

El Open Source y la oxigenación del agua en la crianza intensiva del "Paco" (*Piaractus brachypomus*)

The Open Source and the water oxygenation in the intensive breeding of "Paco" (*Piaractus brachypomus*)

Leyber Panduro Alvarado ¹

Citar como:

Panduro, L. (2019). El Open Source y la oxigenación del agua en la crianza intensiva del "Paco" (*Piaractus brachypomus*). *Gaceta Científica*, 9(3), 97-102. <https://doi.org/10.46794/gacien.9.3.2001>

¹ Magíster en Ingeniería de Sistemas,
mención en Tecnología de
Información y Comunicación.

Universidad Nacional Hermilio
Valdizán, Huánuco, Perú.

paleyber@gmail.com.

<https://orcid.org/0009-0000-8059-0589>

Recibido: 22/03/2023

Aceptado: 09/07/2023

Publicado: 14/07/2023

Autor de correspondencia:

Leyber Panduro Alvarado

paleyber@gmail.com

Resumen

Objetivo. El estudio buscó analizar la oxigenación del agua en la crianza intensiva del "Paco" aplicando el Open Source. **Métodos.** Se realizó un estudio explicativo, cuya población estuvo constituida por las piscigranjas de la Agropecuaria Ebenezer, en el Fundo Ecológico La Colorada, en la región Ucayali (Perú). Se desarrolló la instalación de un método para el control y la toma de datos del oxígeno disuelto, mediante un programa computacional que activaba el sistema Venturi, el cual activaba a su vez el sistema de oxigenación, controlado por un sistema de microcontrolador Arduino. **Resultados.** Se determinó la influencia de los shield Arduino en el proceso de oxigenación del agua para la crianza intensiva del "Paco", permitiendo el uso de energía limpia; así mismo, se pudieron conocer los resultados diferenciados en la producción de la crianza intensiva del "Paco", de acuerdo a la oxigenación del agua. **Conclusión.** Se logró determinar que la aplicación del Open Source permitió una mejor oxigenación del agua en la crianza del "Paco", alcanzando una mejora superior a 2,2 mg/l, y alcanzando un valor mínimo de 6,44 mg/l en su aplicación.

Palabras clave: *Open Source; oxigenación del agua; Piaractus brachypomus; crianza; energía verde.*

Abstract

Objective. The study sought to analyze the oxygenation of water in the intensive breeding of "Paco" applying the Open Source. **Methods.** An explanatory study was carried out, whose population was constituted by the fish-farms of Agropecuaria Ebenezer, in the el Fundo Ecológico La Colorada, in the Ucayali region (Peru). It developed the installation of a method for control and collection data on dissolved oxygen, using a computer program that activated the Venturi system, which in turn activated the oxygenation system, controlled by an Arduino microcontroller system. **Results.** It determined the influence of the Arduino shield on the water oxygenation process for the intensive breeding of "Paco", allowing the use of clean energy; Likewise, it was possible to know the differentiated results in the production of the intensive breeding of the "Paco", according to the oxygenation of the water. **Conclusion.** It achieved determined that the application of Open Source allowed better oxygenation of the water in the breeding of "Paco", reaching an improvement greater than 2.2 mg/l, and reaching a minimum value of 6.44 mg/l in its application.

Keywords: *Open Source; water oxygenation; Piaractus brachypomus; breeding; green energy.*

Introducción

La calidad del agua es uno de los determinantes más importantes en la producción acuícola. La creciente demanda de productos acuícolas obliga a muchos productores con recursos limitados de tierra y agua a maximizar la producción pesquera utilizando métodos de cultivo de alta intensidad (Clark y Helfrich, 2006), caracterizados por altas densidades de población y prácticas de alimentación intensivas en ambientes controlados (Tilman et al., 2002).

Si bien estas prácticas de cría aumentan la producción, estas también pueden tener un costo, y los peces en estos sistemas a menudo están expuestos a una menor calidad del agua y a los consiguientes efectos negativos sobre la salud y el rendimiento, como niveles elevados de estrés, alta incidencia de enfermedades, crecimiento reducido y disminución de la supervivencia (Ellis et al., 2002). En ese sentido, se ha comprobado que en estas condiciones los peces se ven afectados en su alimentación, la cual disminuye cuando se encuentran en estrés ante los bajos niveles de oxígeno, lo que conduce a la pérdida de este insumo, afectando el aumento y la tasa de conversión alimenticia (Rodríguez y Anzola, 2001). Ahora bien, la calidad del agua está determinada inicialmente por la fuente de agua (primer uso) y se deteriora a medida que avanza por los sucesivos pasos del canal (Welker et al., 2019).

El oxígeno disuelto suele ser el primer parámetro limitante en los sistemas de canalización de flujo (Colt y Orwicz, 1991). Los vertederos y la aireación a través del límite aire-agua al final de los canales proporcionan transferencia de oxígeno y tienen un impacto crítico en la capacidad de transporte (Colt et al., 2009). Sin embargo, con mejoras en la aireación y el funcionamiento adecuado de estos sistemas, los impactos del dióxido de carbono y otros parámetros de calidad del agua pueden convertirse en las principales variables limitantes (Naylor et al., 2011). Las concentraciones elevadas de CO₂ disuelto en el ambiente (hipercapnia ambiental) pueden alterar el equilibrio ácido-base interno (Crocker y Cech, 1998), lo que a su vez puede reducir el consumo de alimento y el crecimiento y estimular la nefrocalcinosis (Foss et al., 2003).

Las empresas piscícolas que se dedican a la crianza intensiva en la región de Ucayali (Perú), y en toda la selva, baja tienen un gran problema, que es la oxigenación del agua. La mayoría de las empresas piscícolas en la región selva de nuestro país, Perú, desarrollan sus actividades en piscigranjas construidas por ellos. Este modelo renueva parcialmente el agua en tiempos de lluvias, oxigenando el agua solo en estos tiempos, proceso durante el cual los peces se

estresan por la baja cantidad de oxígeno disuelto en agua y las altas temperaturas, lo que provoca la disminución del apetito, la vulnerabilidad a enfermedades y, finalmente, la demora en alcanzar el tamaño, peso y calidad de la carne al faenado, por lo que la tasa de retorno de la inversión es más prolongada; esto hace que el monto del capital inicial sea alto.

Aliaga et al. (2017) realizaron un sistema automatizado para el control y monitoreo del comportamiento de alevinos de Paiche en cautiverio, en el cual se pudo identificar, además de los diferentes parámetros, el nivel de oxígeno, el pH, y otros elementos que son de vital importancia para la producción del Paiche; así mismo, la confección de un sistema de cambio de agua y alimentación en forma automatizada, cuyos resultados fueron favorables y mejoraron las posibilidades de desarrollo económico de su región con la conformación de cadenas productivas a nivel de la cuenca del río Ucayali, contribuyendo al PBI regional y nacional (Aliaga et al., 2017).

Por otro lado, Mache (2015) desarrolló el incremento de biomasa de truchas juveniles "Arco Iris" (*Oncorhynchus mykiss*) alimentadas con alimento comercial "Crecimiento 3" por 49, 76, 103 y 130 días en la piscigranja "La Cabaña" localizada en el anexo de Miraflores, distrito de Sapallanga, región Junín, Perú, con el objetivo de determinar el tiempo óptimo para cambiar el tipo de alimento de las truchas juveniles, antes de pasar al engorde. Los resultados mostraron diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0,05$).

En conclusión, el modelo que ha sido propuesto en el presente estudio fue el desarrollo de un sistema computacional integral en hardware y software, para incrementar oxígeno en el agua a través del sistema Venturi. Para ello, se aplicó como fuente de energía un sistema fotovoltaico, el cual alimenta a la interface que controla todo el sistema del hardware y la bomba de agua; en su conjunto generan presión de agua, la cual pasa por un conducto que tiene aire; todo ello se expulsa a un metro bajo la superficie del agua, lo que genera microburbujas e incrementa la captura del oxígeno en el agua. El objetivo de la aplicación del modelo fue, por consiguiente, analizar la oxigenación del agua en la crianza intensiva del "Paco" (*Piaractus brachypomus*), aplicando el Open Source, que consiste en un programa informático que permite el acceso a su código de programación, lo que facilita modificaciones por parte de otros programadores.

El resultado y producto de la investigación es de gran relevancia para la producción acuícola de la región de Ucayali, porque permitirá mejorar la oxigenación del agua en la crianza intensiva de uno

de los tipos de peces de la región, como es el "Paco", a través de los sistemas de Open Source, lo que traerá como resultado el mejoramiento de la cadena de producción piscícola en la misma.

Métodos

Tipo de estudio

Según la naturaleza del estudio, así como por el fin que persigue, este fue de tipo explicativo (Jiménez, 1998) dado que se centró en responder al comportamiento de la oxigenación del agua bajo situaciones de aireación y su efecto en la producción de los peces.

Criterios de selección de la población

La población es "un conjunto finito o infinito de elementos con características comunes para los cuales serán extensivas las conclusiones de la investigación. Ésta queda delimitada por el problema y por los objetivos del estudio". (Arias, 2012; p. 81). La población del presente estudio estuvo constituida por todas las piscigranjas de la agropecuaria Ebenezer, en el Fundo Ecológico La Colorada, en la región de Ucayali (Perú).

Muestra/tipo de muestreo

La muestra fue no probabilística e intencional (Otzen y Manterola, 2017), ya que se estableció tomar la muestra igual a la población, por ser una sola unidad de producción de peces.

Instrumentos de recolección de datos/proceso de validación de los instrumentos de medición

La técnica utilizada para la recolección de datos fue un formulario que se aplicó para medir la oxigenación del agua, antes y después de la aplicación del sistema computacional para la activación del sistema Venturi. Por otro lado, el instrumento utilizado fue un pretest y postest para evaluar la crianza del "Paco"; así mismo, se aplicó la observación, teniendo por instrumento una guía de observación, lo que permitió conocer la relación de las variables en estudio y su comportamiento, así como la forma de oxigenación del agua.

Sobre la validación del instrumento, Sánchez et al., (2018) sostienen que "la validez es el grado en que un método o técnica sirve para medir con efectividad lo que supone que está midiendo. Se refiere a que el resultado obtenido mediante la aplicación del instrumento, demuestra medir lo que realmente se desea medir" (p. 124). Es así como la determinación de la validez de los instrumentos se hizo mediante el juicio de expertos, alcanzando en una escala de 0-4 puntos un valor de 4.

Procedimientos de la recolección de datos

En el desarrollo de la presente investigación se instaló

un sistema de control para la toma de datos del oxígeno disuelto, el cual fue un sensor del oxígeno disuelto. Para medir el proceso de oxigenación del agua se desarrolló un programa computacional para la activación del sistema de Venturi, el cual funciona con un sistema de energía fotovoltaica que activa el sistema de oxigenación, controlado por un sistema de microcontrolador Arduino. Así mismo, se elaboró un diagrama de conexión del sistema fotovoltaico, el sistema de oxigenación de Venturi y el módulo de Arduino, con los shields de Timer, Rely y conversor 12V a 5V. Finalmente, se desarrolló el software con las siguientes librerías adicionales: Time h, Time Alarms.h, DS1307RTC.h.

Análisis de datos

El análisis de datos fue desarrollado mediante la estadística descriptiva (Posada, 2016), a partir de la cual se describieron los datos obtenidos de la oxigenación del agua, antes y después de la aplicación de la intervención, así como el crecimiento del "Paco" en el periodo de observación.

Aspectos éticos

Para Shanks (2003), no solo se trata de un debate sobre cómo se aplica la práctica de experimentos en animales, sino del cómo los seres humanos y la ciencia han tenido en cuenta o no a la naturaleza; es decir, este proporciona además el requerimiento de una visión holística de las distintas formas de vida y sus interrelaciones

En el presente estudio, todos los procedimientos fueron realizados con sumo cuidado y manteniendo en todo momento las condiciones de intervención en los peces con el único propósito de que los organismos mejoren su calidad de supervivencia y puedan crecer con mayor facilidad al oxigenar el agua, sobre todo por ser en un hábitat (Berlinghieri et al., 2021).

Resultados

La toma de datos se desarrolló durante 26 semanas, tiempo en el que el "Paco" ha alcanzado el peso y tamaño comercial, iniciando las lecturas el 14 de agosto del 2020 y finalizando el 5 de febrero del 2021. El promedio del oxígeno disuelto en el agua fue de 6,77 mg/l, superando ampliamente los mínimos requeridos para la crianza de esta variedad; siendo el mínimo de 4,0 mg/l, teniendo un máximo de 7,1 mg/l y un mínimo de 6,4 mg/l. En la semana siete se observó una disminución del oxígeno a 6,5 mg/l, debido a que en esa semana los cielos estuvieron despejados y la temperatura del medio ambiente se incrementó en un promedio de 37 °C. Entendiendo que en el postest se contó con el sistema de

oxigenación por el modelo Venturi en la piscigranja.

De las tomas de datos se puede apreciar que la ganancia de peso y tamaño tuvieron un incremento constante hasta la semana diecisiete, superior a lo esperado; donde el verano se ha acentuado más, influenciando en la temperatura del agua. Por ende, los peces buscan la profundidad de la piscigranja y las sombras, bajando su consumo de alimento. Para disminuir el efecto del sol se procedió a colocar una malla arpillera con un porcentaje de filtro de un 50 %, lo que trajo como consecuencia un mejor confort de los peces.

A partir de la semana dieciocho, se comenzaron a ver los efectos de la aplicación del sistema de oxigenación del agua y de la malla arpillera, lo que se manifestó en la ganancia de peso en un promedio del 12 % por semana y del tamaño en un 11%.

A diferencia del pretest, a partir de la semana veintidós el incremento de peso subió a casi un 12,5 % por semana, debido a lo cual, el peso comercial se llegó a tener en la semana veintiséis, con 515,3 gr y un largo de 26,3 cm, teniendo un diferencial de cuatro semanas en llegar a los óptimos esperados. Todo esto significa un ahorro en tiempo, alimento, guardianía y mantenimiento de la piscigranja.

Luego de haber concluido con la investigación y de los resultados obtenidos en el postest sobre la oxigenación del agua en la crianza intensiva del "Paco" aplicando el Open Source, los resultados sobre la hipótesis propuesta, los shield Arduino en el proceso de oxigenación del agua para la crianza intensiva del "Paco" influyen significativamente, ya que en tan solo en 26 semanas el "Paco" alcanzó el peso y tamaño comercial. Además, el promedio del oxígeno disuelto en el agua fue de 6,77 mg/l superando ampliamente los mínimos requeridos para la crianza de esta variedad, siendo el mínimo de 4,0 mg/l, teniendo un máximo de 7,1 mg/l y un mínimo de 6,4 mg/l, tal como se puede evidenciar en la Tabla 1.

Discusión

El estudio determinó que la aplicación de Open Source mejora la oxigenación del agua en la crianza del "Paco", alcanzando una mejora superior a 2,2 mg/l, y un valor mínimo de 6,44 mg/l en su aplicación, el mismo que se logró mediante un sistema de mejoramiento del proceso de oxigenación del agua en la crianza intensiva de una especie de peces como el "Paco", ubicado dentro de las piscigranjas. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Aliaga et al. (2016), quienes aplicaron un modelo de sistema constructivo basado en las tecnologías de

la información, lo que permitió la crianza y el manejo del *Arapaima gigas* (Paiche) en cautiverio, identificando parámetros como temperatura, oxígeno, pH y conductividad eléctrica, cuyos resultados indicaron que fueron positivos y que, de esa manera, contribuiría a la consolidación de la "Paichicultura" como actividad productiva en su región. Así mismo, los estudios de Andrade (2007) consiguieron desarrollar un sistema hidráulico de recirculación de agua para la fase de incubación y cultivo larval del Halibut del Atlántico, lográndose la recirculación para una reutilización del agua del 95 % como máximo; lo cual mejoró la eficiencia en la crianza de larvas.

Tabla 1

Lectura de oxígeno disuelto en el agua mg/l

N.º	Día	Oxigenación del agua (mg/l)
1	14/08/2020	7,0
2	21/08/2020	7,0
3	28/08/2020	7,1
4	4/09/2020	6,9
5	11/09/2020	6,8
6	18/09/2020	7,0
7	25/09/2020	6,5
8	2/10/2020	6,9
9	9/10/2020	7,1
10	16/10/2020	6,8
11	23/10/2020	6,8
12	30/10/2020	6,8
13	6/11/2020	6,7
14	13/11/2020	6,7
15	20/11/2020	6,7
16	27/11/2020	6,7
17	4/12/2020	6,7
18	11/12/2020	6,6
19	18/12/2020	6,6
20	25/12/2020	6,8
21	1/01/2021	6,8
22	8/01/2021	6,7
23	15/01/2021	6,7
24	22/01/2021	6,7
25	29/01/2021	6,5
26	5/02/2021	6,4

Por consiguiente, encontramos que las modificaciones en la mejora de la calidad del agua y la oxigenación son óptimas y positivas para la crianza y la obtención de mejores productos.

Limitaciones

La principal limitación que se encontró son los escasos antecedentes del estudio desarrollado, al momento de trabajar con investigaciones similares.

Conclusión

Se determinó la influencia de los shield Arduino en el proceso de oxigenación del agua para la crianza intensiva del "Paco", permitiendo el uso de energía limpia, sistema fotovoltaico, el cual se ha podido abastecer sin ninguna dificultad a través de todo el sistema computacional de oxigenación con el modelo Venturi.

Así mismo, se observaron resultados diferenciados en la producción de la crianza intensiva del "Paco", de acuerdo a la oxigenación del agua. En el caso de la ganancia de peso del "Paco" se apreció que hasta la semana 9, los índices son iguales tanto en el pre como en el postest, teniendo valores diferenciados a partir de la semana 10. Al aplicar el sistema de oxigenación del agua se logró el peso comercial en la semana 26, mientras que en el pretest el peso alcanzado recién se dio en la semana 31. En el caso del tamaño de los peces, al finalizar las 31 semanas en el pretest se pudo obtener una medida de 29 cm de largo, mientras que en el postest en la semana 26 el tamaño alcanzado fue de 26,3 cm. Para el mercado al cual se atiende se considera más el peso que el tamaño, no siendo un valor determinante al momento de su comercialización.

En conclusión, la aplicación de Open Source mejora la oxigenación del agua en la crianza del "Paco", alcanzando una mejora superior a 2,2 mg/l, y un valor mínimo de 6,44 mg/l en su aplicación.

Referencia bibliográficas

Aliaga, E., Román, W., y Pinedo, R. (2017). Sistema automatizado para el control y monitoreo del comportamiento de alevinos de Paiche en cautiverio. *Revista UPP - Revista de Investigación Científica Cultura Viva Amazónica*, 2(01). doi: 10.37292/riccva.v2i01.44

Andrade, J. (2007). Diseño de un sistema de recirculación de agua para la fase de incubación y cultivo larval del Halibut del Atlántico [Tesis de pregrado, Universidad de Magallanes].

Arias, F. (2012). El Proyecto de Investigación:

Introducción a la metodología científica. Editorial Episteme. <https://abacoenred.com/wp-content/uploads/2019/02/El-proyecto-de-investigaci%C3%B3n-F.G.-Arias-2012-pdf-1.pdf>

Berlinghieri, F., Panizzon, P., Penry, W. I. L., y Brown, C. (2021). Lateralidad y bienestar de los peces: una revisión. *Ciencia aplicada del comportamiento animal*, 236(2021), 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2021.105239>

Clark, M., y Helfrich, L. (2006). Comparación de la calidad del agua y la producción de trucha "Arco Iris" en canales oxigenados y aireados. *North American Journal of Aquaculture*, 68(1), 41-46 doi: 10.1577/A05-020.1.

Colt, J., Watten, B., y Rust, M. (2009). Modelado de las relaciones entre dióxido de carbono, pH y amoníaco no ionizado en sistemas de reutilización en serie. *Aquacultural Engineering*, 40(1), 28-44. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2008.10.004>

Crocker, C. E., y Cech, J. J. (1998). Efectos de la hipercapnia sobre los gases en sangre y el estado ácido-base en el esturión blanco. *Acipenser transmontanus*. *J Comp Physiol B.*, 168, 50-60. <https://doi.org/10.1007/s003600050120>

Ellis, T., North, B., Scott, A. P., Bromage, N. R., Porter, M., y Gadd, D. (2002). The relationships between stocking density and welfare in farmed rainbow trout. *J. Fish Biol.*, 61(2002), 493-531. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2002.tb00893.x>

Foss, A., Røsnes, B. A., y Oiestad, V. (2003). Graded .environmental hypercapnia in juvenile spotted wolffish (*Anarhichas minor* Olafsen). *Aquaculture*, 220(1-4), 607-617. [10.1016/S0044-8486\(02\)00613-0](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(02)00613-0)

Jiménez, R. (1998). Metodología de la investigación: Elementos básicos para la investigación clínica *Ciencias Médicas*.

Mache C. (2015). Incremento de biomasa de truchas juveniles Arco Iris *Oncorhynchus mykiss* alimentadas con alimento comercial "Crecimiento 3" por 49, 76, 103 y 130 días en la piscigranja "La Cabaña" [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro]. Repositorio institucional de la Universidad del Pacífico.

<https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/1845/Tesis%20Mache.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Naylor, M., Kaiser, H., y Jones, C. L. (2011). Water quality in a serial-use raceway and its effect on the growth of South African abalone, *Haliotis midae* Linnaeus, 1758. *Aquac. Res.*, 42(7), 918-930. doi: 10.1111/j.1365-2109.2010.02660.x

TOtzen, T., y Manterola, C. (2017). Técnicas de muestreo sobre una población a estudio. *Int. J. Morphol.*, 35(1), 227-232. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-95022017000100037>

Posada, G. (2016). Elementos básicos de estadística descriptiva para el análisis de datos. Editorial Luis Amigo.

Rodríguez, H., y Anzola, E. (2001). La calidad del agua y la productividad de un estanque en acuicultura [Archivo PDF]. Biblioteca digital Agropecuaria de Colombia. <https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/34940/27467.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Sánchez Carlessi, H., Reyes Romero, C., y Mejía Sáenz, K. (Ed.). (2018). Manual de términos

en investigación científica, tecnológica y humanística. Editorial Universidad Ricardo Palma.

<https://www.urp.edu.pe/pdf/id/13350/n/libro-manual-de-terminos-en-investigacion.pdf>

Shanks, N. (2003). Los derechos de los animales a la luz de la cognición animal. *Social Alternatives*. 22(1), 12-18. Ilman, D., Cassman, K., Matson, P., Naylor, R., y Polasky, S. (2002). Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*, 418, 671-677. <https://doi.org/10.1038/nature01014>

Welker, T. L., Overturf, K., y Abernathy, J. (2018). Effect of Water Source and Trout Strain on Expression of Stress Affected Genes in a Commercial Setting. *North American Journal of Aquaculture*, 80(3), 249-262. <https://doi.org/10.1002/naaq.10028>

Welker, T. L., Overturf, K., y Abernathy, J. (2019). Efecto de la aireación y oxigenación sobre el crecimiento y la supervivencia de la trucha "Arco Iris" en un sistema comercial de canalización de flujo en serie. *Aquaculture Reports*, 14(1), 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2019.100194>

Contribución de los autores

Este artículo científico fue elaborado por un único autor, quien desempeñó un papel integral en todas las etapas del proceso de investigación, desde la concepción y diseño del estudio hasta la recopilación y análisis de datos. El autor también se encargó de la redacción del manuscrito y la toma de decisiones en cuanto a la publicación. La versión final del artículo fue revisada y aprobada por el autor.

Fuentes de financiamiento

La investigación fue realizada con recursos propios.

Conflictos de interés

El autor declara no tener conflictos de interés.

Autor de correspondencia

paleyber@gmail.com