0.”, pycom.io [en línea], disponible: <https://docs.pycom.io/gitbook/assets/expansion3-specsheet-1.pdf>, sitio visitado: 12- Nov- 2019.
- [13] pycom, “fipy”, pycom.io [en línea], disponible: https://docs.pycom.io/gitbook/assets/specsheets/Pycom_002_Specsheets_FiPy_v2.pdf, sitio visitado: 14- Nov- 2019.
- [14] Dragino, “Long Range Wireless Transceiver for Arduino”, Dragino Technology Co. [en línea], disponible: http://www.dragino.com/downloads/downloads/LoraShield/Datasheet_LoraShield.pdf, sitio visitado: 17- Nov- 2019.
- [15] The Things Industries, “Building a global open LoRaWAN™ network”, The Things Industries [en línea], disponible: <https://www.thethingsnetwork.org/>, sitio visitado: 22- Nov- 2019.
- [16] SimpleSoft, “SimpleIoTSimulator”, SimpleSoft [en línea], disponible: <https://www.simplesoft.com/SimpleIoTSimulator.html>, sitio visitado: 27- Nov- 2019.