

Evaluación de la producción de tilapia roja (*oreochromis sp*) criados con tecnología biofloc



Revista EIA
ISSN 1794-1237
e-ISSN 2463-0950
Año XIX/ Volumen 21/ Edición N.42
Julio - diciembre de 2024
Reia4232 pp. 1-23

Publicación científica semestral
Universidad EIA, Envigado, Colombia

PARA CITAR ESTE ARTÍCULO / TO REFERENCE THIS ARTICLE /

Quintero-Sánchez, Y. D.; Sánchez-Portillo, S.; Bracho- Colina, E.; Salazar-Sánchez, M.; Pereira Flores, L. F.; Hernández-Martínez, I. Y.

Evaluación de la producción de tilapia roja (*oreochromis sp*) criados con tecnología biofloc

Revista EIA, 21(42), Reia4223.

pp. 1-23.

<https://doi.org/10.24050/reia.v21i42.1761>

v21i42.1761

✉ Autor de correspondencia:

Yesly Dayana Quintero-Sánchez
Ingeniera Agroindustria
Universidad Popular del Cesar,
Colombia
ydquintero@unicesar.edu.co

Recibido: 13-02-2024

Aceptado: 27-05-2024

Disponible online: 01-07-2024



Yesly Dayana Quintero-Sánchez¹

Steffanny Sánchez-Portillo²

Erimar Bracho- Colina¹

Margarita Salazar-Sánchez³

Luis Francisco Pereira Flores¹

Ingris Y Hernández-Martínez¹

1. Universidad Popular del Cesar, Colombia
2. Universidad Autónoma de Coahuila, México.
3. Universidad del Cauca, Colombia

Resumen

La acuicultura es actividad dirigida a producir y engordar organismos bajo condiciones controladas de especies desarrolladas en el medio acuático, siendo la tecnología biofloc una alternativa viable, aprovechando los residuos orgánicos e inorgánicos a través de microorganismos heterótrofos presentes en el agua y empleando mejor los recursos hídricos. El objetivo de este estudio fue evaluar la producción de tilapia roja (*Oreochromis sp*) criada en un sistema con tecnología biofloc (TBF), utilizando un diseño no experimental descriptivo empleándose un total de 5000 alevinos de tamaño promedio inicial de 1,5 cm y peso de 0,6 g, monitoreando constantemente los parámetros fisicoquímicos (pH, amonio, nitrito, nitrato, sedimentación, oxígeno disuelto, y temperatura). Se midieron aspectos como incremento de peso (IP), Consumo total de alimento (CTA), Consumo diario (CD), Factor de conversión alimenticia (FCA). Los resultados evidenciaron que los parámetros fisicoquímicos del agua en este sistema se encuentran dentro de los rangos recomendados para el cultivo de tilapia. Se observó que en algunas semanas durante el crecimiento del pez hubo un bajo índice de conversión alimentaria con valores de 0.33, 0.35, 0.53, 0.67, 0.79, 0.91, 0.99, influyendo de esta manera en la reducción de los costos de producción, teniendo en cuenta que entre más cercana al cero sea el FCA mayor será la eficiencia del uso de alimento, por lo que en este caso la implementación del sistema no fue el óptimo (por volumen de producción) debido a que no se dio un bajo índice en todo el cultivo, generando problemas de rentabilidad.

Palabras clave: acuicultura; alevinos; costos de producción; conversión alimentaria; parámetros fisicoquímicos; rentabilidad.

Evaluation of the production of red tilapia (*Oreochromis sp*) reared with biofloc technology

Abstract

Aquaculture is an activity aimed at producing and fattening organisms under controlled conditions of species developed in the aquatic environment, with biofloc technology being a viable alternative, taking advantage of organic and inorganic waste through heterotrophic microorganisms present in the water and making better use of water resources. The objective of this study was to evaluate the production of red tilapia (*Oreochromis sp*) reared in a biofloc technology (TBF) system, using a descriptive non-experimental design employing a total of 5000 fingerlings with an average initial size of 1.5 cm and weight of 0.6 g, constantly monitoring physicochemical parameters (pH, ammonium, nitrite, nitrate, sedimentation, dissolved oxygen, and temperature). Aspects such as weight gain (WG), Total feed intake (TF), Daily intake (DA), Feed conversion factor (FCR) were measured. The results showed that the physicochemical parameters of the water in this system are within the recommended ranges for tilapia culture. It was observed that in some weeks during the growth of the fish there was a low feed conversion ratio with values of 0.33, 0.35, 0.53, 0.67, 0.79, 0.91, 0.99, thus influencing the reduction of production costs, taking into account that the closer the FCA is to zero the greater the efficiency of feed use, so in this case the implementation of the system was not optimal (by volume of production) because there was not a low index throughout the growing season, generating profitability problems.

Keywords: aquaculture; fry; production costs; feed conversion; physicochemical parameters; profitability.

1. Introduction

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, (2022), el sector de la acuicultura ha contribuido fundamentalmente a la seguridad alimentaria y nutricional en la población, principalmente de las más vulnerables. Cabe destacar que se conoce que más del 95% de la producción acuícola del mundo se hace en países desarrollados teniendo en promedio una tasa anual del 6.13%, producción valorada en más de 250 000 millones de dólares, abarcando un amplio grupo de especies desde plantas acuáticas y animales, siendo en su mayoría especies marinas (Tacon, 2020) pero hasta el año 2019, la producción acuícola de pescado de agua dulce tuvo un incremento a más de 600.000 toneladas, siendo la principal actividad la producción en estanques de tierra (Valenti *et al.*, 2021).

En Colombia gracias a su ubicación geográfica se tiene diferentes zonas climáticas que le permiten desarrollar la actividad de acuicultura tanto continental como marina, realizándose actualmente bajo sistemas en jaulas flotantes y estanques, abarcando aproximadamente el 90% de la producción del país, destacando especies: la tilapia (95 % tilapia roja: (*Oreochromis sp.*), las cachamas (*Piaractus brachipomus* y *Colossoma macropomun*), los camarones de cultivo (*Litopenaeus vannamei* y *L. stylirostris*) y la Trucha (*Oncorhynchus mykiss*) (Sarabia Parrado, 2016; Carrera-Quintana, Gentile and Girón-Hernández, 2022). Sin embargo, actualmente se ha buscado que la producción en estanques disminuya, ya que se ve obstaculizada por el uso de recursos naturales y un impacto negativo sobre el medio ambiente ya que en las prácticas acuícolas realizan vertido de aguas residuales ricas en nutrientes en el medio ambiente. Así mismo por razones de bioseguridad, por lo que se busca que exista una mejora en los procesos de producción acuícola que permita añadir actividades de filtración, recirculación de agua, permitiendo de esta manera el ahorro en el uso de recursos naturales, potenciando este sector de una manera más eficiente y sostenible (Boyd *et al.*, 2020; Mugwanya *et al.*, 2021).

Por tal motivo, la acuicultura busca el desarrollo de una industria sostenible que involucre menor gasto de recursos como el agua, la

energía, la tierra, el capital, y que mitigue el impacto sobre el medio ambiente, apareciendo dentro de este concepto la tecnología Biofloc (BFT) que es uno de los sistemas de acuicultura sostenible más prometedores e interesantes propuestos hasta el momento; puesto que permite implementar cultivos intensivos de especies acuáticas (Bakhshi *et al.*, 2018; Dauda *et al.*, 2018), el gasto de agua casi cero y la mejora de la calidad de la misma producto de la microbiota, así como el aumento en la biomasa microbiana que beneficia al mismo cultivo, siendo aprovechado como alimento nutritivo para la acuicultura, teniendo una reducción en los costos de producción (El-Sayed, 2021; Mugwanya *et al.*, 2021).

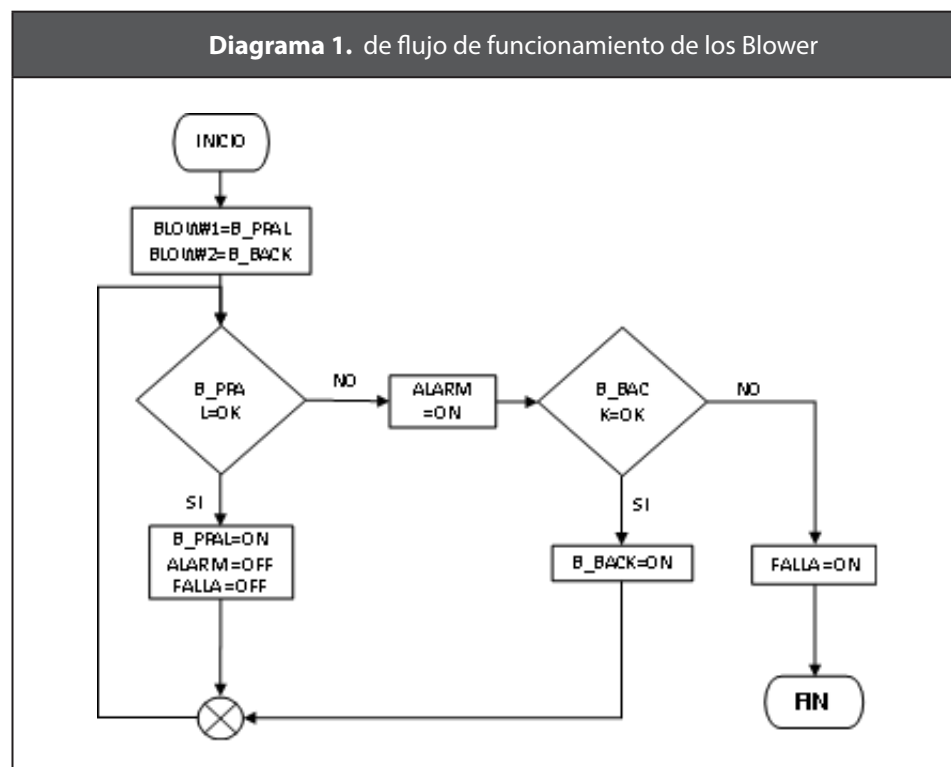
Teniendo en cuenta todas estas limitaciones, en el desarrollo de sistemas acuícolas sostenibles y sabiendo que en Colombia la tilapia roja es uno de los cuatro grandes grupos que predominan la producción acuícola total, el objetivo de esta investigación fue evaluar la producción de la tilapia roja (*Oreochromis sp.*), un sistema biofloc, teniendo en cuenta el aumento de la densidad de siembra, la conversión alimenticia y una menor utilización del agua.

2. Materiales y métodos

El estudio se realizó en el sistema productivo de la empresa Agro-veterinaria H Díaz enmarcado bajo el financiamiento de joven investigador bajo el convenio 03 del 30 diciembre 2021 de cooperación para desarrollo del proyecto de investigación. Dicha empresa se ubica en el municipio de Aguachica (Cesar) a 160 m.s.n.m con una temperatura promedio anual de 28 °C. Cuenta con un estanque de 74.000 litros de agua (Alevinaje y levante-Ceba respectivamente). Los peces fueron adquiridos en los llanos orientales colombianos mediante una empresa local con una densidad de siembra de 3,973 alevinos de tilapia, con un peso aproximado de 0,61 g.

El sistema de aireación fue realizado por medio de dos Blower de 1.2 HP y dos variadores de velocidad de 1.5 HP, así mismo se utilizó un PLC (controlador lógico programable), con la finalidad de

mantener al menos un Blower encendido a las revoluciones mínimas para mantener el oxígeno en los parámetros óptimos, mientras que el segundo estaba listo a funcionar dado el caso que el principal falle o requiera ayuda en estados críticos.



Preparación de medio acuático previo a la siembra

El agua proveniente del acueducto de Aguachica es almacenada en dos tanques de aproximadamente 12000 litros de agua cada uno, dejándose decantar durante 8 días, consiguiendo de esta manera mediante el proceso de evaporación separar el hipoclorito del agua (Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales, 2022).

Una vez pasado el tiempo de decantación, se obtuvo agua libre de hipoclorito, siendo esto una condición favorable para establecer el cultivo. El siguiente paso fue verter el agua almacenada al estanque principal donde se inició el proceso de maduración de la misma, la cual se mantuvo en aireación las 24 horas a lo largo de 40 días que tarda dicho proceso, dentro de ese lapso de tiempo se le agregó alimento y melaza con la finalidad de inocular y proliferar

las bacterias benéficas para el cultivo, presentándose en forma de flóculos, los cuales son encargados de transformar las heces de los peces en alimento, durante este tiempo fue realizado el muestreo de los parámetros físico químicos al agua para verificar que se mantenga bajo las condiciones requeridas (Tabla 1). Una vez el medio acuático estuvo en las condiciones requeridas se procedió a la siembra del cultivo de interés.

Tabla 1. Condiciones físicas y químicas recomendadas para el cultivo *Oreochromis sp* en estanques.

Parámetro	Mínimo	Óptimo	Máximo
pH	5.0	6.0 - 8.5	11
Temperatura (°C)	20	28 - 32	42
Amonio (ppm)	0.0	0.0	2.0
Nitritos (mg/L)	0.0	0.0	5.0
Nitratos (mg/L)	0.0	0.0	300 - 400
Oxígeno disuelto (mg/L)	1.6	4 - 8	> 9

Siembra de alevinos

Para siembra de los alevinos se realizó una desinfección la cual consistió en sumergir por lotes representados en la cantidad de alevinos contenidos en cada bolsa transportadora recibida en Villagrim® (Aguachica, Cesar), conteniendo cada una aproximadamente 200 peces para darles un baño corto de 1 minuto máximo en una solución de sal al 3% para luego ser incorporados al estanque principal, esto para evitar que cualquier tipo de patógeno externo al medio. Luego de desinfectar, se pesó una balanza digital ICM y seguido, se contó el número de alevinos uno por uno para luego ser incorporados al estanque principal, dando un total de 3,973 peces vivos al momento de la siembra.

Monitoreo de los parámetros fisicoquímicos del agua (in situ)

Cada tres días se procedió registrar los parámetros fisicoquímicos como el pH, amoníaco (pmm), nitritos y nitratos (mg/L) con la ayuda del Test Api, para muestreo del oxígeno disuelto (OD), y temperatura (°C) usando el Oxímetro HI8043 Hanna®, la concentración de sólidos totales por medio del cono Imhoff, dichas actividades fueron realizadas durante toda la etapa productiva del cultivo, teniéndose en cuenta las recomendaciones metodológicas propuesta por Betancur Gonzáles & Gutiérrez, (2018); Saldaña Escorcía et al., (2022) sobre las condiciones ideales para el desarrollo de la tilapia roja en estanques (Tabla 1).

Análisis de conversión alimentaria

Semanalmente se llevó a cabo el muestreo, donde se realizó cada sábado como día específico una pesca, calculando de esta manera el peso y media promedio de los peces en el estanque, monitoreo que permitió establecer la cantidad de alimento a suministrar, teniéndose en cuenta el porcentaje de proteína necesario para cada etapa del animal, donde el 40% al 45% de proteína es proporcionada aproximadamente las primeras tres semanas, para pasar entre 40% a 35% durante dos semana, 30% a 35% proteína tres a cinco semanas, y por ultimo de 25 al 30% hasta llegar a la etapa final de producción (Sánchez, 2006). Así mismo, se efectuó la medición de variables productivos, incremento de peso (IP), consumo total de alimento (CTA), consumo diario (CD), factor de conversión alimentaria (FCA) según (Yoshimatsu and Hossain, 2014), tomándose como punto de partida el peso inicial de los alevinos, información que fue al final de la producción fue de mucha utilidad para analizar la eficiencia del uso del alimento en cultivos de esta especie bajo la implementación de la tecnología biofloc (TBF).

Estimación del costo – beneficio del sistema biofloc

El costo beneficio se obtuvo de dividir el valor actual de los ingresos totales netos o beneficios netos (VAN) entre el valor actual de los costos totales (VAN). Según Jácome Lara & Carvache Franco, (2017) para esto desde el inicio del cultivo se fue recopilando en

Excel toda la información sobre cada movimiento monetario hasta la postcosecha.

COSTO-BENEFICIO=VANVAC

Análisis estadístico

Se realizó un análisis estadístico para cada variable y se determinó la relación entre las mismas utilizando el método de Componentes Principales (PCA) para explorar la relación entre diversas variables ambientales y la calidad del agua (Se evaluaron seis variables: Oxígeno, Temperatura, pH, Amonio, Nitrito y Sedimentos).

3. Resultados y discusión

Análisis de los parámetros fisicoquímicos

El pH es una medida que permite determinar la acidez o alcalinidad del agua y se considera como factor importante en los sistemas de biofloc. En un sistema de acuicultura de tilapia con biofloc, el pH óptimo generalmente se encuentra en el rango ligeramente alcalino de 7.5 a 8.5 (Suárez-Puerto *et al.*, 2021). Este rango de pH es favorable para el desarrollo y la estabilidad del biofloc, así como para el crecimiento saludable de los peces tilapia. En este estudio se encontró que los altos niveles de biofloc pueden tener un efecto tampón en el pH (Tabla 2), evitando cambios bruscos y manteniendo una condición estable en el agua. Sin embargo, una acumulación excesiva de ácidos orgánicos dentro del biofloc puede disminuir el pH, y cuando fueron detectados se realizó monitoreo y corrección para evitar problemas de salud en los peces.

En cuanto a la temperatura del agua es un factor clave que influye en el crecimiento, la reproducción y la salud de los peces tilapia y en el funcionamiento general del sistema de biofloc. La tilapia tropical (*Oreochromis spp.*) prefiere temperaturas entre 25°C y 30°C, ya que en este rango su metabolismo y crecimiento son más eficientes

(Lyu *et al.*, 2024). En sistemas de biofloc, la actividad bacteriana y la producción de biofloc se ven afectadas por la temperatura (Rajeev *et al.*, 2023). A temperaturas más bajas, la actividad bacteriana y la formación de biofloc pueden disminuir, lo que puede afectar la eficiencia del sistema. En este sentido se encontró que temperaturas que pueden provocar una disminución del oxígeno disuelto en la columna de agua (26.99 °C), lo que represento un desafío para mantener niveles óptimos de oxígeno para los peces.

Así también, los sedimentos se refieren a las partículas sólidas suspendidas en el agua y al lodo presente en el fondo del estanque. En sistemas de acuicultura de tilapia con biofloc, los sedimentos pueden contener una cantidad significativa de bacterias y nutrientes que son beneficiosos para el desarrollo del biofloc (Hossain *et al.*, 2023; Lyu *et al.*, 2023). Para el cultivo se encontró que el monitoreo disminuyó la acumulación de sedimentos para no afectar la calidad del agua, disminuir la luz disponible para el crecimiento del biofloc y, en casos extremos, provocar condiciones anaeróbicas en el fondo del estanque, lo que afecta negativamente la salud de los peces y la eficiencia del sistema.

Tabla 2. Medias de los parámetros fisicoquímicos del cultivo

Parámetro	Media	Error Típico de la Media	Desviación Típica
Oxígeno (ppm)	6.115	0.200	0.893
Temperatura (°C)	26.990	0.191	0.852
pH	7.000	0.121	0.543
Amonio (ppm)			
Nitrito (mg/L)	0.762	0.194	0.086
Sedimentos (ml)	6.588	0.569	1.347

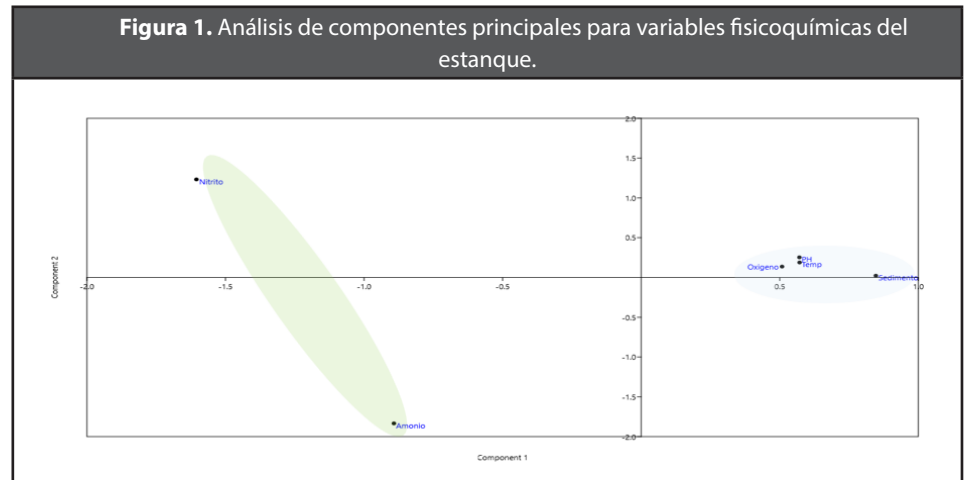
Los resultados del PCA revelaron que el Componente Principal 1 (PC1) está principalmente influenciado por las concentraciones de Amonio y Nitrito, indicando su relevancia como indicadores clave de la calidad del agua en el sistema de cultivo. Por otro lado,

el Componente Principal 2 (PC2) se asoció principalmente con la Temperatura, pH, sedimentos y oxígeno (Tabla 3).

Tabla 3. Resultados de PCA para los primeros dos componentes principales

Parámetro	PC 1	PC 2
Oxígeno	16984	0.36527
Temperatura	19103	0.50429
PH	19079	0.67595
Amonio	-29827	-48977
Nitrito	-53639	32912
Sedimentos	2.83	0.060928

Lo anterior teniendo en cuenta que el oxígeno es un elemento esencial para la vida acuática, incluyendo los cultivos de tilapia. En sistemas de acuicultura de tilapia con biofloc, el oxígeno es crítico debido a que el proceso de biofloc depende de altas concentraciones de oxígeno para el crecimiento y actividad de las bacterias beneficiosas que forman los agregados de biofloc. Estos agregados, ricos en proteínas y otros nutrientes, sirven como alimento para las tilapias (Oliveira *et al.*, 2021). En este estudio el oxígeno disuelto en el agua es influenciado por varios factores, incluida la aireación del estanque, la actividad fotosintética de los biofloc y la respiración de los organismos presentes en el sistema. Y se encontró que es necesario monitorear los niveles de oxígeno disuelto (promedio de 6.11) para evitar el estrés y la mortalidad de los peces debido a la hipoxia (baja concentración de oxígeno).



En cuanto a los datos de alimentación, se encontró que la correlación entre “Conversión alimentaria” y “Tasa alimentación” es positiva (0.189), lo que indica una relación débil pero positiva entre estas dos variables. Sin embargo, el p-valor (0.212) no es significativo a un nivel de confianza del 95%, lo que sugiere que la correlación no es estadísticamente significativa (Tabla 4), sin embargo, es esencial mencionar que, aunque no se encontró una correlación significativa en la muestra analizada, esto no descarta la posibilidad de que pueda existir una correlación en una población más grande o bajo diferentes condiciones. Además, en el análisis de datos científicos, siempre es importante considerar el tamaño de la muestra, la metodología utilizada y otros factores que puedan influir en los resultados. La falta de correlación significativa no significa que las variables estén completamente desvinculadas, simplemente que no se ha demostrado una asociación estadísticamente significativa en el estudio particular.

Tabla 4. Correlación de Pearson para Tasa de conversión alimenticia en el estudio.

Correlación de Pearson			R de Pearson	p
Conversión alimentaria	-	Tasa alimentación	0.189	0.212
Conversión alimentaria	-	Biomasa (gramos)	-0.185	0.782
Tasa alimentación	-	Biomasa (gramos)	-0.689	1.000

Nota. Todos los contrastes de una cola, para correlación positiva.

* $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$, de una cola

En cuanto a la mortalidad de tilapias en los primeros 35 días del cultivo puede explicarse por diversos factores (Figura1). Uno de los factores principales es el estrés causado por la adaptación de los peces a un nuevo ambiente y las condiciones del sistema biofloc. Durante los primeros días, los peces pueden enfrentar cambios en la calidad del agua, la disponibilidad de alimento y la interacción con otros individuos, lo que puede afectar su bienestar y salud. Además, la susceptibilidad a enfermedades y patógenos es alta en las primeras etapas del cultivo, especialmente si los peces son juveniles. La densidad poblacional también puede jugar un papel importante, ya que altas densidades pueden aumentar la competencia por alimento y espacio, lo que afecta negativamente la salud de los peces. Esto lo confirma Chutia et al., (2022) menciona que el estrés generado en el pez puede debilitar su sistema inmunológico conllevándolo a enfermedades e inclusive hasta la muerte.

Respecto a la supervivencia se evidencia un comportamiento decreciente en las primeras 2 semanas y media del cultivo, indicando que los alevinos se expusieron a alto estrés durante el transporte hacia el lugar de la siembra, como también a su dificultad de adaptabilidad a condiciones diferentes del medio, trayendo a consideración su estado de debilidad a causa del transporte. Aunque la etapa de alevinaje es considerada esencial para el cultivo de tilapia tanto por sus requerimientos alimenticios, condiciones de agua, como situaciones que podrían desencadenar estrés y por ende altas mortalidad, como en este caso, cabe resaltar que los datos arrojaron que una vez los peces alcanzaron la semana 9 los niveles sobrevivencia aumentaron y se estabilizaron en tasas por encima

del 98 por ciento, demostrando así la resistencia de la especie en su etapa adulta ante enfermedades y circunstancias de estrés, viéndose reflejado la alta viabilidad de la tecnología biofloc en esta fase del ciclo productivo, ya que este sistema mantiene constante la calidad del agua y el alimento.

Figura 2. Tasa de mortalidad y supervivencia en el cultivo de tilapia.

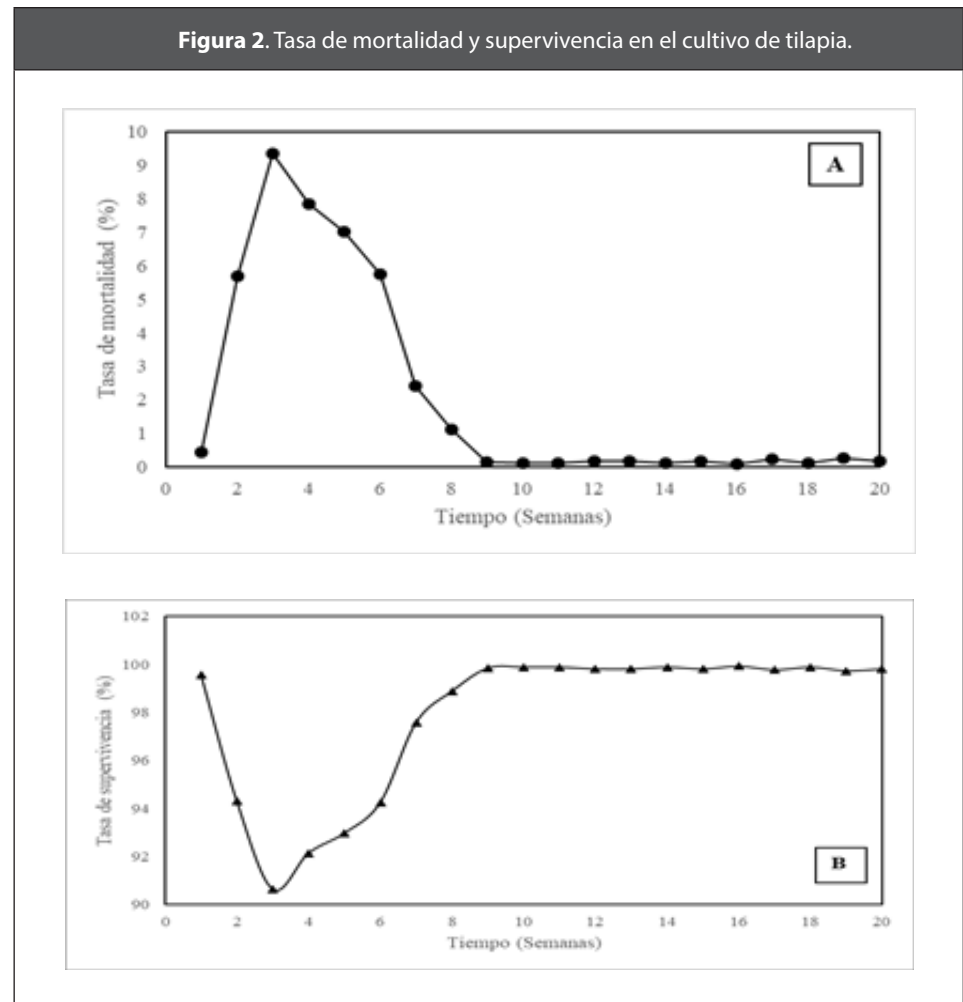


Tabla 5. Correlación de las tasas de mortalidad con parámetros fisicoquímicos.

Variables			R de Pearson	p
Mortalidad (%)	-	Oxígeno	-0.036	0.560
Mortalidad (%)	-	Temperatura	-0.123	0.697
Mortalidad (%)	-	pH	0.709***	< .001
Mortalidad (%)	-	Amonio	-0.109	0.676
Mortalidad (%)	-	Nitrito	-0.114	0.684
Mortalidad (%)	-	Sedimentos	-0.154	0.722

Existe una correlación positiva fuerte y altamente significativa entre la mortalidad y el pH (R de Pearson = 0.709, $p < 0.001$). Es importante tener en cuenta esta relación para tomar medidas en el manejo del pH del sistema, debido a que un aumento en este parámetro causa estrés en los peces aumentando la susceptibilidad a enfermedades, generando una mortalidad. De acuerdo (Yu et al., 2023), menciona que la concentración de iones de hidrogeno son indicadores de acidez o alcalinidad siendo estos variados de acuerdo con el aumento de la densidad de la población provocando un aumento en el consumo del alimento, afectando directamente la fisiología de los animales.

Conversión alimentaria

Se presenta correlación de la cantidad de comida suministrada con el aumento de la biomasa de los peces a través de un factor de conversión alimenticia, tomándose como muestra experimental aproximadamente el 10% de los peces de la población total. A pesar que en investigaciones como la de Hernández Mancipe et al., (2019), donde se habla que los sistemas biofloc tienden a mejorar la conversión alimenticia por los aportes del contenido de nitrógeno presente en estos sistemas, en esta sección experimental se tuvo variaciones en el factor de conversión alimentaria, ya que durante casi 18 semanas de su ciclo productivo se obtuvo valores dentro de rangos de 0,3 - 2,1 lo que traduce a que se logró la mayor eficiencia

de uso de alimento comercial suministrado, viéndose influenciado por el biofloc, que aporta en crecimiento hasta un 30%, debido a la proteína microbiana. Por otro lado, dentro de los días faltantes del cultivo la cantidad de biomasa piscícola obtenida por unidad de entrada del alimento fue deficiente, con resultados fuera de los rangos típicos en la acuicultura de tilapia roja, lo que puede deberse a la variabilidad fisiológica del agua, que según lo reportado por Chutia et al., (2022) indica que la temperatura es el factor determinante para el crecimiento de los peces y por ende para su capacidad metabólica. Sin embargo, los resultados obtenidos en esta investigación para este caso en particular mostraron que la temperatura no fue quien causó la deficiencia de la tasa de crecimiento y el índice de conversión alimenticia puesto que para el sistema implementado se mantuvo entre 25.2 °C y 29 °C, y se conoce que el rango óptimo de temperatura para la tilapia que permite tener el máximo rendimiento de estas especies está entre 24 °C y 32 °C, según lo reportado en otras investigaciones (Yu *et al.*, 2023).

Costos-beneficios

En la tabla 6, se podrá apreciar los valores resultantes de cada mes, durante el ciclo productivo del cultivo de tilapia roja criadas en un sistema con tecnología biofloc, pudiéndose observar claramente que entre el mes 0 al mes 5 no se obtuvo ninguna utilidad, pero por el contrario si se vio reflejados continuas inversiones en el transcurrir de esta producción.

Tabla 6. Cálculos de los costos- beneficios del cultivo de tilapia con TBF

Mes	0	I	II	III	IV	V	VI	Valor Presente*
Beneficio*	0	-	-	-	-	-	1,833	1,367
Costos*	1,614	1,614	1,156	1,312	1,476	2,628	1,914	10,037
C/B	Relación de Costo/Beneficios							0,14

*Valores expresados en millones de pesos colombianos a 2023.

El análisis costo – beneficio (ACB) consiste en crear un marco para valorar si en un momento específico en el tiempo, el costo de una medida específica es mayor en relación a los beneficios procedentes de la misma. El costo beneficio permite pronosticar cual decisión es la más apropiada en términos económicos en un proyecto específico. El beneficio de forma implícita o explícita resulta complicado calcular la magnitud de su beneficio producto, su cuantificación y evaluación no se manifiesta como en el caso del costo, este último puede calcularse con mayor facilidad. Hay que considerar que tanto el costo como el beneficio forman parte de un proceso de evaluación de alternativas para elegir la mejor decisión.

Para Snell, (2011), el análisis del costo beneficio es una técnica formal adaptada y clara, sistemática y de decisiones racionales, aplicada en especial cuando se enfrentan con las alternativas complejas o de tiempos inciertos. Pitt Francis, (1976) mencionó en sus estudios que los años recientes han sido testigos de la aplicación del análisis del costo – beneficio en diferentes sectores (p.189). Cervone, (2010), mencionó que el método del costo – beneficio no es totalmente objetivo, suministra un proceso sencillo de formularios para un proyecto, su fórmula se trata de restar los costos relacionados con un proyecto de la suma total de los beneficios de realizar un proyecto. El cálculo del costo se dificulta por diferentes técnicas de valoración monetaria que pueden modelar y la valoración de elementos intangibles como el costo de una oportunidad perdida que podría ser subjetivo.

De acuerdo con los resultados del índice costo – beneficio de la investigación (Tabla 6), este arrojó un valor de 0,14, lo cual indica que al ser menor que 1 la implementación del sistema biofloc en la producción de tilapia no es rentable, debido a que los costos son mayores que los ingresos. Una alternativa sería aumentar la cantidad de producción de peces, instalando un mayor número de tanques bajo el sistema biofloc dado que los costos fijos de producción no varían y en caso de hacerlo sería menos que proporcional, por lo que utilizando esta tecnología (TBF) se podría lograr reducción de costos de hasta el 20%, teniendo en cuenta que con el biofloc se suministrará hasta un 50% del requerimiento de proteína para su óptimo crecimiento (Dorantes-de la O 2022).

Pitt Francis, (1976) indicó que el análisis costo – beneficio es un método de toma de decisiones cuya intención es cuantificar los beneficios que se pueden obtener de un curso dado de acción, expresarlos en términos financieros (o en términos financieros equivalentes) para después deducir los costos sociales y financieros estimados con el objetivo de que los resultados del curso de acción sean evaluados, valorados y expresados en términos monetarios. (Cervone, 2010) mencionó que el análisis costo – beneficio es una técnica considerablemente usada por el sector privado para determinar si un proyecto se puede iniciar o no. El uso del análisis costo – beneficio representa una metodología convincente para justificar un proyecto.

En la piscicultura la aireación es el proceso por el cual se agrega aire al estanque promoviendo la difusión de oxígeno del aire en el agua y mantiene los flóculos en constante suspensión, con el objetivo de mantener los niveles de oxígeno por encima de los parámetros necesario en cada etapa de crecimiento de los peces. En la tabla 7 se evidencia que el sistema de automatización se logra reducir un poco el consumo energético optimizando este recurso que es de alto impacto económico en los sistemas Biofloc como lo es la energía eléctrica, esto se logra por medio del uso de variadores de velocidad que ayudan a optimizar el recurso eléctrico si dejar de satisfacer los requerimientos del sistema de Biofloc (Hernández Mancipe *et al.*, 2019b)

Tabla 7. Relación costo energético con y sin automatización

	Consumo Energético en Kw/h					
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
Usando Automatización*	\$ 258.651	\$ 273.029	\$ 325.215	\$ 357.547	\$ 407.603	\$ 429.056
Sin usar Automatización*	\$ 429.056	\$ 429.056	\$ 429.056	\$ 429.056	\$ 429.056	\$ 429.056

*Valores expresados en pesos colombianos

4. Conclusiones

El sistema biofloc implementado mantuvo los parámetros fisicoquímicos del agua evidenciando que es una alternativa medioambientalmente viable y económicamente sostenible. Sin embargo, los valores obtenidos en este experimento pueden mejorar si se realiza una producción a gran escala, que permita optimizar el proceso teniendo en cuenta los costos fijos de producción. Para implementar estos sistemas se debe considerar la época del año, y como principal factor a controlar durante el ciclo productivo se encuentra la temperatura puesto que de ella dependen otros parámetros de calidad que afectan el rendimiento. La ganancia de peso que presentaron los peces relacionados con el factor de conversión alimentaria está directamente relacionada con los parámetros fisicoquímicos del agua, siendo estos últimos donde se debe fijar el enfoque de control en mantenerlos dentro de los rangos óptimos, ya que determina la viabilidad de la producción de tilapia.

5. Agradecimientos

Es grato para los autores poder manifestar su agradecimiento por el financiamiento en este proyecto investigativo a la Universidad Popular del Cesar a través de la convocatoria interna de jóvenes egresados investigadores en convenio con el proyecto de grupo de

investigación No.03 de diciembre de 2021, así mismo la más sincera gratitud a la granja Villagrim® en especial al ingeniero Luis Francisco Pereira Flores quien abrió sus puertas para ser el área experimental de este trabajo.

6. Referencias bibliograficas

- Aho, A.V. (2012) 'Computation and computational thinking', *Computer Journal*, 55(7), pp. 833-835. <https://doi.org/10.1093/comjnl/bxs074>
- Allsop, Y. (2019) 'Assessing computational thinking process using a multiple evaluation approach', *International Journal of Child-Computer Interaction*, 19, pp. 30-55. <https://doi.org/10.1016/j.ijcci.2018.10.004>
- Anderson, N.D. (2016) 'A Call for Computational Thinking in Undergraduate Psychology', *Psychology Learning and Teaching*, 15(3), pp. 226-234. <https://doi.org/10.1177/1475725716659252>
- Barr, D., Harrison, J. and Conery, L. (2011) 'Computational Thinking: A Digital Age Skill for Everyone', *Learning and Leading with Technology*.
- Barr, V. and Stephenson, C. (2011) 'Bringing computational thinking to K-12: What is involved and what is the role of the computer science education community?', *ACM Inroads*, 2(1), pp. 48-54. <https://doi.org/10.1145/1929887.1929905>
- Basogain-Olabé, X., Olabe-Basogain, M.Á. and Olabe-Basogain, J.C. (2015) 'Pensamiento Computacional a través de la Programación: Paradigma de Aprendizaje', *Revista de Educación a Distancia (RED)*, 46(46). <https://doi.org/10.6018/red/46/6>
- Basogain, X., Olabe, J., Rico, M., Rodríguez, L. and Miguel, A. (2017) 'Pensamiento computacional en las escuelas de Colombia', *Researchgate*, (July), p. 12.
- Bocconi, S., Chiocciariello, A., Dettori, G., Ferrari, A., Engelhardt, K., Kampylis, P. and Punie, Y. (2016) 'El Pensamiento Computacional en la Enseñanza Obligatoria (Computhink) Implicaciones para la política y la práctica', *Proceedings of the EdMedia 2016 Conference*, (June), pp. 1-43. <https://doi.org/10.2791/792158>
- Bordignon, F. and Iglesias, A. (2019) *Introducción al Pensamiento Computacional: Búsquedas y Ordenamiento*.
- Brennan, K. (2011) 'Computational thinking Concepts'. Available at: <http://scratched.gse.harvard.edu/resources/computational-thinking-concepts-march-2011-webinar.html> (Accessed: 20 June 2024).
- Brennan, K. and Resnick, M. (2012) 'New frameworks for studying and assessing the development of computational thinking', *Studies in Computational Intelligence*, 727. https://doi.org/10.1007/978-3-319-64051-8_9
- Carmona-Mesa, J.A., Morales, S. and Villa-Ochoa, J.A. (2017) 'Pensamiento Computacional en la formación inicial de profesores de matemáticas', (December), p. 17. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.33696.07688>
- Ceibal, P. (2017) '¿Qué aporta al aula el Pensamiento Computacional?'. Available at: <https://www.ceibal.edu.uy/es/articulo/que-aporta-al-aula-el-pensamiento-computacional> (Accessed: 20 June 2024).

- Chen, H.E., Sun, D., Hsu, T.C., Yang, Y. and Sun, J. (2023) 'Visualising trends in computational thinking research from 2012 to 2021: A bibliometric analysis', *Thinking Skills and Creativity*, 47(October 2022), 101224. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2022.101224>
- Codelearn (2019) '¿Qué es el pensamiento computacional?'. Available at: <https://codelearn.es/blog/que-es-pensamiento-computacional/> (Accessed: 20 June 2024).
- Csizmadia, A., Curzon, P., Dorling, M., Humphreys, S., Ng, T., Selby, C. and Woollard, J. (2015) *Computational Thinking: A Guide for Teachers*. Computing At School.
- CSTA and ISTE (2011) 'Operational definition of computational thinking for K-12 education'. Available at: <http://csta.acm.org/Curriculum/sub/CurrFiles/%0ACompThinkingFlyer.pdf> (Accessed: 20 June 2024).
- Cummins, K. (2016) 'Five reasons why computational thinking is an essential tool for teachers and students'. Available at: <https://www.edgalaxy.com/journal/2016/5/25/five-reasons-whycomputational-thinking-is-an-essential-tool-for-teachers-and-students> (Accessed: 20 June 2024).
- Curzon, P. (2015) 'Computational thinking: Searching to speak'. Available at: <https://cs4fndownloads.files.wordpress.com/2016/02/searchingtospeak-booklet.pdf> (Accessed: 20 June 2024).
- Cutumisu, M., Adams, C. and Lu, C. (2019) 'A Scoping Review of Empirical Research on Recent Computational Thinking Assessments', *Journal of Science Education and Technology*, 28(6), pp. 651-676. <https://doi.org/10.1007/s10956-019-09799-3>
- De Paula, B.H., Burn, A., Noss, R. and Valente, J.A. (2018) 'Playing Beowulf: Bridging computational thinking, arts and literature through game-making', *International Journal of Child-Computer Interaction*, 16, pp. 39-46. <https://doi.org/10.1016/j.ijcci.2017.11.003>
- Denning, P.J. (2009) 'The profession of IT: Beyond computational thinking', *Communications of the ACM*, 52(6), pp. 28-30. <https://doi.org/10.1145/1516046.1516054>
- European Council (2006) 'Recommendation of the European Parliament and the Council on key competencies for lifelong learning', *Official Journal of the European Union*, (March 2002), pp. 10-18.
- Formación en Red del INTEF (2017) '¿Qué es el pensamiento computacional?'. Available at: http://formacion.intef.es/pluginfile.php/87694/mod_imscp/content/9/qu_es_el_pensamiento_computacional.html (Accessed: 20 June 2024).
- Fraillon, J., Ainley, J., Schulz, W., Friedman, T. and Duckworth, D. (2018) *Preparing for Study, life in a digital world: The IEA International Computer and Information Literacy 71, COMPUTERS IN THE SCHOOLS Educational*. International Association for the Evaluation of Educational Achievement (IEA). <https://doi.org/10.1007/978-3-030-38781-5>
- García-Peñalvo, F.J. (2016) 'What Computational Thinking Is', *Journal of Information Technology Research*, 9(3), pp. v-viii. <https://doi.org/10.1145/1539024.1509053>
- García-Peñalvo, F., Reimann, D., Tuul, M., Rees, A. and Jormanainen, I. (2016) 'An overview of the most relevant literature on coding and computational thinking with emphasis on the relevant issues for teachers KA2 project "TACCLE 3 - Coding" (2015-1-BE02-KA201-012307)', (October), p. 72. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.13111.01440>
- González-González, C.S. (2019) 'State of the art in the teaching of computational thinking and programming in childhood education', *Education in the Knowledge Society*, 20, pp. 1-15. https://doi.org/10.14201/eks2019_20_a17

- Google for Education (2017) 'Computational Thinking Overview'. Available at: <http://edu.google.com/resources/programs/exploring-computationalthinking/#!Ct-overview> (Accessed: 20 June 2024).
- Grover, S. and Pea, R. (2018) 'Computational Thinking: A Competency Whose Time Has Come', *Computer Science Education*, (December). <https://doi.org/10.5040/9781350057142.ch-003>
- Huerta Jimenéz, C.S. and Albo Velázquez, M. (2021) 'Pensamiento computacional como una habilidad genérica: una revisión sistemática', *Ciencia Latina*, 5(1), pp. 1055-1078.
- Iglesias, A. and Bordignon, F. (2020) *Introducción al pensamiento computacional*. (U.P.N. y E.SE., Ed.).
- International Society for Technology in Education (2015) *CT leadership toolkit*.
- Iturbide, J.Á.V. and Lope, M.M. (2021) 'Análisis del "pensamiento computacional" desde una perspectiva educativa', *Revista de Educación a Distancia (RED)*, 21(68). <https://doi.org/10.6018/red.484811>
- Kalelioğlu, F., Gülbahar, Y. and Kukul, V. (2016) 'A Framework for Computational Thinking Based on a Systematic Research Review', *Baltic J. Modern Computing*, 4(3), pp. 583-596.
- Llorens Largo, F., García Peñalvo, F.J., Molero Prieto, X. and Vendrell Vidal, E. (2017) 'La enseñanza de la informática, la programación y el pensamiento computacional en los estudios preuniversitarios', *Education in the Knowledge Society (EKS)*, 18(2), pp. 7-17. <https://doi.org/10.14201/eks2017182717>
- Lu, J.J. and Fletcher, G.H.L. (2009) 'Thinking about computational thinking', *SIGCSE Bulletin Inroads*, 41(1), pp. 260-264. <https://doi.org/10.1145/1539024.1508959>
- Mannila, L., Dagiene, V., Demo, B., Grgurina, N., Mirolo, C., Rolandsson, L. and Settle, A. (2014) 'Computational thinking in K-9 education', *ITiCSE-WGR 2014 - Working Group Reports of the 2014 Innovation and Technology in Computer Science Education Conference*, (June), pp. 1-29. <https://doi.org/10.1145/2713609.2713610>
- Manso, J. and Monarca, H. (2016) 'Concepciones de la ocde y la unión europea sobre el desarrollo profesional docente', *Journal of Supranational Policies of Education*, (5), pp. 137-155. <https://doi.org/10.15366/jospoe2016.5>
- Marin, E.M. (2020) *Desarrollo del pensamiento computacional en estudiantes de ingenierías para la comprensión óptima de la matemática*.
- Maris, S. (2019) 'Pensamiento computacional: por qué incluirlo en el proceso de aprendizaje'. Available at: <https://www.net-learning.com.ar/blog/herramientas/pensamiento-computacional-por-que-incluirlo-en-el-proceso-de-aprendizaje.html> (Accessed: 20 June 2024).
- Mishra, P., Yadav, A., Henriksen, D., Kereluik, K., Terry, L., Fahnoe, C. and Terry, C. (2013) 'Rethinking Technology & Creativity in the 21st Century', *TechTrends*, 57(3), pp. 10-14. <https://doi.org/10.1007/s11528-013-0655-z>
- Motoa, S.S.P. (2019) 'Pensamiento computacional', *Revista de Educación y Pensamiento*, pp. 107-111.
- Olabe, X.B. and Parco, M.E.O. (2020) 'Integration of computational thinking in compulsory education. Two pedagogical experiences of collaborative learning online', *Revista de Educación a Distancia*, 20(63). <https://doi.org/10.6018/RED.409481>
- Ortega, B.R. (2017) *Pensamiento computacional y resolución de problemas*. Repositorio UAM. Universidad Autónoma de Madrid.

- Papert, S. (1980) *Teaching children to be mathematicians vs. teaching about mathematics*.
- Papert, S. (1996) 'An Exploration in the Space Of Mathematics education', *International Journal of Computers for Mathematical Learning*. <https://doi.org/10.1007/BF00191473>
- Pérez-Narváez, H.O. and Roig-Vila, R. (2015) 'Entornos de programación no mediados simbólicamente para el desarrollo del pensamiento computacional. Una experiencia en la formación de profesores de Informática de la Universidad Central del Ecuador', *Revista de Educación a Distancia (RED)*, 46(46).
- Piatti, A., Adorni, G., El-Hamamsy, L., Negrini, L., Assaf, D., Gambardella, L. and Mondada, F. (2022) 'The CT-cube: A framework for the design and the assessment of computational thinking activities', *Computers in Human Behavior Reports*, 5. <https://doi.org/10.1016/j.chbr.2021.100166>
- Polanco, N.P., Ferrer, S.P. and Fernández, M.R. (2021) 'Aproximación a una definición de pensamiento computacional', *RIED-Revista Iberoamericana de Educación a Distancia*, 24(1), pp. 55-76. <https://doi.org/10.5944/ried.24.1.27419>
- Raja, T. and Jun, M. (2014) 'Is coding the new literacy?', *Mother Jones*.
- Repenning, A. and Basawapatna, A. (2017) 'Principles of Computational Thinking', *Emerging research, practice, and policy on computational thinking*, (April), pp. 291-305. https://doi.org/10.1007/978-3-319-52691-1_18
- Riley, D.D. and Hunt, K.A. (2014) *Computational thinking for the modern problem solver*.
- Roig-Vila, R. and Moreno-Isac, V. (2020) 'El pensamiento computacional en educación. Análisis bibliométrico y temático', *Revista de Educación a Distancia (RED)*, 20(63). <https://doi.org/10.6018/red.402621>
- Román-González, M., Pérez-González, J.C. and Jiménez-Fernández, C. (2017) 'Which cognitive abilities underlie computational thinking? Criterion validity of the Computational Thinking Test', *Computers in Human Behavior*, 72, pp. 678-691. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2016.08.047>
- Román, M.G. (2016) *Codigoalfabetización y pensamiento computacional en Educación Primaria y Secundaria: validación de un instrumento y evaluación de programas*.
- Roncoroni, U.O. and Bailón, J. (2020) 'Pensamiento computacional. Alfabetización digital sin computadoras', *Icono14*, 18(2), pp. 379-405. <https://doi.org/10.7195/RI14.V18I2.1570>
- School, C. at (2015) 'Computational thinking'. Available at: <http://barefootcas.org.uk/barefoot-primary-computing-resources/concepts/computational-thinking/> (Accessed: 20 June 2024).
- Segredo, E., Miranda, G. and León, C. (2017) 'Hacia la educación del futuro: El pensamiento computacional como mecanismo de aprendizaje generativo', *Education in the Knowledge Society (EKS)*, 18(2), pp. 33-58. <https://doi.org/10.14201/eks2017182335>
- Selby, C.C. (2015) 'Relationships: Computational thinking, Pedagogy of programming, and Bloom's taxonomy', *ACM International Conference Proceeding Series*, 09-11-Nove, pp. 80-87. <https://doi.org/10.1145/2818314.2818315>
- Selby, C. and Woollard, J. (2013) *Computational thinking: the developing definition*. Universidad de Southampton.
- Shute, V.J., Sun, C. and Asbell-Clarke, J. (2017) 'Demystifying computational thinking', *Educational Research Review*, 22, pp. 142-158. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2017.09.003>

- Snalune, P. (2015) 'The Benefits of Computational Thinking', (1), pp. 1-27. <https://doi.org/10.1093/itnow/bwv111>
- Sysło, M.M. and Kwiatkowska, A.B. (2013) 'Informatics for all high school students: A computational thinking approach', *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 7780 LNCS(February), pp. 43-56. https://doi.org/10.1007/978-3-642-36617-8_4
- Tang, X., Yin, Y., Lin, Q., Hadad, R. and Zhai, X. (2020) 'Assessing computational thinking: A systematic review of empirical studies', *Computers and Education*, 148(December 2019), 103798. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103798>
- The British Royal Society (2012) 'Shut down or restart?', *British Journal of Educational Technology*.
- Tsai, M., Liang, J. and Hsu, C. (2021) 'The Computational Thinking Scale for Computer Literacy Education', *Journal of Educational Computing Research*, 59(4), pp. 579-602. <https://doi.org/10.1177/0735633120972356>
- UNIR, U. I. de la R. (2021) '¿Qué es el pensamiento computacional?', Recuperado de <https://www.unir.net/educacion/revista/pensamiento-computacional/> (Accessed: 20 June 2024).
- Valverde-Berrocoso, J., Fernández-Sánchez, M.R. and Garrido-Arroyo, M.C. (2015) 'El pensamiento computacional y las nuevas ecologías del aprendizaje', *Revista de Educación a Distancia (RED)*, (46).
- Wing, J., Cuny, J. and Snyder, L. (2010) 'Research notebook: Computational thinking—What and why?', Recuperado de <http://www.cs.cmu.edu/link/research-notebook-computational-thinking-what-and-why> (Accessed: 20 June 2024).
- Wing, J.M. (2006) 'Computational thinking', *Communications of the ACM*, 49(3), pp. 33-35. <https://doi.org/10.1145/1118178.1118215>
- Yeh, K.C., Xie, Y. and Ke, F. (2011) 'Teaching computational thinking to non-computing majors using spreadsheet functions', *Proceedings - Frontiers in Education Conference, FIE*, (March 2014). <https://doi.org/10.1109/FIE.2011.6142980>
- Zapata-Ros, M. (2015) 'Pensamiento computacional: Una nueva alfabetización digital', *Revista de Educación a Distancia (RED)*, 46(46).
- Zapata-Ros, M. (2019) 'Pensamiento computacional desenchufado', *Education in the Knowledge Society (EKS)*, 20(May), p. 29. https://doi.org/10.14201/eks2019_20_a18