

Diseño e implementación de un prototipo electrónico para monitoreo de parámetros físico-químicos en cultivo de tilapia a través de una aplicación móvil

Design and implementation of an electronic prototype for monitoring of physico-chemical parameters in tilapia crop through mobile application

Recibido: 30-03-2016 Aceptado: 31-05-2016

Sergio A. Dussán¹
Oscar Vanegas²
Adrian F. Chavarro³
Johan J. Molina⁴

¹ Colombiano. Ingeniero Electrónico. Universidad Surcolombiana Neiva. Correo electrónico: Checho260790@gmail.com

² Colombiano. Ingeniero Electrónico. Universidad Surcolombiana Neiva. Correo electrónico: Oscarvanegas89@hotmail.com

³ Colombiano. Master en Ingeniería de control industrial. Líder línea de E. y T. Tecnoparque Sena Neiva. Correo electrónico: achavarroc@sena.edu.co

⁴ Colombiano. Master en Aplicaciones Móviles. Universidad Surcolombiana Neiva. Avenida Pastrana Carrera 1ª. Correo electrónico: julian.molina@usco.edu.co

Resumen

En los estanques de agua dulce para cultivo de tilapia, especialmente en su etapa de engorde, se presenta un alto índice de mortalidad de peces. Debido a lo anterior, fue diseñado e implementado un prototipo electrónico para monitorear los parámetros físico-químicos como temperatura y oxígeno disuelto del agua, con el fin de identificar los momentos críticos del cultivo. Las pruebas en campo se realizaron en la granja piscícola "Pezcomsi", ubicada en el municipio de Campoalegre, en el departamento del Huila (Colombia). El prototipo cuenta con un sistema de adecuación de las señales para los sensores, las cuales llegan al microprocesador ATMEGA 328P, que realiza el proceso de adquisición y conversión de datos análogos a digitales para su procesamiento y almacenamiento en una memoria microSD. A través del módulo Bluetooth HC-05, estos datos son enviados a la interfaz gráfica soportada en una aplicación móvil, en donde el usuario puede visualizar el comportamiento de las variables en el cultivo. El sistema es alimentado por medio de paneles solares y presenta porcentajes de error bajo comparados con patrones estándar, por lo que se considera una herramienta electrónica de monitoreo confiable. Con este sistema se espera contribuir a la disminución de índices de mortalidad de la tilapia, debido a cambios bruscos de temperatura y oxígeno disuelto que se presentan diariamente en los estanques; además, los resultados encontrados muestran una disminución en la concentración de oxígeno disuelto que podría ser objeto de estudio posterior.

Palabras clave: dispositivo electrónico, innovación, piscicultura.

Abstract

In freshwater ponds for tilapia crop in its fattening stages, a high mortality rate of fish is presented. Because of this, an electronic prototype to monitor physicochemical parameters such as temperature and dissolved oxygen of the water was designed and implemented in order to identify the critical moments of the crop. Field tests were conducted on the fish farm PEZCOMSI, located in the municipality of Campo alegre, in the department of Huila ((Colombia)). The prototype has a system of adequacy of the sensor signals, which are read by the microprocessor ATMEGA 328P, the Analog to digital conversion data is used for processing and storage on a microSD memory . Through the HC-05 Bluetooth module this info is sent to the GUI supported on a mobile application where the user can visualize the crop's behavior. The system is powered by solar panels and has low error rates compared to standard patterns, so it is considered a reliable electronic monitoring tool. This system is expected to contribute to lower mortality rates of tilapia due to sudden changes in temperature and dissolved oxygen, that are presented throughout the day in the ponds; moreover, the results show a decrease in dissolved oxygen concentration that could be subject to a further study.

Keywords: electronic prototype, novelty, fish farming, mobile application, remote sense.

Introducción

En estos tiempos donde la pobreza y el hambre van en aumento, existen sectores productivos con alto crecimiento, como las pesquerías y la acuicultura que está desempeñando un papel importante en la disminución de estos problemas. Estas actividades favorecen la generación de empleo, el mejoramiento de la salud y disminución de la pobreza, gracias a que el pescado es uno de los productos más comercializados a nivel mundial, del cual las familias de escasos recursos recogen su sustento diario (FAO, 2014). La acuicultura como actividad multidisciplinaria, constituye una empresa productiva que utiliza los conocimientos sobre biología, ingeniería y ecología, para ayudar a resolver el problema nutricional. Según la clase de organismos que se cultivan, se ha dividido en varios tipos, siendo uno de los más desarrollados la piscicultura o cultivo de peces (Cifuentes et al., 2000).

En varias regiones de Colombia se ha aprovechado el clima tropical y la gran cantidad de fuentes hidrológicas, para crear un importante número de granjas piscícolas, que tienen como nicho económico la crianza y producción de especies acuícolas (Anuario Gobernación del Huila, 2012). En la mayoría de las piscícolas ubicadas en el departamento del Huila se cultiva tilapia roja (*Oreochromis* sp), debido a que es una especie que tolera grandes variaciones de temperaturas, cuenta con un rápido crecimiento, es resistente a enfermedades y se adapta con mayor facilidad a condiciones adversas (Ezquivel et al, 2014).

Una de las problemáticas con que se encuentran los piscicultores con mayor frecuencia, es el alto índice de mortalidad, el cual llega a ser mayor al 20% (Rural, 2014). Esto se debe a que los acuicultores no cuentan con asesoría técnica que les ayude a mejorar el manejo de los cultivos, las prácticas administrativas y a disminuir los costos de producción, además, no se tiene el control de algunas variables del cultivo, ya sea por falta de presupuesto o conocimiento, debido a esto muchos prefieren seguir aplicando las técnicas tradicionales en el cultivo de tilapia para evitar subir sus costos (Palacio, 2015).

Existe una tendencia de crecimiento de la acuicultura al pasar de 9.2 toneladas en 1990 a 82.7 en 2011; es decir, un incremento del 12% anual promedio, superando por mucho la tasa media del crecimiento del resto del sector agropecuario y del conjunto total de la economía nacional. Del total de la producción acuícola lograda en el año 2011, las actividades piscícolas correspondientes al cultivo de tilapia roja y tilapia plateada aportaron el 58,5%. Siendo el departamento del Huila el mayor productor con 29.6 toneladas, seguido por los departamentos del Meta y Tolima (Merino et al., 2013).

Basados en que el departamento del Huila es uno de los principales productores de tilapia en el país (Merino et al., 2013), y que muchas piscícolas están siendo afectadas por los altos índices de mortalidad, debido a la falta de monitoreo en parámetros físicoquímicos del agua, el objetivo de este trabajo fue diseñar e implementar un sistema electrónico para monitorear parámetros físicoquímicos del agua en estanques de cultivo de tilapia roja. Con este sistema se busca facilitar las actividades diarias de monitoreo y ayudar a reducir la tasa de mortalidad de peces, así como los costos generados por los equipos utilizados.

Metodología

Se implementó un dispositivo electrónico para monitorear oxígeno disuelto y temperatura del agua en estanques de tierra ubicados en la piscícola “Pezcomsi” (latitud = 2,6907158; longitud = -75,305935) del municipio de Campoalegre en el departamento del Huila (Figura 1); este dispositivo funciona a través de energías renovables, por medio de un sistema fotovoltaico, ayudando a contrarrestar el calentamiento global y evitando el uso de energías convencionales que dependen de combustibles fósiles (Messenger & Ventre, 2010).

La implementación del dispositivo se realizó en estanques de tierra con un volumen de agua de 300 metros cúbicos (20x10x1.5), colocándose el instrumento de medida en la mitad del estanque, y los sensores de monitoreo a unos 80 centímetros de profundidad.

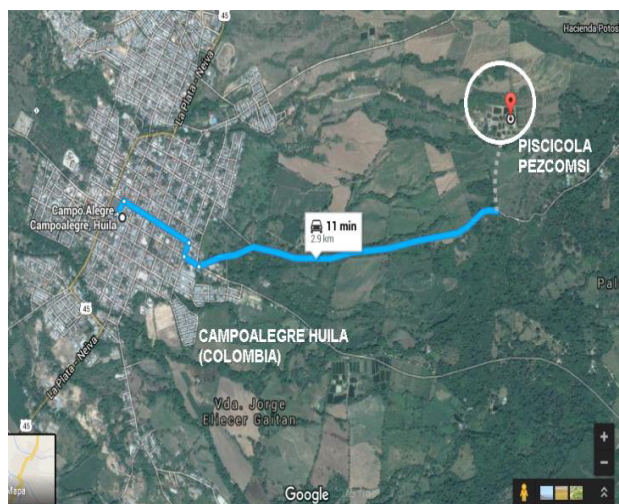


Figura 1. Ubicación Piscícola Pezcomsi, Municipio de campoalegre Huila.
Fuente: los autores

Los datos obtenidos por el dispositivo, se almacenaron en la memoria del mismo, y se enviaron a través de comunicación bluetooth a cualquier dispositivo móvil que tenga instalada la aplicación nativa desarrollada en Android donde el usuario podrá observar la información tanto numérica como gráficamente (Figura 2), y así poder realizar el respectivo análisis estadístico descriptivo.

El sistema de monitoreo contó con cuatro etapas: 1) alimentación, 2) adecuación de los sensores, 3) adquisición de datos y procesamiento de información, y 4) comunicación y visualización de datos (Figura 3).

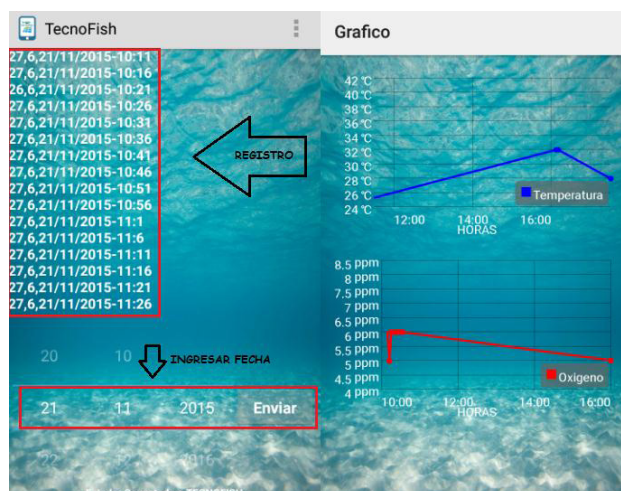


Figura 2. Interfaz gráfica del dispositivo electrónico
Fuente: los autores.

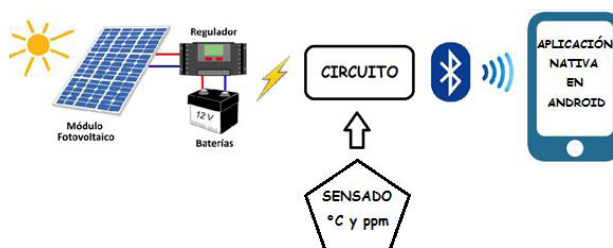


Figura 3. Diagrama general del sistema de monitoreo
Fuente: los autores

Etapas de alimentación

El sistema en esta etapa funcionó tal y como se muestra en la Figura 4, el cual se alimentó a través de un panel solar de 20W (Vatios), con un controlador de voltaje de 12V (Voltios) se unió a dos baterías de 6V y 4.2A-h (Amperios-Hora) conectadas en serie, llevando este voltaje de las baterías al circuito que se encargó de regular y distribuir los diferentes niveles de tensión, esto de acuerdo a los requerimientos del sistema.

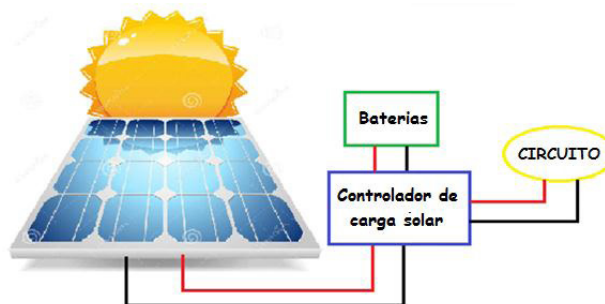


Figura 4. Diagrama etapa de alimentación
Fuente: los autores.

Etapa de Adecuación de los sensores

En esta etapa se utilizaron componentes y circuitería adicional para la adecuación de las señales provenientes de los sensores de temperatura y de oxígeno disuelto, con el fin de proveer las señales necesarias para que puedan ser procesadas por el microcontrolador (Figura 5).

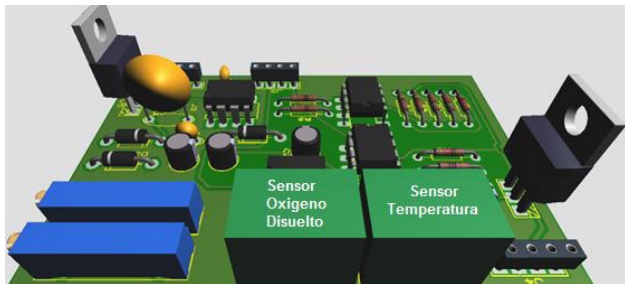


Figura 5. Circuito Adecuación de los sensores
Fuente: los autores.

Debido a que las señales provenientes de los sensores eran demasiado pequeñas, se amplificaron por medio del amplificador AD620, el cual a su vez requiere de una fuente dual para su funcionamiento; por lo cual se utilizaron los reguladores de voltaje 7805 y 7905 para obtener voltajes de 5V y -5V, respectivamente.

Sensor de Temperatura

Para monitorear la temperatura del sistema, se utilizó una RTD PT100, fabricada con platino, y posee una resistencia eléctrica de 100 ohmios a una temperatura de 0°C, a la cual se le realizó su respectiva adecuación (Figura 6).



Figura 6. RTD PT100
Fuente: los autores.

Debido a que la PT100 es una sonda resistiva, se buscó la forma de equilibrar y darle sensibilidad al sensor mediante un puente wheatstone, con el fin de evitar mediciones erróneas (Figura 7).

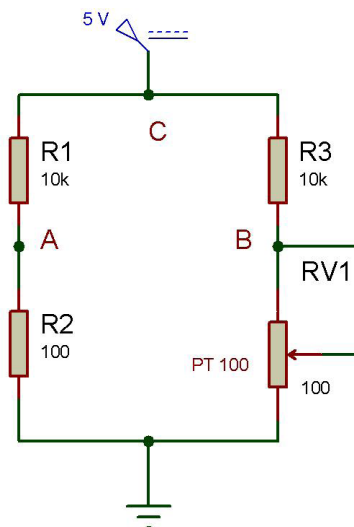


Figura 7. Puente wheatstone
Fuente: los autores.

Una vez que el sensor se encontró en una de las ramas del puente, se instaló el circuito fuente de corriente, el cual se conectó en el nodo C con el puente wheatstone para alimentarlo y hacer pasar una corriente menor a 1mA (miliamperio), a través de sus ramas; con esto se evitó el autocalentamiento en los cables del sensor de temperatura y evitar distorsiones en su linealidad (Figura 8).

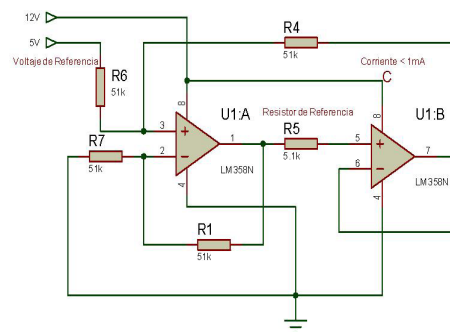


Figura 8. Circuito fuente de corriente
Fuente: los autores.

Teniendo en cuenta los bajos niveles de voltaje en la señal de salida del puente wheatstone, esta se amplió a través del amplificador AD620, el cual se configuró como comparador, ya que conectaron los puntos A y B del puente wheatstone (Figura 7) a los pines 2 y 3 del amplificador de instrumentación, respectivamente (Figura 9). La resistencia RG conectada entre los pines 1 y 8 del amplificador se encargó de dar la amplificación que requirió el sistema. El valor de RG se obtuvo de la hoja de datos del fabricante a través de la Ecuación 1.

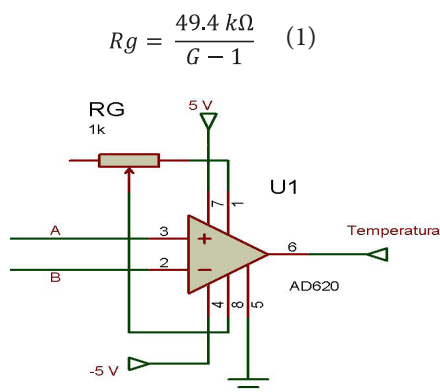


Figura 9. Amplificación de la señal del puente wheatstone
Fuente: los autores

Los voltajes obtenidos de la etapa de amplificación de la PT100, se compararon con un elemento patrón para su calibración, con el fin de tener mayor confiabilidad en las mediciones tomadas. El elemento patrón de medición fue el sensor DS18B20, que es un termómetro digital de alta precisión ($\pm 0.5^\circ\text{C}$) con tres terminales, dos para alimentación, y una terminal DATA que transmitió y recibió los bits de información. Para observar las mediciones de temperatura obtenidas por este sensor, este se conectó a la placa Arduino Uno (Figura 10).

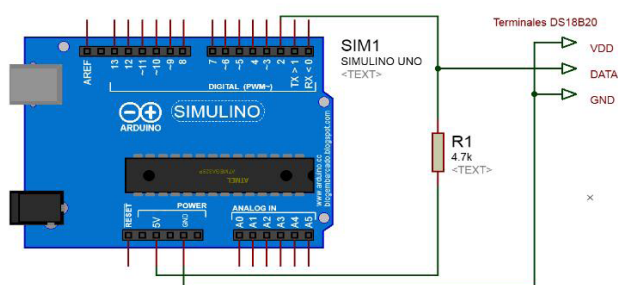


Figura 10. Conexión sensor digital
Fuente: los autores.

Una vez instalados los sensores de temperatura, se realizaron las pruebas necesarias para concatenar los voltajes obtenidos de la amplificación del puente wheatstone con el valor de temperatura que registraba el termómetro digital (Figura 11).



Figura 11. Pruebas para calibrar PT100
Fuente: los autores.

Una vez tabulados los datos, se procedió a realizar la linealización de los voltajes obtenidos de la amplificación del puente wheatstone, encontrando la Ecuación 2, que se utilizó en la programación del microcontrolador.

$$y = 10,002x + 0,3498 \quad (2)$$

Dónde: y: Temperatura en grados Celsius

x: Voltaje en voltios

Sensor de oxígeno disuelto

Para monitorear el oxígeno disuelto en el estanque de tierra, se utilizó el sensor DO1200/T, el cual es un dispositivo con una sonda galvánica electroquímica que no requiere de alimentación externa para generar una señal de control (Figura 12). Esta es una sonda que genera una señal en mV (milivoltios) proporcional al porcentaje de oxígeno que se encuentra en el agua.



Figura 12. Sensor de Oxígeno disuelto DO1200/T
Fuente: los autores.

Para determinar la concentración de oxígeno en ppm (partes por millón), se observaron los valores de porcentaje de oxígeno y la temperatura del agua mostrada en la tabla suministrada por el fabricante del sensor de oxígeno disuelto DO 1200/T (Tabla 1).

Para efectuar la respectiva lectura de la señal del sensor de oxígeno disuelto por parte del microprocesador; se realiza la respectiva adecuación donde se toma el valor que genera el sensor al aire libre, el cual será al 100% de saturación. Posteriormente, se sumerge el sensor en el agua para obtener el porcentaje de oxígeno, y se aplica la Ecuación 3 para encontrar el rango.

$$r = \frac{\text{voltaje oxígeno en el agua}}{\text{voltaje oxígeno en el aire}} \quad (3)$$

Tabla 1. Datos para calibrar sensor de oxígeno disuelto

TEMPERATURA SALINITY – in parts per thousand (ppt)						
Deg °C	Deg °F	0	5	10	15	20
0	32	14,6	14,11	13,64	13,18	12,74
1	33,8	14,2	13,73	13,27	12,83	12,4
2	35,6	13,81	13,36	12,91	12,49	12,07
3	37,4	13,45	13	12,58	12,16	11,76
4	39,2	13,09	12,67	12,25	11,85	11,47
5	41	12,76	12,34	11,94	11,56	11,18
6	42,8	12,44	12,04	11,65	11,27	10,91
7	44,6	12,13	11,74	11,37	11	10,65
8	46,4	11,83	11,46	11,09	10,74	10,4
9	48,2	11,55	11,19	10,83	10,49	10,16
10	50	11,28	10,92	10,58	10,25	9,93
11	51,8	11,02	10,67	10,34	10,02	9,71
12	53,6	10,77	10,43	10,11	9,8	9,5
13	55,4	10,53	10,2	9,89	9,59	9,3
14	57,2	10,29	9,98	9,68	9,38	9,1
15	59	10,07	9,77	9,47	9,19	8,91
16	60,8	9,86	9,56	9,28	9	8,73
17	62,6	9,65	9,36	9,09	8,82	8,55
18	64,4	9,45	9,17	8,9	8,64	8,39
19	66,2	9,26	8,99	8,73	8,47	8,22
20	68	9,08	8,81	8,56	8,31	8,07
21	69,8	8,9	8,64	8,39	8,15	7,91
22	71,6	8,73	8,48	8,23	8	7,77
23	73,4	8,56	8,32	8,08	7,85	7,63
24	75,2	8,4	8,16	7,93	7,71	7,49
25	77	8,24	8,01	7,79	7,57	7,36
26	78,8	8,09	7,87	7,65	7,44	7,23
27	80,6	7,95	7,73	7,51	7,31	7,1
28	82,4	7,81	7,59	7,38	7,18	6,98

Fuente: fabricante del Sensor

Una vez que obtenido el valor del rango (r), se empleó en la Ecuación 4, al multiplicarse por el dato que se encontró en la Tabla 1 que dependió de la temperatura en el momento de tomar la medición. Se consideró la temperatura en grados Celsius y la salinidad baja, ya que las mediciones se realizaron en un estanque de agua dulce.

$$y = r * x \quad (4)$$

r = Rango obtenido de la Ecuación 3

x = Dato de la Tabla 1, dependiendo de la temperatura obtenida por la pt100 al momento de la medición

y = Valor en ppm del sensor

Al igual que el sensor de temperatura, la señal de este sensor se amplió mediante el amplificador operacional AD620, y al no requerir fuente de alimentación externa se conectó directamente (Figura 13).

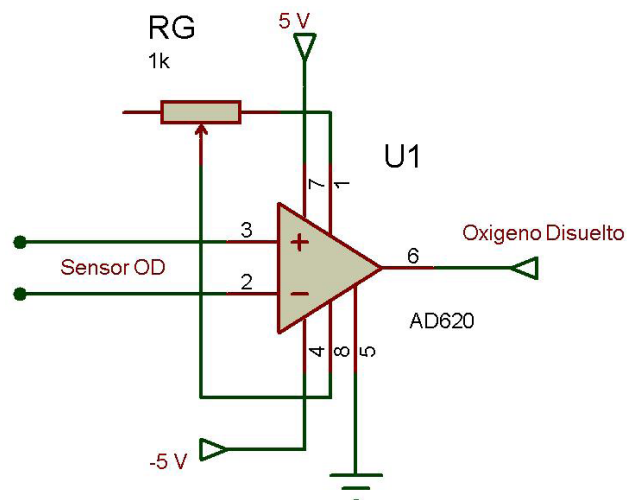


Figura 13. Amplificación señal sensor de oxígeno disuelto

Fuente: los autores.

Adquisición de datos y procesamiento de información

Después de adecuar la señal de los sensores, esta es enviada a los puertos analógicos del microcontrolador ATmega328-P, donde se convirtió en datos digitales para ser procesados, y así enviar la información por puerto serial a las terminales de comunicación y recepción conectadas al módulo bluetooth HC05. La información se envió a través del puerto SPI desde el microcontrolador hacia memoria microSD para el almacenamiento (Figura 14).

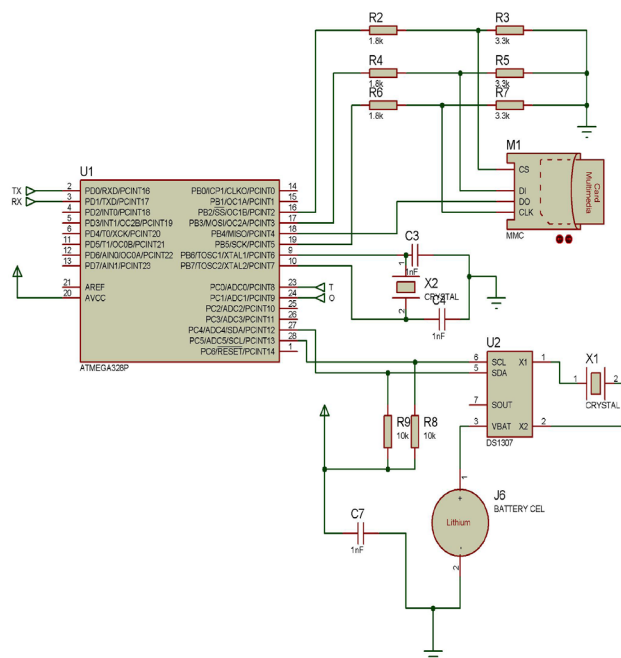


Figura 14. Circuito Adquisición de datos
Fuente: los autores.

Microcontrolador ATmega 328-P

El microcontrolador ATmega 328-P es el componente principal del circuito y hace la respectiva adquisición de datos. Para su funcionamiento se conectó un cristal de 16 MHz con 2 capacitores de 22 pF cada uno. Las señales provenientes de los amplificadores operacionales; una de temperatura y otra de oxígeno, se conectó a los pines 23 y 24 del microcontrolador, respectivamente (Figura 14). Con estos pines se convirtió la señal analógica a digital con una resolución de 8 bits, con el fin de que el microcontrolador los pueda ejecutar y operar, de acuerdo a la programación establecida. Para programar el microcontrolador Atmega 328-P se utilizó el software de Arduino, que utilizó un lenguaje de alto nivel llamado Processing, similar a C++ (Arduino, 2015).

En esta etapa se procesó la información, definidas las entradas del microcontrolador para recibir las señales analógicas de los sensores, las cuales son A0 y A1 (pines 23 y 24), siendo A0 para la señal de temperatura y A1 para la señal de oxígeno disuelto.

Memoria microSD

Esta memoria se encargó de llevar un registro de las mediciones generadas por los sensores, y se alimentó a

través de un regulador de 3.3 voltios (78R33). La memoria se comunicó con el microcontrolador por medio de una comunicación SPI.

Al registro de datos se le adicionó la fecha y la hora en que fueron tomados, por lo cual fue necesario un circuito RTC (Real Time Clock o Reloj en Tiempo Real) con el integrado DS1307. Este circuito se encargó de almacenar y llevar la cuenta de la fecha y hora; tiene dos fuentes de alimentación, una de 5V con la que trabaja normalmente, y otra de 3V (pila 3V) que es la fuente de alimentación auxiliar, y se activa cuando el circuito no está energizado.

El registro de los datos guardados se realizó cada cinco minutos en el siguiente orden: temperatura, oxígeno disuelto, día, mes, año, hora y minuto. El uso de los datos se realizó través de la librería RTC.h y Time.h,

Etapas de comunicación y visualización de datos

El sistema utilizó un medio de comunicación inalámbrica por una conexión bluetooth, que es un protocolo que permitió la comunicación inalámbrica a corto alcance para dispositivos comerciales (Prabhu & Prathap, 2004).

El módulo bluetooth HC-05 se utilizó en la etapa de comunicación, es el encargado de transmitir los datos almacenados en la memoria microSD, los cuales pasan por el microprocesador, y son enviados al módulo de radio frecuencia (bluetooth clase 2) hacia el dispositivo móvil a través del puerto serial. El módulo se alimentó entre 3.3V y 5V, y sus pines Tx y Rx se conectan a los pines 2 (Rx) y 3 (Tx) respectivamente, los cuales son el puerto serial del microcontrolador.

El módulo viene configurado de fábrica para trabajar como maestro o esclavo. El modo maestro se puede conectar con otros módulos bluetooth, mientras que en el modo esclavo queda a la escucha de peticiones de conexión. Este módulo utilizó el protocolo UART RS 232 serial que es ideal para aplicaciones inalámbricas, fácil de implementar con PC, microcontrolador o módulos Arduino.

Una vez que se recolectó y almacenó la información en el sistema, el usuario realizó la conexión entre el dispositivo móvil y el dispositivo electrónico a través de la comunicación bluetooth, para así tomar los datos almacenados en la microSD, visualizarlos y estar informados del comportamiento de su cultivo.

Para desarrollar la aplicación móvil se empleó el software Android Studio, que es un entorno de desarrollo integrado para crear aplicaciones en la plataforma Android (Cruz, 2013). Android Studio es software libre, que además de permitir un desarrollo por medio de código Java, también se puede realizar por medio de plantillas. Como las aplicaciones móviles desarrolladas hoy en día, en su mayoría tienen una plataforma base. Se tuvo de guía una plantilla que permitió la comunicación bluetooth con cualquier dispositivo enlazado por comunicación serial (Bluetooth Terminal) a partir de la conexión con el dispositivo, el envío y la recepción de datos, para luego hacerle mejoras mediante código Java, de tal forma que la aplicación enviara por defecto el char “#” y el microcontrolador detectara que ese era el final de la cadena de caracteres para hacer su operación de envío de datos. La aplicación se diseñó para que los datos de entrada se almacenaran en la memoria RAM del dispositivo móvil, y así poder graficarlos, además se generará una alerta si la última línea enviada no está dentro de los rangos óptimos de los parámetros monitoreados (Figura 15).



Figura 15. Interfaz gráfica de la aplicación móvil
Fuente: los autores.

Resultados y análisis de datos

Se obtuvo un prototipo funcional validado en campo para monitorear temperatura y oxígeno disuelto del agua en el estanque de tilapia roja de la piscícola “Pezcomsi” en el municipio de Campoalegre, departamento del Huila (Figura 16).



Figura 16. Prototipo recolectando datos en campo
Fuente: los autores.

Validación del sistema

Para saber qué tan confiables son las mediciones obtenidas por el sistema, se realizaron pruebas de laboratorio para comparar los datos obtenidos por el sistema, con las mediciones del sensor de temperatura VOLCRAFT DET 1R, el cual cuenta con una precisión alta ($\pm 0,1^{\circ}\text{C}$) (Figura 17).

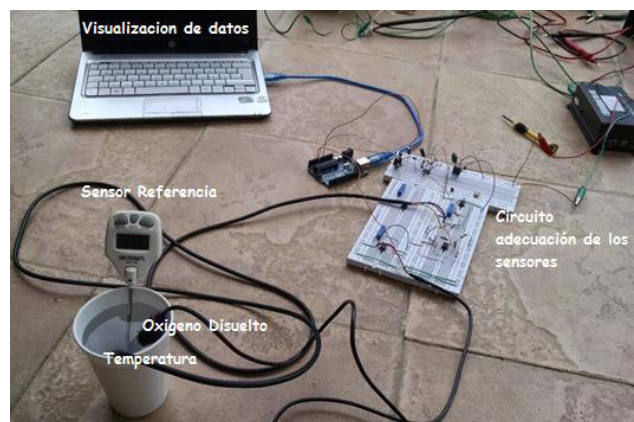


Figura 17. Validación del sistema
Fuente: los autores.

Se realizaron 40 pruebas con una temperatura inicial en el agua de 18°C , que se aumentó hasta llegar a temperatura ambiente de 33°C . Los valores de temperatura para cada prueba se observan en la Figura 18.

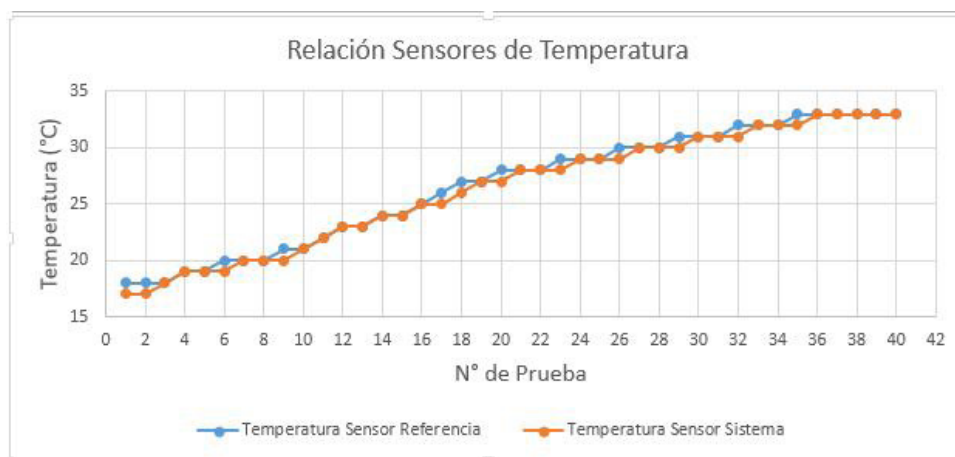


Figura 18. Valores de temperatura obtenidos en cada prueba
Fuente: los autores.

Ahora se procede a determinar la media aritmética o promedio de los valores registrados por cada sensor de temperatura, para calcular el porcentaje del error relativo y así demostrar la confiabilidad del sistema por medio de la Ecuación 5.

$$E_{\text{relativo}} = \frac{|Media\ Sens\ Sist - Media\ Sens\ Ref|}{Media\ Sens\ Ref} * 100 \quad (5)$$

$$Error\ relativo = \frac{|26,275 - 26,575|}{26,575} * 100 = \pm 1,13\%$$

Para las pruebas realizadas al sensor de temperatura, se obtuvo un delta con el sensor patrón de $\pm 0.3\ ^\circ\text{C}$.

Respecto a las mediciones con el sensor de oxígeno disuelto, se hizo una comparación del método indirecto llamado método Winkler, la respuesta de un sensor comercial YSI550A (Figura 19) y el dispositivo desarrollado, tomando muestras del estanque que se combinaron con unos reactivos químicos, con el fin de obtener como resultado la cantidad de oxígeno encontrado en el agua. Luego se procede a comparar los resultados tanto del sensor como del método químico, y el dispositivo desarrollado, para así observar la confiabilidad del dispositivo. Es de gran importancia resaltar que la implementación de este método fue realizado por el ingeniero químico Jaime Rojas Puentes, coordinador del Laboratorio de Aguas de la Universidad Surcolombiana.



Figura 19. Agua del estanque en botella de Winkler
Fuente: los autores.

$$Error\ relativo = \frac{|6 - 6,4|}{6,4} * 100 = \pm 6,25\%$$

Las pruebas se realizaron al sensor de oxígeno disuelto en un día, entre las 8 y las 16 tomando muestras cada hora, dando como resultados un margen de error manejable y apto para soportar unas mediciones confiables y precisas del dispositivo electrónico con $\pm 0.4\ \text{ppm}$.

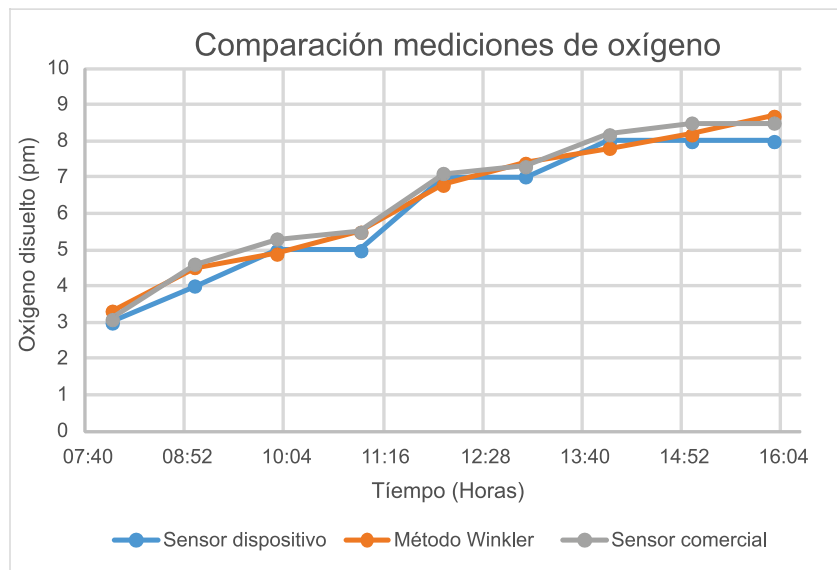


Figura 20. Datos de comparación, sensor de oxígeno disuelto comercial YSI550A, el método Winkler, y el dispositivo desarrollado
Fuente: los autores.

El error relativo del sistema es pequeño, otorgándole confiabilidad al dispositivo electrónico creado para determinar la temperatura y concentración de oxígeno en el agua de un estanque en tierra para piscicultura.

Registro datos parámetros fisico-químicos

El análisis y comportamiento de los datos que arrojó el monitoreo realizado al estanque durante 15 días, se observan en la Figura 21 y la Tabla 2. Para ello, fueron tomados y promediados los datos de las lecturas por 15 días, durante 24 horas, con frecuencias de muestreo de 24 muestras por día.

Tabla 2. Análisis estadístico de los datos

Análisis de datos	Temperatura (°C)	Oxígeno Disuelto (ppm)
Media	26,806	5,076
Desviación estándar	0,906	2,203
Coefficiente de Variación (%)	3,380	43,400

Fuente: los autores.

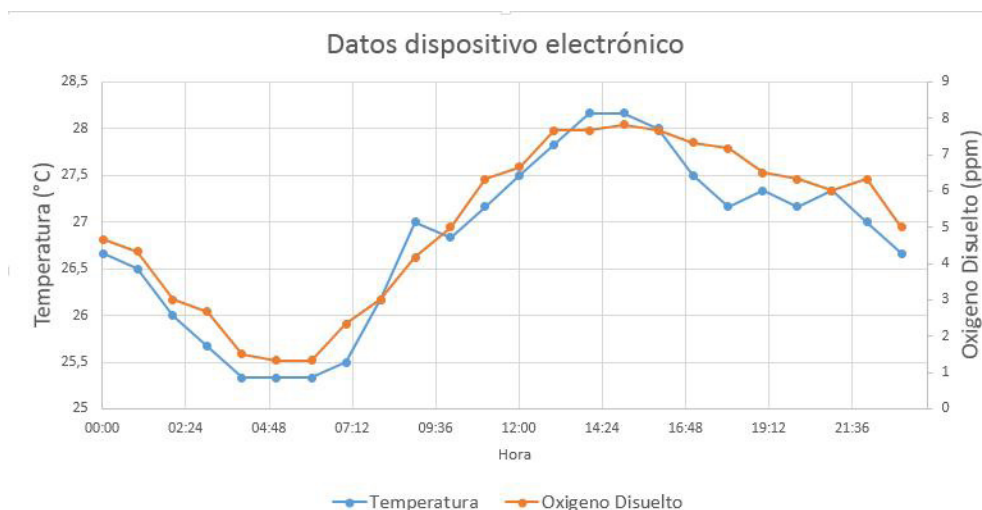


Figura 21. Registro de datos del dispositivo
Fuente: los autores.

Análisis de resultados

Se observa que el prototipo creado, monitorea efectivamente los parámetros en estudio obteniendo unos valores adecuados de temperatura y de concentración de oxígeno que se encuentran en el rango aceptable del cultivo de tilapia.

Observando la Figura 21 y el promedio de los días que el dispositivo electrónico monitoreó en el estanque, se pudo determinar que los niveles de oxígeno en este cultivo disminuyeron entre la 1 y las 8 de la mañana, siendo un periodo de alerta para el piscicultor. Esto debido a que los peces y otros microorganismos presentes en el estanque consumen el oxígeno hasta llevarlo a niveles críticos (Goyenola, 2007).

El oxígeno disuelto en el día aumenta ya que temprano en las mañanas el operario de la piscícola realiza recambio de agua al cultivo con el fin de eliminar desechos orgánicos de los propios peces. Además de que en estos estanques se encuentran algunas algas y plantas acuáticas que generan oxígeno por medio del proceso de fotosíntesis (Goyenola, 2007).

Mediante el sistema utilizado fueron registrados niveles de temperatura mayores a 29°C entre las 10 y 17 horas, por lo que se sugiere que el piscicultor esté alerta en ese periodo, y que se realicen recambios del agua, con la intención de reducir las posibilidades de mortalidad en los peces.

Estadísticamente la temperatura presentó un porcentaje de variación bajo y se mantiene en un rango aceptable para el cultivo de tilapia. Por otro lado, el oxígeno disuelto presentó un alto porcentaje de variación entre 1 y 8 ppm; por lo cual es sugerido el empleo de herramientas que ayuden a que este parámetro no varíe de manera abrupta y se mantenga en un rango aceptable.

Conclusiones

Este prototipo electrónico se convierte en una herramienta útil y práctica para la prevención de los índices de mortalidad en cultivo de tilapia.

El dispositivo electrónico diseñado es eficaz en el monitoreo de temperatura y oxígeno disuelto en aguas de estanques donde se cultiva tilapia.

La aplicación móvil creada a través de Android Studio, permite visualizar de manera inalámbrica los niveles de temperatura y de concentración de oxígeno del estanque.

El prototipo electrónico diseñado funciona a través de un sistema fotovoltaico, que se destaca por aprovechar las energías renovables, para evitar la contaminación por uso de energías convencionales.

El oxígeno disuelto fue el parámetro que presentó mayor variación y alerta en el cultivo de tilapia.

Todas las etapas implementadas en el sistema funcionaron de manera adecuada, obteniendo un prototipo funcional y novedoso para el sector piscícola que, con unos ajustes necesarios como el control de estas variables, ayudaría a bajar los niveles de mortalidad que tanto afecta a la piscicultura en nuestra región.

Es de considerarse en un estudio posterior, la implementación de estrategias para controlar los niveles de oxígeno en esta clase de cultivo de peces.

Agradecimientos

A la red Tecnoparque Colombia nodo Neiva del SENA, quienes brindaron ayuda técnica y acompañamiento con asesorías en el transcurso del desarrollo del proyecto; al ingeniero Jaime Rojas Puentes, docente de la Universidad Surcolombiana, quien fue jurado de este proyecto de grado, y colaboró brindando sus conocimientos en calidad de aguas, para brindar confianza y ofrecer una buena herramienta al sector piscícola del departamento de Huila.

Referencias bibliográficas

- Arduino, (2015). *Qué es Arduino*. Recuperado de 2015. <https://www.arduino.cc/>.
- Cifuentes Lemus, J. L.; Torres García, M. D. & Frias Mondragón, M. (2000). *Piscicultura*. El Océano y sus Recursos XI, vol. 2.
- Cruz, Z. B. (2013). *Installing and Configuring Android Studio. Android Studio Application Development*, Packt Publishing, 87 pp.

- Ezquivel, M. A.; Merino, M. C.; Restrepo, J. J.; Narváez, A.; Polo, C.; Plata, J. & Puentes, V., (2014). *Estado de la Pesca y la Acuicultura*, AUNAP 13-14.
- FAO. (2014). *Examen Mundial de la Pesca y la Acuicultura. El estado mundial de la pesca y la acuicultura*, FAO, 253 .
- Goyenola, G., 2007. *Guía para la utilización de las valijas viajeras. Red de monitoreo ambiental participativo de sistemas acuáticos*, Red Mapsa, 1.
- Merino, M. C., Bonilla, S. P., & Bages, F. (2013). *Diagnostico del estado de la acuicultura en Colombia*, 160 pp.
- Messenger, A. R., & Ventre, J. (2010). *Photovoltaic Systems Engineering*. New York: Taylor & Francis Group, 3, 461 pp.
- Palacio, A. (2015). *Manejo de la producción en cultivo de tilapia*. Entrevistador: Dussán, S.
- Prabhu, C., & Prathap, R. A. (2004). *Introduction to Bluetooth. Bluetooth Technology and its Application with Java and J2ME*. New Delhi: Prentice-Hall, 326 pp.
- Rural, M. d. (2014). *Cultivo de la tilapia roja en estanques de tierra. Insumos y factores asociados a la producción agropecuaria*. 63 pp.