

Development of a system for the acquisition and remote transmission of water quality based on the Internet of Things (IoT) for aquaculture

Cesar Contreras¹, José A. Molina², Pedro Osma³, Daniel Zambrano⁴

¹Universidad Nacional Experimental del Táchira, Venezuela, ccontre@unet.edu.ve

²Universidad Nacional Experimental del Táchira, Venezuela, jmochac@unet.edu.ve

³Universidad Nacional Experimental del Táchira, Venezuela, pedro.osma@unet.edu.ve

⁴Universidad Nacional Experimental del Táchira, Venezuela, daniel.zambrano@unet.edu.ve

Abstract— *Intensive aquaculture is increasing worldwide and to know in real time the parameters of water quality that affect the growth and development of fish is essential, since the operators of aquatic farms require reliable information and timely environmental variables to plan and adjust the necessary controls and avoid economic losses. In general, the technology currently used is expensive and dependent on many TIC platforms; so it is necessary to know how to develop equipment with high benefits, simple to implement and low cost. An alternative to solve this problem is the IoT as it is increasingly common in all areas, thanks to the penetration of the Internet and WiFi platforms facilitate and lower the implementation of TIC solutions. This article proposes the development of a remote water quality monitoring system for aquaculture based on IoT. Built from the low cost NodeMCU embedded development kit, and operating in low power consumption mode, capable of taking, backing up in a micro-SD memory and transmitting via Wi-Fi (802.11 b / g / n.) to a station of supervision and monitoring the measurements of: pH, Dissolved Oxygen (DO), Water temperature, Water level, Solar radiation, Relative humidity and Air temperature. The system was tested in an aquaculture farm producing of cachamas (*Colossoma macropomum*) and tilapia (*Oreochromis niloticus*). The data was contrasted with standardized laboratory measurement methods resulting in a robust, reliable and simple to implement system at a low cost.*

Keywords- Water quality, Aquiculture, IoT, NodeMCU

Digital Object Identifier (DOI):<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2018.1.1.367>

ISBN: 978-0-9993443-1-6

ISSN: 2414-6390

Construcción de un Sistema de Adquisición y Transmisión Remota de la Calidad del Agua Basado en el Internet de las Cosas (IoT) para la acuicultura

Cesar Contreras¹, José A. Molina², Pedro Osma³, Daniel Zambrano⁴

¹Universidad Nacional Experimental del Táchira, Venezuela, ccontre@unet.edu.ve

²Universidad Nacional Experimental del Táchira, Venezuela, jmoach@unet.edu.ve

³Universidad Nacional Experimental del Táchira, Venezuela, pedro.osma@unet.edu.ve

⁴Universidad Nacional Experimental del Táchira, Venezuela, daniel.zambrano@unet.edu.ve

Resumen- La acuicultura intensiva está en aumento a nivel mundial. Conocer en tiempo real los diversos parámetros de la calidad del agua que afectan el crecimiento y desarrollo de los peces es fundamental, ya que los operadores de las granjas acuícolas requieren de información confiable y oportuna de las variables ambientales para planificar y ajustar los controles necesarios, evitando así pérdidas económicas. En general, la tecnología actualmente usada es costosa y dependiente de muchas plataformas de tecnología e información (TIC), por lo que se requiere saber cómo desarrollar equipos con grandes beneficios, simples de implementar y de bajo costo. Una alternativa para resolver este problema es el IoT, cada vez más común en todos los ámbitos, gracias a que la penetración de la Internet y las plataformas WiFi, facilitan y abaratan la implementación de soluciones TIC. Este artículo propone el desarrollo de un sistema de monitoreo remoto de calidad del agua para la acuicultura basado en IoT. Construido a partir del kit de desarrollo embebido NodeMCU de bajo costo. Operando en modo de bajo consumo de energía, capaz de tomar y respaldar datos en una memoria micro-SD y transmitir vía wifi (802.11 b/g/n) a una estación de supervisión y monitoreo, las mediciones de: pH, Oxígeno Disuelto (OD), Temperatura del agua, Nivel del agua, Radiación solar, Humedad relativa y Temperatura del aire. El sistema fue sometido a pruebas en una granja acuícola productora de cachamas (*Colossoma macropomum*) y tilapia (*Oreochromis niloticus*). Los datos se contrastaron con métodos de medición estandarizados de laboratorio, resultando en un sistema robusto, confiable y sencillo de implementar a un bajo costo.

Palabras clave: Calidad del Agua, Acuicultura, IoT, NodeMCU.

I. INTRODUCCIÓN

La acuicultura continental ha estado creciendo como medio de producción y alternativa de vida para la población rural inclusive sustituyendo cultivos tradicionales por la producción piscícola [1]. Para este tipo de producción la seguridad y eficiencia está asociada a la calidad del agua. Los parámetros de los cuales depende esta calidad son básicamente potencial de hidrógeno (pH), Oxígeno Disuelto (OD) y temperatura del agua (TA) [2]; por lo que es fundamental monitorear permanentemente estas variables, para que los operadores de las granjas acuícolas planifiquen los controles o prevengan desastres que ocasionarían pérdidas económicas. En tal sentido, se han

venido desarrollando sistemas en base a la tecnología de la información y de la comunicación (TIC), destacan las investigaciones de [3], [4], [5], [6] quienes emplean diferentes redes inalámbricas pertenecientes al segmento de redes de área personal (PAN) como el zigbeek. Este tipo de redes o sistemas sirven para transmitir los valores de pH, OD y Temperatura a dispositivos de transmisión de gran alcance (WAN), como CDMA y GPRS, a herramientas computacionales: VPN, Redes Neurales y/o servidores WEB; para monitorear en tiempo real la calidad del agua en la cual se desarrolla la actividad de cría y engorde de peces. Pero estos sistemas son costosos y dependientes de muchas plataformas de comunicación, por lo que se requiere desarrollar equipos con altas prestaciones pero de bajo costo. Una alternativa es el IoT, cada vez más común en distintos ámbitos incluyendo el industrial. Este consiste en la integración de sensores y dispositivos, en objetos cotidianos, que quedan conectados a internet a través de redes fijas e inalámbricas. Dado su tamaño y coste, los sensores son fácilmente integrables en hogares, entornos de trabajo y lugares públicos. De esta manera, cualquier objeto es susceptible de ser conectado y estar presente en la red, haciendo uso y aprovechando la infraestructura de comunicación existente.

Varios autores han aportado estudios a este tema, entre ellos [7] y [8] quienes se enfocaron en evaluar a partir de la literatura científica las áreas de aplicación de IoT en la agroindustria, las arquitecturas adecuadas y plataformas de comunicación, estas dos últimas de mayor interés para el desarrollo de este trabajo. Algunas experiencias de aplicación de IoT se muestran en la investigación realizada por [9], donde se usa un sistema embebido o kit de desarrollo para implementar un sistema que mide el pH, el nivel del agua y la temperatura, por medio de un sistema de wifi, operando un motor DC y un aireador. En la investigación señalada no está claro el procedimiento de desarrollo, la disponibilidad, el respaldo de la información de forma remota, la calidad de los sensores y la robustez para aplicaciones industriales. Además, en el trabajo realizado por [10] diseñaron una arquitectura de red inalámbrica de sensores (WSN) usando RS485 para los sensores y Zigbee para los routers y el software de adquisición. Sin embargo, el uso de RS485 es cableado y coexiste una mezcla de tecnología. Una propuesta de estructura con mayor aplicación industrial incluyendo

autonomía por el uso de energía solar, fue desarrollada en el trabajo de [11]. Son pocos los detalles expuestos en el documento sobre la construcción del sistema y el mayor inconveniente es que para la comunicación se requiere de dos tecnologías: bluetooth y wifi.

Por lo tanto, este artículo se fundamenta en desarrollar un sistema de monitoreo remoto de la calidad del agua basado en IoT a bajo costo, usando hardware y software abierto. El sistema está diseñado a partir del kit de desarrollo embebido NodeMCU usado en modo sleep para ahorrar energía, el cual es capaz de tomar lecturas de variables meteorológicas tales como: Luz solar, Humedad relativa y Temperatura del aire y variables físico-químicas del agua, tales como: pH, Oxígeno Disuelto (OD), Temperatura y Nivel del agua. Todo ello con el propósito de conocer la calidad del agua. En una memoria SD se guardan las lecturas tomadas por estos sensores para ser empleada como respaldo histórico de la data. Además, transmite las lecturas de forma inalámbrica por medio de una red wifi (802.11 b/g/n) a una estación de supervisión y monitoreo. Cuenta con una batería y un panel solar que permite el funcionamiento de forma autónoma. La estación es una aplicación web que muestra cada variable en tiempo real y grafica las tendencias de cada una.

Este desarrollo ha mostrado tener aplicación en otras áreas de la agricultura (sistemas de riego con dosificación de nutrientes en ambientes protegidos, calidad del agua en espejos de aguas para irrigación, control ambiental de aguas residuales de procesos agroindustriales; entre otras). También, se presentan aplicaciones en el control de calidad de agua para el consumo humano, control sanitario de piscinas de uso deportivo y recreativo. Los sensores se calibraron usando métodos clásicos de laboratorio y se verificó el funcionamiento en el cultivo de cachama resultando en un sistema viable que presenta consistencia con sistemas tradicionales de monitoreo empleados en la medición de la calidad de agua.

II. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA.

El sistema está estructurado en dos partes: Un sistema de adquisición y transmisión de las variables físico-químicas del agua y las meteorológicas denominado por los autores Sistema de Adquisición de Datos (SAD) y por el servidor web. El SAD, está constituido por un conjunto de 6 sensores conectados a un circuito electrónico de adquisición, procesamiento, almacenamiento y transmisión, denominado modulo maestro, con los cuales se pueden registrar hasta 7 variables y cuyos valores son guardados en una memoria micro-SD. Luego enviados vía wifi a través de un router a un servidor web que tiene funciones de interface y de base de datos, conectado a internet para hacer disponible la data en la nube. Como se observa en la Fig. 1, los sensores de pH, Oxígeno disuelto (OD), Temperatura del agua (TA) y Nivel (NA), miden las variables del estanque. Y, los sensores de Humedad relativa (RH) y Temperatura del aire (Ta) e intensidad de luz (IL) miden las variables al aire libre. Los criterios usados para la selección de la tecnología fue el uso de la filosofía open-source (software abierto y hardware abierto) y la conectividad inalámbrica wifi, por estar ampliamente difundida, reduciendo así los costos de desarrollo.

A. Módulo maestro

Está constituido por el Kit de Desarrollo NodeMCU en su Versión 1.0 [12], Modulo reloj de tiempo real I2C (RTC) [13], Modulo SD [14], circuito para medición de Oxígeno Disuelto [15] y potencial hidrógeno [16]. Se compararon varios kit de desarrollo IoT para elegir. Se utilizaron

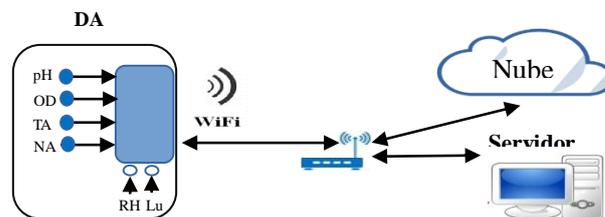


Fig. 1 Esquema general del sistema

criterios de precio y características técnicas como: conectividad inalámbrica WI-FI IEEE802-11, protocolos de comunicación SPI, I2C, UART, el convertidor analógico digital. Con respecto a la plataforma de programación; que la misma fuera compatible con arduino y que se contará con información soportada por comunidades de desarrolladores en internet; lo que representa una ventaja para este tipo de desarrollos. En la Fig. 2 se observa la distribución de cada uno de estos componentes en la tarjeta de circuito impreso (PCB). Los conectores indicados con el número 6 son 5 RJ11, que sirven de izquierda a derecha para hacer un puente entre los circuitos EZO y el modulo maestro. Luego el conector del sensor de luz que es un LDR.

Posteriormente el sensor de humedad relativa (RH)



Fig. 2 Circuito impreso (PCB) del módulo maestro: 1. NodeMCU, 2. RTC, 3. Modulo SD, 4. circuito EZO para OD, 5. Circuito EZO PH, 6. Conectores rj11 para sensores, 7. Conector de la fuente de alimentación

y temperatura del aire (Ta). Después, el conector del sensor de temperatura del agua (TA) y, por último, la conexión del sensor de nivel del agua (NA) implementado con un sensor ultrasónico. Los conectores de los sensores de OD y pH etiquetados con 4 y 5 son BNC y van en tarjetas de circuito impresos separados del módulo maestro. Para alimentar el sistema se usa el conector marcado con 7 el cual es de tipo jack hembra.

El ensamblado consistió en construir cajas de plástico de alto impacto (PAI), ubicando y atornillando las tarjetas electrónicas en su interior. A su vez, distribuir todos los componentes dentro de una caja plástica Nema 4 resistente a la intemperie como se aprecia en la fotografía del equipo en la Fig. 3. El módulo maestro dentro de la caja está etiquetado con el número 4, la tapa de la caja del lado superior izquierdo posee 4 led que sirven para indicar el estado del sistema de la siguiente forma: si el indicador "ON" está encendido el equipo está activado; si es el indicador "WORKING" el maestro está haciendo la lectura de los sensores, si es el indicador "SLEEP" el maestro está

en estado de ahorro de energía y finalmente, si es el indicador “FAIL” el equipo está presentando una falla de operación o de comunicaciones. Al centro y abajo hay una ranura para insertar la memoria Micro SD que en este caso es de 4 Gbytes y contiene los archivos de configuración del sistema y el respaldo de datos.

B. Sensores seleccionados

1) *Sensor de humedad y temperatura del aire:* es el sensor DHT22 que puede ser alimentado desde 3.3V a 5.5V, valor nominal 5V, de resolución decimal, con tiempo de muestreo de 2 segundos con un rango de medición de -40°C hasta 80°C y precisión $\pm 0.5^\circ\text{C}$ en temperatura y de 0% hasta 99.9% para la Humedad Relativa precisión $\pm 2\%RH$ a una temperatura de 25°C [17].

2) *Sensor de nivel del agua:* Se eligió el sensor ultrasónico SR HC-04, con rango de medición de 2cm a 400cm., voltaje de alimentación 5V, la frecuencia de trabajo es de 40KHz, no lo afecta la luz, pero si la temperatura por cada grado centígrado que sube la temperatura, la velocidad del sonido aumenta en 0,6 m/s, ángulo de medición de 30°, efectivo 15°, detección desde 2cm a 400cm [18].

3) *Sensor de intensidad de la luz solar:* Es una resistencia que depende de la luz o LDR de 30 a 50 Kohm, Resistencia en la oscuridad 3 Mohm.

Para estos tres sensores se construyeron cajas de plástico de alto impacto para protegerlos de la intemperie. A su vez estas cajas fueron adheridas al exterior de la caja mayor la cual sirve de soporte.

4) *Sensor de temperatura del agua:* es el sensor sumergible DS18B20 el cual es una sonda recubierta de un tubo de acero inoxidable de 6 mm de diámetro por 30 mm de largo, con rango de temperatura desde -55 a 125°C, precisión $\pm 0.5^\circ\text{C}$, resolución configurable de 9 a 12 bits, interfaz de comunicación 1-Wire, tiempo de respuesta inferior a 750ms y voltaje de alimentación desde 3.0V a 5.5V [19].

5) *Sonda para medir pH:* El sensor de potencial de Hidrógeno es un kit de medición de Atlas Scientific que ofrece lecturas desde 0,001 a 14,000, con una precisión de $\pm 0,02$, para una profundidad y presión máximas de 60 m (197 pies) y 690 kPa (100PSI) respectivamente. La sonda es capaz de generar lecturas dependientes o independientes de la temperatura del fluido. El modo de calibración es flexible; admite 2 puntos de calibración o 3 para mayor exactitud, el kit incluye tres soluciones patrones de 250 ml. pH 4.00, pH 7,00, pH 10.00 solución, y una solución de almacenamiento [16].

6) *Sonda de Oxígeno Disuelto:* Este sensor consta de una varilla de zinc (ánodo) sumergido en un electrolito y el elemento de detección es una membrana HDPE comprimida (cátodo). El rango de medición va de 0 a 40 mg/l, con una precisión de $\pm 0,2$ y temperatura máxima de trabajo de 50°C, para una profundidad y presión máximas de 60 m (197 pies) y 690 kPa (100PSI) respectivamente y una sola calibración anual [15].

Para las sondas de pH y OD, los kits incluyen circuitos de adecuación que convierte la señal analógica a una señal digital que puede ser transmitida por medio del protocolo de comunicación UART I2C. Esta es una ventaja ya que reduce el costo de procesamiento del módulo maestro. Los últimos tres sensores están diseñados de fábrica para realizar

mediciones sumergidos en el agua por lo que no es necesario construirle protecciones.



Fig. 3 Partes del sistema de adquisición y transmisión remota 1) Panel solar de 10Watt, 12V, de material Poli-cristalino. 2) Controlador y cargador solar PWM para baterías. 3) Batería recargable 12volt. 10Ah, AGM. 4) Módulo maestro de adquisición y transmisión Wifi. 5) Módulo sensor de luz. 6) Módulo sensor de Humedad relativa y temperatura del aire. 7) Módulo sensor de nivel del agua por ultrasonido. 8) Sensor de pH, 9) Sensor de Oxígeno disuelto (OD), 10) Sensor de temperatura del agua.

C. Programación del sistema

La programación del NODEMCU se desarrolló bajo el lenguaje C/C++ a través del entorno de programación IDE Arduino [20] y se empleó la librería desarrollada por Ivan Grokhotkov para el esp8266, disponible en [21]. El diagrama de flujo del algoritmo de funcionamiento del módulo maestro se muestra en la Fig. 4. El sistema se inicia al conectar la alimentación DC desde una batería de 12V, instante en el cual se definen las constantes y consignas propias del programa. Luego usando el protocolo de comunicación SPI se establece comunicación con la memoria micro-SD y se lee la información inicial del equipo como los datos de acceso a la red wifi, el URL del servidor y los tiempos en estado suspendido o sleep. No obstante, en caso de no lograrse la comunicación el equipo quedará en modo error, del cual solo puede salirse interrumpiendo la alimentación. Si se lee la memoria-SD, entonces se procede a conectarse a la red wifi y solicitar la IP al enrutador. En caso de no conectarse se realiza hasta 30 intentos y de no lograrse se indicara en panel de leds. Si es exitosa la conexión, entonces se inician los protocolos de comunicación con cada sensor y el panel de visualización (leds) y se procede a la lectura de los sensores.

Seguidamente, se realiza el almacenamiento de forma local en la SD, de no poderse realizar el respaldo de la información debido a error en la comunicación con la tarjeta SD, se enciende el led de error y nuevamente solo se saldrá interrumpiendo la alimentación DC. Si el almacenamiento local se realiza sin ningún inconveniente, el equipo procede a establecer la comunicación con el servidor local WEB y envía la data usando protocolo HTTP. En caso de que no se pueda realizar el envío de la información el equipo esperara 10 minutos e intenta de nuevo. Al finalizar el envío de la data el sistema queda en estado suspendido o sleep por un tiempo máximo de 30min y se reiniciará para ejecutar una nueva adquisición de los valores de los sensores.

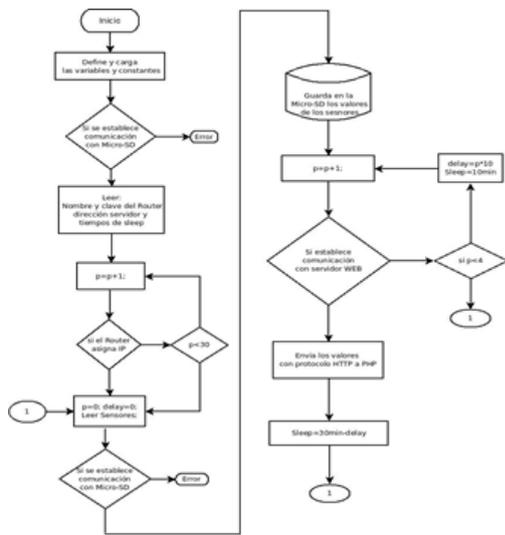


Fig. 4 Diagrama de flujo del algoritmo de funcionamiento del módulo maestro.

El servidor web se programó con HTML y PHP. El código HTML, se usó para estructurar la página y el código PHP para mantener las comunicaciones entre servidor y base de datos [22] empleando CSS mejoró el aspecto y estilo de la página web. Con respecto a la visualización de la data, se desarrolló un interfaz humano máquina a través de la cual el usuario puede visualizar en tablas y gráficos los valores almacenados en la Base de datos (BD). Para la

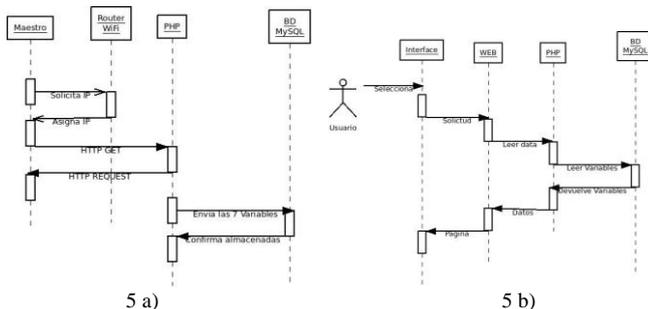


Fig. 5 Diagrama de secuencia a) Almacenamiento de datos y b) Visualización por parte de los usuarios del servidor.

gestión de la BD, se usó MySQL por ser de código abierto. La interacción de las diferentes partes del sistema que se encuentran interrelacionadas se modelaron en el diagrama de casos de uso que se muestra en la Fig. 5.

El SAD, solicita al enrutador WIFI una conexión y la respectiva asignación de la dirección IP, el enrutador le responde asignando la dirección IP válida para la red, el equipo envía una petición GET HTTP. Seguidamente, el PHP del servidor le genera una respuesta a la petición HTTP, el PHP almacena las 7 variables recibidas en la BD, la cual responde cuando sea exitosa la incorporación de las variables a las tablas. Si un usuario solicita la visualización de la data (Interfaz), envía la petición a la página WEB, la cual solicita los valores al PHP, que realiza la petición a la base de datos que responde con los valores, en consecuencia el PHP envía a la página WEB la data, la cual es cargada en la interfaz de visualización.

III. PRUEBAS Y RESULTADOS.

Para realizar las pruebas experimentales y verificar el funcionamiento del equipo se instaló en una granja de producción de cachama, los datos tomados se compararon con los valores reflejados por instrumentos de laboratorio. Para la temperatura del agua y el pH se usó un peachímetro de mesa modelo PH700 marca Oakton y para el Oxígeno Disuelto un kit por método químico basado en titulación por conteo de gotas modelo OX-2P marca HACH. Como se observa en la fotografía Fig. 6a el equipo se ubicó al borde del estanque, y con el apoyo de una vara de madera, los sensores de TA, OD y pH quedaron sumergidos en el agua y más hacia dentro del estanque. También, cerca del estanque se instaló el laboratorio como se muestra en las fotografías de las Figuras 6b y 6c para realizar las mediciones simultáneas. Se optó por las horas nocturnas debido a la existencia de una mayor dinámica en los sistemas acuícolas.



Fig. 6 Instalación y pruebas de funcionamiento del sistema. a) Equipo instalado en una laguna de granja productora de Cachama y Tilapia. b) Equipo usado como patrón para pH y Temperatura. c) Kit de pruebas para comparar los valores de Oxígeno Disuelto

Como la intención del proyecto es probar la aplicabilidad del IoT para el monitoreo de la calidad del agua y la variable de mayor compromiso para la sobrevivencia de las especies acuícolas es el oxígeno disuelto entonces se usó OD para verificar el funcionamiento del sistema y describir el procedimiento a seguir. En el laboratorio se determinó el OD por titulación, y los resultados se compararon con los datos obtenidos del SAD. El procedimiento consistió en que simultáneamente, a las mediciones del sistema se fueron tomando muestras de agua cada 3 horas en botellas de BOD de 300ml. e inmediatamente se le aplicó la titulación de oxígeno disuelto usando el kit Hach. Los resultados tanto de titulación como del SAD para 8 horas de monitoreo son dos curvas superpuestas como se observa en la Fig. 7, mostrando resultados confiables como se evidencia en la curva de correlación de la Fig. 8 con un resultado de correlación de $R^2=0.999$.

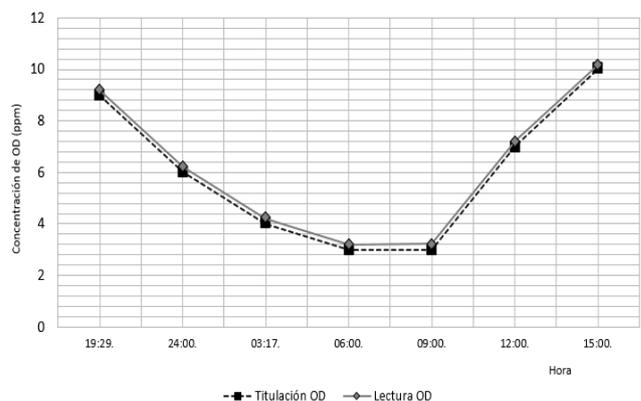


Fig. 7 Curvas de Comportamiento del Oxígeno Disuelto Titulado y Lectura

IV. CONCLUSIONES.

Se construyó un sistema de adquisición y transmisión remota de la calidad del agua basado en IoT para aplicación en la acuicultura. El sistema puede medir pH, OD Fig.10 Curvas a partir de los datos medidos con el SAD de la temperatura del agua y del oxígeno disuelto

Temperatura del agua, Nivel del estanque, humedad relativa, Temperatura del aire e intensidad de la luz. Algunas de las, ventajas que aporta su desarrollo es que permite evaluar la calidad del agua. Además, funciona con energía solar y bajo consumo potencia ya que se usa la opción de sleep. Permite respaldar información en una memoria micro-SD y la transmite vía WiFi a un servidor Web donde está disponible en la nube, así se resuelve el problema de fidelidad de las mediciones, es de bajo costo por estar desarrollado con tecnología Open, soportada por comunidades en Internet, beneficiándose el sector productor acuícola. El sistema fue sometido a pruebas en una granja acuícola y a la intemperie, comparándose los resultados con métodos de monitoreo químico e instrumentos de laboratorio los cuales arrojaron junto a una prueba por 8 horas continuas que el equipo se desempeñó de forma robusta y confiable, respaldando y transmitiendo las mediciones de los sensores y alertando a los responsables de la granja acuícola donde se probó acerca de la magnitud de la variable, permitiéndoles hacer las correcciones inmediatas.

V. TRABAJOS FUTUROS.

Como trabajos futuro se tiene la optimización del hardware para reducir componentes y por lo tanto el consumo de potencia, tales como cambiar a Batería de polímero de litio (LiPo) y rediseñar el panel solar, sustituir la memoria SD por memoria EEPROM, sustituir la sonda de OD por una sonda industrial que soporte estar permanentemente en el agua y especificar el procedimiento de calibración de cada sensor. Además, diseñar algoritmos de control inteligente e incluir dispositivos como dosificadores y oxigenadores para cerrar el lazo de control y así contar con un sistema de monitoreo y control, para finalmente, someter a evaluación el sistema monitoreo y control en una granja acuícola.

AGRADECIMIENTOS: Este trabajo ha sido realizado con el apoyo financiero de la empresa Valaq acuícola, bajo el proyecto “Desarrollo de una unidad de adquisición y transmisión inalámbrica de variables físico-químicas para la empresa: Agrícola Tomoporo C.A.” Se brinda un especial agradecimiento al personal del PROFEI, Decanato de Investigación y Extensión de la UNET por el apoyo logístico prestado para este proyecto.

BIBLIOGRAFIA.

- [1] Visión general del sector acuícola nacional 2005-2018 Venezuela, FAO. http://www.fao.org/fishery/countrysector/naso_venezuela/es
- [2] P. Maiz, L. Valero, y J. Torres, “Importancia del registro de variables físico-químicas en el cultivo de truchas en los andes tropicales,” Mundo Pecuario, vol. 009, no 1, Abril 2013.
- [3] Z. Xiuna, L. Daoliang, H. Dongxian, W. Jianqin, M. Daokun, y L. Feifei, “A remote wireless system for water quality online monitoring

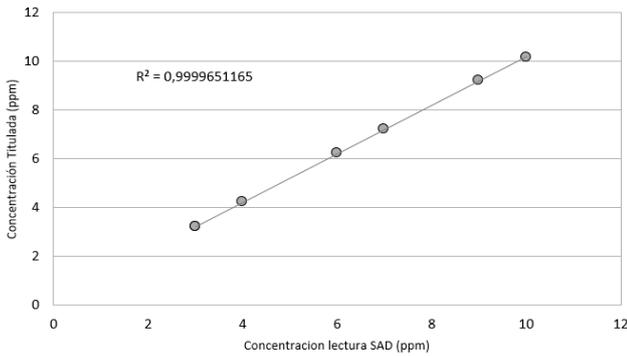


Fig. 8 Correlación entre los valores medidos por titulación y los medidos por el SAD

Además En la Fig. 9 se observan las curvas de temperatura del aire, humedad relativa y en la Fig. 10 la temperatura del agua y oxígeno disuelto construidas a partir de los datos tomados por el SAD, cuyos resultados muestran consistencia con lo esperado teóricamente y medido por otros instrumentos de laboratorio que fueron verificados durante el experimento de forma similar al explicado para el OD. El pH medido por el peachímetro estuvo alrededor de 7,60 y se usó solo para corroborar que los valores transmitidos por el SAD fueran consistentes. El sensor de nivel, se calibró usando como patrón una regla graduada en centímetros, este valor se mantuvo durante el experimento alrededor de 95±2cm tal como se midió con la regla. Finalmente, para el LDR solo se observó y confirmó cualitativamente con los datos tomados por el SAD que variaba el valor de voltaje y por lo tanto de resistencia en función de la cantidad de luz recibida.

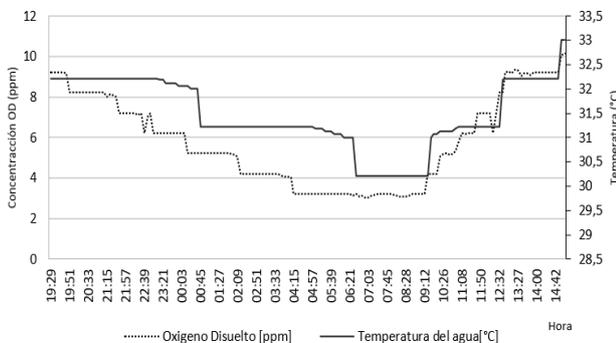


Fig. 9 Curvas a partir de los datos medidos con el SAD de temperatura ambiente y humedad relativa

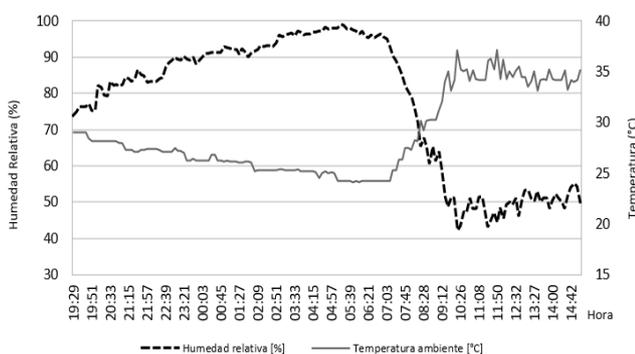


Fig.10 Curvas a partir de los datos medidos con el SAD de la temperatura del agua y del oxígeno disuelto

- in intensive fish culture,” *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 71, Supplement 1, pp. S3-S9, 2010.
- [4] P. Navarro, A. Álvaro, B. Padilla, J. Bestier, B. Prías, y J. Jhon, “Construcción de un Sistema de Instrumentación para la Medición de la Temperatura, pH y Oxígeno Disuelto presentes en la Piscicultura bajo Condiciones de Estanque Artificial,” *Scientia Et Technica*, pp. 401-408, 2013
- [5] J. Adinya, L. Daoliang, “AquaMesh - Design and Implementation of Smart Wireless Mesh Sensor Networks for Aquaculture,” *American Journal of Networks and Communications*, vol. 2, no. 3, pp. 81-87, doi: 10.11648/j.ajnc.20130203.15, 2013.
- [6] J. Huan, X. Liu, H. Li, H. Wang, y X. Zhu, “A Monitoring and Control System for Aquaculture via Wireless Network and Android Platform,” *Sensors and Transducers*, no.169, pp. 250-256, 2014.
- [7] J. Aranda, M. Culman, J. Gómez, L. Garreta, A. Hoyos, D. Parra, L. Quiroz, J. Talavera, y L. Tobon, “Review of IoT applications in agro-industrial and environmental fields,” *Computers and Electronics in Agriculture*, no. 142, pp. 283-297, 2017.
- [8] S. Geetha, y S. Gouthami, “Internet of things enabled real time water quality monitoring system,” *Smart Water*, vol. 2, no. 1, doi: 10.1186/s40713-017-0005-y, Julio 2017.
- [9] S. Kiruthika, S. Raja, y R. Jaichandran, “IoT based automation of fish farming,” *Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems*, no. 9, pp. 50-57, 2017.
- [10] M. Zhang, D. Li, L. Wang, D. Ma, y Q. Ding, “Design and Development of Water Quality Monitoring System Based on Wireless Sensor Network in Aquaculture,” Daoliang Li; Yande Liu; Yingyi Chen. *4th Conference on Computer and Computing Technologies in Agriculture (CCTA)*, Octubre 2010, Nanchang, China. Springer, *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, AICT-347 (Part IV), pp.629-641, Computer and Computing Technologies in Agriculture IV, 2011
- [11] S. Zeenat, y R. SRN, “Design and development of IoT Based Framework for Aquaculture,” *National Conference on Product Design (NCPD 2016)*, Bengaluru, Julio 2016.
- [12] Nodemcu Esp8266.com, 2016.
http://www.esp8266.com/wiki/doku.php?id=nodemcu#devkit_10.
- [13] Módulo DS1307. (2016). Módulo Reloj en Tiempo Real RTC DS1307 - <http://www.vistronica.com/modulos/modulo-reloj-en-tiempo-real-rtc-ds1307-detail.html>.
- [14] L. Llamas, “Leer y escribir en una tarjeta SD o micro SD con Arduino,” *Modulo SD*, 2016. <https://www.luisllamas.es/tarjeta-micro-sd-arduino/>
- [15] Dissolved Oxygen Kit | Atlas Scientific, 2016, Atlas-scientific.com. https://www.atlas-scientific.com/product_pages/kits/do_kit.html
- [16] pH Kit | Atlas Scientific, 2016, Atlas-scientific.com. https://www.atlas-scientific.com/product_pages/kits/ph-kit.html
- [17] Arduino DHT22 (AM2302) Tutorial + Library + WiringWebsite, 2016. <http://www.electroschematics.com/11291/arduino-dht22-am2302-tutorial-library>
- [18] Ultrasonic Ranging Module HC - SR04, 2016.
<http://www.micropik.com/PDF/HCSR04.pdf>
- [19] Waterproof DS18B20 Digital temperature sensor + extras, 2016. <https://www.adafruit.com/product/381>.
- [20] Arduino – Environment, 2016.
<https://www.arduino.cc/en/Guide/Environment#toc1>
- [21] esp8266/Arduino, 2016. GitHub. <https://github.com/esp8266/Arduino>
- [22] M. Álvarez, “Qué es HTML,”
<http://www.desarrolloweb.com/articulos/que-es-html.html>, 2016.