

Prototipo para el monitoreo automatizado de parámetros de calidad del agua en una granja de camarón

Mauricio Olivo-Gutiérrez¹

Jesús Verduzco-Ramírez¹

Noel García-Díaz¹

Joel Villalobos-Gómez¹

Andrea Olivo-Gutiérrez²

¹Instituto Tecnológico de Colima
División de Posgrado e Investigación
Av. Tecnológico 1, Villa de Álvarez Colima, CP 28070.
MÉXICO.

²Universidad de Colima
Facultad de Arquitectura y Diseño
Carretera Colima-Coquimatlán km 9,
Coquimatlán, Colima, CP 28400.
MÉXICO.

Tel. 3121014374

correos electrónicos (emails): g1646003@itcolima.edu.mx
averduzco@itcolima.edu.mx
ngarcia@itcolima.edu.mx
g1646018@itcolima.edu.mx
aolivo@ucol.mx

Recibido 11-10-2017, aceptado 26-01-2018.

Resumen

En la acuicultura uno de los aspectos más importantes por asegurar es el adecuado monitoreo y control de parámetros que determinan la calidad del agua de cultivo como: el oxígeno disuelto, pH, salinidad y temperatura; ya que estos afectan directamente el crecimiento y desarrollo de los organismos cultivados. En el presente trabajo se propone un prototipo de bajo costo para el monitoreo automatizado de parámetros de calidad del agua en granjas de cultivo de camarón. El sistema está compuesto por tres nodos: un nodo sensor, un nodo coordinador y nodo de publicación. El nodo sensor integra sensores, microcontroladores, radio tranceptor y fuente de energía solar, los cuales censan la calidad del agua y transmiten estos datos de forma inalámbrica al nodo coordinador; el nodo coordinador recibe y extrae el paquete

de datos transmitido y los descarga en una computadora personal (PC) para su almacenamiento. En el nodo de publicación los usuarios podrán consultar los parámetros censados en una PC mediante una interfaz gráfica. El sistema desarrollado ofrece una herramienta tecnológica para el monitoreo eficiente de parámetros que permita tomar mejores decisiones a los productores acuícolas para lograr una mayor productividad y rentabilidad.

Palabras clave: acuicultura, calidad del agua, sensores, transmisión inalámbrica, monitoreo automatizado.

Abstract

(Prototype for the Automated Monitoring of Water Quality Parameters in a Shrimp Farm)

In Aquaculture one of the most important aspects to take care of is the adequate monitoring and control of the parameters that determine the water quality such as dissolved oxygen, pH, salinity and temperature; since these parameters directly affect the growth and development of cultivated organisms. The present work proposes a low-cost prototype for the automated monitoring of water quality parameters in shrimp farms. The system consists of three nodes: a sensor node, a coordinating node and a publishing node. The sensor node integrates sensors, microcontroller, radio transceiver and a solar power source which senses water quality and transmits this data to the coordinating node wirelessly; The coordinating node receives and extracts the transmitted data packet and downloads it for storage. In the publishing node, users can consult the sensed parameters in a PC through a graphical interface. The developed system offers a technological tool for the adequate monitoring of parameters that allows to make better decisions to achieve a greater productivity and profitability.

Index terms: aquaculture, water quality, sensors, wireless transmission, automated monitoring.

1. Introducción

En México, la acuicultura se considera cada vez más como un componente importante para lograr la seguridad alimentaria y

generar desarrollo económico, esta se ha desarrollado desde hace varias décadas. El gobierno de México promovió la acuicultura a partir de la formación de centros acuícolas en diversos estados de la república con el fin de cultivar diversas especies en granjas, presas, cuerpos de agua temporales y lagos. La proyección del crecimiento de la producción acuícola en México es de 54.2% para el 2025 [1].

De acuerdo con la Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca (CONAPESCA) en su estadística más reciente, el volumen de producción por acuicultura de todas las especies fue de 1,751,952 kg, de las cuales 158,128 kg fueron de camarón [2]. El camarón por su volumen se encuentra posicionado en el cuarto lugar de la producción pesquera en México; sin embargo, por su valor comercial, lo encontramos en el primer lugar. También, la exportación de camarón se encuentra en el lugar número uno de las especies pesqueras, siendo Estados Unidos de América, Japón y España sus principales destinos [2].

De acuerdo con [3] en Colima, la producción pesquera en peso vivo fue 37,081 kg en total para todas las especies. De las cuales 1,892 kg correspondieron a camarón. Siendo los municipios de Armería, Tecmán y Manzanillo los que generaron la mayor producción. Los padrones de los acuicultores en el estado de Colima están clasificados en productores a pequeña escala los cuales realizan sus actividades con recursos limitados. Para estos pequeños productores acuícolas, es prioritario mantener la rentabilidad de su negocio y esto lo lograrán incorporando tecnología que les permita ser más competitivos. En un sistema de producción acuícola, uno de los principales factores a tomar en cuenta para lograr una mayor productividad es la calidad del agua en los estanques de cultivo; ya que esta afecta directamente la salud y crecimiento de los organismos cultivados. La calidad óptima del agua utilizada varía según las especies cultivadas y debe monitorearse y controlarse para asegurar un ambiente adecuado para cultivar cualquier especie.

Los parámetros más importantes por monitorear en un sistema acuícola son temperatura, oxígeno disuelto (OD), potencial de hidrogeno (pH) y salinidad. Estos parámetros afectan directamente la salud animal, patrón de alimentación y tasa de crecimiento de los organismos que se cultivan.

Respecto a la temperatura, esta debe encontrarse entre 23°C y 31°C para la mayoría de especies que se cultivan en el trópico. Cuando la temperatura sale de estos límites o fluctúa repentinamente los organismos acuáticos experimentan estrés y enfermedades. La temperatura del agua interactúa con el OD situación en la cual el agua caliente contiene menos oxígeno disuelto que el agua fría [4].

El nivel de OD está directamente relacionado con el patrón de alimentación, crecimiento y nivel de actividad de los organis-

mos. El nivel de OD ideal debe estar entre 5.0-7.0 partes por millón (ppm), bajo esta condición los organismos crecen saludable y rápidamente. La interacción del OD con otros parámetros es de la siguiente forma: la cantidad de OD en el agua aumenta cuando la temperatura baja, y disminuye cuando la salinidad aumenta. Una baja concentración de OD es reconocida como causa principal de estrés, falta de apetito, susceptibilidad a enfermedades y mortalidad de organismos en la acuicultura. Está establecido que la concentración mínima de oxígeno en un estanque acuícola es el parámetro de mayor preocupación [4].

La salinidad del agua de mar es de 35 ppm, +/- 3 ppm, sin embargo, la salinidad encontrada en los estanques de crianza puede variar mucho, puede incrementarse con la evaporación o decrementarse con la lluvia. El rango de tolerancia de la salinidad para los camarones es muy amplio y pueden sobrevivir de 0 ppm hasta 50 ppm; sin embargo, el rango de crecimiento óptimo es de un promedio de 15 a 25 ppm. No obstante, aunque el camarón puede vivir en aguas con diferentes niveles de salinidad, no puede soportar cambios bruscos de salinidad dentro del rango de 0 a 50 ppm [4]. El rango aceptable de pH para el cultivo de especies es entre pH > 6.5 y pH < 8.5. Cuando el agua es muy alcalina (pH > 8.5), el amonio en el agua se convierte en amoníaco tóxico y esto puede matar a los organismos. Por otro lado, el agua ácida (pH < 5) lixivía metales de rocas y sedimentos. Estos metales tienen un efecto adverso en las tasas de metabolismo y puede ser fatal [4].

Los sistemas de monitoreo ambiental se han vuelto de gran relevancia en el monitoreo de parámetros y condiciones ambientales en ámbitos como la agricultura y la acuicultura. Actualmente, una gran cantidad de dispositivos de hardware y protocolos de comunicación permite el desarrollo de este tipo de sistemas. Estos sistemas pueden representar adecuadamente la variabilidad presente en el agua de cultivo de una granja de acuicultura. Varios prototipos y sistemas se han desarrollado para medir parámetros de calidad del agua en sistemas acuícolas. En el trabajo desarrollado en [5] se implementó una red inalámbrica para el monitoreo de parámetros en un sistema acuícola con recirculación, en el cual se incluyó la medición de variables como la temperatura, oxígeno disuelto, presión de agua y aire, así como sensores de corriente eléctrica. Además, el sistema incluyó módulos para lectura y transmisión de los valores de los sensores a través de una red inalámbrica. Se creó un programa de monitoreo con el fin de visualizar y almacenar los valores de los sensores y comparar con límites de referencia.

Por otra parte, en el trabajo de investigación realizado por [6] presentaron una red inalámbrica para la acuicultura. El entorno de monitoreo de esta red inalámbrica tiene la característica de puntos de medición múltiples y condiciones de medición complejas. Este sistema alcanza los objetivos de recolectar, transmitir y mostrar multiparámetros tales como oxígeno disuelto, temperatura y pH.

Asimismo, en [7] diseñaron e implementaron una red inalámbrica para el monitoreo continuo de la calidad del agua en una granja acuícola. Se diseñó e implementó un nodo de multiparámetros de calidad de agua, nodo de temperatura, nodo de enrutamiento y un centro de monitoreo *in situ* de manera remota vía la web.

Un sistema de trazabilidad basado en una red inalámbrica para un sistema de recirculación acuícola fue desarrollado por [8]. El sistema permite un rápido despliegue de datos y puede monitorear la temperatura del agua, la salinidad, el oxígeno disuelto y el pH, y lograr en tiempo real transmisión de datos. El sistema fue desarrollado principalmente utilizando C# en Microsoft Visual Studio integrado con el monitoreo gráfico en tiempo real con librerías de MATLAB.

Los investigadores en [9] diseñaron e implementaron la estructura de una red inalámbrica para recopilar y transmitir datos de parámetros acuícolas, tales como temperatura, oxígeno disuelto, entre otros. También, consta de un software de monitoreo inteligente con conocimiento experto que se utilizó para llevar un control automático de aireadores y alimentadores para asegurar la calidad del agua y alimentación de organismos en el sistema acuícola.

En [10] se desarrolló un sistema de monitoreo para calidad del agua en una granja acuícola. Los datos de los sensores fueron recolectados y transmitidos a través de ZigBee y GPRS. Las lecturas de los sensores fueron desplegadas online y en situ. El proceso de datos fue implementado usando el software LabView.

En el trabajo de investigación llevado a cabo por [11] desarrollaron un sistema de medición distribuido basado en una red de sensores inteligentes para medir parámetros en la acuicultura. El sistema está conformado por cuatro componentes: nodo de colección de datos, nodo de ruteo, centro de monitoreo *in situ* y centro de monitoreo remoto.

Una red inalámbrica para medir los parámetros de pH, NH₄⁺ y temperatura en una granja acuícola fue desarrollada por [12]. Se diseñaron dos módulos, el de sensores y el módulo inalámbrico. La red sigue el estándar 802.15.4 IEEE e implementa protocolo de ruteo basado en el mismo.

Un sistema de monitorización para mejorar los factores del medio ambiente en la acuicultura fue construido por [13]. El sistema basado en radio frecuencia inalámbrica y tecnología GSM, puede medir los parámetros ambientales en línea, como la temperatura y el contenido de oxígeno disuelto

(OD). De acuerdo con las condiciones ambientales, puede controlar un actuador que acciona un aireador. También permite el monitoreo remoto de datos por computadora hasta recibir una alerta por teléfono móvil cuando un parámetro salga del rango establecido.

Tanto las soluciones comerciales en el mercado actual, como las investigaciones descritas anteriormente, en su mayoría utilizan componentes de un costo elevado, difícil configuración y mantenimiento costoso que son poco accesibles a productores a pequeña escala. Por lo tanto, se propone un sistema que utilice componentes y tecnologías de bajo costo, de fácil configuración y mantenimiento para que esté al alcance del presupuesto de pequeños productores acuícolas.

2. Desarrollo

El presente sistema se desarrolló con componentes y tecnologías de uso libre y de bajo costo, para asegurar que el producto tecnológico desarrollado esté al alcance de los acuicultores del estado de Colima. Este trabajo es una investigación aplicada o tecnológica; la cual usa y aplica conocimientos y tecnologías previamente desarrollados y crea a partir de estos una nueva tecnología o solución que permita resolver un problema específico.

2.1. Descripción general del sistema

El sistema está compuesto por tres nodos, un nodo sensor, un nodo coordinador y nodo de publicación (véase Fig. 1). El nodo sensor integra sensores y microcontroladores, radio transceptor y fuente de energía solar, los cuales censan la

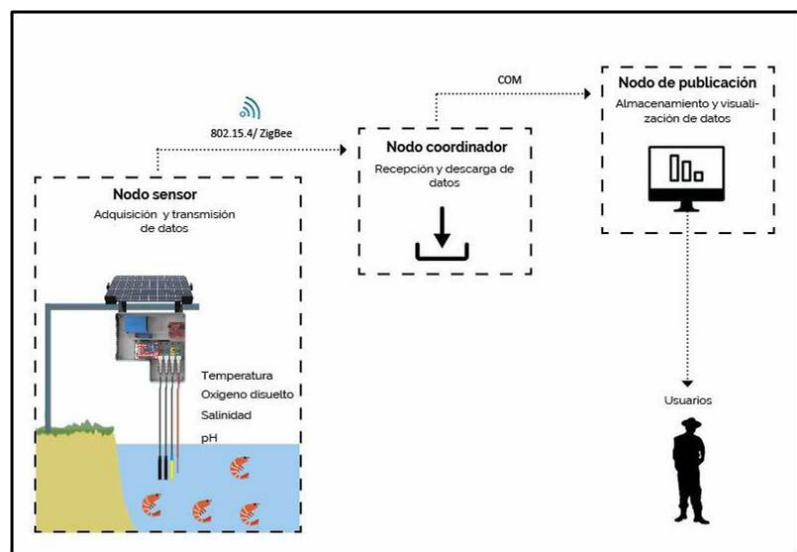


Fig. 1. Descripción general de los módulos del sistema.

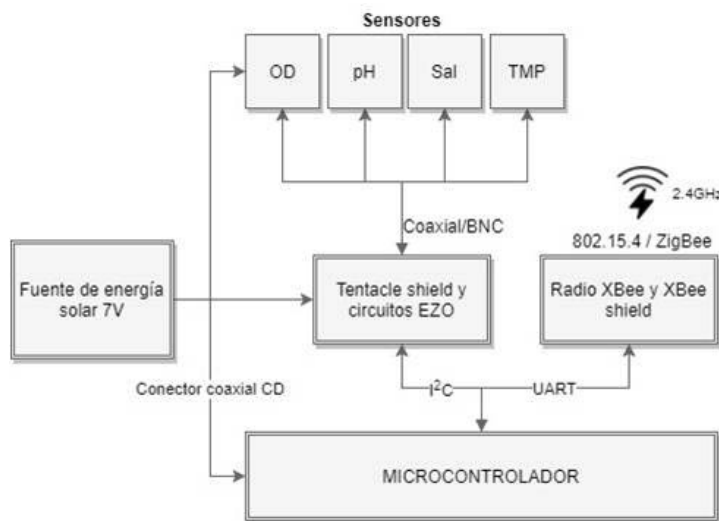


Fig. 2. Diagrama de bloques de los componentes del nodo sensor.

calidad del agua y transmite estos datos al nodo coordinador utilizando el estándar 802.15.4 y la especificación Zigbee; el nodo coordinador recibe y extrae el paquete de datos transmitido y los descarga en una computadora personal (PC) para su almacenamiento y visualización. En el nodo de publicación los usuarios podrán consultar los parámetros censados en una PC mediante una interfaz gráfica de ventana. A continuación, se describe los nodos con sus componentes.

2.2. Nodo sensor

El nodo sensor se compone de los siguientes elementos: sensores, microcontrolador y Tentacle shield con circuitos EZO, radio transceptor XBee y XBee shield, fuente de energía solar y código (véase Fig. 2). A continuación, se describen los elementos del nodo sensor.

2.2.1. Sensores

Los sensores utilizados para medir la calidad del agua son de oxígeno disuelto, pH, conductividad eléctrica y temperatura. Estos se conectan al *tentacle shield* y circuitos EZO mediante un cable coaxial RG179 y conector Bayonet Neill-Concelman (BNC) (véase Fig. 2). Las características técnicas de los sensores se describen en la Tabla 1.

2.2.2. Microcontrolador, *tentacle shield* y circuitos EZO

Las lecturas de los sensores son obtenidas y procesadas a través de la tarjeta de desarrollo Arduino Uno en conjunto con el *Tentacle shield* y circuitos EZO utilizando el protocolo I²C (Inter-Integrated Circuit) (véase Fig. 3). El protocolo I²C utiliza dos líneas SCL y SDA. SCL es la línea del reloj y se utiliza para sincronizar todas las transferencias de datos a través del bus I²C, SDA es la línea de transmisión de datos. Las líneas SCL y SDA están conectadas a todos los dispositivos en el bus I²C. Cuando desde el microcontrolador se quiere mandar un comando se dirige al *Tentacle shield* y circuito EZO del sensor con el que quiere hablar, envía una señal de inicio (*Start*) condicional y se procede al envío de un byte con los siete bits que componen la dirección (*Address*) del circuito EZO con el que se quiere comunicar, más un octavo bit de menor peso que corresponde con la operación deseada, escritura = 0 (enviar al circuito EZO), y lectura = 1 (recibir del circuito EZO), seguido del bit de reconocer (véase Fig. 3).

Como continuación, la dirección enviada es comparada por cada uno de los circuitos EZO del bus con su propia dirección, si ambas coinciden, el circuito EZO se considera direccionado como esclavo-receptor o esclavo-transmisor dependiendo del

Como continuación, la dirección enviada es comparada por cada uno de los circuitos EZO del bus con su propia dirección, si ambas coinciden, el circuito EZO se considera direccionado como esclavo-receptor o esclavo-transmisor dependiendo del

Tabla1. Características técnicas de los sensores utilizados para medir la calidad del agua [14].

Tipo de sensor	Valor medido	Rango de medición	Precisión	Voltaje de operación
Oxígeno disuelto	Mg/l	0.01-35.99 mg/l	+/- 0.05mg/l	3.3-5V
Ph	pH	0-14	+/- 0.0002	3.3-5V
Conductividad eléctrica	μS/cm sólidos disueltos/ salinidad	5-200,000 μS/cm	+/- 2%	3.3-5V
Temperatura	°C	de -200°C a 850°C	+/- (0.15 + (0.002*t))	3.3-5V

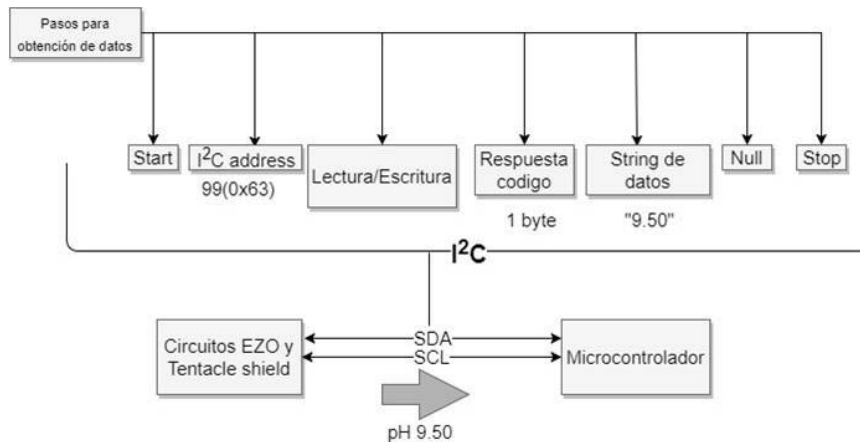


Fig. 3. Obtención y procesamiento de datos utilizando I²C, Tentacle shield y circuitos EZO (ejemplo para el pH).

bit de menor peso escritura/lectura. El circuito EZO responde enviando un bit de reconocer (respuesta del código) que le indica al microcontrolador que el circuito EZO reconoce la solicitud y está en condiciones de comunicarse y comienza el intercambio de información entre ambos dispositivos. El microcontrolador envía la dirección del registro interno del dispositivo, en el que se desea leer o escribir, el circuito EZO responde con otro bit de reconocer, ahora el microcontrolador puede empezar a leer o escribir bytes de datos. Al final del proceso se intercambia una señal *null* y *stop* para terminar la comunicación (véase Fig. 3).

A continuación, la dirección enviada es comparada por cada uno de los circuitos EZO del bus con su propia dirección, si ambas coinciden, el circuito EZO se considera direccionado como esclavo-receptor o esclavo-transmisor dependiendo del bit de menor peso escritura/lectura. El circuito EZO responde enviando un bit de reconocer (respuesta del código) que le indica al microcontrolador que el circuito EZO reconoce la solicitud y está en condiciones de comunicarse y comienza el intercambio de información entre ambos dispositivos. El microcontrolador envía la dirección del registro interno del dispositivo, en el que se desea leer o escribir, el circuito EZO responde con otro bit de reconocer, ahora el microcontrolador puede empezar a leer o escribir bytes de datos. Al final del proceso se intercambia una señal *null* y *stop* para terminar la comunicación (véase Fig. 3).

2.2.3. Radio XBee y XBee shield

Una vez obtenidos y procesados los valores de los sensores, estos se transmiten inalámbricamente al coordinador por medio del radio XBee utilizando el estándar 802.15.4 y la especi-

ficación Zigbee por medio del radio XBee. Los radios XBee se conectan a un dispositivo host (XBee shield y microcontrolador) a través de una lógica de nivel asíncrono de un puerto serial. A través del puerto serial, el XBee puede comunicarse con cualquier dispositivo que incluya UART (*Universal Asynchronous Receiver-Transmitter*), o a través de un traductor de nivel a cualquier dispositivo en serie. Los dispositivos que tienen una interfaz UART pueden conectarse directamente a los pines del módulo del radio XBee. Los datos entran en el módulo UART a través del pin 3 (*data in*, DI) del XBee como una señal serial asíncrona. La señal debe estar inactivo cuando no se transmiten datos.

Cada byte de datos consiste en un bit de inicio (bajo), 8 bits de datos (bit de menor importancia primero) y un bit de parada (alto) (véase Fig. 4). El módulo UART realiza tareas, como la temporización y la comprobación de paridad, que son necesarias para la comunicación y transmisión de datos. La comunicación serial dependen de que los dos UART se configuren en los siguientes aspectos: velocidad de baudios, paridad, bits de inicio, bits de parada, bits de datos. El radio XBee se configura y programa utilizando el software XCTU de Digi International [15].

El microcontrolador, Tentacle shield, XBee shield y radio XBee utilizados en el prototipo se ensamblan y conectan uno sobre otro formando niveles a través de conectores Berg (cabezales para pines), los cuales permiten la conexión e interacción entre todos estos componentes y hacen posible que sea funcional.

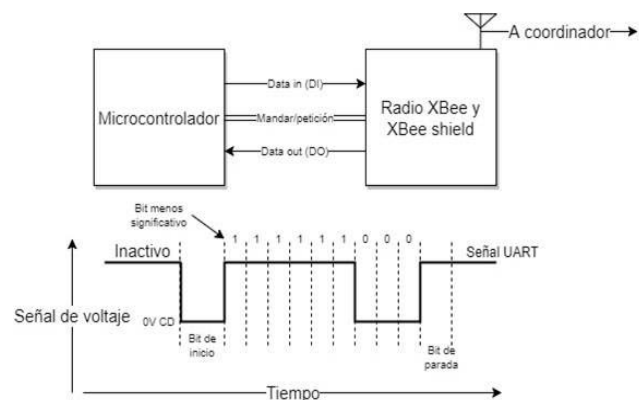


Fig. 4. Funcionamiento básico Radio XBee.

2.2.4. Fuente de energía solar

La fuente de energía está compuesta por los siguientes elementos: un panel de 6W con una salida de 7V, batería de Lithium ion de 6000 mAh, cargador para baterías Lithium ion y un convertidor corriente directa a corriente directa (CD-CD) con una salida que puede ajustarse entre 4V y 12V (véase Fig. 5). La fuente de energía se conecta al Arduino Uno por medio de un conector coaxial de corriente directa y provee la energía necesaria al nodo sensor.

El panel solar es capaz de producir 6 Watts con una salida de alrededor de 7V a 1025 mA. Cada panel cuenta con celdas monocristalinas de alta eficiencia (19%), con un recubrimiento de uretano impermeable con soporte de plástico duro y con sellado robusto, ideal para utilizarse en aplicaciones en el exterior. El panel se conecta al cargador por medio de un conector coaxial de corriente directa.

El cargador es solar de seguimiento de punto de máxima potencia (MPPT por sus siglas en inglés) para baterías Lithium ion. Este cargador ofrece la posibilidad de obtener la máxima potencia posible del panel solar u otro dispositivo fotovoltaico y cargar una batería recargable de Lithium ion. La carga debe conectarse en paralelo con la batería y viene configurado a una corriente de carga máxima de 450Ma. La entrada máxima recomendada de 20V y mínima de 6V. La batería utilizada en el prototipo no se carga más allá de su capacidad nominal. El cargador se conecta a la batería Lithium ion por medio de un conector JST-PH estándar de 2 pines - 2 mm de separación entre pines.

La batería está basada en química de iones de litio. Este consiste en un paquete de 3 celdas y cada celda produce una salida nominal de 3.7V a 2000mAh (6000mAh en total) y viene

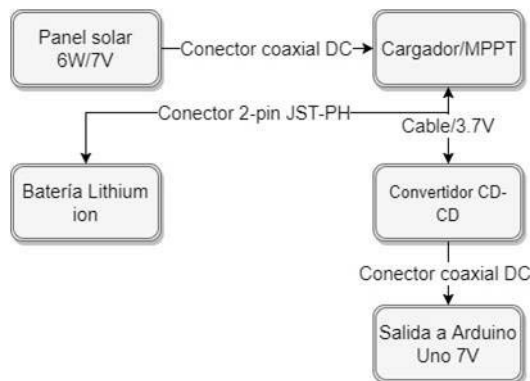


Fig. 5. Componentes de la fuente de energía.

con un conector JST-PH estándar de 2 pines - 2 mm de separación entre pines. La batería da energía al nodo por la noche. El convertidor eleva eficientemente los voltajes de entrada tan bajos como 2,9 V a un voltaje de salida ajustable más alto entre 4V y 12V, mientras que permite una corriente de entrada tan alta como 5A. El convertidor tiene una eficiencia entre el 80% y el 95%. La salida del convertidor se conecta al Arduino Uno mediante un conector coaxial de corriente directa.

2.2.5. Código

El código necesario para la petición, adquisición, procesamiento y transmisión inalámbrica se encuentra contenido en la tarjeta de desarrollo Arduino Uno y se programó con el Arduino Software IDE [16]. En la primera parte del código se habilita la comunicación en modo I²C y se declaran todas las variables necesarias. Enseguida, se desarrolla la función leer y procesar los datos de los sensores vía I²C. Esta función a su vez se divide en dos funciones una para solicitar las lecturas y otra para recibirlas. Por último, la función para realizar la comunicación UART entre el microcontrolador y el radio XBee y el XBee shield para la transmisión inalámbrica se define. Se llaman las dos funciones principales en el *void loop*. En el código se programa el intervalo de tiempo en que los componentes se activan y realizan el monitoreo de los parámetros de acuerdo con las necesidades de monitoreo que requiera el acuicultor.

2.2.6. Carcasa y soporte para componentes

Se diseñó y construyó un soporte y carcasa para contener y ensamblar todos los componentes del nodo sensor. El diseño, características y dimensiones de la carcasa y soporte se muestra en los planos (véase Figs. 6a, b, c). La carcasa se diseñó con el software Autodesk Fusion 360 [17] y se imprimió en una impresora 3D con material PET resistente para usar en exteriores. Se compone de dos mitades y cuenta con

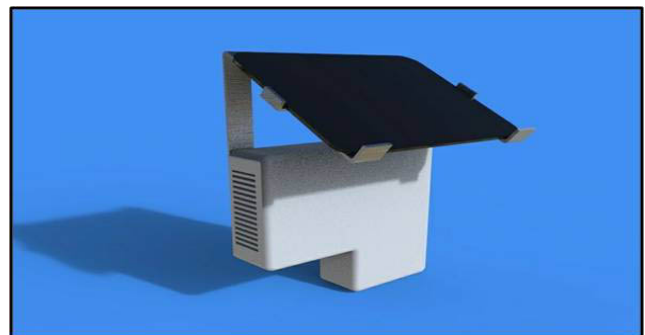


Fig. 6a. Diseño 3D de carcasa y soporte.

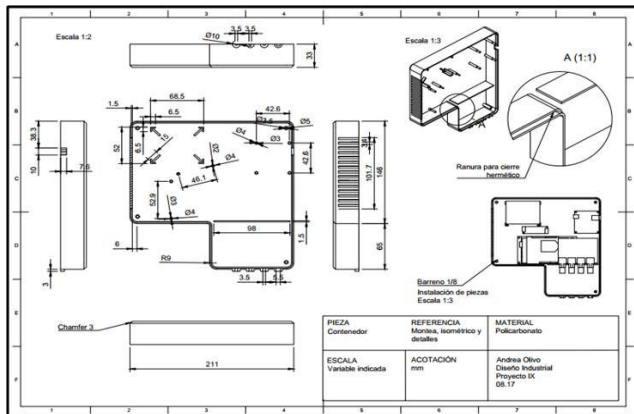


Fig. 6b. Planos de la carcasa.

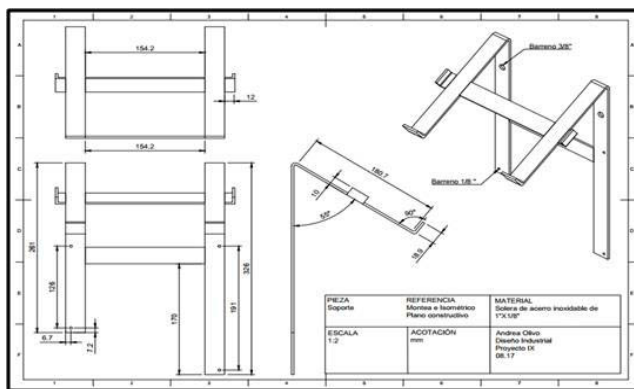


Fig. 6c. Planos del soporte.

ranuras de ventilación. Cada componente al interior de la carcasa se ensambla y fija a la misma por medio de postes y barras. Todos los componentes del prototipo ensamblados en la carcasa y soporte se muestran en la Fig. 7.

2.3. Nodo coordinador

El nodo coordinador consta de dos elementos el XBee Explorer Dongle y un radio XBee configurado como coordinador con el software XCTU. Los datos transmitidos desde el nodo sensor son recibidos por el coordinador XBee el cual los descarga a una PC para su almacenamiento. Para lograr este propósito se utiliza el XBee Explorer Dongle el cual permite pasar los datos a la PC a través del puerto COM (véase Fig. 8). El XBee Explorer Dongle puede conectar la unidad directamente a un puerto USB y hacer que actúe como una puerta de enlace entre la PC y el radio XBee. Lo más destacado del Xbee Explorer Dongle es el convertidor USB a serie FT231X que traduce los datos entre la PC y el radio XBee.

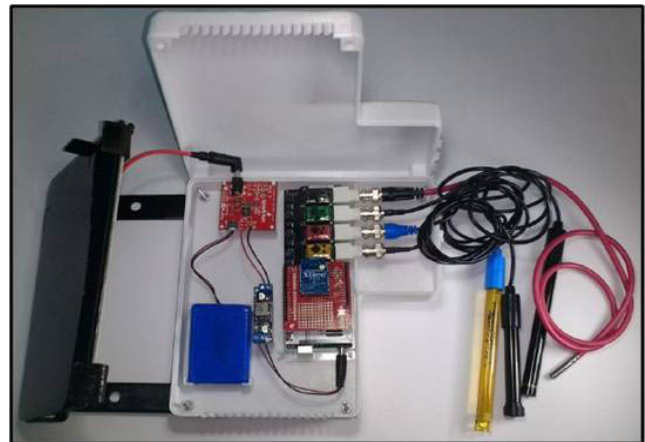


Fig. 7. Componentes del nodo sensor ensamblados en su carcasa y soporte.

Los datos recibidos y descargados a través del coordinador XBee se almacenan usando un *script* en Python.

2.4. Nodo de publicación

En el nodo de publicación, los datos censados se muestran en una interfaz de ventana desarrollado con el paquete Tkinter de Python (véase Fig. 9). Así mismo, los parámetros censados se almacenan en la PC y estos se pueden consultar y graficar según sea necesario analizar los datos en conjunto o forma individual para cada parámetro. En el archivo se guarda la fecha y hora en que se midió cada parámetro, el tipo de parámetro medido y el valor censado (véase Fig. 10a y Fig. 10b).

2.5. Pruebas al prototipo

Para validar el prototipo se han hecho pruebas poniendo en funcionamiento el nodo sensor, nodo coordinador y nodo de



Fig. 8. Nodo coordinador conectado a PC por medio de puerto USB.

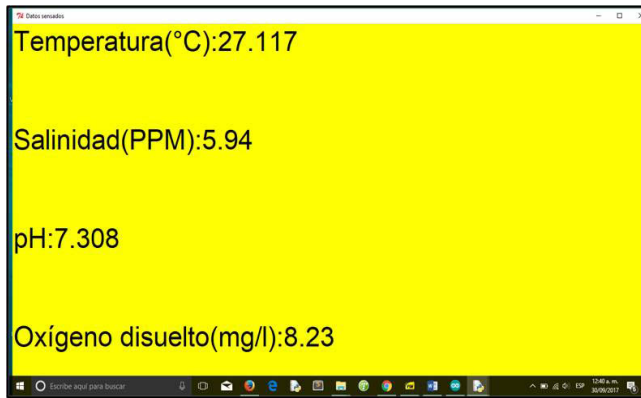


Fig. 9. Interfaz de ventana mostrando datos censados.

publicación. Las pruebas se han realizado en las instalaciones del Instituto Tecnológico de Colima el cual es un ambiente urbano con obstáculos. Se probó el alcance del prototipo a diferentes distancias 50, 100 y 150 metros. Los datos se transmitieron al nodo coordinador en las distancias anteriormente especi-

ficadas y se mostraron en la interfaz de ventana y se almacenaron en la PC sin ningún problema (véase Figs. 9, 10a, b). Las mediciones de los parámetros se han hecho en diferentes intervalos de tiempo con un funcionamiento satisfactorio. La fuente de energía solar ha tenido un desempeño satisfactorio durante el día proporcionando la energía necesaria al nodo sensor y la batería de 6000 mA ha durado en funcionamiento toda la noche realizando las mediciones. La transmisión de paquetes de datos mejorará en campo abierto y con línea de vista.

3. Conclusiones

En el presente trabajo se describe la construcción de un prototipo para monitorear y medir unos de los parámetros más importantes que determinan la calidad del agua en los sistemas acuícolas. Este prototipo en su primera fase es capaz de monitorear los parámetros oxígeno disuelto, pH, salinidad y temperatura en forma continua o de acuerdo con un determinado intervalo de tiempo según sea necesario. También, se pueden presentar los parámetros censados en una interfaz gráfica de ventana en una PC. Además, los datos se almacenan y se pueden consultar y graficar para ver cuál ha sido su comportamiento a través del tiempo. Finalmente, el prototipo está construido desde un enfoque modular, para consumir poca energía y transmitir los datos de forma eficiente utilizando el estándar 802.15.4 y la especificación Zigbee.

Esta herramienta tecnológica permite el monitoreo eficiente de parámetros fisicoquímicos y facilita la toma de mejores decisiones a los productores acuícolas para lograr una mayor productividad y rentabilidad. Lo notable de este prototipo es que fue construido con componentes comunes, fácil de armar, configurar, programar, mantener y, sobre todo, de bajo costo, lo que implica que se encuentre al alcance de las condiciones económicas de los acuicultores del estado de Colima y de otras regiones del país.

Como trabajos a futuro, se considera dotar al sistema de un ambiente web para poder monitorear los parámetros desde cualquier lugar accediendo a internet. Otro aspecto que se contempla es desarrollar un modelo predictivo basado en los datos recolectados que permita predecir las condiciones ideales del agua de cultivo para que los camarones tengan un adecuado crecimiento y desarrollo. También, es posible incluir un sistema de alertas SMS, para el envío de notificaciones cuando se presenten condiciones irregulares en los parámetros censados.

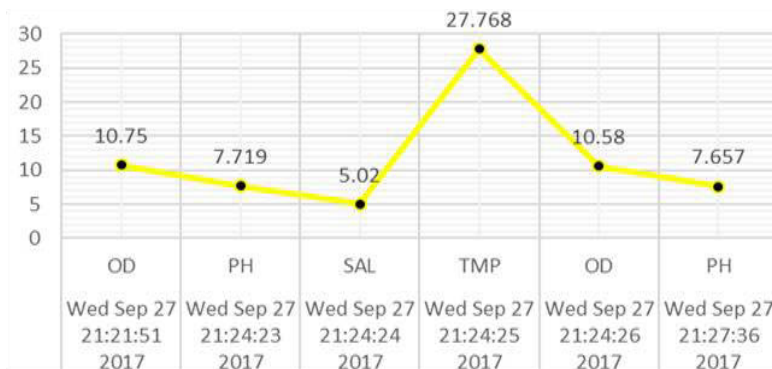


Fig. 10a. Consulta y visualización de datos censados, todos los sensores.



Fig. 10b. Consulta y visualización de datos censados, oxígeno disuelto.

Referencias

- [1] FAO, *Perfiles países*, abril 2017 [en línea]. Disponible en: <http://www.fao.org/countryprofiles/index/es/?iso3=MEX> [Consultado: 29 mayo 2017]
- [2] CONAPESCA, "Anuario estadístico de acuicultura y pesca", abril 2017 [en línea]. Disponible en: <https://www.gob.mx/conapesca/documentos/anuario-estadistico-de-acuicultura-y-pesca>
- [3] CONAPESCA, "Anuario estadístico de acuicultura y pesca", abril 2017. [en línea]. Disponible en: <https://www.gob.mx/conapesca/documentos/anuario-estadistico-de-acuicultura-y-pesca>
- [4] FAO, "Depósito de documentos de la FAO: Manual para la cría de camarones", mayo 2017 [en línea]. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/field/003/AB466S/AB466S03.htm> [Consultado: 19 mayo 2017]
- [5] F. J. Espinosa-Faller, G. E. Rendon Rodriguez, "A ZigBee wireless sensor network for monitoring an aquaculture recirculating system", *Journal of Applied Research and Technology*, vol. 10, núm. 3, pp. 380-387, mayo, 2012.
- [6] Xingqiao Liu and Liqiang Cheng, "Wireless sensor network based on ZigBee in aquaculture", *Advances in Intelligent and Soft Computing*, vol. 148, pp. 553-558, febrero, 2012.
- [7] Ma Daokun, Ding Qisheng, Li Daoliang, Zhao Linlin, "Wireless Sensor Network for Continuous Monitoring Water Quality in Aquaculture Farm", *Sensor Letters*, vol.8, núm.1, pp. 109-113, febrero, 2010.
- [8] Qi Lin, Zhang Jian, Mark Xu, Fu Zetian, Chen Wei, Zhang Xiaoshuan, "Developing WSN-based traceability system for recirculation aquaculture", *Mathematical and Computer Modelling*, vol. 53, núm. 11-12, pp. 2162-2172, noviembre, 2011.
- [9] Mingfei Zhang, Daoliang Li, Lianzhi Wang, Daokun Ma, Qisheng Ding, "Design and Development of Water Quality Monitoring System Based on Wireless Sensor Network in Aquaculture", *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, vol.347, pp. 629-641, octubre, 2011.
- [10] Xin Wang, Longquan Ma, Huizhong Yang, "Online water monitoring system based on ZigBee and GPRS", *Procedia Engineering*, vol. 15, pp. 2680-2684, julio, 2011.
- [11] Tai Haijiang, Liu Shuangyin, Li Daoliang, Ding Qisheng, Ma Daokun, "A multi-environmental factor monitoring system for aquaculture based on wireless sensor networks", *Sensor Letters*, vol. 10, núms. 1-2, pp. 265-270, septiembre, 2012.
- [12] M. López *et al.*, "Wireless Monitoring of the pH, NH₄⁺ and Temperature in a Fish Farm", *Proceedings of the Euroensors XXIII conference*, *Procedia Chem.*, vol. 1, núm. 1, pp. 445-448, agosto, 2009.
- [13] Yang Shifeng, Ke Jing, and Zhao Jimin, "Wireless monitoring system for aquaculture environment," in *Proc. Radio-Frequency Integration Technology*, RFIT 007, IEEE, pp. 274-277, marzo, 2007.
- [14] EZO circuits datasheets. Long Island City, NY: Atlas Scientific, 2017.
- [15] Digi international, 274-277, marzo, 2007, in *Proc. Radio-Frequency* <https://www.digi.com/products/xbee-rf-solutions/xctu-software/xctu#productsupport-utilities>. [Consultado: 9 junio 2017].
- [16] Arduino, <https://www.arduino.cc/en/Main/Software>. [Consultado: 29 mayo 2017].
- [17] Autodesk, <https://www.autodesk.com/products/fusion-360/students-teachers-educators>. [Consultado: 9 junio 2017].