



## IMPLEMENTACIÓN DE NUEVAS TECNOLOGÍAS EN LA ACUICULTURA

### IMPLEMENTATION OF NEW TECHNOLOGIES IN AQUACULTURE

Yulieth N. Guevara-Portilla <sup>a</sup>, <https://orcid.org/0000-0002-3587-4731>

Richard A. Terán-López <sup>b</sup>, <https://orcid.org/0000-0002-9360-5775>

Angie N. Achicanoy Tulcán <sup>a</sup>, <https://orcid.org/0000-0002-5962-5676>

Yemall Maigual Enriquez <sup>c</sup>, <https://orcid.org/0000-0002-9873-2538>

<sup>a</sup> Ingenieros en Producción Acuícola, Universidad de Nariño, Departamento de Recursos Hidrobiológicos Pasto, Colombia. [yulinatha9705@gmail.com](mailto:yulinatha9705@gmail.com), [angie.a0103@gmail.com](mailto:angie.a0103@gmail.com)

<sup>b</sup> Estudiante de Ingeniería en Producción Acuícola, Universidad de Nariño, Departamento de Recursos Hidrobiológicos Pasto, Colombia. [richardteran29so@gmail.com](mailto:richardteran29so@gmail.com)

<sup>c</sup> Ingeniero en Producción Acuícola, M.Sc, PhD, Universidad de Nariño, Universidad Cooperativa de Colombia, Pasto, Colombia. [alex.eng@udenar.edu.co](mailto:alex.eng@udenar.edu.co)

Recibido: 16-02-2022

Aceptado: 02-05-202

---

### RESUMEN

La acuicultura es uno de los sistemas productivos con más rápido crecimiento a nivel mundial, por lo cual se ha impulsado el desarrollo de nuevas tecnologías que logren optimizar el proceso productivo y ahorrar costos operacionales en la industria. Una de las herramientas implementadas son los sistemas de inteligencia artificial que permiten que los productores tengan un mayor conocimiento de aquello que pasa bajo el agua, este tipo de innovaciones dentro del sector acuícola asegura el bienestar de los peces y la eficiencia de las operaciones. En la actualidad dispositivos de hardware como los sensores son de gran relevancia en la medición de parámetros y monitoreo de las condiciones ambientales dentro de la actividad, compuestos por sistemas de tres nodos; nodo sensor, nodo coordinador y nodo de publicación, con un programa de monitoreo que despliega los valores obtenidos y emite alertas cuando se rebasen los límites de referencia especificados. En el mercado tecnológico también se encuentran los sensores remotos capaces de ubicar e identificar áreas marinas productivas, características del hábitat, patrones de migración y áreas de actividad pesquera. Igualmente existen los nanomateriales y las nanotecnologías aplicados en ciencias analíticas, esta implementación de biosensores en ambientes controlados y ambientes reales permite caracterizar el comportamiento alimentario y la sanidad de los organismos. Otro dispositivo innovador que se ha sumado a la nueva era de la acuicultura y tecnología son los Drones, dispositivos de múltiples funciones, de bajo costo y no tripulados, idóneos para ambientes marinos, pesqueros y acuícolas, capaces de desplazarse por grandes extensiones de cultivo recopilando información y realizando tareas específicas de reparación, control y monitoreo, contrarrestando así costos de mano de obra.

**PALABRAS CLAVES:** Inteligencia artificial, sensor, algoritmo, modelado de datos, RPAS (Vehículo aéreo no tripulado), ROV (Vehículo operado remotamente).

## ABSTRACT

Aquaculture is one of the fastest growing production systems worlds, which has propelled the development of new technologies has been promoted for optimising the production process and save operational costs in the industry. One of the tools implemented are artificial intelligence systems that allow producers to have a better knowledge about that happens underwater, this type of innovations within the aquaculture sector ensures the animal welfare of the fish and the efficiency of operations. Currently, hardware devices such as sensors are of relevance in measuring parameters and monitoring environmental conditions within the activity, made up of threenode systems; sensor node, coordinator node and publication node with a monitoring program that displays the values obtained and alerts when the specified reference limits are exceeded. In the tech market there are also remote sensors capable of locating and identifying productive marine areas, habitat characteristics, migration patterns and areas of fishing activity. There are also nanomaterials and nanotechnologies applied in analytical sciences, this implementation of biosensors in controlled environments and real environments allows characterizing the food behavior and health of organisms. Another innovative device that has joined the new era of aquaculture and technology are drones, multi-function, low-cost and unmanned devices, optimal for marine, fishing and aquaculture environments, capable of moving through large areas of culture collecting information and performing specific repair, control and monitoring tasks, thus counteracting labor costs.

**KEY WORDS:** Artificial intelligence, sensor, algorithm, data modeling, RPAS (Remotely Piloted Aircraft System unmanned), ROV (Remotely Operated Vehicle).

## INTRODUCCIÓN

La acuicultura es uno de los sistemas productivos con más rápido crecimiento a nivel mundial, se estima que la producción global de pescado ha alcanzado unos 179 millones de toneladas en 2018 <sup>[1]</sup>. Los avances científicos y tecnológicos han beneficiado a casi todos los aspectos de la acuicultura, contribuyendo eficazmente a la producción y al crecimiento en escala de la actividad en casi todo el mundo. Estas tecnologías permiten acceder a la información en tiempo real, lo cual permite la optimización de tiempo, costos, la disminución de errores sistemáticos, mantenimiento, soporte y muestreo de múltiples parámetros. En este sentido su aplicabilidad se ha aprovechado para implementar procesos que mantengan información actualizada, real y precisa sobre el estado de los factores que se deben vigilar en la producción acuícola <sup>[2]</sup>.

En estos sistemas, uno de los principales factores a tomar en cuenta para lograr una mayor productividad es la calidad del agua

en las unidades de cultivo; esta afecta directamente la salud y crecimiento de los organismos cultivados. La calidad óptima del agua utilizada varía según las especies cultivadas y debe monitorearse y controlarse constantemente para asegurar un ambiente adecuado para cultivar cualquier especie <sup>[3]</sup>.

En la actualidad la recolección y procesamiento de datos se realiza de forma manual e involucra la participación de recursos materiales y humanos. La interpretación de los resultados obtenidos sobre los parámetros físico-químicos del agua, le permite determinar al personal si la especie se está desarrollando en un ambiente apropiado <sup>[4]</sup>. La implementación de estos dispositivos en zonas rurales o producciones de baja escala ha tenido menor participación, debido a la falta de canales de acceso a tecnologías como son las redes inalámbricas y la conectividad.

Otros dispositivos como los Drones de navegación aérea y marina garantizan el control y vigilancia de los cultivos a gran escala enviando datos en tiempo real para su análisis. Así mismo, la implementación de sensores ha logrado optimizar el tiempo de muestreo en las unidades de cultivo y brinda una visión del estado de salud de los animales <sup>[5]</sup>.

Por lo tanto, este artículo se fundamenta en ofrecer una revisión literaria de los sistemas de monitoreo y las nuevas tecnologías en la acuicultura tales como el uso de sensores y drones, de su aplicabilidad dentro de los procesos productivos acuícolas y la importancia de estas herramientas para el crecimiento a futuro de la industria de acuícola.

## ACUICULTURA INTELIGENTE

Con el desarrollo continuo de la ciencia y la tecnología, la inteligencia y la informatización en la acuicultura se ha convertido en una nueva tendencia. La acuicultura inteligente no solo puede realizar el monitoreo, la predicción, la advertencia y el control de riesgos en tiempo real de los factores físicoquímicos y microbiológicos del entorno de la acuicultura, sino que también puede realizar un monitoreo en tiempo real de las características y comportamientos de los organismos en el cultivo, lo que infiere los cambios del entorno ecológico. La acuicultura inteligente está formada por la integración profunda de la inteligencia artificial, la tecnología de Internet de las cosas y la acuicultura tradicional <sup>[6]</sup>.

### Inteligencia artificial

Estudia el desarrollo de sistemas que imitan la inteligencia de los humanos y de otros seres vivos; las cuatro principales áreas de trabajo son: <sup>[7]</sup>.

**1. El aprendizaje de máquinas (machine learning: ML).** Imita la capacidad de aprendizaje de los humanos y de otros seres vivos, las máquinas pueden aprender a partir de datos o de la experiencia mediante diferentes tipos como: **a) aprendizaje supervisado:** Permite desarrollar análisis predictivos de eventos futuros, por ejemplo, predecir clima, ventas, enfermedades y crecimiento de animales; **b) aprendizaje no**

**supervisado:** Descubre patrones y tendencias mediante la búsqueda de similitudes, análisis de los componentes principales, estadística, visualización (gráficas), interpretación, selección de técnicas, extracción y relación de características reales para la toma de decisiones; por ejemplo: permite la clasificación de alimentos basados en sus componentes nutricionales para los microorganismos, tipos de suelos, tipos de peces; **c) aprendizaje semi-supervisado:** realiza tareas predictivas cuando se tiene pocos datos disponibles para modelos supervisados y por el contrario se tienen muchos datos disponibles para modelos no supervisados, por ejemplo, el estudio de bacterias ya computarizadas. Un experto podrá etiquetar algunos puntos en las exploraciones para cualquier enfermedad, mientras que es difícil etiquetar todas las exploraciones; **d) Aprendizaje profundo:** es utilizado por las redes neuronales para datos complejos como imágenes y textos: por ejemplo, los investigadores están usando a los peces cebra como modelo animal ya que cuentan con una gran similitud neurobiológica con los seres humanos al momento de padecer el Alzheimer; y **e) el aprendizaje por refuerzo:** ha sido convencionalmente usado en los videojuegos como una inferencia basada en la experiencia de tipo premio/castigo, por ejemplo: la creación de un videojuego de especies marinas y continentales <sup>[8]</sup>.

2. **El procesamiento de lenguaje natural (natural language processing: NLP).** Imita la capacidad de comunicación por texto y por habla Baclic, et al<sup>[9]</sup>, se han desarrollado diversas tareas en el NLP como clasificación de texto, agrupación de texto, extracción de información, modelamiento de temas, donde se deben resolver algún tipo de ambigüedad relacionada con el contenido contextual de una colección de documentos, pudiendo aplicarse múltiples algoritmos de clasificación, así como técnicas y estrategias de combinación de sistemas.

3. **La visión artificial.** Imita la capacidad de tomar decisiones a partir de imágenes o videos<sup>[10]</sup>. Algunos ejemplos son las cámaras inteligentes, reconocimiento de rostros y supervisión de cultivos inteligentes mediante cámaras.

4. **La robótica.** Imita el movimiento y comportamiento de los humanos y de otros seres vivos, dotando a los robots de la capacidad de tomar decisiones con inteligencia para desarrollar diferentes tareas<sup>[11]</sup>.

### **Internet de las cosas (Internet of Things: IoT)**

Internet de las cosas (IoT) es relativamente nuevo en la acuicultura, es capaz de conectar big data (es decir, una gran cantidad de transmisión de datos) en toda la

industria de la acuicultura. Esta tecnología brinda nuevas oportunidades debido a que permite recolección de datos de granjas, lugares de producción y fábricas de procesamiento de alimentos<sup>[12]</sup>.

Existen beneficios de aplicar la tecnología IoT en la industria acuícola: 1) las condiciones ambientales en los sitios de acuicultura se pueden monitorear de manera efectiva en tiempo real y con mayor cobertura mediante la incorporación de cámaras y sensores subacuáticos en múltiples unidades de producción; 2) IoT en combinación con el aprendizaje automático con datos adquiridos a lo largo del tiempo se puede aplicar para generar modelos predictivos; estos modelos predictivos darán como resultado la toma de decisiones mejores y precisas, lo que permite alertas oportunas de posibles riesgos. IoT con soluciones de big data puede revolucionar la industria de la acuicultura haciéndola más productiva, sostenible y rentable, más segura y más fácil de gestionar los riesgos<sup>[12]</sup>

**Análisis de datos.** El análisis de datos consiste en someter los datos a la realización de operaciones. Esto se hace con la finalidad de obtener conclusiones precisas que ayuden a alcanzar los objetivos propuestos, dichas operaciones no pueden definirse previamente ya que la recolección de datos puede revelar ciertas dificultades<sup>[13]</sup>.

## **SENSORES**

Los sensores son dispositivos electrónicos que hacen el trabajo crítico de los procesos de monitoreo, mediciones y recolección de datos. Son piezas fundamentales en las que las personas piensan al imaginar el IoT. Un sensor convierte el parámetro físico o químico en una señal que puede ser medida eléctricamente. Las características a considerar cuando se elige un sensor son:

precisión, costo, condiciones ambientales, alcance, calibración y consumo de energía<sup>[8]</sup>.

Actualmente, en la actividad acuícola una gran cantidad de sensores inteligentes con un completo protocolo de comunicación permite un moderno desarrollo de los diferentes procesos

productivos. Estos sistemas pueden representar la variabilidad de las condiciones presente en el agua dentro de los sistemas de cultivo acuícola. Varios prototipos y sistemas se han desarrollado para medir parámetros de calidad del agua, examinar la sanidad de los organismos y supervisar unidades de cultivo e infraestructura de los sistemas acuícolas, todo esto con la finalidad de mejorar de manera eficiente las producciones [14].

### Descripción

Generalmente estos sistemas están compuestos por tres nodos: **a) nodo sensor:** integra sensores y microcontroladores,

radio tranceptor, los cuales censan la calidad del agua. Esta información es transmitida por un protocolo de comunicación inalámbrica llamada ZigBee que hace uso de ondas de radio de baja energía para permitir que ciertos dispositivos se comuniquen entre sí, y a través de este canal transmite estos datos al nodo coordinador; **b) el nodo coordinador:** recibe y extrae el paquete de datos transmitido y los descarga en una computadora personal (PC) para su almacenamiento y visualización; **c) en el nodo de publicación:** los usuarios podrán consultar los parámetros censados en una PC mediante una interfaz gráfica de ventana [14].

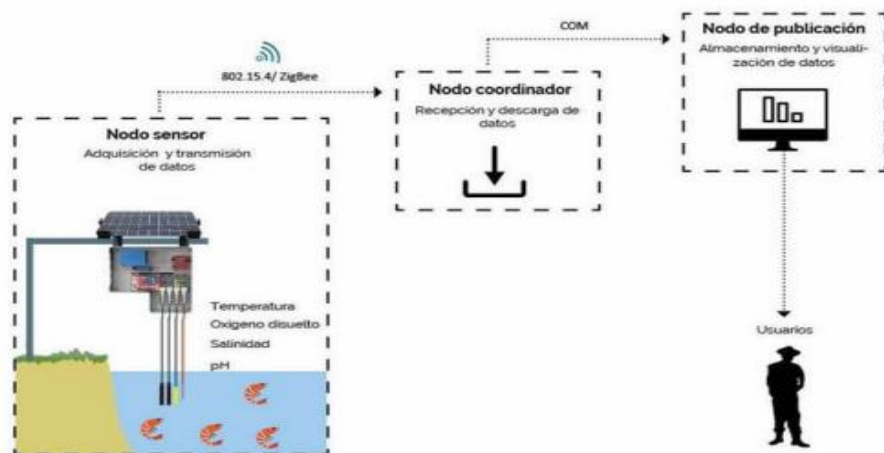


Figura 1. Descripción general de los módulos del sistema [14].

### Principales parámetros físicoquímicos y su impacto

Los parámetros físicos, incluido el oxígeno disuelto (OD), la temperatura, el pH, la salinidad, la turbiedad y los compuestos nitrogenados, son los parámetros básicos que deben monitorearse y controlarse en un sistema acuícola [15].

Especial importancia tiene en piscicultura industrial el contenido de compuestos nitrogenados, pues algunos de ellos, tales como el amoníaco y los nitritos, tienen carácter tóxico. Estos compuestos se originan en estanques como productos del

metabolismo de los organismos bajo cultivo y son liberados durante la descomposición que hacen las bacterias sobre la materia orgánica animal o vegetal. Las fluctuaciones en estos parámetros afectarán directamente la salud de los animales, su reproducción, las tasas de crecimiento y la capacidad de carga [16].

Cuando la temperatura está cerca de su tolerancia máxima esta fluctúa repentinamente, afectando el patrón de alimentación y el crecimiento de los peces; generalmente experimentan estrés y brotes de enfermedades. Por lo tanto, el nivel de OD en el agua y la cantidad de oxígeno

consumido, está directamente relacionado con el tamaño de los peces, la tasa de alimentación, la calidad del alimento suministrado, el nivel de actividad y la temperatura de la unidad productiva <sup>[17]</sup>.

La concentración de OD presente en la unidad productiva es el parámetro más importante en la calidad del agua. Sin el suficiente OD disuelto en el agua, los organismos pueden ser vulnerables a enfermedades, parásitos, o morir por hipoxia. El pH juega un papel muy importante con respecto al amoníaco que es un producto muy tóxico, el cual en pH ácido se transforma en ion amonio (forma ionizada) que representa una forma menos tóxica, ya que en altas concentraciones puede ser mortal. Lo contrario ocurre en pH alcalinos, donde la presencia de amonio no ionizado, se convierte en un problema de relevancia para la supervivencia del cultivo <sup>[18]</sup>.

El proceso frente a los compuestos nitrogenados se debe a la acción de bacterias aeróbicas, como *Nitrosomonas*, responsables del paso de amoníaco a nitritos, y bacterias como *Nitrobacter*, responsable del paso de nitrito a nitrato. La desnitrificación de nitratos a nitrógeno y salir del agua como un gas disuelto, puede llevarse a cabo por una variedad de bacterias como *Pseudomonas*, *Archromobacter*, *Alcaligenes*, *Bacillus*, *Hyphomicrobium*, *Chromobacterium*, *Halobacterium*, *Moraxella*, *Micrococcus*, *Neisseria*, *Paracoccus*, *Azospirillum*, *Rhodopseudomonas*, *Proteus*, *Thiobacillus*, *Vibrio*, *Xanthomonas* y *Klebsiella*, *Alcaligenes*, *Paracoccus*, *Thiosphaera* <sup>[19]</sup>, <sup>[20]</sup>, <sup>[21]</sup>. El incremento del pH y de la temperatura incrementa el porcentaje de

amoníaco no ionizado y por consiguiente su toxicidad.

### Redes de sensores inalámbricas

Tradicionalmente, la calidad del agua en las granjas acuícolas es medida periódicamente en el mismo lugar empleando sensores manuales como por ejemplo las sondas multiparamétricas. Si bien, los instrumentos o sensores portátiles pueden proporcionar mediciones en el mismo lugar siendo recopiladas de forma inmediata por parte del personal. La variación de cualquier parámetro clave fuera del rango, seguro puede ocurrir fuera de las horas de trabajo. Cuando la situación negativa persiste, dará lugar a efectos indeseables, como deficiente crecimiento, susceptibilidad a enfermedades o comportamiento anormal de los peces <sup>[22]</sup>.

Los avances en las diferentes Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC), junto con el desarrollo de sensores pequeños de bajo costo han incrementado la factibilidad de monitorear numerosos parámetros juntos a través de redes de sensores inalámbricos. La información recopilada es desplegada en una computadora o enviada en la forma de mensaje a los productores en tiempo real.

La implementación de sensores en la acuicultura se aplica en sistemas de adquisición de datos aplicados en ambientes controlados y ambientes reales, capturando datos de audio y de video para caracterizar el comportamiento alimentario de los peces. Dicha información es almacenada en una base de datos Mysql, y con las herramientas WavePad, Audacity y Matlab se captura, analiza y se realiza el procesamiento de la información recolectada <sup>[23]</sup>.

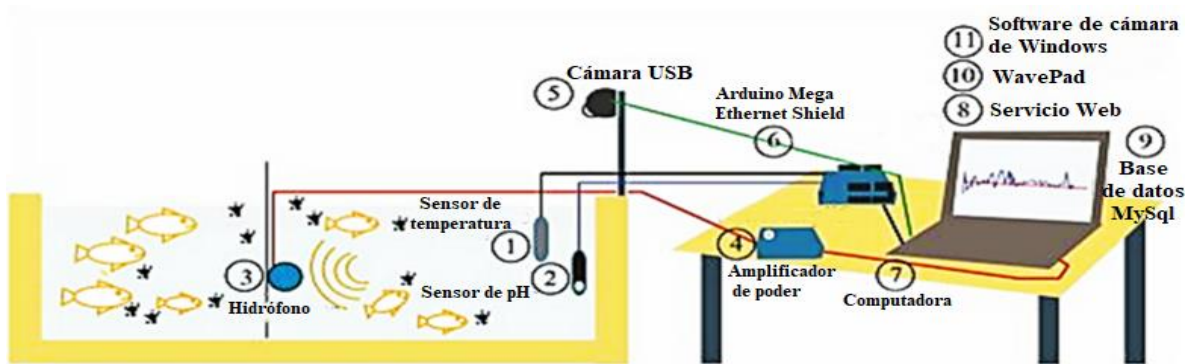


Figura 2. Adquisición de datos de un sistema acuícola [23].

### Sensores usados en estudios de zonas marinas y costeras

Se pueden clasificar en tres grupos de acuerdo con la resolución y especificaciones técnicas: - a) **Sensores de baja resolución espacial mayor de 100 metros:** Las imágenes provenientes de estos sensores ofrecen cobertura de grandes áreas y mayor resolución temporal. La resolución espacial es generalmente cerca de 1 km<sup>2</sup> y en general no tiene costo. Estos sensores son utilizados para monitoreo ambiental de parámetros como temperatura superficial del mar, concentración de clorofila y color del océano; b) **Sensores de media resolución espacial entre 10 y 100 metros:** Los datos de estos sensores tienen una resolución más apropiada para identificar ecosistemas marinos y costeros debido a su resolución espacial. Es posible generar cartografía desde escalas 1:50.000 p 1:100.000. Los costos no son muy altos; c) **Sensores de alta de resolución espacial menor de 10 metros.** A partir del año 2000 están disponibles libremente en el mercado, tienen una resolución espacial mucho más adecuada para delimitar y caracterizar ecosistemas marinos y costeros debido a que el tamaño del pixel varía entre menos de 1 metro a 10 metros. No obstante, el área que cubre es pequeña y por esto los costos son altos [24].

### Los sensores remotos y su aplicación a las pesquerías.

La cartografía del océano usando sensores remotos muestra señales nuevas de sus características en grandes y pequeñas escalas. Los sensores remotos se han usado para ubicar las áreas marinas productivas [25], las características del hábitat, los patrones de migración y las áreas de actividad pesquera [26]. La temperatura superficial del mar (TSM) y el color del océano (clorofila $\alpha$ ) obtenidos de los satélites han sido los principales parámetros oceanográficos de tales aplicaciones [27].

Las zonas de agregación de peces, son áreas productivas donde la concentración de clorofila  $\alpha$  es alta y la TSM es baja, resultado de procesos oceanográficos como surgencias, giros ciclónicos, frentes y remolinos [28]. Estas investigaciones tuvieron un gran impacto sobre la eficiencia de las flotas atuneras americanas, reduciendo el tiempo de búsqueda entre un 25 % y 40 %. Desde entonces muchos estudios usan técnicas de sensores remotos para modelar regiones de incremento de la productividad marina, incluyendo modelamiento de surgencias, frentes de TSM y formación de giros ciclónicos [27].

### Biosensores contra enfermedades en la acuicultura

Tradicionalmente las enfermedades bacterianas en el sector de la Acuicultura se han combatido empleando antibióticos. Pero el uso masivo de estas sustancias ha



provocado la aparición de microorganismos resistentes a nuevos tratamientos, dificultando así el control de enfermedades que afectan tanto a peces como a moluscos criados en piscifactorías <sup>[29]</sup>.

Científicos del grupo de investigación Exopolisacáridos Microbianos de la Universidad de Granada (UGR), están construyendo un biosensor que les permitirá controlar a largo plazo las interacciones entre los microorganismos. Se conoce que estos mecanismos regulan aspectos claves en la fisiología de organismos patógenos y benéficos que permite a las bacterias comunicarse entre sí a través de moléculas señales. Entre sus funciones destaca el control celular de la expresión de factores de virulencia y exoenzimas, la capacidad de transferencia de ADN y la producción de antibióticos, entre otras. La particularidad de este sistema comunicativo intercelular bacteriano es su producción cuando “hay quórum”, es decir, requiere la producción virulencia de algunas bacterias marinas y halófilas, es decir, aquellas que requieren sal para vivir, y que son responsables de enfermedades patógenas en peces y moluscos. El biosensor se basará en el denominado *quorum sensing*, los sistemas de *quorum sensing* (QS), son mecanismos de comunicación que modifican la fisiología microbiana e intervienen en las de una gran cantidad de estas moléculas para el correcto funcionamiento de dicho sistema <sup>[29]</sup>.

**Detector de patógenos.** La implementación de biosensores busca garantizar la seguridad

alimentaria en el campo de la acuicultura mediante el desarrollo de una tecnología de biosensores destinada a la monitorización medioambiental y la prevención de enfermedades *in situ*. Esta tecnología permite desarrollar un dispositivo específico para medir con elevada exactitud los riesgos biológicos (virus, bacterias y toxinas) de modo que pueda utilizarse como un sistema de alerta temprana en la acuicultura y como monitor ambiental para evaluar el buen estado ecológico de los sistemas acuáticos <sup>[30]</sup>.

Los agentes patógenos a detectar estarán conectados a una interfaz común de accesibilidad web. Así, los usuarios podrán acceder a los datos en tiempo real a partir de las mediciones *in situ*. El fin es detectar y cuantificar algas tóxicas, patógenos relevantes para la acuicultura, por ejemplo, betanodavirus o toxinas, como las saxitoxinas <sup>[30]</sup>. TestDrop una tecnología que puede identificar contaminantes químicos y biológicos útil en las plantas de tratamiento de aguas como en la acuicultura. Consiste en un instrumento que se maneja a través del Bluetooth los dispositivos móviles con la aplicación Lishtot que permite detectar contaminantes como metales pesados, productos químicos y bacterias en el agua como *E. coli*, plomo, arsénico, mercurio, cobre y cloro e incluso algunos virus. El dispositivo trabaja por medio de sensores que a través de un conjunto de algoritmos que interpretan la información y proporcionan los resultados, incluida una alerta al usuario <sup>[31]</sup>.

## DRONES

Los drones son una tecnología innovadora, permiten la recopilación de información de manera significativa contribuyendo así en el desarrollo tecnológico de diversas áreas.

Los vehículos aéreos no tripulados (Remotely Piloted Aircraft System unmanned: RPAS) o drones se han convertido en una plataforma práctica de detección remota para el monitoreo ambiental, proporcionando también una



alternativa en el monitoreo remoto de floraciones de algas y en el sector acuícola [32].

Hán sido prácticos para el control de grandes extensiones de cultivo en granjas continentales y marinas de peces, especialmente en sitios en alta mar. Muchos trabajos, incluida la revisión de agujeros y daños en jaulas, pueden ser realizados por drones [33]. Esta herramienta robótica permite optimizar el proceso productivo y ahorrar costos en la industria acuícola. Reemplazando la mano de obra con dispositivos de múltiples funciones, que realizan tareas específicas y recopilan información en tiempo real a gran escala, que muy difícilmente puede ser obtenida por los humanos.

Para que la información recolectada sea factible es necesario que el drone este directamente conectado a una red, para el envío instantáneo de datos a la plataforma y posteriormente ser analizada. Es importante mencionar que se debe llevar un plan muy riguroso sobre el manejo de estos dispositivos, en la actualidad existen industrias enfocadas en el estudio y modelado de drones para mejorar su eficiencia, muchas de ellas buscan optimizar la producción en base de algoritmos.

Según Hung-Yuan, et al [34] un algoritmo representa la información visual y geométrica de los objetos semánticos que define los puntos de control para la recopilación de datos de rutina y la inspección ambiental, así de este modo proponen asociar cada punto de control con la señal GPS y el valor de altitud del drone, con el objetivo de combinar la navegación automática del drone, la visión por computadora y los algoritmos de aprendizaje automático para detectar las actividades específicas del punto de control. Con ello, el algoritmo de modelado de

escenas transfiere el conocimiento esencial al drone móvil a través de la nube de acuicultura para monitorear los peces, las personas, las redes y los sistemas de alimentación en un sitio de acuicultura a diario.

### Drones en la pesquería

Se han implementado con el objetivo de mejorar la calidad de la pesca, preservar el medio ambiente y controlar la pesca ilegal en época de veda. Estos permiten detectar bancos de peces a través de cámaras y las condiciones en las que se encuentra el lugar. El empleo de los vehículos operado remotamente (Remotely Operated Vehicle: ROV) contribuye a una amplia gama de necesidades, destacándose la inspección de redes y la capacidad de llevar consigo el cebo de pesca para ser lanzando en el momento que detecten un banco de organismos, evitando así realizar el procedimiento de forma manual, teniendo en cuenta que algunas operaciones a mar abierto están consideradas actividades de gran riesgo [35].

Uno de los dispositivos diseñados para una pesca selectiva y eficiente se denomina TunaDrone, cuenta con paneles solares que permiten su larga duración de batería. Igualmente otorga una fácil identificación de cardúmenes de atunes salvajes para ayudar a las operaciones de pesca de manera sostenible y eficaz. Tiene un sistema de lanzamiento y aterrizaje autónomo, planea las rutas en tiempo real a través de software propio. Su alcance es de 18 millas náuticas, 35 nudos de velocidad, recepción en tiempo real de imágenes HD, comunicaciones encriptadas para máxima seguridad en las operaciones y trabaja a un rango de temperatura de 5° a 40°C [36].

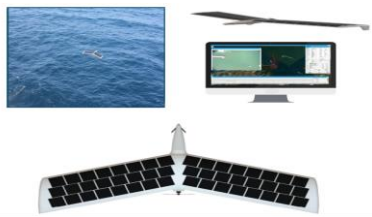


Figura 3. Tuna Drone <sup>[36]</sup>.

### Drones en acuicultura

Los drones pueden hacer mucho en la superficie y por debajo del agua para la industria de la acuicultura <sup>[33]</sup>. Muchas instituciones y empresas de investigación, incluida Subblue, Qifai, Robótica Apium Swarm, Blueye Pioneer, SeaDrone y muchos otros están desarrollando y produciendo drones para el sector. Más importante aún, los drones recopilan información nueva, para generar algoritmos para el desarrollo de tecnologías en pro de mejorar la eficiencia de la producción acuícola <sup>[33]</sup>. Por ejemplo, Saildrone recopiló datos de granjas, analizó las poblaciones de peces y realizó un seguimiento de las condiciones ambientales. Estos datos podrían aplicarse fácilmente a la acuicultura.

En Noruega y Escocia desde 2017 se empleó el drone Stingray para desparasitar salmones, el dispositivo detecta a los ectoparásitos que afectan al pez y envía una descarga laser que sin afectar al animal mata al parásito a gran velocidad <sup>[35]</sup>.

Los drones en la acuicultura también se encargan de otras labores de inspección como medir la temperatura, salinidad y turbidez del agua, así como la cantidad de residuos que los animales originan. Todas estas tareas quedan automatizadas y en la actualidad algunas empresas desarrolladoras trabajan para que el drone también pueda atender tareas de alimentación <sup>[35]</sup>. Dado a que estos dispositivos en combinación con IA y computación en la nube reducirán costos y

mejorarán las operaciones para la industria de la acuicultura <sup>[33]</sup>.

En el mercado existen varios modelos como; El Spry – Drone Sport, Splash Drone 3+ y el SplashDrone 4, este último representa siete años de conocimiento y entendimiento de la tecnología necesaria para drones a prueba de agua. El SplashDrone 4 es la nueva plataforma aérea y acuática diseñada para operaciones multipropósito en ambientes marinos o en situaciones de clima adversas <sup>[37]</sup>.



Figura 4. SPLASHDRONE 4, drone multifuncional a prueba de agua <sup>[37]</sup>.

### Drones submarinos

Los drones submarinos son dispositivos inteligentes que se han vuelto indispensables a la hora de monitorear las producciones fuera de la superficie y rastrear parámetros ambientales como el pH, la salinidad, concentración de OD, la turbiedad entre otros. Este tipo de tecnología posee complementos especialmente diseñados para la industria acuícola, tales como un sistema de cuantificación de mortalidades, cámaras laterales que buscan agujeros en las mallas o redes de las jaulas y “agarradores” que pueden recolectar muestras de sedimento y agua para ayudar con el monitoreo ambiental, evitando consigo la inmersión por parte de buzos para el desarrollo de dichas actividades <sup>[38]</sup>.

Estos drones han abierto un mundo completamente nuevo. Con anclas establecidas a profundidades de hasta 300 pies, el drone puede acceder e inspeccionar

áreas que eran previamente inaccesibles para buzos. Proporcionando información valiosa a su equipo, controlando virtualmente cada jaula, monitoreando la salud de los animales, evaluando la frecuencia de mortalidades, determinando posibles agujeros en las redes y realizando la grabación de videos en vivo para su visualización en un futuro [38].



Figura 5. Inspección submarina portátil [38].

## DESAFÍOS Y PERSPECTIVAS FUTURAS

Las perspectivas futuras del sistema de seguimiento incluyen la mejora de los sistemas y equipos de acuicultura actuales. Esto puede llevarse a cabo mediante la miniaturización del sistema autónomo, preciso y a bajo costo. Tal tecnología probablemente requiere la combinación de:

- a) nanotecnología: la acuicultura tiene un amplio espectro de aplicaciones desde la esterilización de los estanques, el tratamiento de agua, la detección y control de las enfermedades acuática [39];
- b) microelectrónica: diseña y fabrica material electrónico de dimensiones diminutas, aplicando con elementos semiconductores. El Instituto de Microelectrónica de Barcelona (IMB-CNM-CSIC) y de la Universidad de Las Palmas de Gran Canarias han desarrollado un sistema inteligente “AE-FishBIT” para monitorizar el comportamiento de los peces de 30 a 35 g en adelante, el dispositivo permite conocer el grado de bienestar de peces en cultivo para mejorar la producción [40];
- c) microfluídica: Científicos de la Dalian Maritime University desarrollaron un nuevo método de identificación de microalgas y un sistema compacto de utilización de un chip microfluídico desechable para la detección de tres clases de señales de una célula de microalga: fluorescencia de la clorofila, dispersión de luz lateral y sensor de pulso de resistencia [41].

Con este sistema avanzado, las industrias de la acuicultura pueden obtener datos /

parámetros más completos para controlar mejor y crear condiciones óptimas que maximicen la producción de productos derivados de la acuicultura incluso en áreas remotas. El sistema podría contar con una plataforma versátil que le permitirá adaptarse a diversas industrias además de la acuicultura, que incluye el turismo y la agricultura. Además, el sistema avanzado también apoyaría mejor las prácticas sostenibles como la prevención de la sobrepesca y el uso de menos antibióticos para prevenir la resistencia a los antimicrobianos [42].

### Uso en Colombia

En Colombia la piscícola Acuímayo Internacional, microempresa ubicada en la localidad de Sibundoy, departamento del Putumayo. Se dedica a la comercialización de carne de trucha, Por lo cual implemento un plan piloto de un sistema IoT y recolección de datos para el monitoreo de variables críticas que influyen en la mortalidad en las etapas tempranas de crecimiento de la 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 beneficien la producción de la empresa <sup>[43]</sup>.

## CONCLUSIONES

La inteligencia artificial permite aumentar la productividad y eficiencia con prototipos construidos con componentes comunes, fácil de armar, configurar, programar y mantener. El uso de arquitecturas de IoT permite utilizar sistemas en la acuicultura de precisión y bajo costo, es decir, que se encuentre al alcance y las condiciones económicas de los acuicultores permitiendo además controlar la calidad y economizar insumos.

Estas herramientas pueden implementarse convenientemente para mejorar la sustentabilidad de la acuicultura continental y marina, especialmente para la identificación y cuantificación de los parámetros ambientales y de producción, así como para la preselección de sitios. Dicho

de otra forma, el desarrollo y uso de las nuevas técnicas analíticas como sensores, biosensores, ha llegado al punto de ser una parte esencial para proveer el crecimiento de la industria alimentaria para la realización de controles sanitarios y de calidad en los alimentos, así mismo el crecimiento del entorno productivo que permita un eficiente desarrollo de la producción acuícola.

Por otra parte, la implementación de un vehículo aéreo no tripulado (RPAS) contribuye con la recopilación de nueva información, generando así algoritmos únicos en pro del desarrollo de tecnologías altamente calificadas que buscan mejorar la eficiencia de un sistema productivo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1]. FAO. El estado mundial de la pesca y la acuicultura. 2020. Disponible en: <https://www.fao.org/3/ca9229es/ca9229es.pdf>
- [2]. Gonzáles J, Nuñez B, Vilorio P. Sistema de monitoreo en tiempo real para la medición de temperatura. *Scientia et Technica*. 2012, vol. 17, n.º 50, p. 128-131.
- [3]. Olivo M, Verduzco J, García N, Villalobos J, Olivo A. Prototipo para el monitoreo automatizado de parámetros de calidad del agua en una granja de camarón. *Científica*. 2018, vol. 22, núm. 2, p. 87-95. Disponible en: <https://www.redalyc.org/jatsRepo/614/61458109001/html/index.html>
- [4]. Navarro A, Prias J, Marin J, Padilla J. Construcción de un sistema de instrumentación para la medición de las variables que intervienen en la piscicultura bajo condiciones de estanque artificial. Armenia, Colombia. Universidad del Quindío. 2010.
- [5]. Verduzco J, Figueroa P, Barajas J, Bricio E, Benavides J. Dispositivo portátil para monitoreo de calidad del agua en granjas acuícolas de camarón. *Revista Ingeniantes*. 2019. Disponible en: [https://citt.itsm.edu.mx/ingeniantes/articulos/ingeniantes6no2vol2/8.%20Dispositivo%20Port%C3%A1til%20para%20Monitoreo%20de%20Par%C3%A1metros%20de%](https://citt.itsm.edu.mx/ingeniantes/articulos/ingeniantes6no2vol2/8.%20Dispositivo%20Port%C3%A1til%20para%20Monitoreo%20de%20Par%C3%A1metros%20de%20)

[20Calidad%20del%20Agua%20en%20Granjas%20Acu%C3%ADcolas%20de%20Camar%C3%B3n.pdf](#)

- [6]. Hu Z, Li R, Xia X, Yu C, Fan X, Zhao Y. Environ Monit Assess. [Internet]. [Consultado 12 septiembre 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10661-020-08409-9>
- [7]. Oviedo J, Oviedo A, Carmona C, Velez G, Reina J. Design of an aquaponic system monitored by internet of things and artificial intelligence. Revista espacios. 2020, vol. 41 (47), p. 60. Available from: <http://www.revistaespacios.com/a20v41n47/a20v41n47p05.pdf>
- [8]. Yu R, He Y. Introduction to Machine Learning. Springer, Cham. In Deep Reinforcement Learning for Wireless Networks. 2019.
- [9]. Baclic O, Tunis M, Young K, Doan C, Swerdfeger H, Schonfeld J. Natural language processing (NLP) a subfield of artificial intelligence. Government of Canada. 2020. Available from: <https://www.canada.ca/en/public-health/services/reports-publications/canada-communicable-disease-report-ccdr/monthly-issue/2020-46/issue-6-june-4-2020/natural-language-processing-subfield-artificial-intelligence.html>
- [10]. Yigit E, Sabanci K, Toktas A, Kayabasi A. A study on visual features of leaves in plant identification using artificial intelligence techniques. “Computers and Electronics in Agriculture”. 2019. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168169918308524>
- [11]. Gao Z, Wanyama T, Singh I, Gadhri A, Reiner S. From Industry 4.0 to Robotics 4.0-A Conceptual Framework for Collaborative and Intelligent Robotic Systems. “Procedia Manufacturing”. 2020. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S235197892030963X>
- [12]. Yue K, Yubang S. An overview of disruptive technologies for aquaculture. Aquaculture and Fisheries. 2021. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2021.04.009>
- [13]. QuestionPro. Análisis de datos. [Internet]. 2019. [consultado 15 octubre 2021]. Disponible en: <https://www.questionpro.com/es/analisis-de-datos.html>
- [14]. Gutierrez M, Ramirez J. Prototipo para el monitoreo automatizado de parámetros de calidad del agua en una granja de camarón. [Internet]. 2018. [consultado 12 noviembre 2021]. Disponible en: [http://www.cientifica.esimez.ipn.mx/manuscritos/V22N2\\_087\\_095.pdf](http://www.cientifica.esimez.ipn.mx/manuscritos/V22N2_087_095.pdf)
- [15]. Mwegoha W, Kaseva M, Sabai S. Mathematical modeling of dissolved oxygen in fish ponds. African Journal of Environmental Science and Technology. 2010, vol. 4, p. 623–638.
- [16]. Aguilar J, Pacheco P, Rodrin S. Automated aquaculture system that regulates pH, temperature and ammonia, IEEE 9th International Conference on Humanoid,



- Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment and Management (HNICEM). 2017. p. 1–6.
- [17]. Chumkiew S, Jaroensutasinee M, Koad P. “Physical factors affecting oyster diversity and distribution in Southern Thailand”. *Journal of Environmental Biology*. 2019. p. 03–08.
- [18]. Rodríguez H, Anzola E. La calidad del agua y la productividad de un estanque en acuicultura. 2012. Disponible en: <http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/4997/3/051.3.pdf>
- [19]. Joong, K. K., Kyoung, J. P., Kyoung, S. C., Nam, S. W., Park, T. J., & Bajpai, R. (2005). Aerobic nitrification-denitrification by heterotrophic Bacillus strains. *Bioresource Technology*, 96(17), 1897–1906. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.01.040>
- [20]. Metcalf-Eddy, Tchobanoglus, G., Stensel, H. D., Tsuchihashi, R., L, F., & Burton. (2013). *Wasterwater Engineering Treatment and Reuse*. (I. Metcalf & Eddy, Ed.) (fourth). New York: Mc Graw Hill.
- [21]. Morita, M., Uemoto, H., & Watanabe, A. (2008). Nitrogen-removal bioreactor capable of simultaneous nitrification and denitrification for application to industrial wastewater treatment. *Biochemical Engineering Journal*, 41(1), 59–66. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2008.03.008>
- [22]. Yang S, Li Y. “Dissolved oxygen remote monitoring system based on the internet”. *Electronic Measurement Technology*, 2011. p. 88–90.
- [23]. Duran J, Hernández D. "Sistema hidroacústico para caracterizar el comportamiento alimentario de especies acuícola, Repositorio Universidad de Machala" [Internet]. 2017. [consultado 22 octubre 2021]. Disponible en: [http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/12472/1/T-2627\\_DURAN%20PESANTEZ%20JORDI%20MARCELO.pdf](http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/12472/1/T-2627_DURAN%20PESANTEZ%20JORDI%20MARCELO.pdf)
- [24]. IDEAM. Protocolo de monitoreo del agua. 2017. Disponible en: [http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023773/PROTOCOLO\\_MO NITOREO\\_AGUA\\_IDEAM.pdf](http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023773/PROTOCOLO_MO NITOREO_AGUA_IDEAM.pdf)
- [25]. Solanki H, Dwivedi S, Nayak V. Fishery forecast using OCM chlorophyll concentration and AVHRR SST. *Remote Sens*. 2003. p. 3691–3699.
- [26]. Rodhouse P, Trathan P. Remote sensing of the global light-fishing fleet: an analysis of interactions with oceanography, other fisheries and predators. *Adv. Mar. Biol*. 2001. 261–303.
- [27]. Valavanis V. *Geographic Information Systems in oceanography and fisheries*. Taylor & Francis. 2002. p. 240.

- [28]. Agostini V, Bakun A. Ocean triads in the Mediterranean Sea: physical mechanisms potentially structuring reproductive habitat suitability (with example application to European anchovy, *Engraulis encrasicolus*). 2012; 11: 129–142.
- [29]. Pérez, A. Biosensores contra las enfermedades de peces y moluscos de acuicultura. Desarrollo Inteligente. 2010. Disponible en: <https://canal.ugr.es/wp-content/uploads/2010/07/molusco.pdf>
- [30]. Holgado M. Acuicultura y pesca. Proyecto de Biosensor busca Prevenir Enfermedades en la Acuicultura: [Internet]. 2014. [consultado 29 noviembre 2021]. Disponible en: <https://www.aqua.cl/2014/01/06/ue-proyecto-de-biosensor-busca-prevenir-enfermedades-en-la-acuicultura/#>
- [31]. Dulce Pontaza. Tecnología. Dispositivo Inteligente en la Detección de Agentes Contaminantes en el Agua. 2018. Disponible en: <https://tecreview.tec.mx/2018/02/02/tecnologia/este-dispositivo-te-permite-detectar-en-segundos-agua-contaminada/>
- [32]. Cheng K, Chan S, Lee H. Remote sensing of coastal algal blooms using unmanned aerial vehicles (UAVs). Marine Pollution Bulletin. 2020. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.110889>
- [33]. Sousa D, Sargento S, Pereira A, Luis M. Self-adaptive Team of Aquatic Drones with a Communication Network for Aquaculture. EPIA conference on artificial intelligence. 2019. p. 569 - 580.
- [34]. Hung-Yuan Chen, Shyi-Chyi Cheng, Chin-Chun Chang. Semantic scene modeling for aquaculture management using an autonomous drone. 2020. Available from: <https://www.spiedigitallibrary.org/conference-proceedings-of-spie/11515/2566273/Semantic-scene-modeling-for-aquaculture-management-using-an-autonomous-drone/10.1117/12.2566273.short>
- [35]. Munguía A. Los drones vigilan el mar. [Internet]. 2018. [consultado 02 octubre 2021]. Disponible en: [https://www.seg-social.es/wps/wcm/connect/wss/6ca8756e-d0cc-448c-94fb-bbc303111109/MAR585\\_marcadores.pdf?MOD=AJPERES](https://www.seg-social.es/wps/wcm/connect/wss/6ca8756e-d0cc-448c-94fb-bbc303111109/MAR585_marcadores.pdf?MOD=AJPERES)
- [36]. Marine Instruments. Tunadrone Uav. For the detection of free school tuna. 2021. Available from: <https://www.marineinstruments.es/wp-content/uploads/2020/02/Tunadrone-av105-EN.pdf>
- [37]. ADENTU. Plashdrone 4, dron multifuncional a prueba de agua [Internet]. [consultado 20 octubre 2021]. Disponible en: <https://www.adentu.cl/producto/splashdrone-4-dron-multifuncional-a-prueba-de-agua/>
- [38]. Jackson L. Ascenso de las máquinas: La revolución robótica en la acuicultura. Global Seafood Alliance. [Internet]. 2017. [consultado 02 septiembre 2021]. Disponible en: <https://www.globalseafood.org/advocate/ascenso-de-las-maquinas-la-revolucion->



[robotica-en-la-acuicultura/](#)

- [39]. Aquahoy. (14 de Junio de 2019). Avances en la nanotecnología para la acuicultura y pesca sostenible. Disponible en: <https://www.aquahoy.com/i-d-i/sistemas-de-cultivo/33389-avances-en-la-nanotecnologia-para-la-acuicultura-y-pesca-sostenible>
- [40]. Martos Sitcha, J., Sosa, J., Valido, D., Bravo, F., Calduch Giner, J., Cabruja, E., Perez Sánchez, J. (29 de Mayo de 2019). Ultra-Low Power Sensor Devices for Monitoring Physical Activity and Respiratory Frequency in Farmed Fish. Available from: <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00667>
- [41]. Wang, J., Zhao, J., Wang, Y., Wang, W., Gao, Y., Xu, R., & Zhao, W. A New Microfluidic Device for Classification of Microalgae Cells Based on Simultaneous Analysis of Chlorophyll Fluorescence, Side Light Scattering, Resistance Pulse Sensing. *Micromachines*. 2006. Available from: <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00667>
- [42]. Su X, Sutarlie L, Jun X. Sensors, Biosensors, and Analytical Technologies for Aquaculture Water Quality. 2019, Article ID 8272705, p. 15.
- [43]. Piamba T, Zambrano L, Montaña L. Implementación de un sistema de monitoreo IoT aplicado a una piscicultura de trucha. Sena. 2020. Disponible en: [http://revistas.sena.edu.co/index.php/inf\\_tec/article/view/2937/3686](http://revistas.sena.edu.co/index.php/inf_tec/article/view/2937/3686)