

# DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO DE PARÁMETROS DE CALIDAD DE AGUA EN CULTIVO DE TILAPIA EN UNA GRANJA PISCÍCOLA DEL DEPARTAMENTO DEL CAUCA

## DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A MONITORING SYSTEM OF WATER QUALITY PARAMETERS IN TILAPIA FARMING IN A FISH FARM IN CAUCA DEPARTMENT



<sup>1</sup>L. Plazas Pemberthy

<sup>2</sup>N. Paz Ruiz

<sup>1,2</sup>Facultad de Ingeniería, Ingeniería Industrial,  
Corporación Universitaria Comfacaucá, Popayán, Cauca, Colombia

Recibido: 27/11/2018 Aprobado 15/02/2019

### RESUMEN

El monitoreo de calidad de agua para el cultivo de peces es fundamental para incrementar la productividad y competitividad de los piscicultores. La cadena piscícola caucana se encuentra en un estado de transición entre enfoque de subsistencia hacia enfoque de cadena productiva (Ruano, Silva & Rivera, 2015) y por lo tanto requiere de la introducción con desarrollos tecnológicos que le ayuden a reducir los factores de vulnerabilidad. Partiendo de este enfoque, se diseñó e implementó un prototipo electrónico de monitoreo de parámetros de calidad de agua, como temperatura, pH, amoníaco y oxígeno disuelto del agua, con el fin de identificar los valores óptimos que garanticen la reducción de las tasas de mortalidad en los cultivos de peces. Las pruebas de campo se realizaron en la granja piscícola “Mamá Lombriz”, ubicada en el municipio de Popayán, en el departamento del Cauca (Colombia). El hardware del prototipo se compone de una sección de acondicionamiento electrónico y un microcontrolador, en el que se realiza el proceso de muestreo, acondicionamiento, adquisición y procesamiento de datos para su despliegue y almacenamiento en computador. La información es enviada por conexión USB a un software con interfaz gráfica para que el usuario visualice las variables y pueda tomar acciones correctivas de acuerdo a cada situación. Con este prototipo se espera contribuir al mejoramiento de las actividades productivas de la cadena piscícola incrementando la competitividad (Joaquí-Daza, 2011) de los agentes productores y reduciendo los porcentajes de mortalidad en los peces cultivados.

**Palabras clave:** acuicultura, calidad del agua, arreglo de sensores, desarrollo tecnológico, monitoreo, piscicultura.

<sup>1</sup> lplazas@unicomfacaucá.edu.co, orcid.org/0000-0001-7301-9683

<sup>2</sup> npaz@unicomfacaucá.edu.co, orcid.org/0000-0003-4010-4341

## ABSTRACT

*Water quality monitoring and management for fish farming is essential to increase the productivity and competitiveness of fish farmers. The Cauca fish chain is in a state of transition between the subsistence approach towards the “productive chain” approach (Ruano, Silva and Rivera, 2015), therefore it requires introduction with technological developments that help reducing vulnerability factors. Based on this approach, an electronic prototype was designed and implemented to monitor water quality parameters, such as temperature, pH, ammonia and dissolved oxygen in water, in order to identify the optimal values that guarantee the reduction of mortality rates in fish cultures. The field tests were performed in the fish farm “Mama Lombriz” located in Popayán, Cauca (Colombia). The hardware of the prototype is based on the free hardware platform, in which the process of acquisition and processing of data is performed for its deployment and storage in a computer. The information is sent by USB connection to software with graphical interface so that the user visualizes the variables and can take corrective actions according to each situation. With this prototype it is expected to contribute to the improvement of the productive activities of the fish chain, increasing the competitiveness of the producers and reducing the mortality percentages in the farmed fish.*

**Keywords:** *aquaculture, fish farming, monitoring, sensor array, technological development, water quality.*



## 1. INTRODUCCIÓN

Los objetivos de desarrollo sostenible para el nuevo milenio dan alta prioridad a la erradicación de la pobreza extrema y el hambre (Carlino et al., 2017), así mismo en Colombia se está trabajando por la seguridad alimentaria, la mejora de la nutrición y la agricultura sostenible (Chavarró et al., 2017).

La acuicultura, encargada de la cría de organismos acuáticos, es un sector productivo con alto crecimiento que está desempeñando un papel importante en la disminución de estos problemas (Brown 2000) En ese marco, el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia y la Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca han propuesto políticas para mejorar y promover la productividad y competitividad pesquera y acuícola (Esquivel et al., 2014).

En el departamento del Cauca, Colombia, se han creado diferentes proyectos de investigación para brindar elementos diferenciadores a la cadena piscícola, buscando mejorar sus actividades productivas, así como las distribuciones de ingresos y la competitividad en los eslabones de la cadena mediante la agregación de valor (Ruano, Silva and Rivera, 2015) En este

sentido, ha surgido un importante número de granjas piscícolas dedicadas a la producción de peces como trucha y tilapia, que constituyen una alternativa económica y turística a la vez (Parrado Sanabria, 2012). Una de las variedades cuyo cultivo está en auge es la tilapia roja - *Oreochromis sp*, gracias a su tolerancia a los cambios de temperatura y adaptabilidad a diversas condiciones (Bonilla et al., 2018; Esquivel et al., 2014).

No obstante, entre los problemas más comunes para los piscicultores están el elevado gasto hídrico de la producción (Durán Pérez, 2015) y el alto índice de mortalidad; alrededor del 20% de los alevinos no supera la etapa de engorde (SIPSA 2014). Las causas de estos problemas están relacionadas principalmente con la carencia de herramientas tecnológicas en la piscicultura, que permitan a los piscicultores tomar decisiones acertadas, con velocidades de respuesta mayores y el deficiente relacionamiento entre el conocimiento científico y las comunidades, donde por falta de mecanismos para hacer el conocimiento comprensible, los productores piscícolas optan por continuar utilizando los conocimientos ancestrales y tradicionales, que han dado resultados durante generaciones pero que no significan un proceso óptimo y eficiente (Marroquín 2018).

En la presente investigación se desarrolló un prototipo comprendido por hardware y software para monitorear parámetros de calidad de agua en los estanques de cultivo de tilapia y presentarlos de una manera sencilla y eficiente a los piscicultores, con el fin de brindarles herramientas confiables y de bajo costo que den soporte a las acciones correctivas cuando alguno de los parámetros de calidad de agua se encuentre por fuera del rango óptimo establecido por los productores.

Las pruebas de campo fueron realizadas en la granja piscícola Mamá lombriz, ubicada en la ciudad de Popayán, Cauca, Colombia. El cultivo piloto correspondió a tilapia roja - *Oreochromis sp* en estanques de 1.800 hasta 3.000 alevinos en etapa de engorde.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se diseñó un dispositivo electrónico para monitorear temperatura, pH, amoníaco y oxígeno disuelto en el agua para los estanques de tierra ubicados en la granja piscícola “Mamá Lombriz” ubicada en 2°30’55.8”N 76°34’08.7”O, con una altitud de 1.740 msnm, en el municipio de Popayán en el departamento del Cauca, como se muestra en la Figura 1. De acuerdo al registro climático, la zona tiene oscilaciones en el rango de 13°C a 27°C dependiendo de la temporada, los fenómenos climáticos y la hora del día; se reporta una temperatura promedio de 18°C (Correa-Muñoz & Higidio-Castro, 2017).



Fig. 1. Ubicación granja piscícola Mamá Lombriz

Los principales parámetros de monitoreo se definieron en colaboración con la comunidad piscicultora, quienes identificaron algunas de las características importantes en el agua para garantizar un ambiente de crecimiento propicio y baja mortalidad para los alevinos. Del trabajo con la comunidad se extrajeron siete parámetros que son: temperatura, oxígeno disuelto en agua, porcentaje de saturación de oxígeno, pH, nitritos, nitratos y amoníaco, que se correlacionaron con la tasa de mortalidad del día actual, del día anterior y la cantidad de peces en cada estanque.

De la información consultada en la literatura se obtuvo los valores ideales para los parámetros mencionados ( SIPSA 2014; Bonilla et al., 2018), que se analizaron y realimentaron con los piscicultores de la zona con el fin de ajustarlos a las condiciones de la granja piloto. Los valores establecidos se presentan en la Tabla 1.

TABLA 1  
Parámetros de calidad de agua y el rango ideal para cultivo de peces.

Parámetro	Rango ideal
Temperatura	22 a 26 °C
Oxígeno disuelto en agua	3 4ppm
Saturación	65%
pH	(6.5 a 8.5) Ideal 7.5
Nitrito	£ 1 ppm
Nitrato	£ 4.0 ppm
Amoníaco	£ 0.4 ppm

Fuente: ( SIPSA 2014; Bonilla et al., 2018)

Para delimitar los parámetros a monitorear, se consideró que la presencia de nitritos y nitratos en el agua de los estanques está fuertemente asociada a la oxidación del amoníaco a través de bacterias nitrificantes (Pacheco Ávila, Pat Canul & Cabrera Sansores, 2002), así mismo, el porcentaje de saturación de oxígeno se puede calcular conociendo la cantidad de oxígeno disuelto (OD) y la temperatura (Jimenez & Vélez 2006).

Por lo que finalmente se definieron como características de calidad de agua a ser monitoreadas la temperatura, la acidez a través del pH, la cantidad de oxígeno disuelto y la cantidad de amoníaco en el agua.

El sistema de monitoreo de parámetros de calidad de agua para producción piscícola se diseñó considerando tres etapas; adquisición de la información, acondicionamiento de señales y procesamiento y visualización de la información. El diagrama de la Figura 2 muestra de forma general el proceso de diseño del sistema de monitoreo.

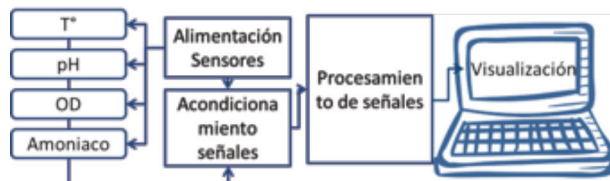


Fig. 2. Diagrama general del prototipo de monitoreo de calidad de agua

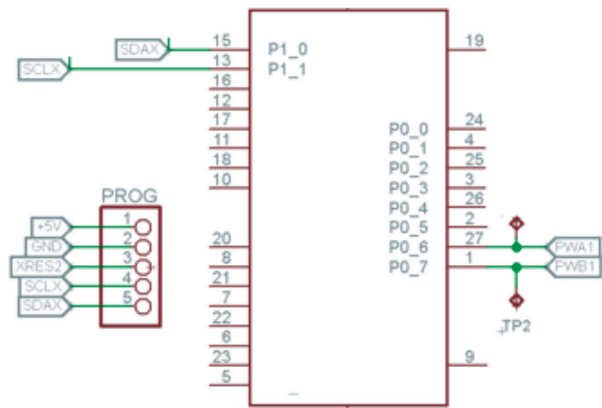
Fuente: autores

## 2.1 Sensores y acondicionamiento

### 2.1.1 Temperatura

El monitoreo de temperatura se realizó con una sonda sumergible de resistencia de temperatura de platino de 100 ohm, que consiste en un detector que varía su resistencia al cambiar la temperatura. El sensor PT100 tiene un rango de medición que va desde -70°C a 260°C y una precisión de  $\pm 0.3^\circ\text{C}$ .

Para el acondicionamiento de la señal de temperatura se utilizó el circuito ilustrado en la Figura 3, que se basa en un puente de wheatstone para convertir las variaciones de resistencia en variaciones de voltaje.



TEMPERATURE

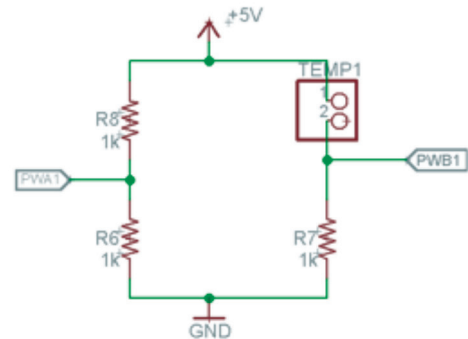


Fig. 3. Acondicionamiento del sensor de temperatura PT100

Fuente: autores

El voltaje diferencial entre los puntos PWA y PWB es leído por el microcontrolador y asociado a un valor de temperatura de acuerdo a la curva y ecuación de la figura 4, que tiene un comportamiento lineal para el rango de 0 a 100°C. Los cálculos de conversión entre la data cruda y el valor de temperatura desplegado al usuario son realizados mediante el algoritmo del programa de computador, previo a la visualización.

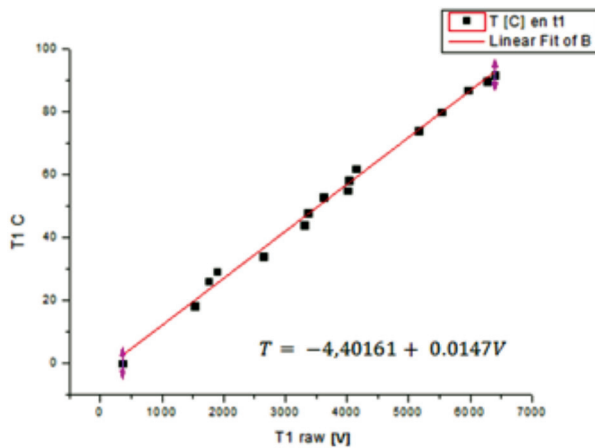


Fig. 4. Curva de caracterización de voltaje medido vs Temperatura en un rango de 0°C a 100°C y ecuación

Fuente: autores

### 2.1.2 pH

Para monitorear la acidez del agua mediante el potencial de hidrógeno (pH), que indica la concentración de iones hidronio [H3O]+ presentes en el agua, se utilizó un electrodo de medición de pH en líquidos.

Para el acondicionamiento de la señal de pH se utilizó el circuito ilustrado en la Figura 5, que se basa en dos amplificadores operacionales en cascada para dar ganancia a la señal antes de ser leída por el microcontrolador. El circuito es alimentado por un regulador de voltaje de alta precisión LT1634, debido a que la señal de pH se afecta con el ruido en el voltaje de entrada.

El sensor de pH genera una variación de salida de 50mV (Scientific, 2010) por unidad de pH medida, en la figura 6 se presenta la curva de ajuste y la función de transferencia.

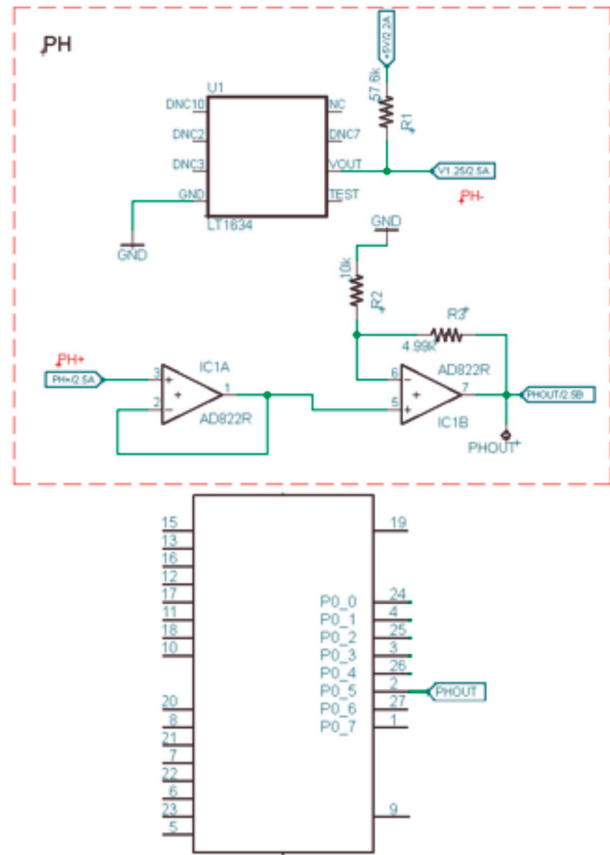


Fig. 5. Acondicionamiento del sensor de pH.

Fuente: autores

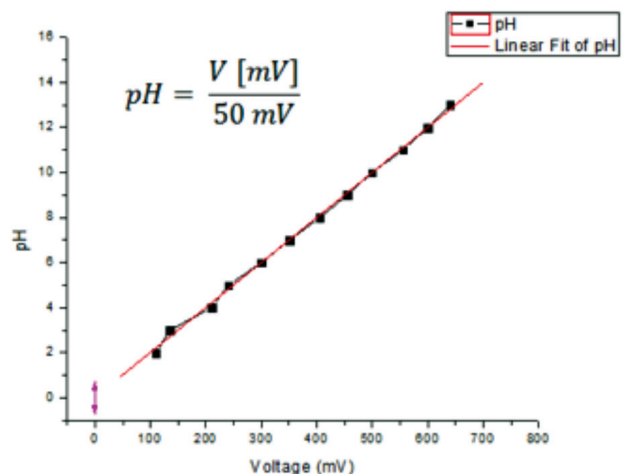


Fig. 6. Curva de caracterización de pH y ecuación.

Fuente: autores

### 2.1.3 Oxígeno disuelto

El monitoreo de oxígeno disuelto se realizó mediante una sonda galvánica que no necesita tiempo de polarización y cuenta con una solución y membrana de medición que son reemplazables, con duración aproximada de un año.

El sensor ENV-40-DO tiene un rango de detección de 0 a 100 mg/L (o ppm) y un tiempo de respuesta de 0.3 mg/L/por segundo(Atlas Scientific, 2018).

Para el acondicionamiento de la señal de oxígeno disuelto se utilizó el circuito ilustrado en la Figura 7, que se basa un amplificador diferencial con ganancia fija.

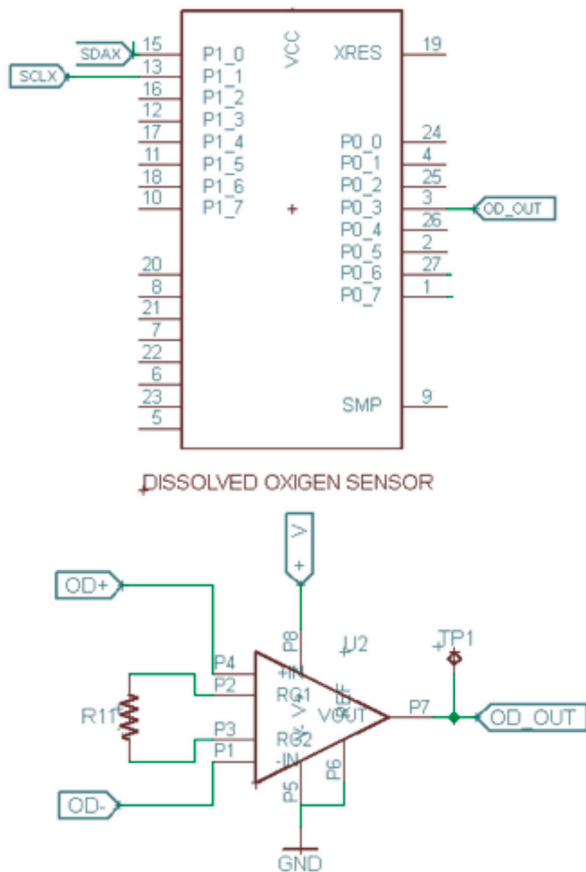


Fig. 7. Acondicionamiento del sensor de oxígeno disuelto ENV-40-DO

Fuente: autores

El sensor de oxígeno disuelto genera una salida de 30mV por mg/L de oxígeno disuelto medido, en la Figura 8 se presenta la curva de ajuste y la función de transferencia. Al igual que con los demás sensores, los cálculos de conversión entre la data cruda y el valor que visualiza el usuario son realizados mediante el algoritmo del programa de computador, previo al despliegue.

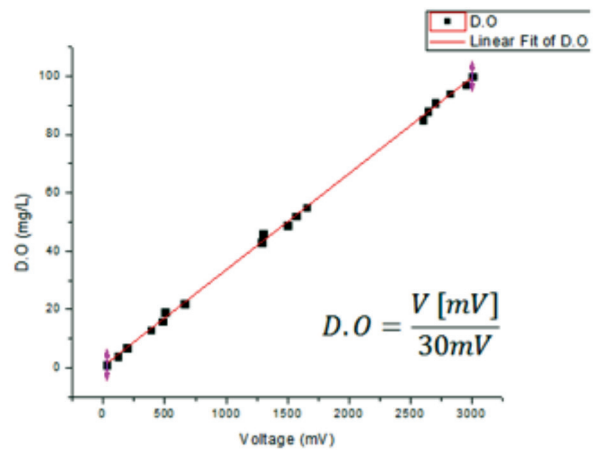


Fig. 8. Curva de caracterización de voltaje medido vs oxígeno disuelto en un rango de 0 a 100 mg/L (o ppm) y ecuación

Fuente: autores

### 2.1.4 Amoniaco

Para monitorear la cantidad de amoniaco que se presenta disuelto en el agua en forma de iones de amonio, se utilizó el sensor de amoniaco en gas MQ137, ubicado en la interfaz agua-aire del estanque.

Para el acondicionamiento de la señal de amoniaco se utilizó el circuito ilustrado en la Figura 9, que se basa en un amplificador no inversor con ganancia variable cuya señal de salida es procesada y leída por el micro controlador.

El sensor de amoniaco genera una salida de 0 a 4 voltios y mide un rango de 5 a 200 ppm de amoniaco. En la Figura 10 se presenta la curva de ajuste y la función de transferencia.

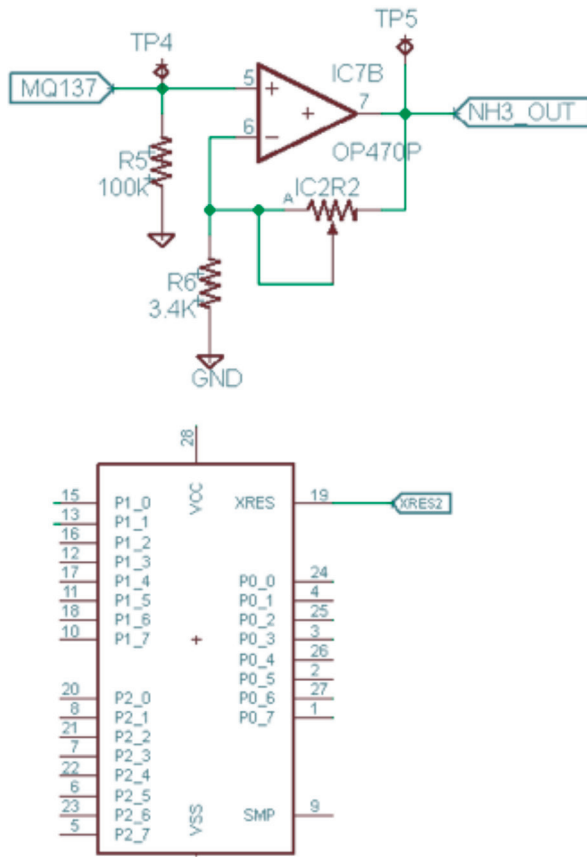


Fig. 9. Acondicionamiento del sensor de amoniaco

Fuente: autores

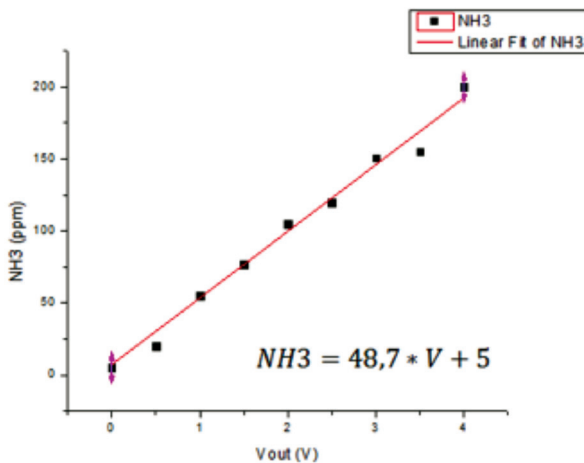


Fig. 10. Curva de caracterización del sensor de amoniaco y ecuación

Fuente: autores

## 2.2 Procesamiento y visualización

Se diseñó el firmware para el microcontrolador con el fin de adquirir la información de los sensores de temperatura, pH, oxígeno y amoniaco. Internamente se procesó la información y se organizó una trama para ser enviada por el protocolo RS232 convertido a USB hacia el computador. El diagrama de flujo y de funcionamiento del sistema de comunicación con el microcontrolador se muestra en la Figura 11.

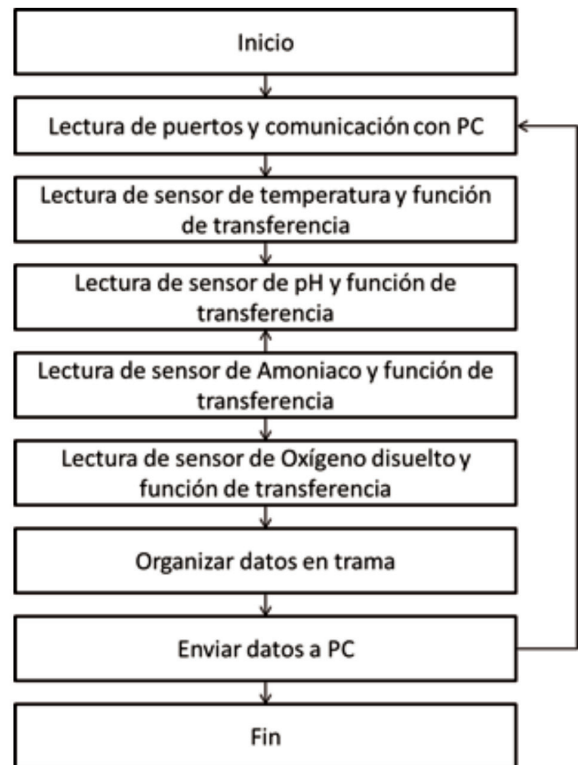


Fig. 11. Diagrama de flujo de operación del Firmware de adquisición de información y comunicación con PC

Fuente: autores

Para la visualización de la información, se diseñó el software en el entorno de trabajo Visual Studio. Cubriendo en el prototipo, las funciones de monitoreo, procesamiento y despliegue de la información, conservando la usabilidad para el usuario. La Figura 12 muestra la interfaz gráfica, que despliega los valores de temperatura tanto en el ambiente como en el estanque, el pH, el oxígeno disuelto y el amoniaco. Así mismo únicamente tiene dos botones,

● ● ● **L. Plazas Pemberthy, N. Paz Ruiz**

Diseño e implementación de un sistema de monitoreo de parámetros de calidad de agua en cultivo de tilapia en una granja piscícola del departamento del Cauca

que le permiten al usuario conectar o desconectar la adquisición de la información. El software emite una ventaja emergente indicando si alguno de los parámetros monitoreados está fuera del rango programado como normal.



**Fig. 12.** Pantallazo de la interfaz gráfica del software de monitoreo Mamá Lombriz.

Fuente: autores

### 2.3 Apropiación social del conocimiento

La puesta en marcha del prototipo de monitoreo de calidad de agua para cultivo de peces se realizó en la granja piscícola Mamá Lombriz, donde el principal objetivo fue brindar a la comunidad piscícola una herramienta para toma de decisiones sobre las condiciones de los estanques con miras a incrementar la producción de peces y disminuir las tasas de mortalidad.

El proyecto se acompañó por capacitaciones y charlas a la comunidad con los objetivos de aprender a usar la herramienta, apropiar las ventajas del monitoreo de calidad de agua e identificar las acciones ante cada alerta en los parámetros de calidad de agua. La figura 13 muestra algunas de las visitas e interacciones entre la academia y la sociedad.



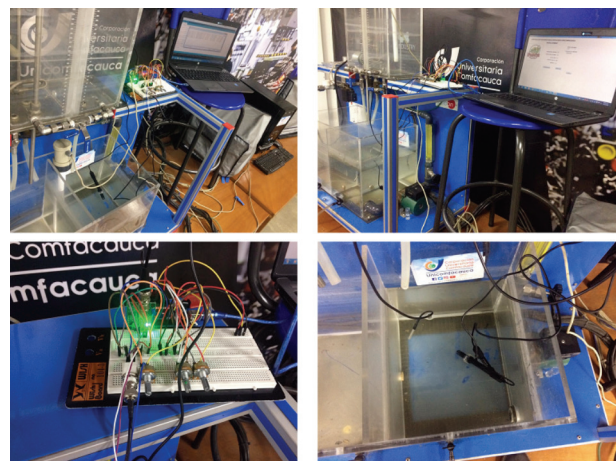
**Fig. 13.** Visitas técnicas de los estudiantes de Ingeniería industrial de Unicomfauca a la granja Mamá Lombriz.

Fuente: autores

Por medio del trabajo con la comunidad se identificó que acciones correctivas tomar ante cada alerta presentada en el software. En el estanque de prueba se instalaron motores para oxigenar el agua y calentadores para ser activados en caso de que los valores de oxígeno y temperatura estuvieran por fuera del rango aceptable. Para el caso del pH y amoníaco, los piscicultores cuentan con químicos aprobados por el ministerio de agricultura para controlarlos.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El prototipo de monitoreo de calidad de agua para estanques piscícolas se ensambló inicialmente en ambiente controlado de laboratorio, donde se verificó la respuesta de los sensores y la calibración de cada uno, como se muestra en la Figura 14.



**Fig. 14.** Prototipo de monitoreo de calidad de agua en laboratorio.

Fuente: autores



Las validaciones del prototipo se realizaron con muestras de agua tomadas directamente de los estanques. Se relacionaron los valores medidos con la cantidad de peces y las tasas de mortalidad en cada estanque. El análisis de los resultados se realizó mediante el diseño experimental de rápida respuesta de Taguchi, basado en arreglos ortogonales, indicados con el nombre L8 donde se indica un arreglo de 8 corridas (Kavanaugh 2002). El diseño experimental se realizó con las variables de temperatura, pH, oxígeno disuelto y amónico, cada una con su respectiva variable de respuesta que corresponde al porcentaje de muertes de tilapia roja en el estanque.

Como resultado se puede inferir que todos los factores tienen efectos principales en la cantidad de muertes de peces. A mayor temperatura, oxígeno y pH se tiene una reducción de las muertes en el estanque y a mayor cantidad de amoníaco se presenta un aumento de las muertes de tilapia roja en el estanque monitoreado.

En la Figura 15 se presenta la gráfica que correlaciona los parámetros con la mortalidad de los peces. Es importante aclarar que debido a que se trabajó con la producción de la granja, los parámetros no sufrieron grandes variaciones con el fin de no afectar la producción.

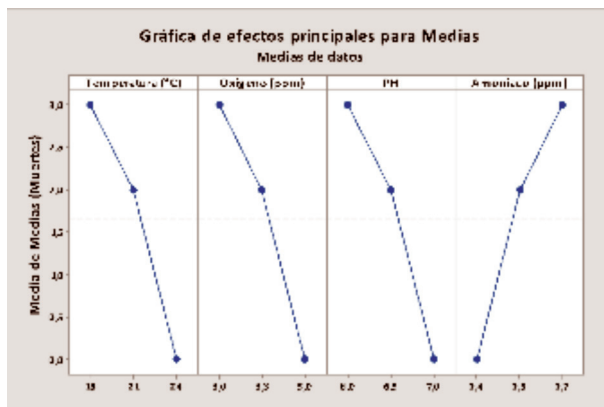


Fig. 15. Relación de parámetros de calidad de agua con porcentaje de muerte en peces cultivados

Fuente: autores

#### 4. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Conocer los parámetros de calidad de agua en estanques de peces en tiempo real, permite al productor actuar ante cualquier variación por fuera del rango normal a modo que la tasa de mortalidad en los peces se mantenga baja.

El monitoreo automatizado permite al piscicultor estandarizar sus cultivos y la cantidad de insumos agrícolas que debe adquirir, teniendo mayor control sobre su producción.

Contar con un monitor de calidad de agua en tiempo real, le permite al productor piscícola expandir su producción, ya que el manejo del tiempo y de los recursos es más eficiente.

La identificación de los rangos de valor de los parámetros de calidad de agua en estanques de piscicultura corresponde a una información valiosa para el desarrollo de futuros prototipos y plataformas de monitoreo y control de calidad de agua en esa área.

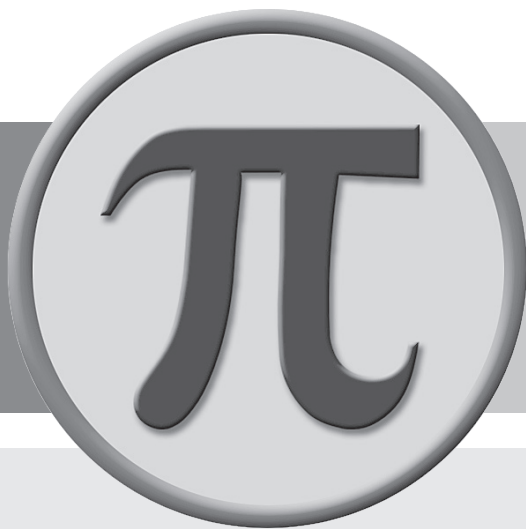
El desarrollo de proyectos de investigación asociados a comunidades y que implican la interacción Universidad Empresa Estado Sociedad (UEES), es una experiencia meritoria para los estudiantes del semillero de investigación, que les permite fortalecer sus habilidades de investigadores y sus habilidades de interacción con el sector externo.

Para complementar los análisis realizados en este trabajo se propone el diseño experimental clásico, que permite determinar las interacciones de las variables continuas e incluir mayor número de variables de respuesta con el fin de encontrar el mejor ajuste de los parámetros monitoreados, aportando a mejorar la competitividad y productividad de la cadena piscícola en el Cauca

Se propone como trabajo futuro la realización de un estudio detallado de cada variable de calidad de agua correlacionándolo con la tasa de crecimiento de los peces para encontrar un rango óptimo que no sea solo asociado a reducción de la tasa de mortalidad de los peces sino a potenciar y optimizar el proceso de engorde.

## REFERENCIAS

- Atlas Scientific (2018). Dissolved oxygen.
- Atlas Scientific (2010). pH Probe Datasheet, Atlas Scientific, Recuperado de: [https://www.atlas-scientific.com/\\_files/\\_datasheets/\\_probe/pH-probe-datasheet.pdf](https://www.atlas-scientific.com/_files/_datasheets/_probe/pH-probe-datasheet.pdf)
- Bonilla, B. L., Montoya Bonilla, B. P., Gómez, J. & Caja, A. (2018). Efecto de la temperatura sobre el crecimiento de Tilapia (*Oreochromis sp*) en Mamá Lombriz, vereda Río Blanco, Popayán, Colombia. *Téknos Revista Científica*, 18(1), 24-30.
- Brown, L. (2000). *Acuicultura para veterinarios: producción y clínica de peces*. Zaragoza: Acribia.
- Carlino, H., Netto, M., Suárez, E. & Vasa, A. (2017). *La contribución de la banca pública de desarrollo a los objetivos de desarrollo sostenible en los países de América Latina y el Caribe*. Banco Interamericano de Desarrollo. Recuperado de: <https://publications.iadb.org/es/la-contribucion-de-la-banca-publica-de-desarrollo-los-objetivos-de-desarrollo-sostenible-en-los> DOI: 10.18235/0000625
- Chavarro, D., Vélez, M. I., Tovar, G. Montenegro, Hernández, A. & Olaya, A. (2017). *Los objetivos de desarrollo sostenible en Colombia y el aporte de la ciencia, la tecnología y la innovación*. Colciencias. Recuperado de: [http://www.colciencias.gov.co/sites/default/files/objetivos\\_de\\_desarrollo\\_sostenible\\_y\\_aporte\\_a\\_la\\_cti\\_v\\_3.5.pdf](http://www.colciencias.gov.co/sites/default/files/objetivos_de_desarrollo_sostenible_y_aporte_a_la_cti_v_3.5.pdf)
- Correa-Muñoz, N. & Higido-Castro, J. F. (2017). Determination of landslide susceptibility in linear infrastructure. Case: aqueduct network in Palacé, Popayan (Colombia). *Ingeniería e Investigación*, 37(2), 17-24. DOI: 10.15446/ing.investig.v37n2.59654.
- Durán Pérez, C. E. (2015). Gasto hídrico en la producción de tilapia roja en la granja experimental de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña. Tesis de grado. Ocaña: Universidad Francisco de la Paula Santander. Recuperado de: <http://repositorio.ufps.edu.co:8080/dspace/ufps/bitstream/123456789/1028/1/28584.pdf>
- Esquivel, M. A., Merino, M., Restrepo, J., Narváez, A., Polo, C. J., Plata, J. & Puentes, V. (2014). *Estado de la pesca y la acuicultura 2014*. AUNAP. Recuperado de: [http://www.aunap.gov.co/files/ESTADO\\_DE\\_LA\\_PESCA\\_Y\\_ACUICULTURA\\_2014\\_.pdf](http://www.aunap.gov.co/files/ESTADO_DE_LA_PESCA_Y_ACUICULTURA_2014_.pdf)
- Jiménez, M. A. & Vélez, M. V. (2006). Análisis comparativo de indicadores de la calidad de agua superficial. *Avances en Recursos Hídricos*, 14, 53-70. Recuperado de: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/arh/article/view/9331>
- Joaquín-Daza, S. (2011). Gestión ambiental para sistemas productivos piscícolas, en ecosistemas altoandinos en el contexto de la producción más limpia. *Ambiente y Sostenibilidad*, 1, 18-24. doi: <https://doi.org/10.25100/ays.v1i1.4334>
- Kavanaugh, C. F. (2002). Los diseños de Taguchi contra los diseños clásicos de experimentos. *Conciencia Tecnológica*, 19, 1-5. DOI: 10.1016/j.hrthm.2015.12.042
- Marroquín, E. (2018). Efecto de la inclusión de ingredientes no tradicionales en la alimentación de la tilapia nilótica (*oreochromis niloticus*) sobre parámetros hematológicos y bioquímica sanguínea. Tesis de grado. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala. Recuperado de: <http://www.repositorio.usac.edu.gt/10441/1/Tesis%20Med%20Vet%20Esteban%20Marroquin%20Arroyave.pdf>
- Pacheco Ávila, J., Pat Canul, R. & Cabrera Sansores, A. (2002). Análisis del ciclo del nitrógeno en el medio ambiente con relación al agua subterránea y su efecto en los seres vivos. *Ingeniería*, 6(3), 73-81. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46760308>
- Parrado Sanabria, Y. A. (2012). Historia de la acuicultura en Colombia. *AquaTIC*, 37, 60-77. Recuperado de: <http://www.revistaaquatic.com/ojs/index.php/aquatic/article/view/146>
- Ruano, E., Silva, V. & Rivera, W. (2015). Cadena productiva y capital social: el caso de la piscicultura del Cauca, Colombia. *Interações*, 16(2), 257-264. DOI: 10.1590/151870122015202
- SIPSA (2014). El cultivo de la tilapia roja (*Oreochromis sp.*) en estanques de tierra, fuente de proteína animal de excelente calidad. SIPSA, Minagricultura, DANE. *Boletín mensual. Insumos y factores asociados a la producción agropecuaria*, 21, Recuperado de: [https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuaria/sipsa/insumos\\_factores\\_de\\_produccion\\_mar\\_2014.pdf](https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuaria/sipsa/insumos_factores_de_produccion_mar_2014.pdf)



**Revista Especializada  
en Tecnología  
e Ingeniería**

