

## SISTEMA DE NOTIFICACIÓN EN TIEMPO REAL DE LA CALIDAD DEL AGUA EN GRANJAS DE CAMARÓN<sup>1</sup>

### [REAL-TIME WATER QUALITY NOTIFICATION SYSTEM FOR SHRIMP FARMS]

Juan de Dios Barajas Corona<sup>1§</sup>, Jesús Alberto Verduzco Ramírez<sup>2</sup>, Elena Elsa Bricio Barrios<sup>2</sup>, Santiago Arceo Díaz<sup>2</sup>, Ramona Evelia Chávez Valdez<sup>2</sup>, Patricia Elizabeth Figueroa Millán<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Estudiante de Maestría en Sistemas Computacionales. Tecnológico Nacional de México/I.T. Colima. <sup>2</sup>Profesor Investigador de la División de Estudios de Posgrado e Investigación-I.T. Colima. Villa de Álvarez, Colima. C.P. 28976. <sup>§</sup>Autor para correspondencia: (g1846003@itcolima.edu.mx).

### RESUMEN

La industria camaronera es uno de los sectores productivos con mayor auge en México en los últimos treinta años. Para abastecer la creciente demanda de productos de camarón, se han incorporado granjas acuícolas seminaturales para su siembra, crecimiento y cosecha; donde los acuicultores desean garantizar la mayor tasa de sobrevivencia del producto. Para reducir posibles pérdidas en la producción, diversos sistemas se han propuesto para el monitoreo de los parámetros de calidad del agua de mayor importancia, mostrando un alto desempeño. Sin embargo, en la mayoría de los casos, estos sistemas requieren de la presencia física de un operador para identificar anomalías en los valores de los parámetros de calidad del agua y para realizar acciones correctivas. Por lo tanto, este trabajo presenta un sistema de notificación conformado por un módulo de transmisión, acoplado a un módulo de notificación basado en tecnologías web, capaz de enviar mensajes de alerta en tiempo real, utilizando el servicio de mensajes SMS, a cualquier destinatario registrado.

**Palabras clave:** Acuicultura, GPRS, mensajes de alerta, NEXMO, SMS.

### ABSTRACT

Shrimp farming is one of the most successful industries within the Mexican productive sector in the last 30 years. To supply the growing demand for shrimp products, seminatural aquacultural farms have been employed for their planting, breeding and harvest; where farmers can guarantee a larger survival rate. For cutting down production losses, diverse systems have been proposed for monitoring the most important water quality parameters, showing high performance. However, in most cases, these systems require the physical presence of a human operator to identify anomalies in the values in the water quality parameters and to take corrective actions. Thus, this work presents a notification system, conformed by the coupling between a transmission module and a web-based notification module based in web technology, capable sending real-time alerts to any registered user by using the short message system (SMS) service.

**Index words:** Aquaculture, GPRS, text alert messages, NEXMO, SMS.

---

<sup>1</sup> Recibido: 14-mayo-2019  
Aceptado: 20-mayo-2020

## INTRODUCCIÓN

México es considerado una potencia mundial en la siembra, crianza y distribución de camarón al poseer una superficie de 12,555 km<sup>2</sup> para su siembra (Malagrino *et al.*, 2008), su clima tropical permite la crianza de diversas especies en todos los estados (a excepción de Michoacán y Chiapas) que colindan con el océano Pacífico y golfo de México, (CONAPESCA, 2018a) y su facilidad de distribución y venta a Estados Unidos de América, el mayor consumidor mundial de camarón (CONAPESCA, 2018b).

Como una estrategia para satisfacer la alta demanda de camarón tanto a nivel internacional y nacional se han propuesto e incorporado plantas semi-naturales para la siembra, crecimiento y cosecha. Para asegurar la calidad en su producción muchas de estas plantas toman en consideración las recomendaciones de algunos organismos no gubernamentales que han caracterizado los criterios climatológicos, tipos de suelo, características de recubrimiento en los tanques de crianza, condiciones fisicoquímicas de agua idóneos (FAO, 2010). En México, el INAPESCA (2013) publicó los rangos aceptables de los parámetros fisicoquímicos (calidad) en el interior de los estanques de crianza como: temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, pH, compuestos nitrogenados (nitratos, nitritos, amonio), turbidez y alcalinidad. Por lo tanto, los productores de camarón podrían obtener el mayor porcentaje de sobrevivencia del producto, a la par de garantizar el peso y talla de la cosecha, si tuvieran a disposición herramientas adecuadas para el monitoreo y notificación en tiempo real de los parámetros de calidad.

De acuerdo con la FAO (2010) la concentración de oxígeno disuelto en el medio de crianza es el parámetro de calidad del agua de mayor preocupación, pues niveles fuera del rango recomendado provocan que los organismos sean susceptibles a enfermedades, estrés, falta de apetito e incluso una muerte prematura. Así mismo variaciones en pH, temperatura y salinidad pueden provocar una mayor incidencia de enfermedades y agentes patógenos que pueden afectar la producción (Instituto Nacional de Pesca, 2013).

Tradicionalmente, la medición de la concentración de oxígeno disuelto se realiza a través de una inspección visual y olfativa del agua, donde de observarse agua turbia o aroma a putrefacción eran indicativos de baja concentración (FAO, 2010). Por otro lado, se diseñaron dispositivos portátiles, oxímetros, para su medición y, para garantizar que el instrumento sea capaz de desplegar la concentración real, es necesario calibrarlo a través del intercambio periódico de la membrana del sensor (YSI, 2002), incrementando significativamente los costos indirectos por mantenimiento de estos equipos.

Para minimizar el costo de los dispositivos de medición de los parámetros de calidad del agua se ha propuesto el uso de sensores comerciales (Salim *et al.*, 2016; Defe y Antonio 2018; Flores-Mollo y Aracena, 2018; Olivo-Gutiérrez *et al.*, 2018) que son calibrados con soluciones estandarizadas y que se pueden adquirir a través de proveedores locales de reactivos químicos, reduciendo considerablemente el costo respecto al sistema de membranas (YSI, 2002; Skoog *et al.*, 2013). Recientemente, Olivo-Gutiérrez *et al.* (2018) reportaron una propuesta basada en sistemas de información para la migración, almacenamiento y visualización de los parámetros de oxígeno disuelto, pH, temperatura y salinidad; no obstante, este dispositivo no es capaz de notificar en tiempo real en caso de que algún parámetro se encuentre fuera del valor nominal.

Fundamentado en la propuesta de Olivo-Gutiérrez *et al.* (2018), este trabajo muestra el desarrollo de un sistema que monitorea los parámetros de calidad del agua en tiempo real y que automáticamente envía notificaciones de alertas, vía servicios de mensajes cortos (SMS), si se presentan: valores de los parámetros fuera del rango de calidad, fallas en la recepción de datos del módulo de monitoreo y valores anómalos en la medición que realiza el sensor. El desarrollo de esta propuesta está basado en tecnologías web que permiten el envío y recepción de los datos obtenidos utilizando una red de telefonía móvil y el envío de notificaciones de alerta por medio de un servicio SaaS (Software as a Service, por sus siglas en inglés). Aunado a esto, se incorporó un sistema de almacenamiento digital para el registro histórico de los datos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El diseño y desarrollo tecnológico se realizó en el Laboratorio de cómputo de alto rendimiento y visualización del Instituto Tecnológico de Colima, México, utilizando la metodología de desarrollo ágil de Proceso Unificado Ágil (PUA), permitiendo la creación de prototipos escalables mediante iteraciones (Ambler *et al.*, 2005; Pressman 2010).

El desarrollo tecnológico propuesto transmite los datos en dos etapas: del nodo de monitoreo al servidor web, y del servidor web a los dispositivos móviles.

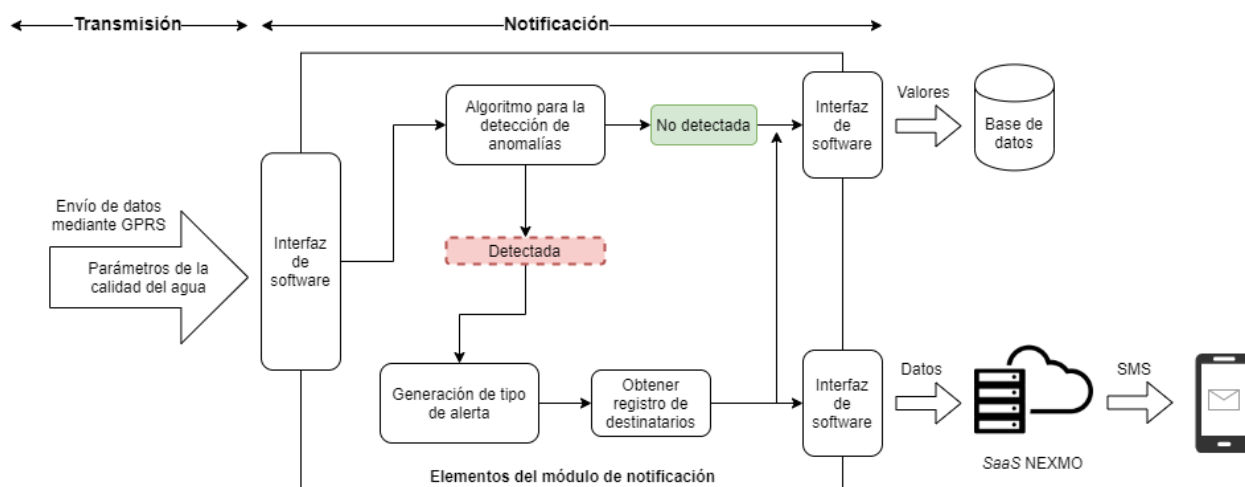
### Transmisión

A diferencia de Olivo-Gutiérrez *et al.* (2018), que realizó la medición y transmisión local de los parámetros de calidad del agua antes mencionados vía Zigbee a un equipo de cómputo, se planteó modificar la transmisión de datos a un servidor web a través de GPRS debido a que permite la conectividad del dispositivo de medición con servidores en línea, una vez establecida la conexión con el servicio de telefonía móvil, comunicándose de forma permanente pero utilizando los recursos de transmisión únicamente cuando es requerido enviar o recibir datos (Bates, 2001); además, se ha demostrado su efectividad en proyectos de monitoreo de transformadores de corriente eléctrica y envío de datos de unidades terminales remotas, respectivamente (Cavaco *et al.*, 2009; Chen *et al.*, 2009).

Para realizar la transmisión de los datos obtenidos, se adaptó al dispositivo de monitoreo desarrollado por Olivo-Gutiérrez *et al.* (2018) un módulo llamado SIM900 (SIMCom, 2013); algunas características son: el bajo consumo energético (1.0 mA en modo de reposo) y la conectividad utilizando el protocolo TCP/IP con comandos tipo AT, permitiendo el envío de los datos a servidores remotos por medio de protocolos de la capa de aplicación. Además, el módulo cuenta con una velocidad de transferencia de máximo 42.8 kbps, lo que proporciona un ancho de banda adecuado para la transmisión de los valores en formato de cadena de caracteres a través del protocolo de transferencia de hipertexto (por sus siglas en inglés, HTTP), que permite la transferencia de información e hipermedia entre sistemas de información, siendo uno de los protocolos más utilizados en la red global de Internet (Fielding *et al.*, 1999; de Saxcé *et al.*, 2015).

## Módulo de notificación

Recibidos los datos, estos se transmiten al módulo de notificación (ver Figura 1). Dentro del módulo se conceptualizó, diseñó e implementó un algoritmo de detección que determina si los valores obtenidos se encuentran dentro del rango establecido para cada parámetro de calidad del agua. Si se cumple esta condición, los valores son almacenados en una base de datos, agregando una estampa de tiempo. En caso contrario, el algoritmo identifica la ocurrencia de tres situaciones: valores de los parámetros fuera del rango de calidad, fallas en la recepción de datos del módulo de monitoreo o valores anómalos en la medición que realiza el sensor. Posteriormente, se genera una alerta en la que se especifica la situación ocurrida, el valor registrado, además de la estampa de tiempo, la cual es simultáneamente almacenada en la base de datos y enviada al servicio tipo SaaS NEXMO (2019), que envía la información vía SMS a los destinatarios registrados en el sistema.

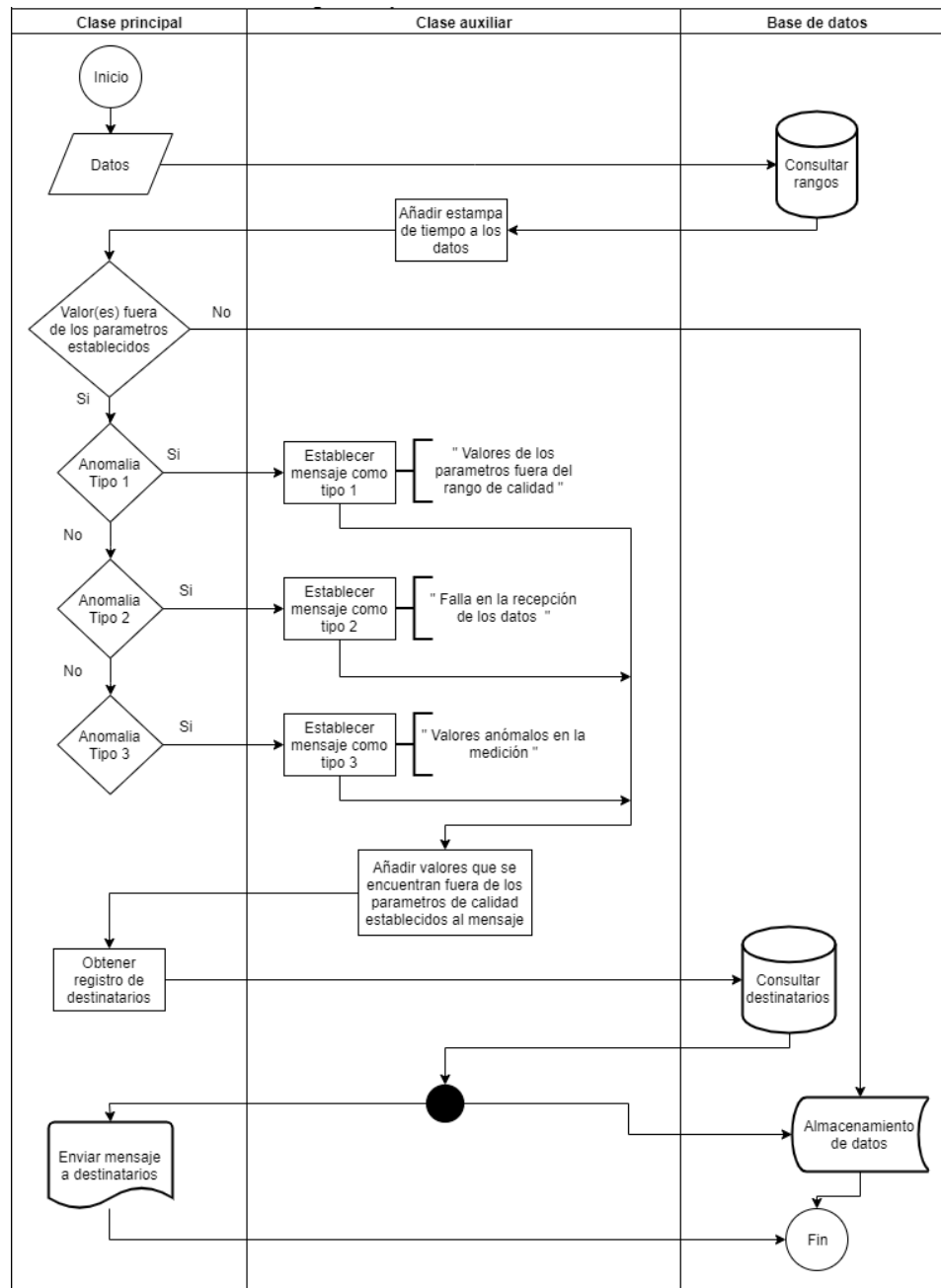


**Figura 1.** Modelo conceptual del sistema de notificación en tiempo real.

## Algoritmo para la detección de anomalías

Este algoritmo está basado en la comparación de los valores obtenidos respecto a rangos que pueden ser definidos por el usuario del sistema, o tomando como referencia los valores reportados en la literatura. El algoritmo puede diferenciar cada tipo de anomalía, como se puede observar en la Figura 2.

El algoritmo inicia con la recepción de los datos, que son comparados con los rangos establecidos. Adicionalmente, a estos datos se les añade una estampa de tiempo. En caso de no identificar anomalías, los valores son almacenados directamente en la base de datos. En caso contrario, se procede a una función que clasifica el tipo de anomalía. Esta función se encarga de asignar a una variable de tipo texto, que será el cuerpo de la alerta, el valor correspondiente a cada tipo de anomalía. Posteriormente, la función obtiene los parámetros que presentan la anomalía, y los integra a la variable. Finalmente, los valores de los parámetros de calidad son registrados como una anomalía en la base de datos, a su vez que se consultan los destinatarios registrados y los mensajes son enviados al servicio SaaS de NEXMO.



**Figura 2.** Diagrama del algoritmo de identificación de anomalías

El diagrama del formato de envío de los mensajes está conformado por los campos requeridos por el servicio para establecer la comunicación, mostrados en la Figura 3, y descritos en el Cuadro 1.



**Figura 3.** Diagrama del formato de envío.

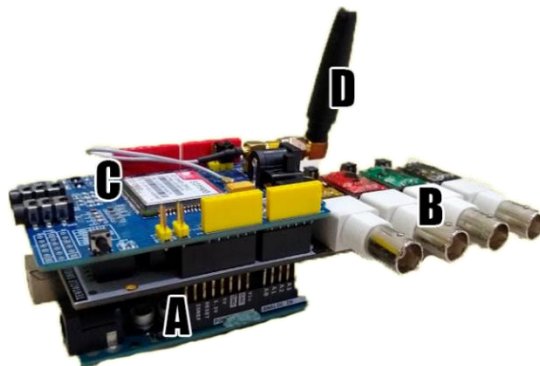
**Cuadro 1.** Descripción del diagrama de formato.

| Campo                | Descripción                                                                                                                                             | Opciones                                                           |
|----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| Método               | Método del protocolo HTTP que será utilizado para el envío de datos                                                                                     | POST                                                               |
| Formato              | El formato en que el SaaS emitirá su respuesta luego del envío de la petición. Por defecto se utiliza la opción “JSON”.                                 | JSON, XML                                                          |
| Llave de API         | Clave única para utilizar el servicio.                                                                                                                  | -                                                                  |
| Clave de API         | Contraseña ligada a la clave única utilizada como mecanismo de seguridad.                                                                               | -                                                                  |
| Remitente            | El nombre de la empresa o el número que envía el mensaje. En el caso de México, esta opción es seleccionada por el proveedor de servicio de telefonía.  | Varía por país                                                     |
| Destinatario         | El número de celular que recibirá el mensaje. El número debe estar antecedido por el código telefónico de cada país (52, en México).                    | -                                                                  |
| Cuerpo               | El contenido del mensaje. Por defecto, se utiliza la opción de “texto”.                                                                                 | Texto, binario, wappush, unicode, vcal, vcard                      |
| Opciones adicionales | Conjunto de opciones que pueden utilizarse de acuerdo con los requerimientos del sistema. No es riguroso añadir alguna de estas opciones para el envío. | Tipo, message-class, callback, vcal, body, protocol-id, title, url |

## RESULTADOS

La Figura 4 muestra los componentes físicos del módulo de transmisión, constituido por: un microcontrolador (A) que solicita, mediante una instrucción, la medición de los parámetros de la calidad del agua proveniente de los sensores (B), en un intervalo de muestreo de cinco minutos. El microcontrolador se acopló a través de dos pines que se comunican con el módulo SIM900 (C)

para enviar los datos utilizando TCP/IP, por medio de una antena (D) que está conectada al servicio de telefonía móvil.



**Figura 4.** Componentes físicos del sistema de transmisión. A=Microcontrolador ATMEGA328. B=Terminales BNC para los sensores. C=Modulo SIM900. D=Antena GPRS.

La evaluación del desarrollo propuesto se realizó en la granja acuícola HUESO S.P.R, ubicada en la localidad “El Colomo” en el estado de Colima, bajo dos experimentos: i) el sensado de los parámetros de calidad del agua considerados como aceptables, donde se esperó no recibir alertas. ii) Se simuló la incidencia individual de los tres tipos de anomalía: se alteró el pH de una muestra de agua de 250 ml del estanque de cultivo, al agregar cinco gotas de ácido clorhídrico concentrado (anomalía tipo 1), se desconectó uno de los sensores para simular una falla en la transmisión (anomalía tipo 2) y, finalmente, se utilizó un sensor no funcional (anomalía tipo 3). En la Figura 5 se muestra un sensor de temperatura dañado (A) por la prolongada exposición en el medio acuático y el mensaje de alerta (B) emitido por el desarrollo propuesto, respectivamente.



**Figura 5.** A=Sensor de temperatura (daño en conector), B=Captura de pantalla de un mensaje de alerta de anomalía tipo 3.

## DISCUSIÓN

Este prototipo tiene la capacidad de emitir un mensaje de alerta a través de la red GPRS, mediante SMS, cuando la magnitud de los parámetros de calidad del agua de la granja acuícola que se está monitoreando muestra algún tipo de anomalía. Se eligió el envío automatizado de

mensajes SMS sobre otras tecnologías como correos electrónicos ya que no requiere la conexión a Internet.

El módulo web SIM900 ha demostrado eficacia en la transmisión de datos de tipo texto, como en la ubicación en tiempo real de un transporte público (Nataraj y Sidramappa, 2016), sistemas acuáticos (Wang *et al.*, 2012) y medición de pH en cuerpos de agua (Pelayo-Jimeno, 2018). Aunado a esto, se ha reportado que el uso del módulo SIM900 tiene menor consumo energético (SIMCom, 2013) respecto a módulos 3G como el SIM5215 (SIMcom, 2011) y 4G como el LE910 (Telit, 2017).

Debido a la ubicación geográfica de la mayoría de las granjas acuícolas en el estado de Colima, ubicadas en zonas rurales donde la red 4G no tiene cobertura (IFT, 2019) se optó por utilizar la red GPRS (2G) para la transmisión de datos, considerando también que cumple con los requerimientos de ancho de banda necesarios para el envío de los valores obtenidos de los parámetros de calidad del agua y los mensajes de alerta. Rocabado-Moreno *et al.* (2013) reportaron que las redes MANET (Mobile Ad-hoc Networks, por sus siglas en inglés) no requieren de infraestructura preestablecida como las redes de telefonía. Además, estas redes han sido aplicadas con éxito en el ambiente educativo, comercial y militar (Chan-May *et al.*, 2016), y su uso se tiene en consideración para un trabajo futuro.

La conceptualización, diseño, desarrollo e implementación del módulo de notificación se realizó a través de un algoritmo codificado en PHP, lenguaje de programación ampliamente utilizado en sistemas de: monitoreo remoto y trazabilidad de procesos acuícolas (Flores-Mollo y Aracena, 2018; Olivo-Gutiérrez *et al.*, 2018) y control y monitoreo de especies botánicas (Araceras-González y Garrido-González, 2018). Mientras que, el servicio SaaS de NEXMO ha sido utilizado por compañías de transporte, comunicaciones, redes sociales, entre otras, para la validación de identidad y envío de mensajes SMS y se eligió respecto a otras propuestas que utilizan el mismo servicio (Twilio, 2019) debido a su simplicidad de implementación y su alta tasa de éxito en el envío masivo de mensajes (NEXMO, 2019). Si bien, se pudieron haber empleado tecnologías similares que utilicen servicios PaaS (Platform as a Service, por sus siglas en inglés), en muchos casos, esto incrementaría el costo indirecto de mantenimiento al hacer necesario adquirir un número de teléfono para el envío de mensajes.

## CONCLUSIONES

Este trabajo reporta la conceptualización, diseño y construcción de un sistema de notificación en tiempo real para el monitoreo de los parámetros de calidad del agua en granjas acuícolas. Este sistema recibe los valores concernientes del sistema de monitoreo con la finalidad de analizarlos mediante un algoritmo de detección de anomalías, el cual dispara una notificación SMS utilizando un SaaS cuando los valores recibidos no se encuentran dentro del rango de calidad, cuando hay fallas en la recepción de datos del módulo de monitoreo o existen valores anómalos en la medición. Con el desarrollo de este sistema se logró aportar un mecanismo que permite al productor acuícola disponer de información en tiempo real de los parámetros de calidad, con la finalidad de tomar decisiones y aplicar acciones correctivas para contribuir a reducir pérdidas en la producción.

Algunas ventajas que demostró este sistema incluyen, por una parte, la recepción automatizada de alertas que registran posibles anomalías en los parámetros de calidad del agua, con cobertura tanto dentro como fuera de las instalaciones de la granja y el uso de una plataforma que permite la emisión de mensajes mediante el sistema de telefonía celular (SMS) a los destinatarios registrados en el sistema de la granja acuícola. Si bien, el sistema propuesto en este trabajo logró un funcionamiento satisfactorio para la notificación oportuna de alertas, a futuro, se pretende desarrollar un sistema de notificaciones preventivas basadas en estrategias analíticas y/o estocásticas, permitiendo realizar predicciones del comportamiento de los valores de parámetros de la calidad del agua.

## 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 en la región. Así también a la granja acuícola HUESO, por brindar la confianza y las facilidades para el desarrollo de esta investigación.

## LITERATURA CITADA

- Ambler, S. 2005. A manager's introduction to the Rational Unified Process (RUP). Ambyssoft. (Consultado: 02/03/2019). Disponible en: <http://www.ambyssoft.com/downloads/managersIntroToRUP.pdf>
- Aracerez-González, A. A. y J. Garrido-González. 2018. Herramientas para el control y monitoreo de especies y clima en el jardín botánico de SO-ROA (Cattleya). XVII Convencion y Feria Internacional Informática 2018. La Habana, Cuba. pp. 1-9.
- Bates, R. J. 2001. GPRS: general packet radio service. McGraw-Hill Professional. 46 p.
- Cavaco, M. A., M. E. Benedet, C. A. Nogueira and R. H. Coelho. 2009. Remote monitoring of incipient faults using gprs in power transformers. XIX Imeko World Congress. Lisboa, Portugal. pp. 1370-1374.
- Chan-May, O. A., J. J. Peña-Koo y E. E. Ceh-Varela. 2016. Avances y perspectivas de la innovación, investigación y vinculación. In: N. Reyes-Mendoza, N. Rodríguez-Valencia y R. Olivares-Contreras. (Compiladores). Congreso Virtual Internacional de Innovación, Vinculación y Educación Superior (COVIIVES). Mérida, Mexico: Universidad Tecnológica Metropolitana. pp. 73-97.
- Chen, Q., T. Ding, C. Li and P. Wang. 2009. Low-power wireless remote terminal design based on GPRS/GSM. Qinghua Daxue Xuebao/Journal of Tsinghua University 49: 225-231.
- Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca (CONAPESCA). 2018a. Produce acuacultura mexicana más de 400 mil toneladas de pescados y mariscos. Ciudad de México 2018. (Consultado: 10/04/2019). Disponible en: <https://www.gob.mx/conapescaprensa/produce-acuacultura-mexicana-mas-de-400-mil-toneladas-de-pescados-y-mariscos-172466>.
- Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca (CONAPESCA). 2018b. Buenas perspectivas para la exportación de pescados y mariscos mexicanos, al concluir la Seafood Expo Norteamérica: CONAPESCA. Ciudad de México 2018. (Consultado: 10/04/2019). Disponible en:

- <https://www.gob.mx/conapesca/prensa/buenas-perspectivas-para-la-exportacion-de-pescados-y-mariscos-mexicanos-al-concluir-la-seafood-expo-norteamerica-conapesca>.
- de Saxcé, H., I. Oprescu and Y. Chen. 2015. Is HTTP/2 really faster than HTTP/1.1?. IEEE Conference on Computer Communications Workshops. Honolulu, HI, USA. pp. 293-299.
- Defe, G. A. and A. Z. C. Antonio. 2018. Multi-parameter Water Quality Monitoring Device for Grouper Aquaculture. IEEE 10th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment and Management. Baltimore, USA. pp. 1-5.
- Fielding, R., J. Gettys, J. Mogul, H. Frystyk, L. Masinter, P. Leach and T. Berners-Lee. 1999. RFC2616: Hypertext Transfer Protocol -- HTTP/1.1. USA 1999. (Consultado: 10/04/2019). Disponible en: <https://www.rfc-editor.org/info/rfc2616>
- Flores-Mollo, S. y D. Aracena-Pizarro. 2018. Sistema de monitoreo remoto de acuicultura en estanques para la crianza de camarones. Ingeniare. Revista chilena de ingeniería 26: 55-64.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2010. In: Gillet, R. Documento Técnico de Pesca, 475. USA 2010. (Consultado: 10/04/2019). Disponible en: <http://www.fao.org/3/i0300s/i0300s00.htm>.
- Instituto Federal de Telecomunicaciones (IFT). 2019. Mapas de cobertura móvil. (Consultado: 10/04/2019). Disponible en: <http://cobeturamovil.ift.org.mx/>
- Instituto Nacional de Pesca (INAPESCA). 2013. Carta Nacional Acuicola. (Consultado: 10/04/2019). Disponible en: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/117710/09092013\\_CARTA\\_NACIONAL\\_ACUICOLA.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/117710/09092013_CARTA_NACIONAL_ACUICOLA.pdf)
- Malagrino, G., M. Lagunas and A. O. Rubio. 2008. Environmental impact reduction through ecological planning at Bahia Magdalena, Mexico. Journal of environmental biology 29(2): 179-185.
- Nataraj, M. C. and M. Sidramappa. 2016. Bus Safety System for School Children using RFID and SIM900 GSM MODEM. International Journal of Engineering Research & Technology 5: 221-229.
- NEXMO. 2019. Discover how we deliver quality. The Vonage API Platform, Vonage Corporation. (Consultado 04/03/2019). Disponible en: <https://www.nexmo.com/>
- Olivo-Gutiérrez, M., N. García-Díaz, A. Olivo-Gutiérrez, J. A. Verduzco-Ramírez y J. Villablos-Gómez. 2018. Prototipo para el monitoreo automatizado de parámetros de calidad del agua en una granja de camarón. Científica 22: 87-95.
- Pelayo-Jimeno, S. 2018. Medidor geolocalizado de pH para control de emergencias medioambientales. Tesis de Maestría: Universitat Oberta de Catalunya. Cayaluya, España. p. 82.
- Pressman, R. S. 2010. Ingeniería del software. Un enfoque práctico. 7ª ed. Ed. McGraw Hill. Conneticut, Estados Unidos de América. 777 p.
- Rocabado-Moreno, S. H., S. I. Herrera, M. I. Morales y C. R. Estellés. 2013. M-learning en zonas de recursos limitados. In: VIII Congreso de Tecnología en Educación y Educación en Tecnología. Argentina 2013. pp. 1-9.
- Salim, T. I., T. Haiyunnisa and H. S. Alam. 2016. Design and implementation of water quality monitoring for eel fish aquaculture. In: International Symposium on Electronics and Smart Devices. Bandung, Indonesia. pp. 208-213.

- SIMcom. 2011. SIM5215 Hardware Design. Shanghai: SIMCom Wireless Solutions. (Consultado 04/03/2019). Disponible en: [http://www.connectec.com.tw/SPEC/SIM5215&SIM5216\\_HD\\_V2.00.pdf](http://www.connectec.com.tw/SPEC/SIM5215&SIM5216_HD_V2.00.pdf)
- SIMcom. 2013. SIM900 Hardware Design. Shanghai: SIMCom Wireless Solutions. (Consultado 04/03/2019). Disponible en: [https://simcom.ee/documents/SIM900/SIM900\\_Hardware%20Design\\_V2.05.pdf](https://simcom.ee/documents/SIM900/SIM900_Hardware%20Design_V2.05.pdf)
- Skoog, D. A., D. M. West, F. J. Holler and S. R. Crouch. 2013. Fundamentals of analytical chemistry. Nelson Education. USA.
- Telit. 2017. LE910 V2 Series Datasheet. (Consultado 04/03/2019). Disponible en: [https://www.telit.com/wp-content/uploads/2017/11/Telit\\_LE910-V2\\_Datasheet.pdf](https://www.telit.com/wp-content/uploads/2017/11/Telit_LE910-V2_Datasheet.pdf)
- Twilio. 2019. The programmable contact center platform. (Consultado 04/03/2019). Disponible en: <https://www.twilio.com/>
- Villalobos-Gómez, J. A., N. García-Díaz, M. Olivo-Gutierrez y J. A. Verduzco-Ramírez. 2018. Modelo conceptual de gestión para la trazabilidad en la Industria Acuícola de Pequeña Escala. Revista de Tecnologías en Procesos Industriales 2: 16-23.
- Wang, T., Z. Feng and S. Zhou. 2012. Wireless remote marine monitoring terminal design based on SIM900. Electronic Measurement Technology 35: 108-111
- YSI. 2002. YSI Modelo 55 Sistema Portable de Medición de Oxígeno Disuelto y Temperatura, Manual de operación. (Consultado 04/03/2019). Disponible en: <https://www.ysi.com/File%20Library/Documents/Manuals/055207-YSI-Model-55-Spanish-Operations-Manual-RevA.pdf>.