

# INCORPORACIÓN DE UN CONJUNTO DE MEJORAS TÉCNICAS Y DE USABILIDAD A UN DISPOSITIVO DE MONITOREO DE LOS PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA APLICADO AL SECTOR ACUÍCOLA

Gutiérrez Piliado Germán, Verduzco Ramírez Jesús Alberto, Bricio Barrios Elena Elsa, Arceo Díaz Santiago  
Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Colima  
División de Estudios de Posgrado e Investigación  
Av. Tecnológico No. 1, Col. Liberación, Villa de Álvarez, Colima, C.P. 28976  
Teléfonos: (312) 312 6393, (312) 312 9920  
{g1946023, averduzco, elena.bricio, santiago.arceo}@colima.tecnm.mx

## RESUMEN

Los sistemas para el monitoreo de los parámetros físico-químicos que determinan la calidad del agua son una herramienta esencial para los productores acuícolas. Estos sistemas deben incluir funcionalidades que les permitan adaptarse a los requerimientos específicos de las granjas acuícolas sin que ello implique un incremento importante en su costo de adquisición y mantenimiento, sobre todo para los productores a baja escala y con un reducido presupuesto. Este documento describe la aplicación de la metodología de desarrollo de prototipos para incorporar un conjunto de funcionalidades en la mejora de un sistema de monitoreo para estanques acuícolas. Los resultados obtenidos muestran que la usabilidad del dispositivo, la reducción del consumo energético, la calibración automática de los sensores, la autonomía de alimentación y el uso de un sistema de envío de datos adaptado a la localización de la granja acuícola usada como caso de prueba han beneficiado el proceso de monitoreo de la calidad del agua.

Palabras clave: acuicultura, transmisión de datos, ahorro energético, GSM/GPRS

## ABSTRACT

Systems for monitoring the physical-chemical parameters that determine water quality are an essential tool for aquaculture producers. These systems must include functionalities that allow them to adapt to the specific requirements of aquaculture farms without implying a significant increase in their cost of acquisition and maintenance, especially for producers on a small scale and with a reduced budget. This document describes the application of the prototype development methodology to incorporate a set of functionalities in the improvement of a monitoring system for aquaculture ponds. The results obtained show that the usability of the device, the reduction of energy consumption, the automatic calibration of the sensors, the autonomy of electrical supply and the use of a data delivery system adapted to the location of the aquaculture farm used as a test case have benefited the process of monitoring water quality.

Keywords: aquaculture, data transmission, energy saving, GSM/GPRS

## 1. INTRODUCCIÓN

En décadas recientes, la obtención de alimentos suficientes para abastecer las necesidades de la población mundial se ha convertido en una tarea primordial para la mayoría de los países [1].

Históricamente, la pesca, ya sea marítima o de agua dulce, ha representado una de las fuentes de alimento más importante con la que cuentan las naciones, sin importar su nivel de desarrollo [2]. Sin embargo, desde el comienzo de la década de los 90, del siglo pasado, el número de millones de toneladas de recursos obtenidos mediante la pesca detuvo su crecimiento, frenado en gran parte por una combinación de factores como la pesca excesiva, los desastres naturales y el cambio climático [3]. Esto llevó a que la acuicultura, el cultivo de especies de peces, moluscos y mariscos para el consumo humano, se convirtiera en una alternativa sustentable que representaría una fuente creciente de recursos [4]. Además de lo anterior, la acuicultura es una actividad agroindustrial que: promueve el desarrollo socioeconómico de las zonas costeras, permite la crianza de las especies de interés durante todo el año, permite evaluar la calidad de sus productos y está sujeta a una mejora continua, ya que cada etapa involucrada puede trazarse para buscar posibles puntos de mejora.

El consumo de productos acuícolas es altamente recomendado debido a su valioso aporte nutricional [5]. Sin embargo, este aporte nutricional depende en gran medida de las condiciones de operación para el montaje y mantenimiento de granjas acuícolas [4], así como del monitoreo adecuado del estado de salud de las especies de interés. Dentro de esta segunda categoría, el monitoreo de la calidad del agua de los estanques de cultivo adquiere una importancia central. Este suele requerir de un registro adecuado y constante de parámetros físico-químicos como el oxígeno disuelto, el pH, la temperatura y la conductividad eléctrica, entre otros [6] [7]. Sin embargo, en muchos sitios de cultivo, las técnicas de monitoreo siguen dependiendo de la inspección visual y olfativa, que en muchos casos resulta poco precisa y no permite la detección temprana de enfermedades o posibles fuentes de contaminación que comprometen la producción [8]. Para hacer eficiente el proceso de monitoreo de los parámetros de calidad del agua, se ha propuesto la incorporación de sistemas de medición basados en sensores, capaces de registrar en tiempo real y de medir adecuadamente cada uno de los parámetros de interés, que agilicen la toma de decisiones en caso de eventualidades y faciliten la trazabilidad del proceso de cultivo y cosecha [9].

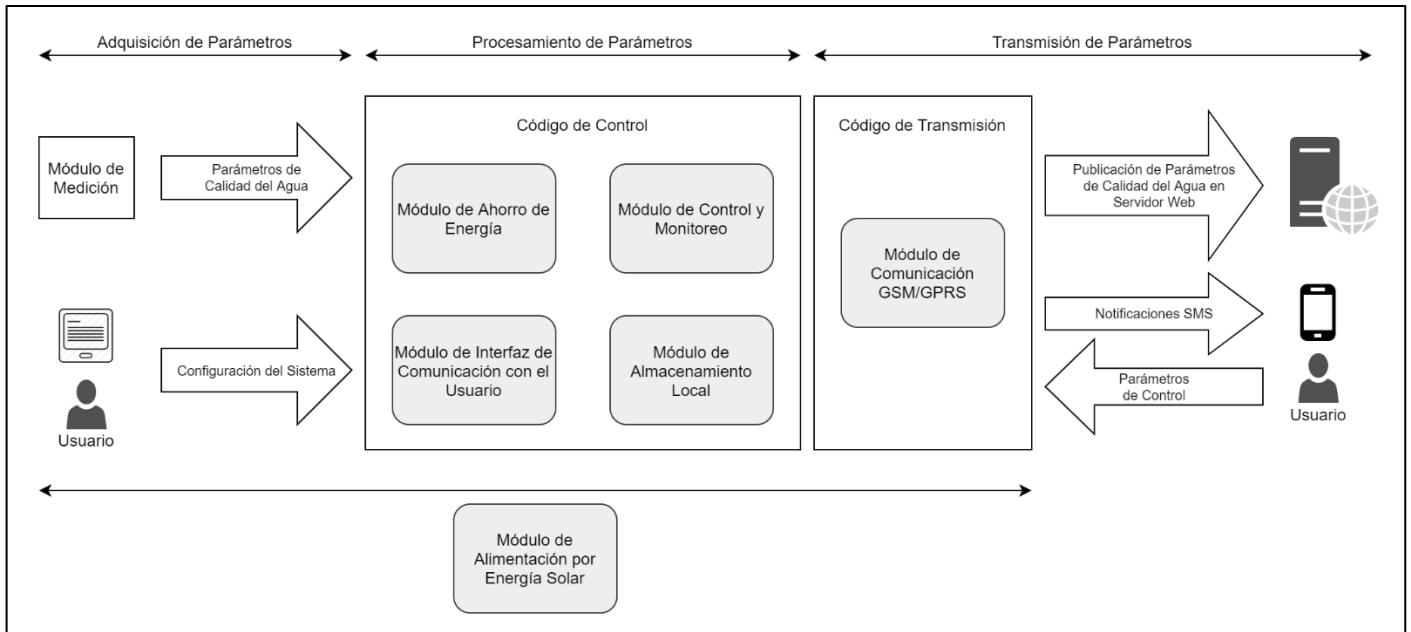


Figura 1. Esquema general de la propuesta de solución. Fuente propia.

La poca disponibilidad y costo de las herramientas tecnológicas que suelen utilizarse para el monitoreo de los parámetros físico-químicos relacionados con la calidad del agua es un problema habitual en México. Esta problemática fue abordada por Olivo et al. en [10] y Defe y Antonio en [11], quienes propusieron y demostraron que muchos de los parámetros que permiten evaluar la calidad del agua pueden medirse empleando sensores, utilizados usualmente como herramientas didácticas en el laboratorio de electrónica. Recientemente, Flores y Aracena en [12] propusieron y desarrollaron un sistema de monitoreo remoto basado en comunicación inalámbrica XBee y Arduino para disponer de los parámetros históricos y actuales por medio de cualquier dispositivo con acceso a internet. Mientras, Barajas et al. en [13] propusieron un sistema de consulta en línea de los parámetros de calidad a la par de la incorporación de un sistema de notificación en tiempo real, a través de mensajes de alerta SMS, cuando los parámetros de calidad se encontraban fuera de un rango preestablecido. Aunque estas propuestas han mostrado alto desempeño, no están libres de inconvenientes: suelen estar limitados a solo un tanque acuícola, debido a su limitada portabilidad, y dependen de una fuente de energía permanente. Sin embargo, esto puede resolverse mediante fuentes de energía sustentables como la energía solar. En México, el uso de paneles solares representa una alternativa viable para la obtención de energía eléctrica, destinada a granjas acuícolas, ya que el promedio anual de días soleados parcial o totalmente es de 276.8 días, 43% de los cuales son totalmente soleados [14]. Por tanto, este trabajo propone el uso de sensores comerciales para la medición de los parámetros físico-químicos para el monitoreo y notificación de alertas de la calidad del agua, así como la capacidad de la transmisión de datos en línea para su

consulta en cualquier dispositivo con acceso a internet. Si bien esta propuesta ha sido reportada en la literatura abierta, este dispositivo provee la capacidad al operador del estanque de crecimiento de teclear sobre el dispositivo los valores de operación que se consideren adecuados para favorecer la sobrevivencia de la especie, así como la capacidad de reestablecer estos valores cuando se monitoree otra especie. Además, se atiende la problemática de proveer una fuente energética permanente, compuesta por celdas solares, para garantizar la eficiencia de los tres módulos en caso de que se agote la fuente de energía externa.

## 2. METODOLOGÍA

El diseño y construcción de este dispositivo de medición de parámetros de calidad del agua en estanques acuícolas se realizó en el Departamento de Posgrado dentro de las instalaciones del Instituto Tecnológico de Colima, México. El desarrollo tecnológico propuesto se basó en la interconexión de tres sistemas, alimentado por una fuente permanente de energía (Figura 1). Cada sistema se describe a continuación:

### 2.1. Módulo de alimentación por energía solar

El módulo de alimentación utiliza un panel solar y una batería. Se propone así puesto que el acceso a la energía eléctrica es limitado en ciertos puntos del estanque. Además, las instalaciones acuícolas se encuentran en áreas despejadas, por lo que basta colocar el panel en una superficie plana para obtener el máximo aprovechamiento de la radiación solar. El dispositivo dispone entonces de total libertad para posicionarse en donde se considere más conveniente. El módulo está formado por tres componentes. El primero de ellos, un módulo fotovoltaico

policristalino, está diseñado para ser utilizado en sistemas de 12 V. Se utiliza una batería con tecnología AGM (fibra de vidrio absorbente); maneja un voltaje de 12 V y una capacidad de 1.2 Ah. Finalmente, el controlador se usa para la carga y descarga de la batería.

## 2.2. Adquisición de parámetros

Dado que este prototipo propone una mejora operativa y de ahorro de energía, se reprodujo el prototipo reportado por Olivo et al. en [10], quienes desarrollaron un dispositivo de bajo costo para el monitoreo automatizado de los parámetros de calidad del agua en granjas de cultivo de camarón. Por tanto, fue adquirido un kit de sensores de la marca Atlas Scientific, compuesto por cuatro circuitos integrados (EZO) y cuatro sondas capaces de medir pH, oxígeno disuelto, temperatura y salinidad. Mientras que, para que el sistema fuese capaz de adquirir las mediciones de los sensores, se utilizó una plataforma de código libre, así como una tarjeta de pruebas para el desarrollo del código de programación del dispositivo.

## 2.3. Procesamiento de parámetros

Una vez que el módulo de adquisición de parámetros registró la medición de las variables físico-químicas, con un módulo de reloj de tiempo real (RTC) se procede a realizar una estampa de tiempo como elemento de respaldo de la fecha y hora de la medición de los parámetros de interés. Posterior a ello, se almacenan los datos de forma local en la tarjeta microSD y se habilita el modo de ahorro de energía del Arduino.

## 2.4. Transmisión de parámetros

En esta etapa se ejecuta la rutina que transmite la información adquirida a un servidor web para su almacenamiento y se activa el modo *sleep* del módulo GSM/GPRS, el cual puede reactivarse por medio de una perturbación externa o por medio de la recepción de un mensaje SMS. Para lograrlo se implementó una rutina de lectura de dicho mensaje. Si el contenido coincide con uno de los comandos previamente definidos, el Arduino despierta y vuelve a ejecutar el script; en caso contrario, el sistema vuelve a ponerse en modo de bajo consumo. Con esta verificación de los mensajes de entrada, se previene la puesta en marcha del dispositivo a través de mensajes SMS no deseados. En caso de que los parámetros se encuentren fuera del rango preestablecido por el acuicultor, el sistema enviará una notificación SMS a un destino registrado previamente y despertará al sistema de medición, monitoreo y notificación de forma permanente hasta que el parámetro físico-químico se encuentre nuevamente dentro del rango de operación.

## 2.5. Integración de módulos

Finalmente, para la interconexión de los módulos se integraron, sobre una placa de pruebas, los cuatro circuitos EZO, sus respectivos conectores BNC, el módulo GSM/GPRS, el Display LCD, el lector de tarjetas microSD, un zumbador y los cuatro botones que permitirían al usuario interactuar con el sistema. Se

utilizó un script para corroborar la correcta comunicación entre todos ellos. Posteriormente, se procedió a diseñar una tarjeta electrónica para eliminar todo el cableado (Tabla 1).

Por otra parte, para salvaguardar la electrónica de agentes externos que pudieran dañar los componentes, se creó una carcasa que contuviera todo el equipo; se diseñó a través del software SOLIDWORKS y se fabricó en PLA mediante una impresora CreateBox. En el interior de la carcasa se almacenan los botones para la configuración de los parámetros de muestreo, los conectores BNC para las sondas, el adaptador para la antena del módulo GSM/GPRS, así como elementos de salida para el interruptor de encendido/apagado, entrada de alimentación y cuatro puntos de sujeción para acoplarlo a una estructura ubicada alrededor del estante.

Tabla 1. Recursos empleados en la construcción del dispositivo propuesto. Fuente propia.

Módulo	Recurso
Módulo de medición	Atlas Scientific ENV-SDS Kit: - Circuito EZO de pH - Circuito EZO de oxígeno disuelto - Circuito EZO de conductividad - Circuito EZO de temperatura - Sonda de pH - Sonda de oxígeno disuelto - Sonda de conductividad - Sonda de temperatura Conectores BNC Circuito integrado CD4066B
Módulo de control y monitoreo	Arduino Mega 2560 Módulo RTC (incluido en shield de SIM900) Zumbador
Módulo de interfaz de comunicación con el usuario	Display LCD 4X20 Botones
Módulo de almacenamiento local	Lector de tarjetas microSD Tarjeta microSD
Módulo de comunicación GSM/GPRS	Shield SIM900 para Arduino Antena GSM/GPRS Batería CR1220
Módulo de alimentación por energía solar	Panel fotovoltaico policristalino Batería AGM 12 V/1.2 Ah Controlador de carga

## 3. RESULTADOS

Previo a la evaluación del desempeño del prototipo en campo, se realizaron pruebas piloto de cada módulo y sistema para la identificación de problemas y oportunidades de mejora, los cuales se describen a continuación:

*Sensores.* Se conectaron los cuatro circuitos EZO (pH, temperatura, salinidad y oxígeno disuelto) en la placa electrónica y se procedió a la lectura de cada parámetro. A continuación, se realizó el proceso de calibración establecido por el proveedor [15]. Dada la sensibilidad de la sonda de conductividad eléctrica, se acopló un módulo de interruptores bilaterales controlados digitalmente, contenidos en el circuito CD4066B. Se demostró

que las lecturas de los parámetros de las soluciones estándar coincidían con las mediciones adquiridas. Asimismo, se confirmó que el sistema de adquisición de parámetros cambiaba su funcionamiento a modo de ahorro de energía.

**Placa electrónica.** Inicialmente, se utilizó una placa Arduino Uno como microcontrolador, pero se descartó porque la memoria flash (32 kB) era insuficiente. Por lo tanto, se utilizó una placa Arduino Mega 2560, con mayor capacidad (256 kB).

**Protocolos de comunicación con el microcontrolador.** Se evaluaron los protocolos UART e I<sup>2</sup>C [16] y se determinó que el segundo solo utiliza cuatro pines para controlar los sensores, en contraste con los diez necesarios para el protocolo UART. Por esta razón, se eligió I<sup>2</sup>C.

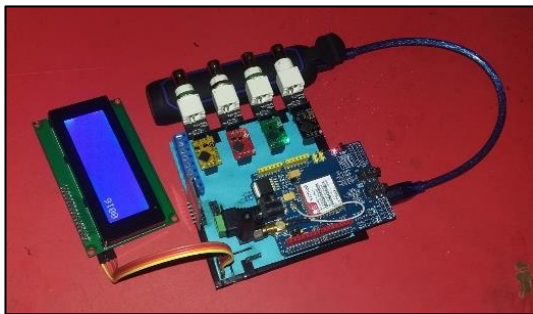


Figura 2. Circuito impreso con todos los módulos montados. Fuente propia.

**Tarjeta microSD.** Para el almacenamiento de datos provenientes de los sensores se utilizó una unidad de memoria externa que utiliza cuatro pines (MISO, MOSI, SCK y SS) para la comunicación con la tarjeta Arduino. Los datos son almacenados en un archivo, utilizando una línea por cada medición realizada, incluyendo la estampa de tiempo y los parámetros obtenidos separados por comas (Figura 3).

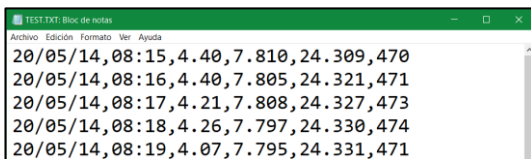


Figura 3. Información contenida en la tarjeta microSD. Fuente propia.

**Módulo GSM/GPRS.** Se utilizó un shield (Figura 4) y se escribió un script básico de comunicación UART para la prueba de los comandos AT especificados en la hoja de datos del fabricante [17]. Posteriormente, se definieron las rutinas para el manejo de SMS y para el envío de datos vía internet, así como el envío de un SMS (con la palabra clave AWAKE) para que el módulo cambiara al modo de funcionamiento normal.

**Interfaz de comunicación.** Para la publicación al usuario de los mensajes del sistema se utilizó un Display LCD, donde se mostraron los parámetros de las mediciones y diversos mensajes de control.



Figura 4. Shield SIM900 para Arduino. Fuente: hetpro-store.com.

**Fuente de energía.** Se realizaron pruebas de encendido y apagado del prototipo con diferentes niveles de carga de la batería externa. Por otro lado, se evaluó el desempeño del panel solar y su eficiencia con y sin la fuente de poder externa. En ambos casos, el sistema fue capaz de realizar todas las actividades programadas, como la medición, el almacenamiento externo e interno, así como el envío de señales de alerta SMS al generarse una perturbación en el sensor de temperatura.



Figura 5. Sistema acoplado en la carcasa. Fuente propia.

Para validar el funcionamiento general y desempeño de cada módulo, el dispositivo se instaló en la granja acuícola de la Productora y Comercializadora Agrícola, Ganadera y Acuícola Hueso S. P. R., ubicada en los márgenes de la laguna de Cuyatlán, ejido El Colomo, en el municipio de Manzanillo, Colima. Este dispositivo cuyas dimensiones son 168 x 133 x 78 mm, se colocó sobre una boya en el cuerpo de agua de un estanque de crecimiento de aproximadamente 55 metros de ancho por 125 de largo (Figura 6).

Por otro lado, se evaluó la usabilidad del prototipo para la programación de los intervalos de concentración de cada parámetro físico-químico, así como el procedimiento de calibración de los sensores e ingreso del número telefónico para el envío de alertas vía SMS. Este procedimiento fue explicado a uno de los trabajadores de la granja, quien fue capaz de realizar estas ac-



ciones después de realizar dos intentos, verificando la mejora en la usabilidad del sistema y alcanzando uno de los objetivos de este trabajo.



Figura 6. Dispositivo montado sobre la boya. Fuente propia.

A continuación, se verificó la recepción de datos en línea en un periodo de 10 minutos (Figuras 7 y 8) y se dejó operando el sistema durante 15 días, durante los cuales se detectaron dos fallas en la estampa de tiempo (RTC) que pudieron ser corregidas a través del envío de un mensaje SMS al prototipo, con el comando AWAKE, para que saliera del estado de ahorro de energía (Figura 9).

Hora	OD	Temp.
08:31 PM	7.680	
10:35 PM	4.910	31.726
10:25 PM	4.910	31.726
10:15 PM	4.910	32.197
10:05 PM	4.950	32.129
09:55 PM	4.970	32.296
09:45 PM	5.000	32.276

Figura 7. Mediciones de oxígeno disuelto y temperatura en servidor web. Fuente propia.

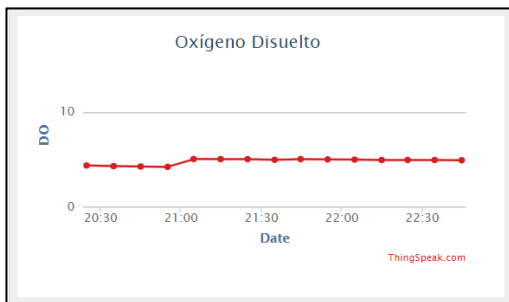


Figura 8. Gráfica de oxígeno disuelto. Fuente: thingspeak.com.

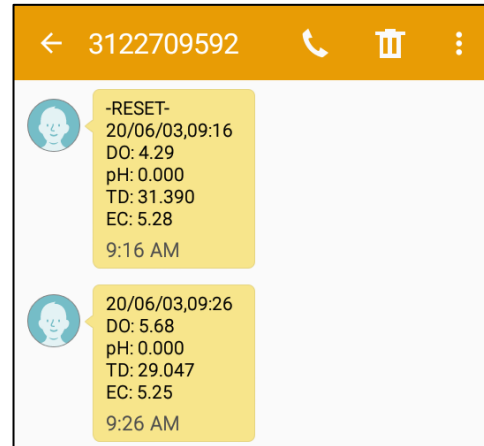


Figura 9. Reinicio del dispositivo mediante SMS con la palabra AWAKE. Fuente propia.

#### 4. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos muestran que las mejoras incorporadas al sistema de monitoreo facilitan el proceso de lectura de los parámetros de calidad del agua. La interfaz de comunicación implementada simplifica la manipulación del dispositivo. Para el usuario es posible modificar los parámetros de monitoreo, tales como el tiempo de muestreo o el número de teléfono que recibe las notificaciones SMS. Asimismo, las rutinas de calibración de sensores incorporadas hacen posible al usuario realizar dicha tarea, eliminando la necesidad de requerir soporte técnico. Esto representa una diferencia respecto a otras propuestas, como la de Olivo et al. [10] y la de Flores y Aracena [12], cuyos trabajos proponen una configuración embebida en el código residente en el microcontrolador que para ser cambiada implica la modificación del mismo.

Con respecto al suministro de energía, los resultados de Olivo et al. [10] muestran que se brindó cierta autonomía al sistema desarrollado. Sin embargo, no se contempló incrementar la eficiencia del script utilizado. La combinación de una fuente de alimentación solar con una lógica de diseño del código orientada al bajo consumo, hace posible la obtención de un sistema con una mayor autonomía. En promedio, el sistema requiere de una corriente de 50mA. El mayor consumo lo tiene el módulo SIM900. Con la batería utilizada (1.2 Ah), el sistema dispondría de autonomía energética durante aproximadamente 24 horas.

#### 5. CONCLUSIONES

Este trabajo reporta los resultados de la implementación de un sistema de ahorro energético a un dispositivo para el monitoreo remoto y notificación en tiempo real de los parámetros de calidad del agua. El sistema minimiza el uso de energía del dispositivo mediante: la programación de un modo *sleep*, que puede activarse al cumplirse una serie de condiciones dadas por el usuario, y la implementación de una celda solar, que provee energía al dispositivo.

De forma similar a propuestas previas, el dispositivo de monitoreo de parámetros de calidad del agua permite la verificación remota de los valores medidos y el envío de alertas, mediante mensajes SMS, en caso de que se mida un valor anómalo en alguno de los parámetros de interés o si se registran fallas en los sensores. Además, este dispositivo permite al acuicultor, mediante los botones y la pantalla instalados en el dispositivo: calibrar los sensores, garantizando mediciones confiables; establecer y modificar los rangos aceptables para los valores de cada uno de los parámetros de calidad del agua; y definir los números telefónicos de los destinatarios de los mensajes SMS con las alertas generadas.

El uso de la tecnología GSM/GPRS resulta útil para transmitir datos en zonas en donde el servicio de internet es limitado o nulo. Sin embargo, resulta poco práctico contar con un módulo SIM900 en cada dispositivo de monitoreo. Una solución prevista es la implementación de una red de dispositivos en donde solo uno de ellos esté dotado del módulo GSM/GPRS.

## 6. REFERENCIAS

- [1] A. Aparicio Cabrera, «Historia Económica Mundial 1950-1990,» *Economía Informa*, n° 385, pp. 70-83, 2014.
- [2] FAO, El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2016. Contribución a la seguridad alimentaria y la nutrición para todos, Roma: FAO, 2016.
- [3] FAO, «Acuicultura,» FAO, [En línea]. Available: <http://www.fao.org/aquaculture/es>. [Último acceso: Junio 2020].
- [4] A. G. Coche y J. F. Muir, Construcción de estanques para la piscicultura en agua dulce. Estructuras y trazados para explotaciones piscícolas, Roma: FAO, 1993.
- [5] L. Luchini, «Beneficios nutricionales y de salud del producto "pescado",» Noviembre 2010. [En línea]. Available: [https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/acuicultura/difusion/\\_archivos/000001\\_Material%20institucional/101210\\_Beneficios%20nutricionales%20y%20de%20salud%20del%20producto%20pescado.pdf](https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/acuicultura/difusion/_archivos/000001_Material%20institucional/101210_Beneficios%20nutricionales%20y%20de%20salud%20del%20producto%20pescado.pdf). [Último acceso: Julio 2020].
- [6] C. E. Boyd, Water Quality in Ponds for Aquaculture, Alabama: Auburn University, 1990.
- [7] E. Mayer, «Monitoreo de la calidad de agua del estanque para mejorar la producción de camarones y peces,» International Aqua Feed, 2012. [En línea]. Available: <https://aquafeed.co/entrada/monitoreo-de-la-calidad-de-agua-del-estanque-para-mejorar-la-produccion-de-camarones-y-peces-20528/>. [Último acceso: Julio 2020].
- [8] R. Gillett, Estudio mundial sobre las pesquerías del camarón, Roma: FAO, 2010.
- [9] YSI Incorporated, «Orthophosphate Analyzer for Wastewater Process Control,» YSI Inc. / Xylem Inc., [En línea]. Available: [https://www.ysi.com/po4?utm\\_source=Website&utm\\_medium=Meet-Alyza-CTA-Button&utm\\_campaign=Home-Page](https://www.ysi.com/po4?utm_source=Website&utm_medium=Meet-Alyza-CTA-Button&utm_campaign=Home-Page). [Último acceso: Julio 2020].
- [10] M. Olivo Gutiérrez, J. Verduzco Ramírez, N. García Díaz, J. Villalobos Gómez y A. Olivo Gutiérrez, «Prototipo para el monitoreo automatizado de parámetros de calidad del agua en una granja de camarón,» *Científica*, vol. XXII, n° 2, pp. 87-95, 2018.
- [11] G. A. Defe y A. Z. C. Antonio, «Multi-parameter Water Quality Monitoring Device for Grouper Aquaculture,» de *2018 IEEE 10th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment and Management (HNICEM)*, Baguio City, 2018.
- [12] S. Flores Mollo y D. Aracena Pizarro, «Sistema de monitoreo remoto de acuicultura en estanques para la crianza de camarones,» *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, vol. XXVI, n° Especial, pp. 55-64, 2018.
- [13] J. Barajas, J. Verduzco, E. Bricio, S. Arceo, R. Chávez y P. Figueroa, «Sistema de notificación en tiempo real de la calidad del agua en granjas de camarón,» *Revista Mexicana de Agrosistemas*, vol. VII, n° 1, 2020.
- [14] meteoblue, «Tiempo Ciudad de México,» meteoblue AG, 2019. [En línea]. Available: <https://www.meteoblue.com>. [Último acceso: Julio 2020].
- [15] J. Press y N. Press, «ENV-SDS Kit,» Atlas Scientific, Noviembre 2019. [En línea]. Available: <https://atlas-scientific.com/kits/env-sds-kit/>. [Último acceso: Mayo 2020].
- [16] E. García, «Transmisión serie,» de *Compilador C CCS y simulador PROTEUS para Microcontroladores PIC*, México, Alfaomega Grupo Editor, 2008, pp. 167-212.
- [17] SIMCom, «SIM900 Hardware Design V2.05,» 11 Agosto 2013. [En línea]. Available: [https://simcom.ee/documents/SIM900/SIM900\\_Hardware%20Design\\_V2.05.pdf](https://simcom.ee/documents/SIM900/SIM900_Hardware%20Design_V2.05.pdf). [Último acceso: Mayo 2020].
- [18] C. E. Boyd, «Consideraciones sobre la calidad del agua y del suelo en cultivos de camarón,» de *Métodos para mejorar la camaronicultura en Centroamérica*, Managua, Editorial-Imprenta UCA, 2001, pp. 1-30.