

Implementación de un sistema de monitoreo IoT aplicado a una piscicultura de trucha

Implementation of an IoT monitoring system applied to trout fish farming

Tito Manuel Piamba-Mamian¹
Leidy Estefanía Zambrano²
Luis Alexander Montaña-Ruales³
Francisco Arturo Rojas-González⁴

¹Corporación Universitaria Autónoma de Nariño (Colombia).
Correo electrónico: tito.piamba@aunar.edu.co
orcid: <https://orcid.org/0000-0003-2396-2088>

²Corporación Universitaria Autónoma de Nariño (Colombia).
Correo electrónico: leidy.zambrano@aunar.edu.co
orcid: <https://orcid.org/0000-0003-1971-8146>

³Integrante Grupo de Investigación INMECNAR (Colombia).
Correo electrónico: lucho961007@hotmail.com
orcid: <https://orcid.org/0000-0002-4431-3215>

⁴Estudiante Ingeniería Mecánica. Corporación Universitaria Autónoma de Nariño (Colombia).
Correo electrónico: rojasgonzalezfranciscoarturo@gmail.com
orcid: <https://orcid.org/0000-0001-6452-4418>

Recibido: 08-07-2020 Aceptado: 06-10-2020

Cómo citar: Piamba-Mamian, Tito Manuel; Zambrano, Leidy Estefanía; Montaña-Ruales, Luis Alexander; Rojas-González, Francisco Arturo (2020). Implementación de un sistema de monitoreo IoT aplicado a una piscicultura de trucha. *Informador Técnico*, 85(1), 3-19.
<https://doi.org/10.23850/22565035.2937>

Resumen

La creciente producción de trucha arcoíris en Colombia requiere el aumento de sus procesos productivos. Por ello, se debe incrementar la obtención de ovas y alevinos en las pisciculturas para satisfacer así la demanda del producto final. El mercado actual se divide en la producción de carne y la venta de alevinos, de ahí, la necesidad de implementar un sistema de monitoreo en la etapa inicial de la producción (alevinos), debido a que esta involucra un alto grado de mortalidad ocasionada por su delicadeza y a factores que son desconocidos por el piscicultor, como el valor de pH, temperatura y oxígeno disuelto, entre otros, originando pérdidas económicas y hasta el cierre de sus negocios. Cuando se identifican procesos relacionados con tecnologías e Industria 4.0 “cuarta revolución industrial”, poniendo en marcha componentes de hardware y software, con el fin de fortalecer procesos productivos enfocados a mejorar las necesidades de usuarios, al hablar de tecnologías se generan ideas innovadoras concernientes a grandes fábricas y, por ende, elevados costos en proyectos. Sin embargo, a partir de la transformación digital se han plasmado escenarios en donde se da lugar a modestos propósitos, que aportan un alto retorno de la inversión en vía de optimización de la producción. Por lo anterior, la presente investigación tiene como objetivo principal establecer un modelo de sistema constructivo orientado en la utilización de técnicas *Internet of Things* (IoT), identificando variables en tiempo real como temperatura, oxígeno disuelto, pH que permitan disminuir la mortalidad de la trucha arcoíris en etapas tempranas (ovas, larvas y alevinos), beneficiando así a pequeños productores y satisfaciendo la demanda nacional e internacional.

Palabras clave: ovas; alevinos mortalidad; trucha arcoíris; control; Industria 4.0; plataforma IoT; trucha arcoíris.

Abstract

Colombia, due to the increasing production of rainbow trout sees the need to augment its production processes, therefore, it must improve the production of eggs and fingerlings in fish farms to meet the demand for the final product. The current market is divided into meat production and sale of fingerlings; therefore, it is necessary to implement a monitoring system in the initial stage of production (fingerlings) since this involves a high degree of mortality caused by its delicacy and factors. They are unknown to the fish farmer, causing economic losses and even the closure of their businesses. When processes related to technologies and Industry 4.0 are identified, the “fourth industrial revolution” putting hardware and software components in place to strengthen production processes focused on improving user needs and when talking about technologies, innovative ideas are developed concerning large factories, and therefore, costly economic projects. However, the digital transformation has been reflected in scenarios where specific modes are given, which provide a high return on investment by optimizing production. Because of that, the main objective of this research is to establish a construction system model oriented to the use of *Internet of Things* (IoT) techniques, identifying variables such as temperature, dissolved oxygen, pH, and real-time systems that allow rainbow trout mortality to be reduced in early stages (ova, larvae, and fingerlings), thus benefiting small producers, and satisfying the national and international demand.

Keywords: trout eggs; trout fry; mortality; rainbow trout; control; Industry 4.0; IoT Platform; rainbow trout.

1. Introducción

Según el Ministerio de agricultura, Colombia es considerado como el segundo exportador de trucha fresca y tilapia a Estados Unidos (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2016), siendo Huila el principal departamento en generar mayor producción acuícola con un 46 %, mientras que Nariño y Putumayo aportan menor producción con aproximadamente el 14 % (Ingeniería Asistida por Computador [IAC], 2018), sin embargo, se destacan por la calidad del producto. Esta actividad favorece la generación de nuevos empleos, emprendimiento y disminución de pobreza, debido a la comercialización a nivel mundial que se presenta (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2014). Además de identificar que los recursos pesqueros naturales son limitados y la demanda en acuicultura tendrá que suplir poblaciones a nivel mundial, según (Parra, 2019), la acuicultura está representada por la producción de tilapia, cachama, trucha y camarón, la cual ha tenido un desarrollo elevado. Para el caso de la piscicultura, Colombia ha desarrollado en los últimos años una producción cercana a las 120.230 toneladas en el 2017, con un crecimiento anual del 9 % y generación de empleo del 6 % anual, con 36.069 empleos directos y 108.207 indirectos (IAC, 2018). Sin embargo, cabe resaltar que en el proceso de producción de trucha se ven reflejadas pérdidas económicas, particularmente de la empresa de acuicultura Acuímayo, en donde oscilan entre 80.000 a 100.000 ovas y el promedio normal de pérdidas a través de las etapas corresponde al 30 %, lo que refleja una considerable pérdida económica. Por tanto, se considera importante disminuir el factor de incertidumbre pérdidas, y así aumentar las ganancias del productor.

Debido a la expansión del cultivo de trucha en zonas del departamento de Nariño y Putumayo, se requiere fortalecer las prácticas por medio de recursos técnicos, que permitan mejorar las actividades productivas e incluso ser capaces de relacionar dichas tecnologías, como es el IoT, que se define como el Internet de las cosas (*Internet of Things*) y hacen referencia a la interconexión de objetos cotidianos con internet, está conformado con tecnologías como sensores que permiten conectar el mundo físico con el digital, los datos obtenidos son procesados y convertidos en información (IAC, 2018), e implementarlas en ambientes artificiales, como estanques, que son ambientes de cultivo adecuados para la presente investigación.

La piscicultura Acuímayo Internacional es una microempresa ubicada en la localidad de Sibundoy, en el departamento del Putumayo, Colombia, que se dedica a la comercialización de carne de trucha a partir de

la adquisición de ovas para obtener trucha arcoíris o tipo salmón. En dicha locación, las labores se realizan de forma manual, lo cual genera un control poco eficiente en el manejo y en la pérdida en las etapas de crianza de los mismos. El proceso de levante de truchas inicia desde la etapa de ovas, seguido de larvas, alevinos y su desarrollo en truchas jóvenes y adultas, para terminar en la cosecha y venta al comercio, considerando como las etapas de mayor riesgo e incertidumbre por el alto índice de mortalidad, las ovas, las larvas y los alevinos (FAO, 2014). Esto debido a la sensibilidad a cambios de algunas variables críticas presente en el agua, tales como oxígeno disuelto, temperatura, turbidez y pH que ocasionan un índice de mortalidad mayor al 70 %. Es por ello que, la presente investigación tiene como objetivo implementar un sistema IoT y recolección de datos para el monitoreo de variables críticas, cumpliendo con el objeto de realizar un estudio y la implementación de tecnologías IoT, con el fin de hacer seguimiento a variables que influyen en la mortalidad en las etapas tempranas de crecimiento de esta especie. Además, contar con análisis de datos obtenidos a partir del cual se crea una herramienta de visualización (plataforma IoT) y un sistema de alarma que advierta sobre eventos en tiempo real. Por último, se establece un análisis que destaca las ventajas y desventajas en la implementación de la solución planteada y, de este modo, brinda resultados óptimos que benefician la producción de la empresa.

2. Estado del arte

El término Industria 4.0 surge en el 2011 en Alemania. El propósito de este término se relaciona con el descubrimiento de la fábrica inteligente, una visión de lograr una fabricación digitalizada obteniendo procesos interconectados por medio del Internet de las cosas (IoT). Por lo tanto, se conoce como el siguiente nivel de la revolución industrial, que se enfoca al Internet industrial de las cosas. La Industria 4.0 es la evolución de la industria, es la unión o fusión del proceso industrial con el internet mediante la implementación de componentes inteligentes con características o identidades digitales propias para facilitar su monitoreo, control y mantenimiento a distancia (Basco; Beliz; Coatz; Garnero, 2018). Las tecnologías que actualmente están impulsando esta industria, se basan en sistemas embebidos con características de código abierto y con dispositivos System on Chip (SoC) que es un componente que integra lo necesario para que un sistema funcione. Está compuesto por procesador, memoria RAM, almacenamiento y controladores de entrada y salida. Algunos ejemplos se basan en la integración de microcontroladores con SoC, como Arduino e interfaces Atheros (Arduino Yún) o periféricos, como esp8266 y esp32. Otros dispositivos usados incluyen módulos de procesamiento de señales digitales y gráficos con reducción de instrucciones (RISC) que incluyen un sistema operativo, como Raspberry. El uso de plataformas IoT se caracteriza por que los dispositivos estén interconectados, generando un ecosistema propio. Dicho de otra forma, es el software que conecta el hardware, punto de acceso y redes de datos que, en general, puede ser la interface de usuario (Cárdenas, 2016). A continuación, se indica la aplicación de tecnologías IoT en los procesos de piscicultura.

La comunidad mundial se enfrenta a crear alternativas de alimentación y nutrición a una población creciente con recursos finitos (Dussán; Vanegas; Chavarro; Molina, 2016). Dada esta situación, la Organización Mundial de la Salud (OMS), en la creación de estrategias orientadas a dichas necesidades, opta por recomendar el consumo de pescado como complemento alimenticio a la canasta familiar. A este respecto, Dussán; Vanegas; Chavarro; Molina (2016) en su proyecto de monitoreo de parámetros físico-químicos aplicado a cultivos de tilapia en su etapa de engorde, definen un sistema para determinar la mortalidad presente. Mediante su aplicación móvil concluyeron que la variable que más influyó en la mortalidad fue la variación de oxígeno. Por su parte, Basto; Pinzón (2016) desarrollan un sistema de monitoreo de cultivos de trucha arcoíris, el cual realiza vigilancia y corrección del estado en el hábitat de la especie. Las variables de medición son oxígeno disuelto, caudal y temperatura del agua. Además, para corrección, proponen un método de recirculación de agua. La transferencia de datos se realiza mediante un sistema Global para las telecomunicaciones móviles (GSM) hacia una plataforma web. Por otro lado, Navarro; Padilla; Prías (2013) con su sistema de instrumentación de medición de temperatura, pH y oxígeno aplicado a un estanque artificial, recoge datos en un archivo de texto (txt) para su posterior análisis. En el caso de Polania (2017) propone un sistema de automatización en medianos y pequeños acuicultores, cuyo propósito es analizar el comportamiento de las variables de oxígeno, pH y temperatura

para determinar la mortalidad en alevinos. Con los datos obtenidos y mediante un control fuzzy determina la modulación por ancho de pulso (PWM) que activa la bomba de oxígeno. En cuanto a Rocher; Parra, Taha; Lloret (2017) plantean una red de sensores para el registro de datos de turbidez, temperatura en varios tanques. Utilizando el nodo llamado Flyport que envía los datos a un servidor HTTP para visualizar y crear alertas como un mecanismo de seguridad o control.

La producción de carne de pescado se obtiene a partir de dos componentes: la pesca y la acuicultura. La primera hace referencia a la captura y en la segunda al cultivo. Básicamente, la acuicultura en Colombia está concentrada en cuatro especies. En la denominada continela principal es la tilapia o mojarra, como bien se conoce en el Huila, que es el principal productor nacional acuícola. Le siguen la trucha y la cachama, que de las tres esta última es la única especie nativa (AGRONEGOCIOS, 2015).

En Colombia, los principales departamentos productores son Antioquia, Boyacá y Cundinamarca, sin embargo, en los últimos años se ha extendido al Cauca, Huila, Nariño y Santander, departamentos que aportan menor producción, pero se destacan por su calidad. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2020), de la producción piscícola del país al menos el 15.35 % hace referencia a la trucha, entre tilapia roja y cachama. Con respecto a la piscicultura Acuímano se trabaja con ejemplares de trucha tipo francesa (mezcla de trucha arcoíris y salmo), desde el proceso inicial de cultivo con aproximadamente 500.000 ovas por mes, a través de sus fases de criado: larvas, alevinos, juveniles, de levante y engorde. En este proceso, se presenta la probabilidad estimada de mortalidad desde el 10 % hasta un 80 % reportadas por la empresa. La principal problemática identificada en este contexto es el clima, puesto que ello se refleja en el nivel y la turbidez del cauce que abastece el río San Jorge, de donde se provee este fluido en grandes volúmenes, por lo que, tanto en invierno como en verano se ve afectado el caudal del agua.

La producción de trucha arcoíris u *Oncorhynchus mykiss*, se divide en las siguientes etapas (Martinez, 2012):

Tabla 1.
Etapas de trucha

Etapas	Descripción	Imagen (esta investigación)
Ovas	Considerada la etapa más crítica. Estos huevos fértiles y su eclosión en condiciones normales pueden presentarse entre 10 a 15 días en incubación.	
Larvas	Se considera como la etapa en donde la larva sale del saco vitelino, a partir de aquí, inicia su crianza externa.	

Etapa	Descripción	Imagen (esta investigación)
Alevino	Los peces miden entre 3 a 10 cm, en esta etapa ya tienen características de adulto, son más activos y pueden atrapar sus presas.	 A photograph showing a large number of small, young trout (alevins) swimming in a tank. A white ruler is placed diagonally in the water to provide a scale reference.
Juvenil	Los alevinos pesan en promedio entre 20 a 100 g y su tamaño oscila entre los 10 a 15 cm.	 A photograph showing a large number of juvenile trout swimming in a tank. A ruler is visible in the background to provide a scale reference.
Engorde	Después de los 15 cm se considera apta para la cosecha.	 A photograph of a single, larger trout swimming in a tank, representing the engorde (fattening) stage.

Fuente: Martinez (2012).

Dentro de la producción de trucha se identifican las siguiente variables físicas:

Tabla 2.

Variables físicas

Variable	Descripción
Temperatura	El rango óptimo recomendado para el levante debe estar entre los 10 a 17 °C. Valores inferiores afectan el desarrollo y superiores aumenta la propagación de enfermedades.
Oxígeno disuelto	El valor de concentración de oxígeno recomendado debe ser superior a 5.5 mg/L. Valores inferiores ocasionan efectos de estrés, afectando el crecimiento y causando la muerte del pez.

Variable	Descripción
pH	Se recomienda ambientes acuáticos con pH ligeramente alcalinos. El rango óptimo debe estar entre los 7,0 y 8,0. Valores superiores a 9,0 e inferiores a 6,0 pueden ocasionar enfermedades en las branquias que producen la muerte del pez.
Turbidez	Característica presentada en el agua cuando pierde su transparencia, debido a partículas en suspensión. Estas obstruyen el sistema respiratorio de los peces ocasionando enfermedades en las branquias y la muerte del pez.

Fuente: Instituto del Mar del Perú [IMARPE] (2015).

3. Metodología

Como todo proceso investigativo, según la necesidad, se debe seleccionar la ruta adecuada para encontrar posibles soluciones, por lo tanto, este proyecto está enfocado en investigación descriptiva y de campo. En el transcurso de esta investigación optada como descriptiva, se selecciona un caso de estudio que es la mortalidad en ovas y alevinos. A continuación, se especifica la empresa en donde se adecúa el contexto que permita realizar la investigación de campo. En este caso, la piscicultura Acuímayo facilitó sus instalaciones. Con la necesidad planteada, se procede a la recolección de datos basados en teoría, tales como libros, páginas web, artículos y revistas, entre otras, las cuales permiten identificar qué factores se asocian con el comportamiento y la mortalidad. Luego se clasifica la información y se definen las variables críticas en la crianza de trucha.

En la Figura 1 se presenta un diagrama para una posible solución. En ésta se indican bloques de sensores que captan las variaciones de las variables mencionadas. Las implementaciones de los sensores se realizan en los tanques 1 y 2. Los datos obtenidos pasan al módulo de procesamiento, para dicho caso un Arduino mega. Los datos obtenidos son transformados en información y son visualizados en campo mediante una Liquid Crystal Display (LCD). Para el caso de IoT se agrega el módulo con un SoC 8266 que utiliza protocolo WiFi. Éste se enlaza con Arduino y los datos o información obtenida es enviada a una plataforma IoT para luego ser visualizada por el operario mediante el uso de internet.

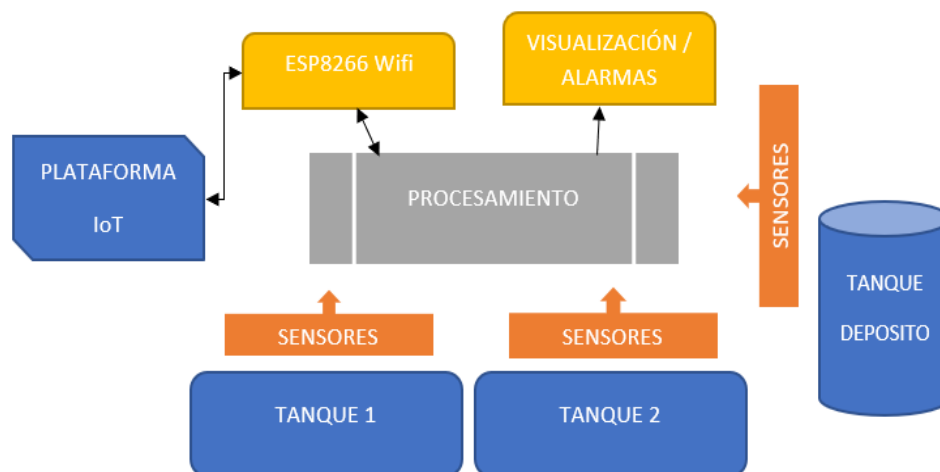


Figura 1. Arquitectura propuesta para la implementación del sistema

Fuente: elaboración propia.

A partir de dicha información, se obtuvo un sistema IoT para el monitoreo de variables de temperatura, oxígeno, pH y turbidez. En la selección de tecnologías para captar datos, visualización y procesamiento, se realizó una comparación de características, precios, facilidad de uso y robustez. Con respecto a la visualización se divide en: campo, donde se utiliza una pantalla LCD que indica el valor medido por los sensores y en el uso de una plataforma IoT. Para el desarrollo de la investigación, se seleccionó un tanque de prueba con alevines (Figura 2) cuya agua provenía directamente del río San Pedro.



Figura 2. Tanques de crianza, empresa Acuímayo
Fuente: elaboración propia.

Luego de determinar el área de trabajo y las variables, se procede a seleccionar los sensores que se describen a continuación.

Temperatura: para la selección de este sensor se define el rango de medición, que sea sumergible en agua y de fácil interpretación de los datos obtenidos, por lo tanto, se seleccionó un sensor digital tipo sonda con referencia 18b20 que se caracteriza por usar material en acero inoxidable. Su rango de medición es de -55 a 125 °C (Figura 3) (Maxim integrated, 2019).



Figura 3. Sensor de temperatura 18b20
Fuente: elaboración propia.

pH: se requiere un sensor con características de trabajo en bajas temperaturas y con aplicaciones en acuicultura y de fácil adquisición, por lo tanto, se selecciona un sensor análogo, con interfaz de calibración y con rango de medición de 0 a 14 (Figura 4) (DFROBOT, 2019a).



Figura 4. Sensor de pH
Fuente: elaboración propia.

Turbidez: para la medición de esta variable, se requiere un sensor para trabajo en ríos, aguas residuales y acuicultura, con un rango de medición entre los 0 a 3000 NTU, donde Nephelometric Turbidity Unit (NTU) es la unidad que mide la turbidez en un fluido y se cuantifican en mg/L o PPM (partes por millón) (Engineering, 2019). Basado en las anteriores características, se selecciona el sensor del fabricante DFROBOT (Figura 5) (DFROBOT, 2019b).

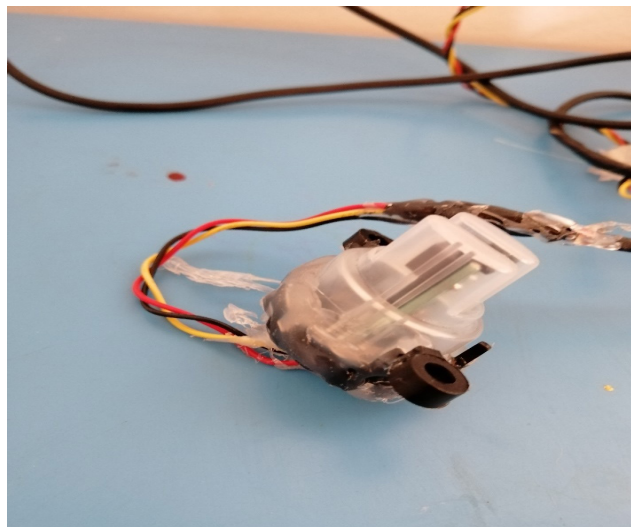


Figura 5. Sensor de turbidez analógico
Fuente: elaboración propia.

Oxígeno disuelto: para la selección del dispositivo de medición, se requiere un sensor que mida la cantidad disuelta de oxígeno y el porcentaje de saturación en el agua. Debe tener aplicaciones en hidroponía, acuicultura y monitoreo ambiental. El sensor que cumple las anteriores características, además de fácil adquisición, es de la empresa ATLASSCIENTIFIC. Su comunicación es de forma digital y su rango de medición es de 0 a 100mg/L y 0,1 a 400 % de saturación (Figura 6) (ATLASSCIENTIFIC, 2019).



Figura 6. Sensor de oxígeno disuelto
Fuente: elaboración propia.

3.1 Adquisición y adecuación de señales

Arduino es una plataforma electrónica de código abierto que se basa en dispositivos hardware y software. Son herramientas didácticas, de fácil uso y es usado en proyectos de investigación por su aplicabilidad. En sus dispositivos hardware, se diferencian en cantidades de pines de entradas y salidas, tipo de comunicaciones y velocidad de procesamiento, entre otras (Arduino, 2019). El módulo de procesamiento seleccionado es la board Mega 2560 (Figura 7). El propósito de esta selección es debido a la velocidad de procesamiento (16Mhz), a sus puertos de comunicación físicos UARTs (comunicación serial RS-232) dado que, en la selección de componentes, su conectividad a hardware requiere de esta comunicación y a sus 54 pines digitales (entrada/ salida). Además, Arduino facilita la obtención de librerías de los sensores y conexión con elementos hardware (Arduino, 2019).

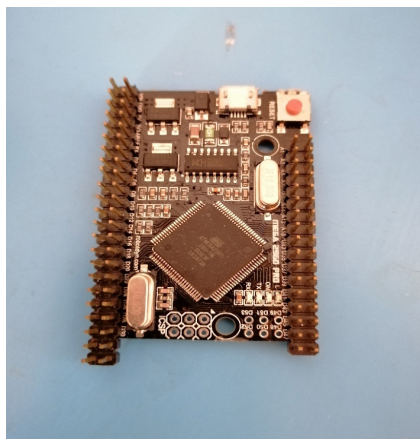


Figura 7. Arduino Mega 2560 en su versión mini
Fuente: elaboración propia.

4. Comunicaciones

Para el uso de IoT, la empresa Acuímayo cuenta con conexión de internet satelital. Además de un router WiFi, por lo tanto, se selecciona el protocolo de comunicación WiFi y este se debe vincular a la board Arduino. Para dicho enlace, se usa el módulo ESP8266 (Figura 8), el cual es un chip WiFi de bajo costo que funciona con el protocolo TCP/IP (Arduino, 2019).

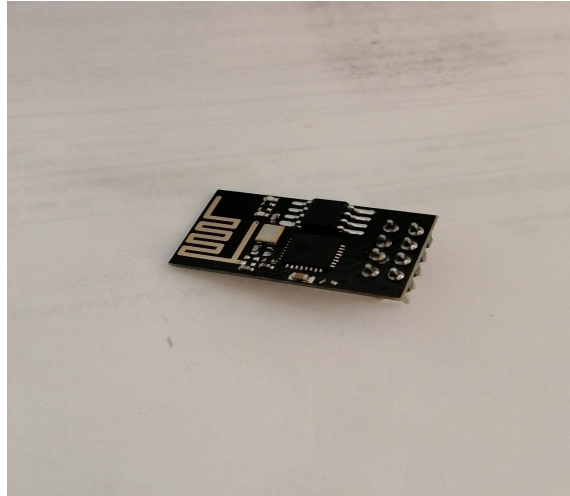


Figura 8. Módulo de comunicaciones WiFi ESP8266
Fuente: elaboración propia.

5. Visualización y plataforma IoT

El sistema utilizó dos métodos como medio de comunicación. El primero usado para la visualización en campo, se basa en el uso de una LCD de 3,5 pulgadas y con comunicación UART como se indica en la Figura 9.



Figura 9. Visualización de datos en campo
Fuente: elaboración propia.

El segundo método de visualización se basa en el uso de plataformas IoT. Para la selección de ésta, se tiene en cuenta la cantidad de dispositivos de conexión, tiempo de adquisición de datos, almacenamiento de datos, forma de visualización y facilidad de uso en su versión demo. La plataforma IoT seleccionada fue ThingsBoard, la cual es una plataforma de código abierto, de fácil uso, que permite un rápido desarrollo,

administración y escalado de proyectos de IoT (ThingsBoard, 2019). Esta plataforma, en su forma de demo, permite la conexión de seis dispositivos y el rango mínimo de recepción de datos es de un segundo. Además, su condición demo no tiene vencimiento en comparación a otras. En la Figura 10 se indica el diseño usado para el monitoreo de variables en la empresa Acuímayo.

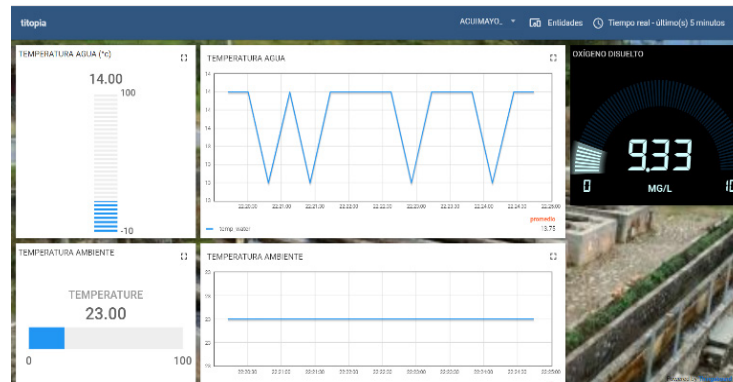


Figura 10. Dash board o plataforma IoT aplicada al monitoreo
Fuente: elaboración propia.

Además, cuenta con el servicio de creación de alarmas y de notificaciones usando Telegram, que es un sistema de mensajería instantánea semejante a WhatsApp. Telegram bot son cuentas de Telegram operadas mediante software y no personas, de las que algunas cuentan con características de inteligencia artificial. En sus funciones se encuentran enseñar, jugar, buscar y transmitir hasta integrarse con servicios o comandos de IoT. En la Figura 11 se indica el uso de Telegram bot como sistema de aviso de alarmas generadas por la plataforma.

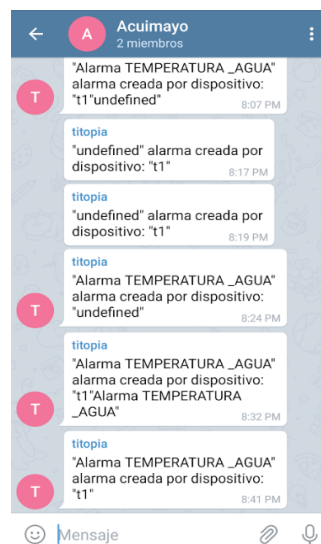


Figura 11. Alarmas mediante la aplicación Telegram
Fuente: elaboración propia.

6. Procesamiento adquisición y calibración

Después de obtener mediciones o datos a partir del uso de los sensores de temperatura, pH, turbidez, humedad y oxígeno disuelto, el paso siguiente es la calibración que consiste en eliminar datos erróneos y obtener datos válidos. Para esto se usa la información suministrada por los fabricantes y se realiza un muestreo de datos para eliminar datos (de valor más alto y bajo) y reducir el error de medición. Un ejemplo de estos es la adecuación del sensor de turbidez cuya interpretación se relaciona con unidades NTU y se cuantifica en mg/L o PPM, donde el rango está entre los 0 y 3000 NTU (de menor a mayor turbidez) (Engineering, 2019). La ecuación de segundo orden que representa las relaciones entre turbidez y voltaje (Ecuación 1 tomada de Engineering, 2019) es:

$$y = -1120.4x^2 + 5742.3x - 4352.9$$

Donde y corresponde al voltaje entregado por el sensor, y la variable x a unidades NTU (Figura 12).

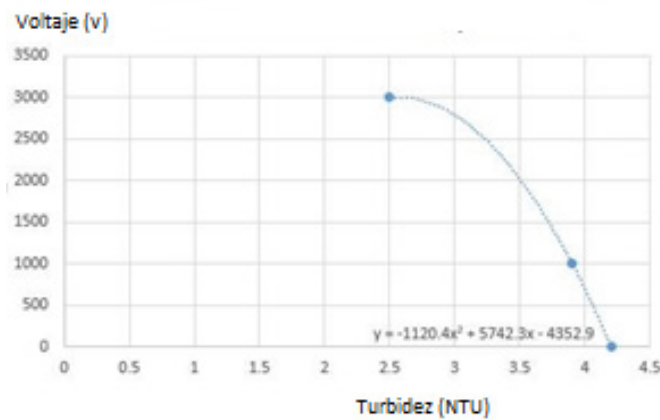


Figura 12. Relación entre turbidez y voltaje
Fuente: adaptado de DFROBOT.

7. Resultados

Al incursionar en el sector acuícola, en especial en la empresa Acuímayo, se da a conocer cómo tradicionalmente o de forma empírica tratan de mejorar sus procesos mediante el método de ensayo y error, el cual puede obtener beneficios a largo plazo y otras pérdidas parciales o totales de sus cultivos de trucha. Para solventar esta situación, se instala un sistema IoT que monitoree las variables de temperatura del agua y ambiente, humedad ambiente, oxígeno disuelto, turbidez y pH en la etapa de alevinos (Figura 13).



Figura 13. Sistema de monitoreo implementado en tanque de alevinos
Fuente: elaboración propia.

El sistema instalado presentó la siguiente información: la temperatura de agua no varía y se mantiene en el rango ideal para alevinos (11 a 13 °C). La turbidez del agua aumenta, debido a factores naturales ocasionados por lluvias o deslizamientos. Esto causa taponamiento de tuberías con lodo, por lo tanto, ocasiona muerte a alevinos por la obstrucción en sus branquias (suciedad), por la reducción de oxígeno o por la falta de alimentación, debido a que no pueden ver el alimento. Con el sensor de turbidez, se generan alarmas tempranas para reducir la mortalidad mediante un sistema de recirculación. En la Figura 14 se muestra el agua turbia que llega a los estanques de crianza.



Figura 14. Tanque de alevinos con aumento de turbidez en el agua
Fuente: elaboración propia.

Con el sensor de oxígeno, se monitorea la conservación de las condiciones ideales. La medición obtenida osciló entre los 8,0-9,5 mg/L. La población en promedio en cada tanque es de 100.000 alevinos, debido a factores como desbordamientos del río, la turbidez aumenta ocasionando una mortalidad entre un 20 % y 50 % (Figura 15).



Figura 15. Mortalidad de alevinos debido a la turbidez del agua
Fuente: elaboración propia.

El método de corte de agua principal en el caso de aumento de turbidez (cierre de válvulas), también ocasiona un porcentaje de mortalidad. Esta incertidumbre ha estado presente en la empresa, debido a que era una posible solución para evitar que el lodo ingresará a los estanques. Para determinar la posible causa,

se realizó la siguiente prueba: al iniciar la prueba se registra un valor inicial de 9,5mg/l de oxígeno, luego se suspende la fuente principal de agua en un estanque. Posteriormente, pasados 20 minutos la medida de oxígeno fue de 7,22 mg/L (límite mínimo recomendado), por lo cual se deduce que la falta de oxígeno ocasiona la mortalidad, debido a que Acuímayo corta la fuente de agua por más de 60 minutos (duración de la turbidez). La solución inmediata fue la implementación de un sistema (*blower*), que consiste en un soplador de aire que, mediante mangueras y difusores (Figura 16), se distribuye a cada tanque para crear burbujas de aire y aumentar el tiempo de oxigenación en el tanque. Al instalar este sistema se obtuvo que el oxígeno se restableció en niveles entre los 6.9 mg/L y 7.2 mg/L, lo cual disminuyó la mortalidad, garantizando que este sistema redujera la turbidez. Inicialmente la medida fue de 1965 NTU, pero con el sistema blower se redujo en 973 NTU.



Figura 16. Implementación de *blower* y membrana para producción de burbujas de aire
Fuente: elaboración propia.

El comportamiento de alevinos en estado inicial (9,5 mg/L), se distribuía en el tanque y era estacionario (Figura 17). Sin embargo, mientras el oxígeno se reducía, el comportamiento cambió y era más lineal (Figura 18). En próximos trabajos se pueden incluir métodos con visión artificial u otros procedimientos para detectar la ausencia de oxígeno.



Figura 17. Comportamiento de alevinos con 9,5 mg/L oxígeno
Fuente: elaboración propia.



Figura 18. Comportamiento de alevinos con 7,2 mg/L oxígeno
Fuente: elaboración propia.

Los datos obtenidos por los sensores (Figura 19), fueron almacenados en un servidor de la plataforma, con el propósito de crear un Bigdata y según el análisis obtenido, desarrollar la etapa de control del sistema.

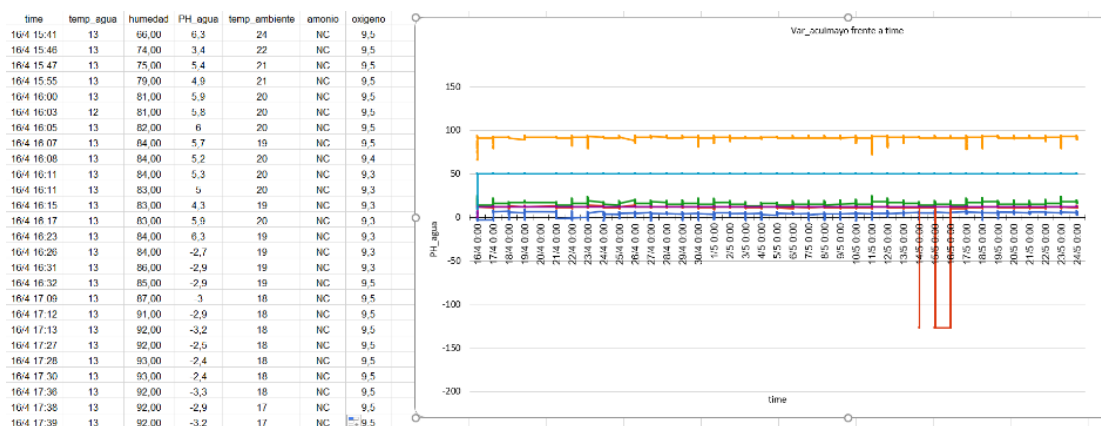


Figura 19. Datos de los sensores almacenados en la nube
Fuente: elaboración propia.

8. Conclusiones

La implementación de distintas estrategias para la toma y el análisis de variables que afectan el entorno y desarrollo acuícola, brindan la oportunidad de generar estabilidad dentro de las empresas en desarrollo. Además, permite contar con tecnología de última generación a un bajo costo, siendo los componentes que integran el sistema de fácil disponibilidad en el mercado actual. Los resultados obtenidos, a pesar de un costo inicial, y la introducción de nuevas tecnologías al proceso acuícola, hacen que esta inversión se vea compensada con la reducción en la mortalidad de truchas, disminuyendo los costos de producción y pérdidas económicas. Al implementar soluciones tecnológicas de cuarta revolución, se puede considerar que el factor de conectividad a internet es un inconveniente importante, como en el caso de la empresa Acuímayo que utiliza conexión satelital deficiente.

Según los resultados mostrados, y con el propósito de reducir la mortalidad y disminuir las pérdidas económicas en la empresa Acuímayo, surgen soluciones que permiten conocer, monitorear y mejorar los entornos

de desarrollo de la trucha arcoíris, con la finalidad de implementar sistemas de automatización, como el control de recirculación de agua mediante el monitoreo de turbidez, o el sistema de aireación mediante la activación del *blower*. La introducción de avances tecnológicos, como la monitorización remota mediante plataformas IoT, ha facilitado la vigilancia por parte de los encargados del cuidado de la trucha, incluso, en horario nocturno. Además, se logra observar que el comportamiento de los alevinos en los estanques varía de acuerdo a la cantidad de oxígeno presente. A mayor cantidad de oxígeno se distribuyen circularmente en el estanque, mientras que a menor cantidad de oxígeno su desplazamiento se presenta de forma lineal. Se considera en próximas etapas del estudio la implementación de estrategias para controlar las variables monitoreadas actualmente en dicha piscícola.

Referencias

- AGRONEGOCIOS (2015). *Piscicultura en Colombia crece a un promedio anual de 7 %*. Recuperado de: <https://www.agronegocios.co/ganaderia/piscicultura-crece-a-un-promedio-anual-de-7-2621457>
- ATLASSCIENTIFIC (2019). *Dissolved Oxygen Kit*. Recuperado de: https://www.atlas-scientific.com/product_pages/kits/do_kit.html
- Arduino (2019). *ARDUINO MEGA 2560*. Recuperado de: <http://arduino.cl/arduino-mega-2560/>
- Basco, Ana; Beliz, Gustavo; Coatz, Diego; Garnero, Paula (2018). *Industria 4.0: Fabricando el Futuro*. Buenos Aires, Argentina: Inter-American Development Bank. <http://dx.doi.org/10.18235/0001229>
- Basto, Ana; Pinzón, Julian (2016). *Sistema de control para un hábitat estable de truchas arcoíris* (tesis de pregrado). Universidad Católica de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Cárdenas, Álvaro (2016). *¿Qué es una plataforma IoT?* Recuperado de: <https://secmoti.com/plataforma-iot/>
- DFROBOT (2019). *Analog pH Sensor*. Recuperado de: <https://www.dfrobot.com/product-1110.html?search=pH&page=2>
- DFROBOT (2019b). *Analog Turbidity Sensor for Arduino*. Recuperado de: <https://www.dfrobot.com/product-1394.html?search=turbi>
- Dussán, Sergio; Vanegas, Oscar; Chavarro, Adrián; Molina, Johan (2016). Diseño e implementación de un prototipo electrónico para monitoreo de parámetros físico-químicos en cultivo de tilapia a través de una aplicación móvil. *Informador Técnico*, 80(1) 49-60. <https://doi.org/10.23850/22565035.32>
- Engineering (2019). *¿Qué es la NTU?* Recuperado de: <https://www.tecnconverting.es/articulos-tecnicos/que-es-la-ntu/>
- FAO (2014). *Manual práctico para el cultivo de la trucha arcoíris*. FAO: Guatemala.
- FAO (2020). *National Aquaculture Sector Overview. Visión general del sector acuícola nacional*. Colombia. Recuperado de: http://www.fao.org/fishery/countrysector/naso_colombia/es
- IAC (2018). *¿Qué es IoT?* Recuperado de: <https://www.iac.com.co/que-es-iot/>

- Instituto del Mar del Perú (2015). Guía para la incubación y alevinaje de trucha arcoíris *Oncorhynchus mykiss*. *Serie de Divulgación Científica*, 1(3). 1-73. Martínez, Antonio (2012). *Evaluación de cría, levante y engorde de trucha arcoíris*. Recuperado de:
<https://www.monografias.com/trabajos96/evaluacion-cria-levante-y-engorde-trucha-arcoiris-colombia/evaluacion-cria-levante-y-engorde-trucha-arcoiris-colombia.shtml>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2016). *Colombia se afianza como el segundo exportador de trucha y tilapia a Estados Unidos*. Recuperado de:
<https://www.minagricultura.gov.co/noticias/Paginas/colombia-se-afianza-como-exportador-de-trucha-y-tilapia.aspx>
- Maxim integrated (2019). *Sensors*. Recuperado de:
<https://www.maximintegrated.com/en/products/sensors.html>
- Navarro, Álvaro; Padilla, José; Prías, Jhon (2013). 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*, 18(2), 401-408.
<https://doi.org/10.22517/issn.2344-7214>
- Parra, Jair (2019). *En noviembre Llegará a Islandia la primera Exportación de Tilapia Colombiana*. Recuperado de:
<https://sioc.minagricultura.gov.co/Acuicultura/Pages/default.aspx>
- Polania, Néstor (2017). *Propuesta de automatización para proceso piscícola*. Recuperado de:
<http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/6435/1/PolaniaVargasNestorEduardo2017.pdf>
- Rocher, Javier; Parra, Lorena; Taha, Miran; Lloret, Jaime (2017). Diseño de una red de sensores para monitorizar una instalación acuícola. *XIII Jornadas de Ingeniería Telemática - JITEL2017* (pp. 48-54). Valencia, Spain.
<http://doi.org/10.4995/JITEL2017.2017.6623>
- ThingsBoard (2019). *ThingsBoard Documentation*. Recuperado de:
<https://thingsboard.io/docs/getting-started-guides/what-is-thingsboard/>