

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA SONDA MULTIPARAMÉTRICA PARA ESTANQUES DE CULTIVO DE CAMARÓN

Paul Zatarain Delgado¹ y Jorge Refugio Reyna De La Rosa²

Resumen—Se presenta en el artículo la descripción del diseño y construcción de un sistema para inspeccionar las variables fisicoquímicas que intervienen en el manejo de los cultivos de camarón. Es decir, se miden los valores de pH, temperatura y turbiedad en la acuicultura. En el mismo contexto, se presenta el problema de investigación que origina la necesidad de un método supervisor automático y las ventajas que este tiene frente a las técnicas tradicionales. A su vez, se proyecta la implementación de una aplicación informática diseñada para ser ejecutada en teléfonos inteligentes como interfaz del sistema. Por consiguiente, el proyecto resulta una opción más económica y rentable.

Palabras clave—Camaronicultura, Sonda, Bluetooth, Procesador Digital de Señales (PDS), Parámetros fisicoquímicos, pH, Turbidez, Temperatura, Camarón, Medición, Registrar.

Introducción

En el presente trabajo se muestra el desarrollo de la investigación que tiene como objetivo general Diseñar y Construir una Sonda Multiparamétrica inalámbrica para medir y registrar pH, temperatura y turbidez en el cultivo de camarón con el propósito de mejorar el proceso tradicional de manejo del cultivo. Se presenta también las ventajas que se obtienen como resultado de la implementación de esta tecnología, tales como la reducción en el porcentaje de mortandad de la especie y un aumento en el rendimiento del cultivo.

En Sinaloa actualmente se emplean técnicas ineficientes e imprecisas en el proceso de medición de los parámetros del agua (Barba, 2018), tales técnicas además de carecer de exactitud y precisión son afectadas por otros factores, como lo son: negligencia del personal, descontrol de la información, resultados falsos y pérdidas de datos. Estas labores que se emplean en el cultivo de camarón tienen un impacto directo en la calidad del agua de los estanques, pudiendo afectar severamente la salud de los camarones al grado de poner en riesgo la cosecha entera; por consecuencia, la producción se ve afectada con una tasa del 28% de mortandad que sugiere una pérdida de \$96 USD diarios por estanque (FAO, 2015). Sumado a esto se tiene registro de que el proceso de medición y gestión de parámetros estiman un costo de \$ 137,120.00 USD por cosecha, siendo mano de obra y mantenimiento de equipo la mayor parte del costo (Valverde Moya y Alfaro Montoya, 2014).

De aquí la necesidad de implementar un sistema de monitoreo automático de los parámetros fisicoquímicos del agua que permita anticipar y corregir el desarrollo de condiciones adversas con el fin de reestablecer condiciones óptimas en el sistema de cultivo. (Rojas A. y Cabanillas J. 2005).

Así pues, la solución propuesta para tal problemática consiste en un sistema de telemetría que mide parámetros fisicoquímicos y los transmite vía bluetooth a un teléfono inteligente. La aplicación móvil se encarga de gestionar y procesar estadísticamente los datos detectados por los sensores. El sistema, que se alimenta de una batería recargable que suministra corriente suficiente para una jornada de trabajo de 168 horas, brinda de manera instantánea el monitoreo en tiempo real de todos los estanques simultáneamente.

Descripción del Método

En este artículo se describe el diseño y construcción de un sistema que mide los parámetros fisicoquímicos del agua de los estanques de cultivo de camarón de manera automática. A través de una conexión Bluetooth el sistema envía la información a un dispositivo móvil, por medio de una aplicación se registran los datos que mide y procesa la Sonda. La gestión de los datos se lleva a cabo con las herramientas que ofrece la aplicación por medio de operaciones estadísticas. El sistema es encapsulado en una Sonda sumergible e instalado en una estaca de PVC en zonas estratégicas que permiten la lectura constante y equilibrada de los parámetros. En la parte inferior del gabinete se cuenta con un juego de tres sensores: pH, Temperatura y Turbidez, que envían la señal a un PDS para su procesamiento. Con un consumo cercano a los 50mA la alimentación por batería le permite al sistema funcionar durante una jornada continua de 168 horas. Las características de la Sonda le permiten al Camaronicultor tener un registro exacto y preciso del comportamiento de todos sus estanques teniendo una mejora en el manejo del cultivo

¹ El C. Paul Zatarain Delgado es pasante de Ingeniería electrónica por el Instituto Tecnológico Mazatlán del Tecnológico Nacional de México paul.zatarain@outlook.com

² El Dr. Jorge Refugio Reyna De La Rosa es Profesor de Electrónica de Potencia y Maquinas Eléctricas en Instituto Tecnológico Mazatlán del Tecnológico Nacional de México reynajr@itmazatlan.edu.mx

umentando así la eficiencia en la cosecha y teniendo como resultado una disminución en el porcentaje de mortandad del camarón.

El proyecto se divide en seis pasos: (a) selección y calibración de los sensores, (b) diseño de procesador digital de señales de 3 canales para medir e interpretar pH, turbidez y temperatura, (c) implementación de sistema de comunicación bluetooth, (d) implementación de circuito de alimentación a base de baterías capaz de suministrar corriente continua durante 168 horas, con una demanda máxima de 240 ma., (e) desarrollo de aplicación móvil para gestionar y monitorear las mediciones, y (f) construcción de sonda sumergible aisladora del agua e instalación del sistema.

Diseño. La selección y calibración de los sensores en el manejo de la calidad del agua es la base para una buena producción y para protección de la calidad ambiental (Morales Vielka, 2010). Las labores que se emplean en el cultivo de camarón tienen un impacto directo en la calidad del agua de los estanques. El deterioro de la calidad del agua afecta severamente la salud de los camarones a tal punto de poner en riesgo la cosecha entera. (Rojas A. y Cabanillas J. 2005).

De acuerdo con el Manual de Buenas prácticas de Manejo para el cultivo de camarón, que hace una distinción de 4 parámetros más influyentes, se hace elección de 3 de ellos pH, Temperatura y Turbidez, como primera versión del prototipo.

En la figura 1 se muestra una gráfica con los efectos que causa el pH en sus diferentes niveles al camarón, cabe destacar que normalmente el estanque se mantiene entre valores de 6 - 9.5, sin embargo, el valor ideal para el camarón es entre 7.5 y 8.5, tales valores se mantienen debido al Manejo del estanque.



Figura 1. Efectos del pH en sus diferentes niveles al camarón

Con lo anterior se concreta que el sensor de pH debe de cumplir con las características técnicas para medir de manera precisa dentro de ese umbral. Para la elaboración de la etapa de sensado se seleccionó el dispositivo 4502C (sensor análogo) que consta de la sonda potenciómetro modelo E-201-C y la tarjeta de acondicionamiento de señal modelo 4502C.

En cuanto a la temperatura, el estanque debe de permanecer entre 14°C – 40°C siendo 20°C - 30°C la temperatura ideal para su desarrollo (García Oscar, 2010). Se seleccionó el sensor DS18B20 de tipo ONEWIRE.

Para el caso de la turbidez se implementó el Sen0189, cabe destacar que su rango de medición no satisface las necesidades de un cultivo, sin embargo, sí cumple con los fines de demostración del prototipo. En el cuadro1 se observa un aproximado de la turbidez de acuerdo con la interpretación del disco de Secchi.

Profundidad (cm)	Condición del florecimiento de plankton
< 25	Estanque demasiado turbio. Si es turbio por fitoplancton, habrá problemas de concentración, baja de oxígeno disuelto por la noche o antes de la salida del sol. Cuando la turbidez resulta por partículas suspendidas de suelo, la productividad será baja.
25-30 cm	Turbidez llega a ser excesiva
45-60 cm	Fitoplancton se vuelve escaso
> 60	El agua es demasiado clara. La productividad es inadecuada y pueden crecer plantas acuáticas en el fondo de los estanques.

Cuadro 1. Turbidez de acuerdo con la interpretación del disco de Secchi

Cómo se menciona, la escala de calibración del sistema se hizo a partir del rango de medición del modelo de sensor que se adquirió, de 0-15 NTU (NepHelometric Turbidity Unit) tomando como referencia 1 NTU en el agua potable filtrada referenciado al estándar mundial del agua potable filtrada.

Diseño del procesador digital de señales de 3 canales para medir e interpretar pH, turbidez y temperatura. Para el diseño y construcción del prototipo de PDS de 3 entradas se implementó una tarjeta de desarrollo Arduino UNO. A partir de las necesidades y requerimientos del sistema se concluye que el sistema embebido deberá tener un PDS de 2 entradas y no de 3, ya que sólo los sensores de pH y turbidez son análogos, mientras que el sensor de temperatura sugiere una entrada digital. En la siguiente figura 2 se observa un diagrama a bloques dónde se muestra la comunicación de los sensores con Arduino.

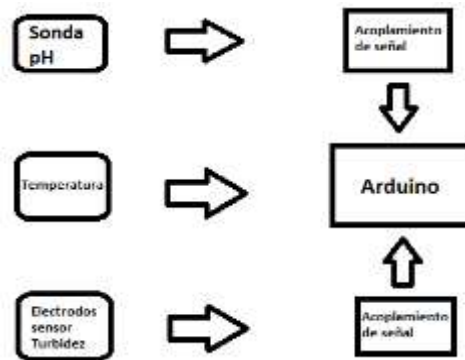


Figura 2. Diagrama a bloques de la comunicación de sensores con un Arduino.

Como se observa es necesario que antes de su conexión con Arduino la señal de los sensores de pH y turbidez pase por una etapa de acondicionamiento de señal (proporcionada por el fabricante) que tiene como función establecer un rango de señal de salida entre 0 y 5vcc para llevar a cabo la interpretación en el procesador. Por otra parte, el sensor de temperatura no requiere de tal conexión por su naturaleza ONEWIRE.

Medición de pH. En la interpretación de las señales se empleó la siguiente metodología de código. El sensor es lineal por lo que tomando dos puntos podemos deducir la ecuación para convertir el voltaje medido a pH. La fórmula general concierne a $y = mx + b$, por lo que tenemos que calcular m y b ya que x sería el valor de voltaje que representa el pH. Esto es, el resultado corresponde a una recta $y = -5.70x + 21.34$.

Implementación de sistema de comunicación Bluetooth. El objetivo del sistema también es volver eficiente en tiempo el proceso de medición de parámetros, para ello se propone un sistema de conexión inalámbrico entre la sonda y algún medio de impresión que pueda servir como interfaz de usuario entre el sistema y el Camaronicultor.

La tecnología bluetooth no sólo ofrece esta posibilidad, sino que también aporta una característica importante para el sistema, que es su bajo consumo de corriente. Aquí fue donde se observó uno de los principales resultados favorables no esperados de la investigación. Debido al bajo consumo de las rutinas del PDS en conjunto con un consumo de 20mA - 30mA del módulo bluetooth, se obtuvo una demanda total aproximada a los 50mA que favorece a la prolongación de la jornada de trabajo del sistema. En la figura 3 se indica el módulo HC-05 con un alcance de 70m.

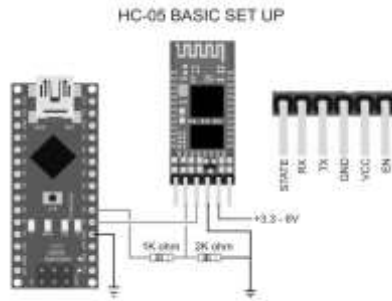


Figura 3. Módulo bluetooth.

Implementación de circuito de alimentación a base de baterías capaz de suministrar corriente continua durante 168 horas, con una demanda máxima de 240 mA. Es decir, en cuanto a la alimentación se utilizó una batería de ácido plomo de 6V, ya que Arduino requiere una alimentación mínima de 5.7 V. Con un circuito de carga sencillo y una conexión y desconexión automática, que hace las veces de encendido y apagado. La batería alimenta a Arduino, y este alimenta a todos los sensores y módulos.

Construcción de sonda sumergible aisladora del agua. Para fines de la construcción del gabinete se precisa de características aisladoras del agua. Referido en cuanto al estándar de Grados de protección IP, el sistema cuenta con grado IP68, suficiente para resistir una pared de agua de 2m.

El material elegido para la elaboración del prototipo fue PVC (policloruro de vinilo) debido a sus propiedades impermeables y que no altera las propiedades del medio en el cual es sumergido. En la figura 4 se observa el squiller con 4 coples de 4 pulgadas unidos con pegamento para PVC y tubo interior de 4 pulgadas.

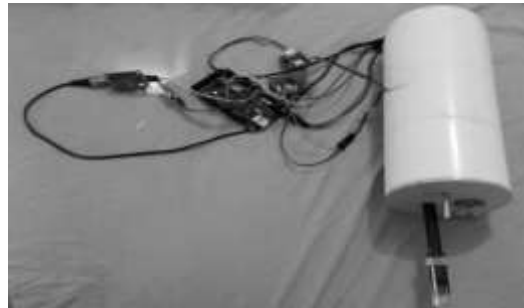


Figura 4. Squiller, sonda multiparamétrica inalámbrica para cultivo de camarón.

En la siguiente figura 5 se indica la instalación del sistema.

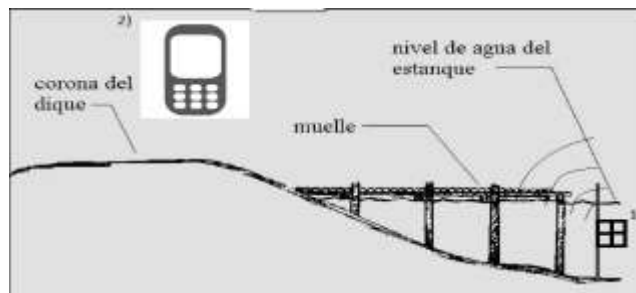


Figura 5. Infraestructura para la medición de variables en acuicultura.

del comportamiento del camarón. Esto es, una herramienta que despliega el comportamiento de los datos almacenados.

Comentarios Finales

Gracias al bajo consumo del módulo de comunicación se obtuvo una demanda de corriente no superior a los 50mA en transmisión continua, lo que prolonga la duración de la batería hasta 156h.

Debido a la naturaleza del sistema se concluye que esta propuesta favorece en la mejora total al proceso de medición de parámetros, se distingue principalmente por ofrecer una medición instantánea de todos los estanques permitiendo al empresario camaronicultor ahorrar dinero y esfuerzo.

Reemplaza todos los aparatos de medición y sistemas de muestreo por una sonda sumergible en cada estanque, lo cual le permite a través de la aplicación en el teléfono inteligente tener un monitoreo en tiempo real de todos los estanques de manera simultánea; así mismo la aplicación permite tener automáticamente una gestión de la información, incluso acceder a ella a través de la nube. El sistema ofrecerá también herramientas para el análisis y predicción del comportamiento del cultivo en función de su base de datos.

Además, cabe resaltar que, con datos consultados en Plan Estatal de Desarrollo de Sinaloa, Mazatlán se ubica como 8vo productor de camarón del estado, siendo Ahome y Guasave los líderes en producción. Se sabe también que los Estados de Sinaloa y Sonora concentran 85.1% de la producción nacional acuícola de camarón (El Economista, 2018), sugiere un nicho de mercado importante, abriendo una brecha para nuevas propuestas de solución tecnológica que beneficien directamente a la producción de camarón, beneficiando incluso en el aspecto económico.

Por otra parte, los parámetros que el sistema es capaz de medir también están presentes en otros cultivos lo cual le permite al sistema su diversificación abriendo nuevos nichos de mercado y otras áreas de especialización de cultivos. Teniendo un reporte total de 9230 granjas acuícolas en todo el país, SAGARPA, destacando el camarón como cultivo más abundante (1447 granjas), tilapia (4623) y ostión (117). También se destaca cultivo de carpa, trucha, bagre.

Referencias

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (s.f.). Acuicultura. Recuperado de <http://www.fao.org/aquaculture/es/>

Gob.mx. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. ¿Sabes que es la telemetría? Recuperado de <https://bit.ly/2Fyy92P>

Téllez Castañeda, M. (2018, 10 de mayo). El cultivo de camarón en México, una industria con futuro (II). El Economista. Recuperado de <https://bit.ly/2CHjzdh>

Rojas, A.A., Haws, M.C. y Cabanillas, J.A. ed. (2005). Buenas Prácticas de Manejo Para el Cultivo de Camarón. The David and Lucile Packard Foundation. United States Agency for International Development

Gobierno del Estado de Sinaloa. (2017). Plan Estatal de Desarrollo 2017-2021. Recuperado de <https://bit.ly/2yXw4xc>

Cuéllar-Anjel, J., C. Lara, V. Morales, A. De Gracia y O. García Suárez. 2010. Manual de buenas prácticas de manejo para el cultivo del camarón blanco *Penaeus vannamei*. OIRSAOSPESCA, C.A. pp. 132.

Notas Biográficas

El C. **Paul Zatarain Delgado** es egresado del Tecnológico Nacional de México en el Instituto Tecnológico de Mazatlán, pasante de la carrera de Ingeniería Electrónica participa activamente en proyectos relacionados a sistemas embebidos, instrumentación y comunicaciones. Cuenta con proyectos de innovación tecnológica: diseño de una sonda multiparamétrica inalámbrica para cultivo de camarón y sistemas de audio.

El Dr. **Jorge Refugio Reyna De La Rosa** es Ingeniero Industrial Eléctrico y tiene una Maestría en Ciencias en Ingeniería Eléctrica por el Instituto Tecnológico de la Laguna. Terminó sus estudios de Doctorado en Educación por el Abraham S. Fischler College of Education at Nova Southeastern University, Miami, Florida. Este autor es profesor de tiempo completo en el Tecnológico Nacional de México en el Instituto Tecnológico de Mazatlán. También, es catedrático de las asignaturas; mecánica clásica, maquinas eléctricas, electrónica de potencia, taller de investigación, formulación y evaluación de proyectos. Asimismo, participa activamente en proyectos relacionados a la electrónica de potencia, energía renovable e investigación educativa.