

USO DE HERRAMIENTAS TECNOLÓGICAS EN LA PRODUCCIÓN PISCÍCOLA: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA DE LITERATURA

The use of technological tools in fish production: a systematic literature review

Lynda Yaneth Rojas-Molina¹, Víctor Hugo Tique-Pinto¹, D.E.A. José Joaquín Bocanegra-García²

¹Programa de Ingeniería de Sistemas, Universidad de la Amazonia (Florencia, Caquetá, Colombia). ly.rojas@udla.edu.co, v.tique@udla.edu.co

³D.E.A., Pontificia Universidad Javeriana (Bogotá D.C., Colombia). jose_bocanegra@javeriana.edu.co

(Recibido marzo 29 de 2017 y Aprobado junio 1 de 2017)

Resumen

La piscicultura es un sector de la economía fundamental para varias comunidades. Tradicionalmente, los procesos inherentes a esta actividad, como la alimentación de los peces, la marcación, el comportamiento reproductivo y el cuidado parental se realizan de forma manual; no obstante, en los últimos años se han comenzado a incorporar herramientas tecnológicas para su automatización. Esta revisión sistemática de literatura describe algunas de las tareas de la piscicultura donde se han aplicado herramientas tecnológicas, particularmente en actividades relacionadas con el reconocimiento y control de las variables físico-químicas del agua, en la regulación de los niveles del agua y en la alimentación de los peces. Con el estudio se vislumbran nuevas oportunidades de aplicación de tecnologías, en especial aquellas de bajo costo, para que sean accesibles a la mayor cantidad de piscicultores y su uso garantice la mejora en los procesos realizados. También se resalta la importancia que puede tener el uso de energías alternativas, para aprovechar al máximo los recursos naturales y minimizar el impacto ambiental.

Palabras clave: automatización; control; tecnología; piscicultura; sensores.

Abstract

Fish farming is a fundamental economic area for several communities. Traditionally, the processes inherent to this activity, such as fish feeding, marking, reproductive behavior and parental care are done manually; however, in recent years, some fish farmers have incorporated technological tools in process automation. This systematic literature review describes some of the tasks related to fish farming where technological tools have been applied. Some of these activities involve the recognition and control of water physical and chemical variables, water levels regulation, and fish feeding. The study suggests new opportunities for application of technologies, particularly low-cost technologies, because they are accessible to the largest number of farmers and their use guarantees the process improvement. The study also highlights the importance of using alternative energies in order to protect natural resources and minimize the environmental impact.

Keywords: automatization; technology; fish farming; sensors; control.

1. INTRODUCCIÓN

Mundialmente, la producción de peces en estanques para consumo humano juega un papel importante tanto para la autonomía alimentaria de las comunidades como para su sostenimiento económico [1]. Por ejemplo, en países como Colombia existen varias regiones que se especializan históricamente en la reproducción

y consumo de especies y basan sus actividades en esta labor [2].

No obstante, con frecuencia se encuentran granjas piscícolas que realizan labores artesanales y no cuentan con herramientas tecnológicas que les permitan automatizar los procesos y maximizar sus ganancias, por lo cual dejan de percibir recursos económicos valiosos [3].

Cómo citar este artículo:

L.Y. Rojas-Molina, V.H. Tique-Pinto y J.J. Bocanegra García, "Uso de herramientas tecnológicas en la producción piscícola: una revisión sistemática de literatura", *Revista Ingeniería Investigación y Desarrollo*, vol. 17 (2), pp. 47-57, Julio, 2017.

Sin embargo, en los últimos años y de forma paulatina se han comenzado a automatizar los procesos de piscicultura [1].

Las herramientas tecnológicas permiten acceder a la información en tiempo real, con independencia de las distancias, lo cual permite el ahorro de tiempo y de costos y la disminución de errores sistemáticos [4]. Esta ventaja se debe aprovechar para implementar procesos que mantengan información actualizada, real y precisa sobre el estado de los factores que se deben vigilar en la producción piscícola. Algunos de esos factores son la identificación y alimentación de los peces, el monitoreo de las características físico-químicas del agua y la regulación de los niveles de los estanques.

En ese orden de ideas, este artículo pretende dar respuesta a la siguiente pregunta de investigación: *¿Qué herramientas tecnológicas se han implementado en la producción piscícola, para la identificación de los peces, su alimentación, control de las variables físico-químicas del agua y la regulación de los niveles de los estanques?*

Para responder al interrogante se ha hecho una revisión de literatura. Así, en la Sección 2 se presenta la metodología usada para la revisión. En la Sección 3 se describen los resultados de la revisión. En la Sección 4 se discuten y analizan las propuestas revisadas. Finalmente, en la Sección 5 se exponen las conclusiones y las oportunidades de trabajo futuro que ofrece la industria.

2. METODOLOGÍA

Para la revisión de literatura se usaron dos criterios de inclusión. El primero es el uso de las palabras clave “piscicultura y tecnología”, “automatización en piscicultura” y “control automático de estanques”. El segundo criterio está relacionado con el año de publicación, para lo cual se tomaron artículos publicados entre 2010 y 2017.

Aunque en la sección de referencias aparecen artículos de fechas anteriores, estos se usan para describir conceptos en el dominio de la piscicultura y el uso de herramientas tecnológicas.

En la Tabla 1 se presenta la distribución de los artículos consultados por año y palabras clave.

Tabla 1. Distribución de artículos por año de publicación y palabras clave

Año de publicación	Palabras clave					Totales
	Sensores	Alimentadores automáticos	Sistemas de recambio	Algoritmos inteligentes de clasificación	Control automático	
Años anteriores	[21], [22], [25]		[38]	[40]		5
2010	[5], [9]		[5]		[46]	4
2011	[14]	[34]				2
2012	[13], [17], [23]	[31]	[35]			5
2013	[12]	[26], [29]				3
2014	[7], [10], [11], [15]	[30], [33]			[48], [49], [50], [51]	10
2015	[8], [18], [19], [24]	[28]	[36], [37]	[39], [41], [42]	[43], [44], [45], [47]	14
2016	[16], [20]	[27], [32]				4
2017	[6]					1
Totales	21	9	5	4	9	48

En las columnas se describen las cinco palabras clave utilizadas (sensores, alimentadores automáticos, sistemas de recambio, algoritmos inteligentes de clasificación, control automático), y en las filas, los años de pu-

blicación, que van desde 2010 hasta 2017, más una fila que representa los artículos de años anteriores. Como se observa en la Tabla 1, la mayoría de los artículos cubren el tema de sensores, y los demás, los algoritmos

inteligentes de clasificación. El año con mayor número de publicaciones es 2015. En contraste, el número más bajo de artículos relacionados corresponde al año 2017. En la última columna se identifica el total de los artículos por año, de los cuales no se mencionan los artículos 1 al 4, debido a que estos se citan en la introducción. Del mismo modo, los artículos que van desde las referencias [52–57] se citan en el cuarto punto, que habla del análisis y discusión, por tanto, estos artículos no son tenidos en cuenta, dado que no hacen parte de las palabras clave utilizadas en la Tabla 1.

Los detalles particulares de cada artículo se presentan en las secciones 3.1, 3.2, 3.3, 3.4.

Las búsquedas se hicieron mediante las bases de datos Google Académico, Redalyc y Scielo. Después de realizar la búsqueda, teniendo en cuenta los criterios anteriormente mencionados, se obtuvo un total de 56 artículos, entre los cuales se encuentran publicaciones tanto locales como extranjeras.

Finalmente, los artículos se clasifican en cuatro grupos, en los que se abordan temas como sensores, alimentadores automáticos, sistemas de recambio y algoritmos inteligentes de clasificación.

3. RESULTADO

Para el análisis se identificaron los cuatro grupos de publicaciones: sensores, para monitorear las variables físico-químicas, el control de alimentadores automáticos para los peces, los sistemas de recambio de agua y los algoritmos inteligentes para la clasificación de peces, donde se mencionan cada uno de los proyectos analizados y se resumen las principales características en cuanto a la interacción con el usuario, el manejo de información y las plataformas usadas.

3.1 Sensores

Uno de los grandes grupos identificados en la revisión es el uso de sensores para medir las variables que intervienen en la cría, reproducción y alimentación de los peces.

Factores como la temperatura, el oxígeno disuelto, el pH, entre otros, son de vital importancia en el estado de los peces. Por ejemplo, algunas especies pueden dejar de comer y llegar a la muerte si estos valores no se encuentran en un rango específico [5].

En este grupo de estudios se encuentran proyectos que plantean la presentación de información, los cuales se limitan a medir el estado de las variables mediante sensores y a presentar la información mediante diferentes plataformas, y dejan en manos del personal encargado las acciones por seguir.

Las aplicaciones presentadas en esta sección se caracterizan por medir tres variables comunes: la temperatura, el pH y el oxígeno disuelto. Estas aplicaciones se distinguen, además, por utilizar la tecnología *ZigBee* [6] que sobresale por ser en una red de sensores comunicados entre sí inalámbricamente. También suele ser utilizada en procesos de supervisión y control. Por medio de *Zigbee* se define el nivel físico y el control de acceso al medio de redes inalámbricas, los cuales permiten controlar diferentes dispositivos utilizados en el mismo medio de comunicación inalámbrico [7].

Se resaltan los proyectos desarrollados usando Matlab [8] para graficar las estadísticas finales y MS Excel para guardar los datos. También se destaca la aplicación realizada en Visual Basic [9] y en C++ [10] denominada NS-2, la cual es un simulador de eventos discretos destinados a la investigación de redes, que es utilizada para la vigilancia de la calidad del agua en los estanques piscícolas.

Los autores [11,12] usan sensores para la medición de variables físico-químicas y adicionan la presencia de alarmas visuales para informar cuando estas no están dentro de los rangos correspondientes.

Otros autores [13] incluyen la generación de reportes visuales mediante la aplicación desarrollada en *C++ Builder*.

Se usa también *C++ Builder* para presentar la información de las variables medidas y transmitidas mediante el puerto USB del sensor al PC [5]. De la misma forma se realiza la transmisión de señales mediante un osciloscopio y mediante una red LAN, a un PC con Matlab.

Además, se utiliza una técnica de medición en la cual un tipo particular de ondas penetra en la muestra de líquido [14]. Esto permite mediciones en películas líquidas con algunos micrómetros de espesor. Esta propiedad, junto con la adherencia de sustancias oleosas

a las superficies, se puede utilizar para la detección de contaminantes oleosos en agua.

Es importante resaltar el uso de energías alternativas y aprovechar los recursos naturales al máximo [15]. Es por esto que sobresale el uso que se le da a las celdas solares para energizar el sistema de medición de temperatura, oxígeno disuelto y pH [16]. Estas variables se transfieren a una aplicación desarrollada para el sistema operativo Android mediante la tecnología *ZigBee* [6]. Además, son medidas y transmitidas vía *bluetooth* desde un microprocesador Atmega328P a una aplicación móvil desarrollada en Android Studio [17].

Otra tecnología de transmisión de datos es *General Packet Radio Service* (GPRS), la cual es empleada para transmitir a través de SMS los datos a una aplicación móvil [18, 19]. Cabe resaltar que en estos proyectos los autores manifiestan obtener valores en los sensores cercanos a la realidad y con velocidades aceptables, por lo cual las pruebas son calificadas como viables para su implementación en piscicultura.

Cuando los datos son presentados mediante un navegador web, es posible que el personal pueda acceder a estos desde cualquier ordenador con acceso a internet. Esta característica es aprovechada para medir el nivel de oxígeno disuelto en agua o para medir el nivel del agua presente en el estanque [20,21].

También cabe señalar que existen proyectos que combinan varios métodos de transmisión de los datos censados. Por ejemplo, combinan el uso de una aplicación móvil para el envío de SMS y una aplicación web para presentar los datos en tiempo real sobre las condiciones de temperatura, oxígeno disuelto y pH; además de utilizar paneles de energía solar para alimentar los sensores y transmisores del sistema [22,23,24]. De igual modo, emplean [25] el sistema de SMS para enviar información y alertas sobre la variación del pH y la conductividad del agua.

Además, está el método en el que se aprovechan los sistemas de radiofrecuencia para enviar datos de ubicación y comportamiento a través de transmisores acústicos introducidos en la cavidad abdominal del pez [26]. No obstante, los propios autores no lo recomiendan, porque es invasivo y genera problemas de salud en el animal, pues su supervivencia solo llegó al 20 % después de la práctica.

3.2 Alimentadores automáticos

Con respecto al tema de la alimentación, se procura evitar el traslado del recurso humano hacia los estanques para prevenir su desgaste, asegurando que el suministro de alimentos se cumpla en los horarios y cantidades específicos determinados por el personal encargado.

Con este objetivo, se proyectó [27] un sistema de envío de SMS y una aplicación móvil para el sistema operativo Android, donde se pueden programar los horarios y la cantidad de comida por suministrar, además de avisar al usuario mediante alarmas sobre el nivel de comida que se encuentre en el reservorio. Esta idea también fue usada por otros autores [28] para hacer seguimiento al nivel de comida y temperatura.

Otra forma de representar la información es mediante una aplicación de escritorio [29]. La aplicación ayuda a suministrar alimento automáticamente y además transfiere, a través de *ZigBee*, información sobre el estado de la temperatura y el oxígeno disuelto en el agua.

También, se presenta un sistema distribuidor de comida de hasta 5 metros a la redonda mediante una tolva con capacidad para 20 kg de comida [30]. La comunicación del motor distribuidor y la aplicación se hace mediante USB.

Al verificar la efectividad de los sistemas de alimentación automática se consideran como un factor importante los horarios y el número de veces en el día que se suministra la comida [31], porque se comprobó que la alimentación dos veces al día es más efectiva que cuando se hace una sola vez, debido a que los pescados consumen el alimento más rápido.

En [31] se hizo la comparación alimentando al pez tanto de día como de noche con un alimentador automático, y a un grupo con alimentación manual hasta la saciedad. Al final, el resultado demostró que el alimentador manual genera menor rendimiento en el crecimiento del pez. Además, se comprobó que la alimentación de noche produce menor crecimiento en los peces respecto a la alimentación de día.

Este último resultado se asimila al presentado en [32], donde se alimentó a un grupo de tilapias cada hora, cada dos horas, de día, de noche, y en ambas jornadas. Aunque en este experimento no se observaron diferen-

cias significativas en el crecimiento del pez, se logró establecer un ahorro de 360 kg de comida por cada tonelada de pescado producido. Los autores sugieren apagar el suministro de comida durante la noche, pues en este periodo los peces suelen descansar.

Asimismo, se comparó la cantidad de alimento consumido entre un alimentador automático y uno manual [33], y se comprobó que el promedio fue de 428 gr en el primero y 421.5 gr en el segundo. Con lo cual se deduce que hay un leve margen de ganancia en el consumo cuando se establecen unas horas y cantidades fijas.

Y para variar la cantidad de alimento suministrado al pez, se usó un alimentador automático con diferentes raciones; uno, con alimentación de 0,5 a 1 % de peso del pez y otro con 1,5 a 3 % del peso del pez [34]. En este caso, el experimento consistió en evaluar dos frecuencias de alimentos (24:48 comidas/día) con una velocidad inicial de 1,5 % del peso corporal con tres repeticiones. Con esto se obtuvieron mejores resultados, porque se evidenció que los peces no desperdiciaban el alimento, y que la cantidad era justa para asegurar su crecimiento.

Finalmente, se reconoce que sobrealimentar a los peces genera un desperdicio de comida considerable [35]. Por esto es importante la implementación de alimentadores automáticos como los descritos anteriormente.

3.3 Sistemas de recambio

Teniendo en cuenta que las condiciones de temperatura, oxígeno disuelto y nutriente expuesto en el agua afectan la calidad de vida de los peces, es necesario el cambio de agua constante cuando estas variables no se controlan adecuadamente [5].

No obstante, se han encontrado métodos de recambio de agua [36], en los que se hace énfasis en usar plantas que absorban los elementos del agua que hacen daño a los peces y mejoren su calidad. De este modo se disminuyen las bacterias dañinas, se reduce el recambio de agua y se alimentan cultivos extras.

Proyectos como estos se han implementado en Colombia con la siembra de *tomate cherry* [37]. En este caso, el agua que recircula y pasa por las raíces de esas plantas hace que los niveles de fosfato disminuyan y vuelvan al estanque, y por lo tanto, el desperdicio de agua es casi nulo.

Hay que anotar que en este tipo de proyectos también es fundamental el uso de herramientas tecnológicas, como en el caso de la implementación de agitadores de paleta [38], que se encargan de mantener la aireación constante en el lugar para adecuar la temperatura del agua. Además, se implementan sensores para medir la temperatura y permitir la activación de termo calentadores [39]. Este último autor resalta que las bacterias de las plantas consumen el amoníaco y hacen menos tóxico el ambiente para los peces.

3.4 Algoritmos inteligentes de clasificación

Las técnicas vistas anteriormente se basan principalmente en el uso de herramientas *hardware* como sensores y motores. Ahora, esta sección se centra en el uso de algoritmos implementados mediante *software* para la ejecución de tareas de reconocimiento de la población existente.

Los autores mencionados en la referencia [40] usan un sensor infrarrojo para detectar el tamaño de los peces. El tamaño se mide según el tiempo que el sensor dure activado mientras pasa el pez. Para esta medición se desarrolló un algoritmo basado en visión por computadora para poder estimar el tamaño de los peces. El algoritmo arrojó resultados cercanos a las mediciones reales.

En otro caso, se utiliza Matlab y LabVIEW para la captura y procesamiento de imágenes que permiten conocer el tamaño del pez fotografiado [41]. En este algoritmo, los resultados indican un margen de error menor al 10 %, lo que los autores consideran un rango permitido para la prueba.

Si se trata de hallar peces para descubrir su paso, escape o fuga, se usan láseres infrarrojos que detectan objetos y manipulan este resultado mediante el procesamiento de la imagen para reconocer la forma de los peces y llevar a cabo el conteo de estos [42]. De igual manera, se emplea un algoritmo de detección de peces que tiene una precisión del 97,18 %.

Para el conteo del total de peces presentes, se ha implementado [43] un algoritmo de visión artificial, el cual es desarrollado con ayuda del asistente de visión de LabVIEW y una metodología propia. Este algoritmo consiste en la toma de la imagen, la segmentación de color y la remoción de bordes. El conteo arrojó siempre valores iguales o menores que los reales.

Finalmente, los autores de cada una de las publicaciones citadas en este apartado reconocen que los peces no sufren maltrato alguno.

3.4.1 Control automático. Referente al control automático de las variables, hay un sistema de regulación de compuertas implementado en Huelva, España [44], para permitir el paso de agua según el oxígeno disuelto y la turbidez presentada en el agua. Las compuertas se cierran cuando se cumple con la cantidad de agua definida por el usuario. Para ello se desarrolló una interfaz gráfica en Matlab, donde el usuario establece los parámetros acordes a la especie que habita el estanque.

También se ha desarrollado una aplicación en Visual Basic, que interactúa con el sistema encargado de activar la iluminación remotamente cuando el usuario lo desee, además de activar termo calentadores automáticamente cuando la temperatura está por debajo del límite establecido [45]. Asimismo, se presenta información sobre la temperatura del agua y el pH, generando alarmas cuando estos elementos no cumplen con los valores requeridos.

En la estación acuícola de la Universidad Técnica de Babahoyo, Ecuador [46] se implementó un sistema para medir temperatura, pH y oxígeno disuelto, y presentar sus valores por medio de un aplicativo web. Cuando el último factor (oxígeno disuelto) no cumple con los parámetros correctamente, se activa una bomba de aireación para calibrar el oxígeno a su medida deseada. La comunicación de los sensores se realiza inalámbricamente vía GSM.

En la Universidad Católica del Perú [47] se elaboró un sistema para controlar el paso de agua mediante válvulas que se pueden abrir y cerrar por parte del usuario o cuando el sistema detecta un nivel de agua bajo. También se presenta información sobre la temperatura y el pH. Estas variables se transfieren mediante puertos RJ45 conectados a los sensores. La medición de las variables tiene una exactitud del 98,1 %.

Algunos autores [48] presentan tanto localmente como vía web información sobre el estado actual de la temperatura, el pH y el nivel del agua de un estanque, incluyendo además información del nivel de comida presente en el reservorio y activando el suministro en los horarios establecidos por el usuario.

Como se ha mencionado, la temperatura del agua es uno de los factores más importantes en el estado de los peces. Se argumenta que la tilapia deja de alimentarse cuando la temperatura del agua está por debajo de los 16-17 °C y sufre problemas de estrés cuando supera los 31-37 °C [49]. Por esto se ideó un sistema para mantener la temperatura en los valores ideales. El sistema se encarga de calentar el agua cuando está demasiado fría, según el valor que obtengan los sensores ubicados en el estanque.

Este último proyecto se asemeja al presentado en la referencia [50], el cual además añade el control automático del encendido y apagado de la iluminación según los horarios que el usuario almacene.

Similar es la aplicación de escritorio desarrollada en Visual Basic para el control remoto de temperatura, pH, iluminación y nivel de agua [51]. Este *software* es complementado mediante una aplicación móvil que envía y recibe información de los sensores.

4. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

La literatura revisada describe el uso de las herramientas tecnológicas para la automatización de procesos y control de la información en la cría, alimentación y reproducción de peces en estanques. Además, se analiza el medio por el cual se transmite la información, por eso se consideran las aplicaciones móviles, de escritorio y web. En la Tabla 2 se relacionan los artículos de acuerdo con la plataforma y tecnología que utiliza cada uno de ellos.

Se presta especial atención en el control automático de las variables físico-químicas a partir de la medición efectuada por sensores y los parámetros establecidos por el personal encargado.

Con base en los resultados obtenidos se considera que uno de los aspectos más importantes para el control de los peces es el estado de las variables físico-químicas del agua, por ello gran parte de los proyectos estudiados se orientan a brindar información sobre estos aspectos. Así, el encargado tiene información confiable a la mano para tomar decisiones oportunas y evitar pérdidas en el negocio.

Se vislumbra como nueva oportunidad el empleo de recursos energéticos, como los paneles solares, para aprovechar al máximo los recursos naturales y evitar el consumo excesivo de energía eléctrica.

Según cifras del Banco Mundial [52], en países como Colombia aún hay zonas rurales que no cuentan con servicio de energía eléctrica, ya que solo el 97 % de la población colombiana tiene acceso a esta; cifra menor comparada con otros países del continente, como Argentina (99,8 %), Brasil, Costa Rica (99,5 %) y Chile (99,6 %).

De acuerdo con los factores que pueden intervenir en el acceso a diferentes plataformas, se considera que aún en las zonas rurales el servicio de internet no es el mejor, por lo cual no se garantiza el éxito a la hora de implementar plataformas que envíen datos mediante esa red. Por esto se considera que, por el momento, la forma segura de almacenar la información es mediante un sistema local que permita el acceso en el punto de los estanques. No obstante, esto no depende directamente de los encargados de las pisciculturas, sino que es un tema de las autoridades regionales y nacionales.

Por lo anterior, es importante que las autoridades integren planes como los que se sugieren en la referencia [53], para facilitar la comunicación entre sectores piscicultores y permitir la integración de datos sobre el cultivo de los peces en las diferentes regiones. Para ello se sugiere el uso de herramientas como los Sistemas de Información Geográfica (SIG), los sensores remotos [54] y los sistemas de información para el almacenamiento de información contable y propia de la cría y reproducción [55].

Finalmente, también es factible considerar que las herramientas tecnológicas deben servir como apoyo para los procesos educativos que se basen en formar a los pequeños y medianos piscicultores, como lo han desarrollado en [56] y [57], al aplicar juegos móviles, aplicaciones de escritorio y páginas web para formar teóricamente a los estudiantes y brindar experiencias de simulación de cría, compra y venta de peces.

Estas experiencias, llevadas a cabo en la Universidad Industrial de Santander y la Universidad Cooperativa de Colombia, indican que el 95 % de los estudiantes comprendieron el ciclo de vida del pez y calificaron la experiencia como positiva.

Tabla 2. Aplicaciones tecnológicas según campo y plataforma

Plataforma / tecnología	Aplicaciones de escritorio	Aplicación móvil/SMS	Aplicación web	Otros
Sensores	[8], [9], [12], [23], [11], [14], [44], [45].	[16], [17], [19].	[20], [46], [21], [47].	[22], [25], [43], [50], [24], [51].
Alimentación automática	[29], [30].	[27], [28].		[31], [33], [32], [34].
Recambio de agua			[48].	
Detección inteligente	[41], [42], [43].			[40].

CONCLUSIONES

Tras finalizar la revisión sistemática de literatura se evidencian cuatro grandes aspectos para cubrir en el proceso de piscicultura: monitoreo de variables físico-químicas, alimentadores automáticos, sistemas de recambio de agua y algoritmos inteligentes de clasificación. Es por esto que se considera que el sistema ideal tenga automatización de tareas relacionadas, incluyendo control automático, alarmas, datos históricos y ajustes personalizados por medio de interfaz gráfica ofrecida a través de SMS, aplicaciones móviles, aplicaciones de escritorio y aplicaciones web.

Se reconocen claramente las oportunidades que ofrece la tecnología en el área de la piscicultura, y por eso es necesaria una asesoría oportuna por parte de expertos en el área, para construir sistemas robustos que maximicen las ganancias y permitan obtener un producto de la mejor calidad posible.

Se observa, además, que la adquisición de infraestructura de comunicación en las zonas rurales aún tiene inconvenientes, por lo cual se hace un llamado a las autoridades regionales encargadas para solventar estas debilidades y brindar un apoyo real a los pequeños y medianos piscicultores.

De igual forma se resalta la importancia de realizar investigaciones sobre materiales, sensores y dispositivos de comunicación utilizados, para idear prototipos de bajo costo y fácil instalación, y así asegurar que estos sean accesibles a la mayor cantidad de piscicultores posibles y que su uso garantice la mejora en los procesos que se lleven a cabo. Con el estudio, además, se perciben nuevas oportunidades de aplicación de tecnologías, en especial aquellas de bajo costo, que permitirían cumplir asimismo con los objetivos mencionados de mayor acceso y mejora en los procesos. También se destaca la importancia que puede tener el uso de energías alternativas para aprovechar al máximo los recursos naturales y minimizar el impacto ambiental.

Por último, vale mencionar la oportunidad para el personal encargado de realizar tareas alternativas y obtener la información sin estar las 24 horas del día presente en el lugar, así se aumenta la productividad y se garantiza un adecuado manejo del recurso humano.

REFERENCIAS

- [1] M. C. Merino, S. P. Bonilla y F. Bages, *Diagnóstico del estado de la acuicultura en Colombia*. Bogotá: Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca AUNAP, 2013.
- [2] M. A. Esquivel, M. C. Merino, J. J. Restrepo, A. Narváez, C. Polo, J. Plata y V. Puentes, *Estado de la pesca y la acuicultura 2014*. Bogotá: Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca AUNAP, 2014.
- [3] F. d. P. Gutierrez, *Los recursos hidrobiológicos y pesqueros continentales en Colombia*. Bogotá: Institución de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, 2010.
- [4] J. González Coneo, B. Nuñez Pérez y P. Viloria Molineros, "Sistema de monitoreo en tiempo real para la medición de temperatura", *Scientia et Technica*, vol. 17, n.º 50, pp. 128-131, 2012.
- [5] Á. A. Navarro Pérez, J. J. Prías Barragán, J. G. Marín Bedoya y J. B. Padilla Bejarano, *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.
- [6] Zigbee Alliance. (2017, 7 marzo). *What is ZigBee?* [En línea]. Disponible: <http://www.zigbee.org/what-is-zigbee/>.
- [7] G. Fonzeca González, E. Avendaño y A. L. Araque, "Supervisión de PH, redox y turbidez en una planta de tratamiento de agua utilizando WSN (Wireless sensor networks) con tecnología zigbee", *Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo*, vol. 14, n.º 1, pp. 14 -21, 2014. doi: <https://doi.org/10.19053/1900771X.4046>
- [8] S. Sridharan, "Water Quality Monitoring System Using Wireless Sensor Network", *International Journal of Advanced Research in Electronics and Communication Engineering*, vol. 3, n.º 4, pp. 399-402, 2014.
- [9] R. Bhandare, M. Chhajed y S. Sonavane, "Water Quality Monitoring System", *International Journal of Engineering and Technical Research*, vol. 3, pp. 97-100, 2015.
- [10] I. Santos, G. Souza y M. Margalho, "The Use of Underwater Wireless Networks in Pisciculture at Amazon", *International Journal of Computer Science Issues*, vol. 7, pp. 112-116, 2010.
- [11] A. L. Beltrán Alvarado, *Sistema de monitoreo de estanques truchas San Isidro* (tesis de postgrado), Bogotá: Universidad Santo Tomás, 2014.
- [12] R. Karthik Kumar, M. Chandra Mohan, S. Vengateshapandiyar, M. Mathan Kumar y R. Eswaran, "Solar based advanced water quality monitoring system using wireless sensor network", *International Journal of Science, Engineering and Technology Research*, 2014.
- [13] Á. A. Navarro Pérez, J. B. Padilla Bejarano y J. J. Prías Barragán, «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*, vol. 18, n.º 2, pp. 401-408, 2013.
- [14] E. E. Franco, J. C. Adamowski y F. Buiochi, "Ultrasonic sensor for the presence of oily contaminants in water", *Dyna*, vol. 79, n.º 176, pp. 4-9, 2012.
- [15] Comisión Europea, "Utilización eficiente de los recursos: un imperativo para las empresas", *Unión Europea*, 2011.
- [16] M. Ríos, R. Yauri, J. K. Rojas y V. C. Camarena, "Red de sensores inalámbricos para la medición de parámetros de calidad del agua usada en la crianza de peces amazónicos", en *III Congreso Internacional de Telecomunicaciones – TELCON UNI*, Lima, Perú, 2014.
- [17] S. A. Dussán, O. Vanegas, A. F. Chavarro y J. J. Molina, "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*, vol. 80, n.º 1, pp. 49-60, 2016.

- [18] A. Rodrigues Alves y C. R. da Silveira Junior, "Telemetria no monitoramento e controle do ambiente de piscicultura", en *6º Seminário de Iniciação Científica*, Goiânia, Brasil, 2012.
- [19] C. R. da Silveira Junior, A. Rodrigues Alves y L. Henrique Correia, "O uso do celular no monitoramento do ambiente de piscicultura", en *X Congresso Brasileiro de Agroinformática*, Ponta Grossa, 2015.
- [20] G. Bergamasco Beltran, R. M. Ribeiro, R. Bergamasco, L. Ferreira de Souza, L. Fermino y R. Verri, "Desenvolvimento de um Sistema de Monitoramento Remoto (Sem Fio) de O₂ Dissolvido em água", en *IX EPCC – Encontro Internacional de Produção Científica*, Paraná, Brasil, 2015.
- [21] F. L. Benalcazar Erazo, *Sistema de medición de nivel de agua en piscinas de control en un criadero de peces* (tesis de pregrado), Quito, Ecuador: Universidad Central del Ecuador, 2016.
- [22] A. Ethier y J. Bedard, "Development of a Real-Time Water Quality Buoy for the Fraser River Estuary", *Oceans - Europe*, 2007. doi:https://doi.org/10.1109/oceans.2007.4449424
- [23] F. A. Moreno Parra y P. A. Sepúlveda Hoyos, *Sistema de control supervisor de las condiciones ambientales de una bodega de peces ornamentales* (tesis de pregrado), Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana, 2004.
- [24] F. J. Espinosa-Faller y G. E. Rendón-Rodríguez, "A ZigBee Wireless Sensor Network for Monitoring an Aquaculture Recirculating System", *Journal of Applied Research and Technology*, vol. 10, n.º 3, pp. 380-387, 2012.
- [25] M. Barabde y S. Danve, "Real Time Water Quality Monitoring System", *International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering*, vol. 3, n.º 6, pp. 5064-5069, 2015. doi: https://doi.org/10.15680/ijirccce.2015.0306016.
- [26] P. Bou, S. Regojo, F. Torrent, S. Ronda, A. Saiz y O. San Miguel, "Efecto de la implantación de dispositivos de identificación electrónica en diferentes especies de peces. Resultados parciales obtenidos en Anguilla europea (Anguilla anguilla)", en *XII Congreso Nacional de Acuicultura*, Madrid, España, 2009.
- [27] J. D. León Quenguan y D. Rueda Almarío, *Dispensador automático de comida para mascotas, programable y controlado remotamente* (tesis de pregrado), Santiago de Cali, Colombia: Universidad del Valle, 2013.
- [28] N. Uddin, M. Rashid, M. Mostafa, H. Belayet, S. Salam, N. Nithe, M. Rahman y A. Aziz, "Development of Automatic Fish Feeder", *Global Journal of Researches in Engineering: A Mechanical and Mechanics Engineering*, vol. 16, n.º 11, pp 1-41, 2016.
- [29] L. E. Ramírez Vargas y E. D. Gutiérrez Patiño, (2015). *Repositorio Institucional Universidad Distrital*. [En línea]. Disponible: <http://repositorio.udistrital.edu.co/bitstream/11349/2239/1/RamirezVargasLuisEduardo2015.pdf>.
- [30] J. Gallo, G. Moreno Contreras, C. A. Peña Cortés y L. Peña Cortés, "Diseño de un sistema avanzado de dosificación de concentrado para peces en cautiverio", *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, vol. 1, n.º 21, pp. 67-73, 2013.
- [31] G. R. Almeida Brito, *Diseño e implementación de un sistema automatizado de control de cambio de agua y mantenimiento de acuarios medianos y pequeños* (tesis de pregrado), Quito, Ecuador: Escuela Politécnica Nacional, 2014.
- [32] R. Sousa, C. Agostinho, F. Oliveira, D. Argentim, P. Novelli y S. Agostinho, "El rendimiento productivo de la tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) alimentada a diferentes frecuencias y periodos con dispensador automático", *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, vol. 64, n.º 1, pp. 192-197, 2012. doi: https://doi.org/10.1590/S0102-09352012000100027
- [33] A. Ogunlela y A. Adebayo, "Development and Performance Evaluation of an Automatic Fish Feeder", *Journal of Aquaculture Research & Development*, vol. 7, n.º 2, pp. 1-4, 2016.
- [34] C. Sousa Magela De Menezes, *Automação do manejo alimentar na engorda de tilápias criadas em tanque-rede* (tesis de posgrado), Botucatu: Universidade Estadual Paulista, 2014.
- [35] S. Murillo Escalante, *Sistema acuapónico para pequeños y medianos piscicultores*. Cartago, Costa Rica: Instituto Tecnológico de Costa Rica, 2011.
- [36] L. Castro-Nieto, T. Castro-Barrera, R. De Lara-Andrade, J. Castro-Mejía y G. Castro-Mejía, "Sistemas biofloc: un avance tecnológico en acuicultura", *Revista Digital del Departamento El Hombre y su Ambiente*, vol. 1, n.º 1, pp. 1-6, 2012.

- [37] L. Bonilla B., L. Casabianca, J. Montaña S. , S. Pantoja V. , D. Rada C. y C. Salcedo R. , “Diseño y construcción de un prototipo de sistema acuapónico para el aprovechamiento y tratamiento de desechos de piscicultura de la Hacienda La Cosmopolitana, Restrepo – Meta”, *Revista de Tecnología*, vol. 14, n.º 2, pp. 97-104, 2015.
- [38] C. L. Lara-Espinoza, A. Espinosa-Plascencia, M. Rivera-Domínguez, K. R. Astorga-Cienfuegos, E. Acedo-Félix y M. d. C. Bermúdez-Almada, “Desarrollo de camarón *Litopenaeus vannamei* en un sistema de cultivo intensivo con biofloc y nulo recambio de agua”, *Revista AquaTIC*, n.º 43, pp. 1-13, 2015.
- [39] J. Lloret Pineda, *Diseño, instalación y mantenimiento de un acuario de exposición de agua dulce* (tesis de pregrado), Cádiz: Universidad de Cádiz, 2006.
- [40] D. V. Paredes Bravo y A. E. Pilco Ati, *Sistema automático de clasificación y cuantificación de peces para la acuicultura con enfoque al cambio de la matriz productiva en la Hacienda El Prado*. Pichincha, Ecuador: Universidad de las Fuerzas Armadas, 2015.
- [41] H. Orellana Lizano, *Diseño y desarrollo de un algoritmo que permita estimar el tamaño de peces, aplicando visión por computadora, y propuesta para realizar la selección adecuada de dichos peces* (tesis de Pregrado). Lima, Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú, 2008.
- [42] A. Rico-Díaz, J. Rabuñal, J. Puertas, L. Pena y A. Rodríguez, Un sistema de detección de peces para escala de hendidura vertical utilizando tecnología láser y técnicas de visión artificial”, *Ingeniería del Agua*, vol. 19, n.º 4, pp. 229-239, 2015.
- [43] R. D. Vásquez Salazar, A. A. Cardona Mesa y L. Y. Ocampo Osorio, “Propuesta de sistema de conteo de alevines de tilapia roja de bajo costo usando técnicas de visión artificial”, *Revista Politécnica*, n.º 21, pp. 85-95, 2015.
- [44] M. Márquez Díaz, I. Pulido Calvo, J. Gutiérrez Estrada y I. de la Rosa, “Sistema de regulación de compuertas para balsas de acuicultura semi-intensiva basado en LabVIEW”, en *IV Jornadas de Ingeniería del Agua*, Córdoba, 2015.
- [45] G. M. Rubio Reque y H. B. Chotón Posadas, *Diseño e implementación de un sistema de control automático para el acuario ‘Ralfish’ en la ciudad de Trujillo* (tesis de pregrado), Trujillo, Perú: Universidad Privada Antenor Orrego, 2015.
- [46] D. I. Rivera Herrera y E. A. Yépez Aroca, *Diseño e implementación de un prototipo para la medición de la calidad del agua y control de la oxigenación en forma remota orientado a la producción acuícola*. Guayaquil, Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana, 2015.
- [47] L. S. Dulanto Ramos, *Diseño de un sistema de monitoreo remoto de parámetros ambientales críticos de la planta piloto de acuicultura de la PUCP* (tesis de pregrado). Lima, Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú, 2010.
- [48] L. P. Cajas Aguilar y F. S. Hidalgo Castro, *Diseño e implementación de un prototipo de telecontrol de piscina de acuicultura para cultivo de especies con interfaz web mediante uso de hardware y software libre* (tesis de pregrado). Guayaquil, Ecuador: Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2015.
- [49] R. D. Vásquez-Salazar, A. C. Pupo-Urrutia y H. J. Jiménez-Aguas, “Sistema energéticamente eficiente y de bajo costo para controlar la temperatura y aumentar el oxígeno en estanques de cultivo de alevines de tilapia roja”, *Revista Facultad de Ingeniería*, vol. 23, n.º 36, pp. 9-23, 2014.
- [50] L. A. Sala Carlosama, *Contricción de un prototipo de detección y control electrónico de temperatura e iluminación para el ecosistema de un acuario de peces tropicales en un clima templado* (tesis de pregrado). Quito, Ecuador: Escuela Politécnica Nacional, 2014.
- [51] R. Ribeiro Laranjeira, *Control remoto y autónomo de un sistema de acuicultura*. Aveiro, Portugal: Universidad de Aveiro, 2014.
- [52] Banco Mundial. (2017). *Acceso a la electricidad (% de población)*. [En línea]. Disponible: <http://datos.bancomundial.org/indicador/EG.ELC.ACCS.ZS?locations=CO>.
- [53] S. John J. , M. Rajasekharan y Á. I. Guzmán-Alvis, “Aplicaciones de los sistemas de información geográfica y sensores remotos al manejo de pesquerías marinas y desafíos para su desarrollo en Colombia”, *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, vol. 38, n.º 1, pp. 105-120, 2009.
- [54] M. M. Lara, A. A. Álvarez y J. C. Macías, El Sistema de Información Geográfica (SIG) aplicado a la planificación y gestión de la acuicultura ma-

rina”, en *XII Congreso Nacional de Acuicultura*, Madrid, España, 2009.

- [55] N. Masso Bedoya, *Software de gestión piscícola* (tesis de pregrado). Bogotá, Colombia: Universidad Libre, 2015.
- [56] H. H. Andrade Sosa, G. P. Maestre Góngora, J. J. Castro Castro y M. R. Zambrano Urbina, “Aprendiendo con dinámica de sistemas y desarrollando competencias para la toma de decisiones - una experiencia en la educación: Ambiente

Virtual de Aprendizaje Pesco 2.0”, en *X Congreso Latinoamericano de Dinámica de Sistemas*, Buenos Aires, Argentina, 2012.

- [57] A. Z. Juan S., A. S. Hugo H. y V. C. Carlos A., “Dinámica de sistemas como herramienta para el aprendizaje y toma de decisiones en un sistema productivo de piscicultura”, en *XIII Congreso Latinoamericano de Dinámica de Sistemas y XIII Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas*, Cartagena de Indias, Colombia, 2015.