

La investigación reportada en esta tesis es parte de los programas de investigación del CICESE (Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California).

La investigación fue financiada por el SECIHTI (Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación).

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México). El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo o titular de los Derechos de Autor.

**Centro de Investigación Científica y de Educación  
Superior de Ensenada, Baja California**



---

**Maestría en Ciencias  
en Acuicultura**

---

**Efecto de sólidos suspendidos en el desempeño biológico de la  
lobina rayada (*Morone saxatilis*) y el chícharo (*Pisum sativum*)**

Tesis  
para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de  
Maestro en Ciencias

Presenta:

**Noé García Jiménez**

Ensenada, Baja California, México  
2025

Tesis defendida por  
**Noé García Jiménez**

y aprobada por el siguiente Comité

**Dr. Gilberto Curlango Rivera**  
Codirector de tesis

**Dr. Misael Rosales Leija**  
Codirector de tesis

**Dr. Benjamín Barón Sevilla**

**Dra. Elizabeth Ponce Rivas**



**Dr. Roberto Cruz Flores**  
Coordinador del Posgrado en Acuicultura

**Dra. Ana Denise Re Araujo**  
Directora de Estudios de Posgrado

Resumen de la tesis que presenta **Noé García Jiménez** como requisito parcial para la obtención del grado de Maestro en Ciencias en Acuicultura.

**Efecto de sólidos suspendidos en el desempeño biológico de la lobina rayada (*Morone saxatilis*) y el chícharo (*Pisum sativum*)**

Resumen aprobado por:

**Dr. Gilberto Curlango Rivera**  
Codirector de tesis

**Dr. Misael Rosales Leija**  
Codirector de tesis

La escasez de agua en el mundo requiere soluciones innovadoras para un uso más eficiente. En este contexto, la agricultura-acuicultura integrada (IAA, por sus siglas en inglés) surge como una alternativa viable para la producción de alimentos. Los sistemas integrados agrícolas-acuícolas se presentan como una forma eficaz de gestionar el agua aprovechando los efluentes acuícolas para cultivar plantas. Estos efluentes contienen comunidades microbianas libres y bioflóculos, materia orgánica y alimento no consumido, considerados como sólidos que pueden estar en suspensión. La acumulación de estos sólidos es uno de los principales desafíos de los sistemas IAA, ya que pueden afectar a ciertas especies de peces y plantas. La lobina rayada (*Morone saxatilis*), una especie clave en Baja California, México, no tiene descrito su comportamiento en cultivos con sólidos suspendidos. De igual manera, no se conoce el impacto de los sólidos de efluentes acuícolas en el desarrollo del sistema radicular de leguminosas como el chícharo (*Pisum sativum*). Este estudio evaluó el efecto de los sólidos suspendidos en el desempeño biológico de la lobina rayada y el chícharo. Para la generación de sólidos en suspensión, se empleó como herramienta un sistema de cultivo con Tecnología Biofloc (BFT, por sus siglas en inglés) con diferentes relaciones Carbono:Nitrógeno 10:1 (C10) y 20:1 (C20), y un tratamiento control en un sistema de flujo abierto (FA) durante 39 días. Se determinaron parámetros de productividad, calidad del agua y el estado de salud branquial de la lobina, así como el desarrollo del chícharo en etapa temprana. Aunque los resultados no mostraron diferencias significativas en la productividad de la lobina entre tratamientos, los tratamientos C10 Y C20 mostraron un mayor porcentaje de alteraciones en branquias que el tratamiento FA. Respecto al efecto de los efluentes en planta, en ninguno de los tratamientos evaluados se registraron efectos negativos en la producción y viabilidad de las células del borde de la raíz, y crecimiento radicular. Estos resultados resaltan el potencial de los sistemas IAA para mejorar la sostenibilidad de la producción de la lobina rayada y el uso del efluente de estos en sistemas con cultivo de leguminosas.

**Palabras clave:** sólidos suspendidos, tecnología biofloc, agricultura-acuicultura integrada, lobina rayada, chícharo

Abstract of the thesis presented by **Noé García Jiménez** as a partial requirement to obtain the Master of Science degree in Aquaculture

**Effect of suspended solids on the biological performance of striped bass (*Morone saxatilis*) and pea (*Pisum sativum*)**

Abstract approved by:

**Dr. Gilberto Curlango Rivera**

Thesis co-director

**Dr. Misael Rosales Leija**

Thesis co-director

The scarcity of water worldwide requires innovative solutions to make its use more efficient. In this context, aquaculture integrated with agriculture emerges as a viable alternative for food production. Integrated agriculture-aquaculture systems offer an effective way to manage water by utilizing aquaculture effluents for plant cultivation. These effluents contain free microbial communities, floc particles, organic matter, and uneaten feed, considered solids that may remain suspended. The accumulation of these solids is one of the main challenges in Integrated Agriculture-Aquaculture (IAA) systems, as it can negatively affect certain species of fish and plants. The response of striped bass (*Morone saxatilis*), a key species in Baja California, Mexico, to suspended solids is not well documented. Similarly, the impact of solids from aquaculture effluents on the root system development of legumes, such as peas (*Pisum sativum*), is unknown. This study evaluated the effect of suspended solids on the biological performance of striped bass and peas. To generate suspended solids, a Biofloc Technology (BFT) culture system was used with different Carbon:Nitrogen ratios, 10:1 (C10) and 20:1 (C20), along with a control treatment in a flow-through system (FA) over 39 days. Productivity parameters, water quality, and the gill health status of the striped bass were determined, as well as the early-stage development of peas. Although results showed no significant differences in the productivity of striped bass among treatments, the C10 and C20 treatments exhibited a higher percentage of gill alterations compared to the FA treatment. Regarding the effect of effluents on the plants, no negative effects were observed on root border cell production, cell viability, or root growth in any of the evaluated treatments. These findings highlight the potential of IAA systems to enhance the sustainability of striped bass farming and the use of their effluent in legume cultivation.

**Keywords:** suspended solids, biofloc technology, integrated agriculture-aquaculture, striped bass, pea

## Dedicatoria

*“Y no sólo esto, sino que también nos gloriamos en las tribulaciones, sabiendo que la tribulación produce paciencia; y la paciencia, prueba; y la prueba, esperanza; y la esperanza no avergüenza; porque el amor de Dios ha sido derramado en nuestros corazones por el Espíritu Santo que nos fue dado.”*

Primeramente, agradezco a Dios, porque sin Él no lo hubiera logrado.

A mi familia, no tengo palabras suficientes para expresar mi gratitud; por eso, les dedico todo.

A toda la comunidad que conocí en CICESE y UABC, pero en especial a: Serg's, Delmonte, LaShely's, Helena, Hilaria, LaMorra, YavámonosEvelyn, LaVictoria, Angie, Romario, César, Christian y Lesly. Además, a mis favoritas de Micro: Andrea, Yaneth, Mariann, Joana y Marilyn.

No solo por la ayuda que me brindaron, sino porque su existencia hizo que esto fuera posible.

¡Gracias por todo!

## Agradecimientos

Al Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California (CICESE) por haberme aceptado para realizar mis estudios de posgrado y por permitirme el uso de las instalaciones y financiamientos para la realización de los experimentos.

A la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI), por brindarme una beca para poder realizar mis estudios de maestría.

A la empresa Pacifico Aquaculture por proporcionar a las lobinas para desarrollar esta tesis, así como por brindar alimento para los organismos.

Al Dr. Gilberto Curlango Rivera por haber aceptado ser mi codirector, por toda la ayuda brindada, por haber sido un buen orientador, brindarme apoyo en múltiples aspectos y por la dedicación en el desarrollo de este trabajo, así como la facilitación del laboratorio para los análisis de muestras.

Al Dr. Misael Rosales Leija por haber aceptado ser mi codirector, y por todas sus observaciones y comentarios para el desarrollo de esta tesis, así como por la facilitación de los laboratorios para los preparativos experimentales.

Al Dr. Benjamín Barón Sevilla, por todas sus sugerencias y consejos que me permitieron continuar con la realización de este trabajo, su amabilidad y su gran disposición de siempre, así como por la facilitación de su laboratorio para el análisis de muestras.

A la Dra. Elizabeth Ponce Rivas, por aceptar ser parte del comité y por las sugerencias dadas para la realización de este trabajo, así como por la facilitación de instalaciones acuícolas.

Al Técnico Francisco Mar Morineau Escalante, por todo su apoyo en los preparativos de los sistemas y asesorías, ha sido un pilar su participación para este proyecto.

A la Técnico Yanet Guerrero Rentería, por su apoyo y paciencia en el entrenamiento técnico en el procesado y elaboración laminillas histológicas, además de su amabilidad y motivación con cada agradable conversación.

A la M.D. Andrea Guerrero Estrada, por todo el apoyo brindado para realizar esta tesis, desde la realización de biometrías hasta la observación histológica.

A la Biól. Mayra Cristina González Villagómez, por su apoyo en el análisis de muestras de agua mediante espectrofotometría.

A la Dra. Ana Denisse Re Araujo y al Dr. Fernando Díaz Herrera, por la facilitación de las instalaciones acuícolas.

A la Sra. Nancy, Don Mario y Don Rafa, por su siempre buen gesto y apoyo en los cuidados de mí y del experimento.

## Tabla de contenido

	Página
Resumen en español.....	ii
Resumen en inglés.....	iii
Dedicatoria .....	iv
Agradecimientos.....	v
Lista de figuras.....	ix
Lista de tablas .....	x
<b>Capítulo 1. Introducción .....</b>	<b>1</b>
1.1 Desafíos globales en la disponibilidad del agua.....	1
1.2 Acuicultura: una estrategia para la producción de alimentos .....	1
1.3 Sistemas de cultivo acuícolas como alternativa a la escasez de agua .....	2
1.4 Integración acuícola-agrícola como alternativa a la escasez de agua.....	4
1.5 Contexto local: Baja California .....	6
1.6 <i>Morone saxatilis</i> .....	6
1.7 <i>Pisum sativum</i> .....	8
1.8 Antecedentes .....	8
1.9 Justificación .....	11
1.10 Hipótesis.....	11
1.11 Objetivos .....	11
1.11.1 Objetivo general.....	11
1.11.2 Objetivos específicos.....	12
<b>Capítulo 2. Metodología.....</b>	<b>13</b>
2.1 Efecto de sólidos suspendidos en <i>Morone saxatilis</i> .....	13
2.1.1 Aclimatación de la lobina rayada .....	13
2.2 Diseño experimental .....	14

2.2.1	Índices para el desempeño biológico de la lobina rayada .....	15
2.3	Parámetros fisicoquímicos del agua .....	16
2.4	Histología del órgano branquial de <i>Morone saxatilis</i> .....	17
2.5	Efecto de sólidos suspendidos en <i>Pisum sativum</i> .....	17
2.5.1	Efecto de efluentes acuícolas con sólidos suspendidos en planta, 24 horas postratamiento .....	18
2.5.2	Efecto de efluentes acuícolas con sólidos suspendidos en planta, cuatro días postratamiento .....	18
2.6	Análisis estadístico .....	19
<b>Capítulo 3.</b>	<b>Resultados</b> .....	<b>20</b>
3.1	Efecto de sólidos suspendidos en <i>Morone saxatilis</i> .....	20
3.1.1	Aclimatación de <i>Morone saxatilis</i> .....	20
3.1.2	Desempeño biológico de <i>Morone saxatilis</i> .....	20
3.2	Calidad del agua .....	22
3.3	Histología del órgano branquial de <i>Morone saxatilis</i> .....	24
3.4	Efecto de sólidos en <i>Pisum sativum</i> .....	26
3.4.1	Efecto de efluentes acuícolas con sólidos suspendidos en planta, 24 horas postratamiento .....	26
3.4.2	Efecto de efluentes acuícolas con sólidos suspendidos en planta, cuatro días postratamiento .....	26
<b>Capítulo 4.</b>	<b>Discusión</b> .....	<b>28</b>
4.1	<i>Morone saxatilis</i> .....	28
4.1.1	Parámetros productivos de la lobina .....	28
4.2	Calidad del agua .....	30
4.3	Órgano branquial .....	33
4.4	<i>Pisum sativum</i> .....	34
<b>Capítulo 5.</b>	<b>Conclusiones</b> .....	<b>37</b>
	<b>Literatura citada</b> .....	<b>38</b>

## Lista de figuras

Figura	Página
1 Representación del tratamiento control FA.....	14
2 Representación de los tratamientos C10 y C20. ....	15
3 Microscopía de campo claro de preparaciones histológicas del segundo arco branquial de lobina rayada, con tinción de Hematoxilina-Eosina. A) Branquia sana. B) Necrosis en epitelio lamelar (flecha). C) Ruptura del epitelio lamelar (flecha). D) Fusión lamelar primaria (flechas). E) Telangiectasias (flecha). F) Hipertrofia de células epiteliales (flecha). Barra de escala 100 $\mu\text{m}$ . .....	24

## Lista de tablas

Tabla	Página
1 Parámetros fisicoquímicos para el cultivo de la lobina rayada ( <i>Morone saxatilis</i> ) de acuerdo con SADER (2022).....	7
2 Parámetros productivos del cultivo de lobina rayada ( <i>Morone saxatilis</i> ). <sup>1</sup> .....	21
3 Indicadores biológicos del crecimiento de la lobina rayada ( <i>Morone saxatilis</i> ) obtenidos durante los 39 días de cultivo. <sup>1</sup> .....	21
4 Parámetros de calidad de agua en el cultivo de la lobina rayada ( <i>Morone saxatilis</i> ) en 39 días de cultivo. <sup>1</sup> .....	23
5 Porcentajes de las alteraciones presentes en el segundo arco branquial izquierdo de lobina rayada ( <i>Morone saxatilis</i> ) después de 39 días de cultivo. <sup>1</sup> .....	25
6 Crecimiento radicular, producción y viabilidad celular para plántulas de chícharo ( <i>Pisum sativum</i> ) en un cultivo de 24 horas. <sup>1</sup> .....	26
7 Crecimiento de plántulas de chícharo ( <i>Pisum sativum</i> ) en sistemas agrícolas-acuícolas integrados modelo durante cuatro días. <sup>1</sup> .....	27

# Capítulo 1. Introducción

---

## 1.1 Desafíos globales en la disponibilidad del agua

La disponibilidad de agua dulce y de suelos productivos a nivel mundial enfrenta serias amenazas debido al crecimiento demográfico. Este fenómeno ha generado la necesidad de buscar alternativas que promuevan el ahorro del agua y el aprovechamiento eficiente de los recursos para la producción de alimentos de alta calidad a bajo costo (Gálvez-Cantero et al., 2022). En 2022, la población mundial alcanzó los 8,000 millones de personas (United Nations, 2024) lo que ha contribuido a una disminución continua de los recursos hídricos disponibles.

El agua en el planeta se compone de un 97.5% de agua salada y solo un 2.5% corresponde a agua dulce. De esta última, el 69.5% se encuentra en forma de glaciares, nieve, hielo y permafrost, mientras que solo un 0.4% está presente en lagos, ríos, humedad ambiental, humedales y organismos, y el 30.1% restante se encuentra como agua subterránea (Comisión Nacional del Agua [CONAGUA], 2019). En México, el agua dulce proviene de fuentes superficiales y subterráneas. En los estados de Baja California (B.C.) y Baja California Sur (B.C.S.), la mayor parte del agua para usos consuntivos proviene de fuentes subterráneas. Para Ensenada, B.C., en 2021, se reportó un volumen concesionado de 75,544 hm<sup>3</sup> de agua superficial y 430,836 hm<sup>3</sup> de agua subterránea (CONAGUA, 2019, 2022).

El estrés hídrico generado por la poca disponibilidad de agua potable descrita anteriormente se agrava aún más por el cambio climático, la contaminación y las extracciones para diversas actividades (especialmente en el sector agropecuario). La agricultura representa hasta el 70% de la extracción total de agua, mientras que la acuicultura utiliza un volumen significativamente menor (CONAGUA, 2019; Torero, 2021).

## 1.2 Acuicultura: una estrategia para la producción de alimentos

La acuicultura se presenta como una alternativa viable para cultivar organismos acuáticos tanto en agua dulce como salada. Esta práctica no solo permite explotar diversos recursos acuáticos, sino que también contribuye al crecimiento y estabilidad del sistema alimentario global (Secretaría de Agricultura y

Desarrollo Rural [SADER], 2019b). En las últimas tres décadas, la acuicultura ha experimentado un notable incremento, generando beneficios económicos y sociales significativos para los sectores involucrados. Además, ha sido fundamental en la creación de empleos y en la producción de alimentos para el consumo humano (Ovando, 2013).

En 2022, la producción mundial de animales acuáticos alcanzó los 185.4 millones de toneladas; de esta cifra, un 51% corresponde a acuicultura con una contribución de 94.4 millones de toneladas, mientras que el restante 49% proviene de la pesca. La pesca aportó 79.7 millones de toneladas en aguas marinas y 11.3 millones en aguas continentales; por su parte, la acuicultura generó 35.3 millones de toneladas en aguas marinas y 59.1 millones en aguas continentales (Food and Agriculture Organization [FAO], 2024).

### **1.3 Sistemas de cultivo acuícolas como alternativa a la escasez de agua**

En las últimas décadas, han cobrado relevancia los sistemas acuícolas cerrados, como los Sistemas de Recirculación Acuícola (SRA) y la Tecnología Biofloc (BFT, por sus siglas en inglés). Estos sistemas destacan por su capacidad de tratar y reciclar el agua, lo que resulta en una mayor eficiencia productiva. Las comunidades microbianas que se desarrollan en estos entornos permiten aumentar la densidad del cultivo sin comprometer la calidad del agua, minimizando así el desperdicio hídrico (Amparo-Venegas, 2019; Guerra-Centeno et al., 2016; Timmons y Ebeling, 2010).

Los SRA utiliza estanques, bombas y filtros para oxigenar, desgasificar y reciclar el agua, eliminando la necesidad de recambios frecuentes de agua. Para su correcto funcionamiento, es crucial considerar el tamaño y cantidad de medios filtrantes, el flujo del agua, la densidad del cultivo y las tasas de alimentación (Amparo-Venegas, 2019), ya que, en sistemas que realizan un recambio de agua diario menor al 2%, los sólidos suspendidos tienden a acumularse (Rakocy et al., 2006). Estos sólidos en suspensión se dividen en sedimentables (mayores a 100  $\mu\text{m}$ ) y no sedimentables (menores a 100  $\mu\text{m}$ ), siendo estos últimos difíciles de controlar y responsables de muchos problemas en estos sistemas (Environmental Protection Agency [EPA], 1975; Timmons y Ebeling, 2010).

Un cultivo en SRA puede producir 1 kg de peces utilizando menos de 3  $\text{m}^3$  de agua, en comparación con un sistema de flujo abierto sin aireación mecánica que puede requerir hasta 100  $\text{m}^3$  de agua para producir 1 kg de peces (Boyd, 2000; Timmons y Ebeling, 2010; Torero, 2021). Sin embargo, la complejidad operativa de un SRA es considerablemente mayor que la de los sistemas abiertos (Torero, 2021). Aunque ofrecen un

mayor control sobre mercadeo, desechos e inocuidad del producto, también implican mayores costos operativos y de capital inicial más altos en comparación con los sistemas tradicionales extensivos (Timmons y Ebeling, 2010).

Los cultivos en sistemas con BFT (también llamados de suspensión activa) se presentan como una estrategia con menor impacto ambiental sin sacrificar la productividad. Este método reduce los costos de inversión y operación al aprovechar el desarrollo de comunidades microbianas para controlar los compuestos nitrogenados y producir biomasa microbiana (Avnimelech, 1999, 2003). Actualmente se considera una técnica viable para diversas especies acuáticas (Amparo-Venegas, 2019; Martínez-Córdova et al., 2023; Nisar et al., 2022). En este sistema de cultivo también se observa una alta concentración de sólidos suspendidos, los cuales se encuentran colonizados por una gran diversidad microbiana, incluyendo bacterias heterótrofas y microalgas, que ayudan a mantener la calidad del agua al metabolizar los compuestos nitrogenados generados por los organismos cultivados (Martínez-Córdova et al., 2023).

La disminución de recambios de agua en los sistemas con BFT aumenta la bioseguridad del cultivo y minimiza el desperdicio hídrico al reutilizar la materia orgánica generada como sustrato para el desarrollo microbiano. Esto se logra al mantener una relación Carbono:Nitrógeno (C:N) y oxigenación adecuadas (Guillermo Ariza y Mujica Rodríguez, 2019; Monroy-Dosta et al., 2013; Nisar et al., 2022; Timmons y Ebeling, 2010). Sin embargo, estos cultivos no pueden ser utilizados para el cultivo de cualquier organismo acuático debido a la presencia de una gran cantidad de sólidos suspendidos en el agua, los cuales pueden dañar a ciertas especies, así como causar contaminación si se vierten al ambiente debido a su alto contenido de materia orgánica, minerales y nutrientes. Además, aunque el uso de sistemas BFT puede reducir el uso del agua con una disminución en los recambios de agua y la dependencia de alimentos comerciales debido al control de la calidad del agua y a la alimentación suplementada por los bioflóculos, respectivamente, este tipo de cultivos pueden ocasionar un sabor diferente en los organismos cultivados, lo cual podría ser un problema en el mercado; no obstante, se pueden seguir diferentes estrategias para mejorar el sabor de los organismos cultivados como la purga con agua limpia (Helmer, 2020; Silverstein, 2020).

Para mantener la relación C:N en los sistemas con BFT, se han probado diversas fuentes de carbono como energía para la fijación del nitrógeno del medio. Esto resulta en la producción de proteínas microbianas que sirven como alimento para los organismos cultivados (Collazos-Lasso y Arias-Castellanos, 2015; Monroy-Dosta et al., 2013). La selección de la fuente de carbono a incorporar depende de varios factores, incluyendo la disponibilidad del producto y el tipo de cultivo, buscando elegir aquella fuente de carbono

que ofrezca una mejor producción a un menor costo (Avnimelech, 1999). Uno de los productos industriales ricos en carbono más comúnmente utilizados es la sacarosa (azúcar de mesa), que tiene una composición aproximada de 42.1% de carbono (Gálvez-Cantero et al., 2022); sin embargo, el uso de azúcar como fuente de carbono es costoso.

Para controlar los compuestos nitrogenados y mantener una buena calidad del agua, se pueden emplear diferentes relaciones C:N, que pueden ser desde 5:1 hasta 20:1. Estas relaciones determinan la cantidad de carbono orgánico necesaria para la asimilación de los compuestos nitrogenados mediante el metabolismo bacteriano. Se esperaría que entre mayor sea la relación de C:N, mayor será la cantidad de sólidos suspendidos en el agua, ya que este proceso incrementa la formación de conglomerados microbianos o bioflóculos, los cuales benefician al sistema al mejorar la calidad del agua, además de tener como función hacer estos sistemas más amigables con el ambiente, mejorar la actividad metabólica de los organismos cultivados y fomentar la salud animal mediante la competencia *in situ* contra microorganismos patógenos (Collazos-Lasso y Arias-Castellanos, 2015; De Schryver et al., 2008; Martínez-Córdova et al., 2023).

Tanto en BFT como en SRA, la acumulación de sólidos puede ocasionar la mineralización de nutrientes hasta alcanzar concentraciones similares a las usadas en sistemas hidropónicos fertilizados inorgánicamente (Ramírez-Núñez et al., 2019). Estos pueden ser aprovechados por plantas de manera similar a lo observado con extractos acuosos de composta en la agricultura tradicional (Curlango-Rivera et al., 2013; Tollefson et al., 2015). El aprovechamiento de estos sólidos se ha llevado a cabo con sistemas BFT integrados con lechuga (Abdul, 2010), y recientemente se ha propuesto con el término de FLOCponics (Pinheiro et al., 2017; Pinho et al., 2017, 2021, 2022).

#### **1.4 Integración acuícola-agrícola como alternativa a la escasez de agua**

La acuicultura y la agricultura sostenibles se han desarrollado mediante diversas técnicas de producción que cumplen con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (FAO, 2022). La integración entre acuicultura y agricultura surge como solución a los problemas relacionados con el uso excesivo del agua y nutrientes del suelo. La acuaponía, término que se deriva de las palabras “acuicultura” e “hidroponía”, es una forma más reciente de los sistemas de producción de agricultura-acuicultura integrada (AAI) (FAO, 2022), que optimiza el uso del agua al permitir la producción simultánea de organismos acuáticos y plantas (SADER, 2019a). Esta técnica utiliza los nutrientes del efluente acuícola para fertilizar plantas, aprovechando este

recurso para reducir la necesidad de fertilizantes inorgánicos, mientras que las plantas, con un menor gasto energético, mejoran la calidad del agua al absorber estos nutrientes (Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá, 2006; Junge et al., 2017; Lennard y Goddek, 2019; Martínez-Córdova et al., 2023; Moreno Simón y Zafra Trelles, 2014; Rakocy et al., 2006; Torero, 2021). Los sistemas AAI han evolucionado para satisfacer las necesidades alimentarias actuales mediante un uso eficiente del agua, logrando reducir su consumo hasta en un 90% respecto a los sistemas agrícolas tradicionales (FAO, 2018). En áreas áridas o desérticas, donde pueden existir suelos no aptos para cultivos, la utilización de efluentes ricos en nutrientes generados por estos sistemas, puede optimizar aún más los recursos hídricos (FAO, 2022, 2024; Guerra-Centeno et al., 2016; Rakocy et al., 2006) llegando incluso a volver productivas áreas que se consideraban inadecuadas para cultivos agrícolas (Gálvez-Cantero et al., 2022; Guillermo Ariza y Mujica Rodríguez, 2019; Junge et al., 2017; Martínez-Córdova et al., 2023).

A pesar de sus beneficios, los sistemas AAI enfrentan desafíos significativos relacionados con el manejo de plagas y enfermedades. El uso de agroquímicos puede afectar negativamente a los organismos bajo cultivo, incluyendo a las comunidades microbianas esenciales para el correcto funcionamiento de este tipo de sistemas. Además, un problema recurrente en la producción comercial de los sistemas AAI incluye la acumulación de sólidos en los canales hidropónicos lo cual puede tener efectos negativos en los organismos cultivados (Dusci et al., 2022; Junge et al., 2017; Martínez-Córdova et al., 2023; Rakocy et al., 2006).

Los sistemas AAI se pueden categorizar en: extensivos e intensivos. Los extensivos utilizan los sedimentos producidos para un reciclaje completo de nutrientes para la producción de plantas, pero limitan la densidad de peces, afectan el rendimiento del biofiltro y no controlan la turbidez del agua ni las pérdidas hídricas (Danaher et al., 2013; Junge et al., 2017; Martínez-Córdova et al., 2023; Maucieri et al., 2018). En los AAI intensivos, se utilizan equipos para separar los sedimentos, permitiendo una alta densidad de peces con una menor carga microbiana, pero con un reciclaje parcial de los nutrientes generados en el sistema, los cuales pueden ser aprovechados para las plantas. Estos sedimentos se pueden reciclar con la adición de biodigestores al sistema (Junge et al., 2017).

Con el fin de mejorar la eficiencia productiva de los sistemas AAI, es fundamental abordar tanto sus fundamentos ambientales como ecológicos. Debido a que estos sistemas requieren una nutrición óptima para cubrir las necesidades de los organismos cultivados, los macro- como micronutrientes para las plantas dependerán significativamente del alimento proporcionado a los animales acuáticos (Goddek et al., 2020; Rakocy et al., 2006) el cual, para reducir residuos, minimizar la huella ecológica y maximizar la producción

interna, debe consistir de materiales sostenibles de origen local, como harinas vegetales o de insectos (Dusci et al., 2022; Junge et al., 2017).

## 1.5 Contexto local: Baja California

En Baja California (B.C.), México, la acuicultura se ha consolidado como una alternativa prometedora para la producción alimentaria debido a sus diversas modalidades productivas (Esquivel López et al., 2020). Actualmente, se utilizan diferentes sistemas de producción que permiten cultivar organismos con alta demanda en el mercado. Entre ellos destaca la lobina rayada del Pacífico (*Morone saxatilis*), reconocida por su gran valor comercial debido a su carne apreciada en el mercado alimentario (Loeza Coatzozon, 2020). Por otro lado, la agricultura aportó diversos cultivos vegetales con un valor de más de \$25 millones de pesos mexicanos (MXN) en el 2022 (Representación AGRICULTURA Baja California, 2023). Una de las legumbres más cultivadas en B.C. es el chícharo. Baja California, junto con el Estado de México y Puebla, aportan el 74.1% de la producción de chícharo a nivel nacional (SADER, 2023). Sin embargo, la escasez de agua dulce puede poner en riesgo esta alta productividad.

## 1.6 *Morone saxatilis*

La lobina rayada del Pacífico, *M. saxatilis*, se distribuye naturalmente en la costa atlántica de América del Norte y el Golfo de México, y se ha introducido desde México hasta la Columbia Británica (Cano Vera, 2019). En las últimas décadas, se ha realizado con éxito su cultivo desde el norte de Florida, EE. UU., hasta el estuario del río San Lorenzo, Canadá. Además, se ha introducido en ríos y embalses de la costa del Pacífico del continente americano; debido a esto, es posible encontrarla ya de forma natural en la costa de Norteamérica, desde México hasta Canadá (Good View International Enterprise S.A. de C.V., 2019). La lobina rayada del Pacífico fue introducida en B.C. (SADER, 2022) y se ha cultivado en una granja acuícola a mar abierto en las aguas del santuario marino de la Isla Todos Santos en Ensenada, Baja California, México (Pacífico Striped Bass, 2018). Esta industria es de recién comienzo en el noreste de México, con gran potencial para proyectar la acuicultura de la región y del país; sin embargo, en México ha existido solo una compañía dedicada a su crianza (Cano Vera, 2019) desde el año 2013, con un mercado local, nacional e internacional (se exporta a Estados Unidos), que cuenta con su propio laboratorio con SRA en tierra para abastecerse de juveniles y realizar su engorda maricultivo (SADER, 2022). Con respecto a la producción nacional acuícola de lobina, en el periodo 2005 – 2020 se obtuvo una media mensual de producción en

peso vivo de 70 a 110 toneladas, y en 2020, la producción aumentó a 1,800 toneladas con un valor superior a 300 M MXN (SADER, 2022).

La lobina rayada, clasificada por Setzler et al. (1980), pertenece al phylum Chordata, subphylum Vertebrata, clase Osteichthyes, subclase Actinopterygii, orden Perciformes, familia Percichthyidae, género *Morone* y especie *saxatilis*. Es una especie anádroma, lo que significa que pasa la mayor parte de su ciclo de vida migrando entre aguas salobres y oceánicas. Durante la época de reproducción, migra hacia los ríos, donde desova en aguas con temperaturas que oscilan entre 10 °C a 23 °C, entre los meses de abril y junio. Posteriormente, después del desove, abandona los estuarios y regresa a las costas oceánicas. Las larvas eclosionan en estos ambientes, y pasan su etapa larval en agua dulce. A medida que los individuos crecen, migran hacia zonas salobres y oceánicas. Además, la lobina rayada es poiquilotérmica, lo que implica que no tiene capacidad de regular su temperatura corporal. En su fase adulta, evita temperaturas superiores a los 22 °C, mientras que los individuos jóvenes pueden tolerar temperaturas de hasta 29 °C. Por esta razón, es considerada una especie euritérmica, capaz de sobrevivir en un amplio rango de temperaturas, de 5 °C a 28 °C. También es carnívora, alimentándose de una amplia variedad de fuentes animales (Good View International Enterprise S.A. de C.V., 2019; SADER, 2022; Setzler et al., 1980).

**Tabla 1.** Parámetros fisicoquímicos para el cultivo de la lobina rayada (*Morone saxatilis*) de acuerdo con SADER (2022).

Parámetro	Intervalo óptimo
Temperatura (°C)	15 – 25
Salinidad (g/l)	0 – 35
Oxígeno disuelto (mg/l)	4 – 10
Amonio (mg/l)	<0.02
Nitritos (mg/l)	<0.2
Nitratos (mg/l)	<2.0
pH	7.5 – 8.5
Flujo del agua	5 – 15 cm/s

En cuanto a su hábitat, muestra una notable diversidad de ambientes en la zona litoral, desde áreas superficiales hasta profundidades de hasta 100 m. Es una especie eurihalina, lo que le permite habitar en ambientes con una amplia gama de salinidad. Se encuentra en costas rocosas, arenales, bocanas de

puertos, zonas de estuarios y deltas de aguas salobres, y ocasionalmente en ríos (Loeza Coatzozon, 2020).

Pese a su importancia, hay muy poca literatura reciente referente a esta especie, ya que la mayoría se enfoca en la lobina híbrida (*Morone saxatilis* x *Morone chrysops*) (Cano Vera, 2019). A diferencia de organismos como la tilapia (*Oreochromis niloticus*) o el camarón (*Penaeus vannamei*), la lobina rayada no cuenta con estudios específicos sobre los parámetros fisicoquímicos óptimos para su cultivo, por lo que generalmente en México se utilizan los intervalos típicos otorgados por la SADER (2022).

## 1.7 *Pisum sativum*

El chícharo, clasificado por Mateo (1961) en Tacas (2015), pertenece a la división Fanerogamas, subdivisión Angiospermas, clase Dicotiledoneas, orden Rosales, familia Leguminosa, género *Pisum* y especie *sativum* L. Conocido también como guisante o arveja, *P. sativum* L. es una leguminosa de ciclo anual de gran valor nutricional, con un tiempo de germinación de hasta 10 días e inicio de cosecha a partir de los 120 días (Tacas, 2015). La planta se cultiva en climas húmedos y templados entre los 16 °C y 20 °C en suelos con un pH mayor a 6.5 y, de acuerdo con su variedad, alcanza una altura de 1.57 m produciendo vainas de 5 a 10 cm de largo con 4 a 10 semillas generalmente verdes lisas o rugosas (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2007; Tacas, 2015).

Originario de Asia Occidental, se encuentra muy presente en la gastronomía de México, cultivándose en 19 estados con una producción en el 2017 de 63,934 toneladas, cosechadas en una superficie de 11,254.38 hectáreas. En el año 2018, el Estado de México obtuvo el primer lugar en producción de chícharo con 26,718 toneladas (SADER, 2018), y para el año 2023, el valor total de la producción para México fue de \$48.8 millones de dólares estadounidenses (USD), teniendo a Baja California como la entidad federativa con más ventas y compras internacionales. Además, en el año 2022, México se clasificó como el cuarto exportador a nivel mundial de estos guisantes con una participación del 8.8% (Secretaría de Economía, 2024).

## 1.8 Antecedentes

Los sólidos no sedimentables son extremadamente perjudiciales para algunos peces debido a que la función branquial se puede ver afectada por los sólidos acumulados, comprometiendo la transferencia de

oxígeno e incluso, pueden favorecer un hábitat para la proliferación de patógenos (Timmons y Ebeling, 2010). Para la acuicultura continental, no hay pruebas de que las concentraciones de sólidos en suspensión de hasta 25 mg/l tengan algún efecto nocivo sobre los peces; sin embargo, se sugiere que esta concentración esté por debajo de 40 mg/l de sólidos suspendidos totales como valor seguro en SRA (Timmons y Ebeling, 2010).

Los niveles de tolerancia a los sólidos específicos para el cultivo de la lobina rayada (*M. saxatilis*) no están completamente establecidos, y dependen de la etapa y sistema de cultivo. Por otro lado, se desconoce el desempeño de *M. saxatilis* cultivada en sistemas con BFT. Considerando la formación de bioflóculos de los sistemas con BFT, es necesario conocer en qué medida pueden afectar el desempeño biológico de esta especie, ya que se cultiva tradicionalmente en SRA.

De acuerdo con Setzler et al. (1980), al parecer, la lobina rayada no se ve afectada por este tipo de cultivos debido a que está adaptada a aguas turbias y cargadas de sedimentos, siendo que las concentraciones de sedimentos finos de hasta 500 mg/l no afectan la eclosión de los huevos, sin embargo, concentraciones de sedimentos superiores a 1000 mg/l disminuyen el éxito de la eclosión. Auld y Schubel (1978) al comparar tratamientos con diferentes niveles de turbidez, encontraron que las concentraciones de 100 mg/l de sólidos suspendidos de entre 1 a 4  $\mu\text{m}$  de diámetro no tienen un impacto negativo en la supervivencia de larvas de lobina rayada, sin embargo, con una cantidad mayor a 500 mg/l esta disminuye. De manera similar, McEntire et al. (2015) investigaron el efecto de diferentes grados de turbidez en el cultivo de alevines de lobina híbrida (*Morone chrysops* x *Morone saxatilis*) y observaron que una turbidez óptima en el agua incrementa la longitud y mejora la condición y uniformidad de los peces. Esto se debe a que, al reducir el canibalismo entre los peces, se logra que los peces mantengan tamaños más similares.

Por otro lado, Milstein et al. (2001) probaron el rendimiento de la lobina híbrida (*M. saxatilis* x *M. chrysops*) en estanques bajo sistemas intensivos con BFT obteniendo una alta supervivencia, con tasas de crecimiento y conversión alimenticias razonables. Además, los cultivos de la lobina híbrida (*M. chrysops* x *M. saxatilis*) en sistemas BFT han tenido un buen desempeño en diferentes concentraciones de sólidos suspendidos totales de 200 a 1000 mg/l, sin embargo, los autores de estos estudios sugieren realizar estos bioensayos utilizando poblaciones mayores de organismos que los que utilizaron en sus bioensayos (Green y Ray, 2022; Green et al., 2017).

En cultivos de especies marinas en sistemas con BFT, se han observado menores crecimientos, así como mortalidades ocasionadas por parásitos. Por ejemplo, la totoaba (*Totoaba macdonaldi*), un organismo

carnívoro, endémico del Golfo de California, México, y que se cultiva de la misma forma que la lobina rayada, se ha intentado cultivar en sistemas con BFT; sin embargo, se encontró una reducción del consumo de alimento, que se atribuyó a la turbidez en el estanque y al estrés ocasionado por altas concentraciones de sólidos suspendidos (2.91 g/l) (Amparo-Venegas, 2019).

Para cultivos de tilapia, una concentración menor a 100 ml/l de sólidos sedimentables es adecuada, ya que esta cantidad indica una buena calidad del sistema con BFT y de 10 a 15 ml/l para camarón (Collazos-Lasso y Arias-Castellanos, 2015; Gálvez-Cantero et al., 2022). En el caso de la tilapia, aunque se puede lograr una buena productividad con cantidades superiores a 100 mg/l de sólidos suspendidos totales, como indica Timmons y Ebeling (2010), es necesario considerar que dicho rendimiento se da en ausencia de factores estresantes adicionales y que diferentes especies de peces pueden tener distintos niveles de tolerancia a las concentraciones de sólidos y otros parámetros de calidad de agua.

En relación con los cultivos vegetales, Danaher et al. (2013) no encontraron diferencias significativas en la producción cuando utilizaron efluentes de sistemas acuapónicos tratados con diferentes dispositivos para la retención de sólidos, y destacaron que la materia orgánica generada en el cultivo de los peces son un recurso valioso para la producción vegetal. Por otra parte, Rakocy et al. (2006) sugieren que, si la producción es adecuada y se evita sobrecargar el sistema con sólidos en suspensión, las raíces pueden funcionar como un medio de biofiltración, lo que permite eliminar sólidos y realizar un cultivo hidropónico en una sola unidad, evitando el costo adicional de un biofiltro separado. Algunos sólidos pueden ser beneficiosos, ya que al ser descompuestos por microorganismos que actúan como antagonistas de patógenos radiculares logran suprimir infecciones y mostrar diversos grados de protección a las plantas, ayudando a mantener un crecimiento saludable (Curlango-Rivera et al., 2013; Rakocy et al., 2006). Estos microorganismos liberan nutrientes inorgánicos esenciales para el crecimiento vegetal mediante el proceso de mineralización. Sin embargo, si no hay suficientes sólidos para este proceso, se requieren suplementos adicionales, lo que puede incrementar los costos y complicar la gestión del sistema. A medida que aumenta la población de peces y las tasas de alimentación, se genera una mayor producción de sólidos, resultando en una mayor disponibilidad de nutrientes para las plantas (Rakocy et al., 2006).

La acumulación excesiva de sólidos en los sistemas integrados acuícola-agrícola puede afectar negativamente la calidad del agua, y en el caso de las plantas, los sólidos pueden acumularse en las raíces, creando zonas anaeróbicas que disminuyen la absorción de nutrientes haciéndolas más propensas a enfermedades (Dusci et al., 2022). Además, un exceso de sólidos puede reducir las concentraciones de oxígeno disuelto debido a su descomposición, generando dióxido de carbono y amoníaco; si se forman

depósitos de sedimentos, pueden liberarse sulfuro de hidrógeno y metano, afectando a los demás organismos del cultivo (Rakocy et al., 2006).

## **1.9 Justificación**

La escasez de agua y la necesidad de fertilización inorgánica amenazan la sostenibilidad de la acuicultura y agricultura tradicionales. Los sistemas de cultivo acuícolas-agrícolas integrados con BFT son una alternativa para esta problemática, ya que permiten un menor uso de agua en comparación con los cultivos tradicionales. Sin embargo, el exceso de sólidos característico de este tipo de cultivos puede presentar un riesgo para el cultivo de algunas especies de peces. Por otro lado, estos sólidos, al ser liberados al ambiente, pueden considerarse un riesgo ecológico, por lo que su uso para suministrar nutrientes a plantas puede significar una reducción en la fertilización inorgánica, resultando en menor impacto ambiental. Las investigaciones relacionadas con las nuevas tecnologías que buscan la integración de estos sectores son limitadas, por eso, es necesaria la generación de conocimientos que fundamenten el desarrollo eficiente de estos sistemas integrados de producción de alimentos. Por todo lo anterior, conocer el efecto de los efluentes acuícolas con distintas concentraciones de sólidos suspendidos en el desempeño biológico de la lobina rayada y en el crecimiento de una leguminosa de importancia económica y nutricional como el chícharo es crucial para ofrecer alternativas productivas de mayor eficiencia y menor costo para el estado de Baja California.

## **1.10 Hipótesis**

La presencia de sólidos suspendidos derivados de una relación Carbono:Nitrógeno 20:1 no afectará el desempeño biológico de la lobina rayada (*M. saxatilis*) ni del chícharo (*P. sativum*).

## **1.11 Objetivos**

### **1.11.1 Objetivo general**

Conocer la viabilidad de la producción de la lobina (*Morone saxatilis*) y el chícharo (*Pisum sativum*) en

cultivos con una alta concentración de sólidos suspendidos.

### 1.11.2 Objetivos específicos

1. Evaluar los parámetros productivos de la lobina rayada en cultivos con diferentes relaciones Carbono:Nitrógeno.
2. Determinar el estado del órgano branquial de la lobina rayada en cultivos con diferentes relaciones Carbono:Nitrógeno.
3. Determinar el efecto de los efluentes de cultivos con diferentes relaciones Carbono:Nitrógeno sobre el desarrollo del chícharo en etapa temprana.

## Capítulo 2. Metodología

---

Se realizó un cultivo de lobina con bioflóculos por un periodo de 39 días utilizando las relaciones Carbono:Nitrógeno 10:1 (C10) y 20:1 (C20) de febrero a abril, 2024. El bioensayo se llevó a cabo en el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California (CICESE) en B.C., México, en el invernadero 1 del Departamento de Biotecnología Marina para el cultivo experimental de peces. Posteriormente, se desarrollaron los bioensayos para determinar el efecto de los sólidos del efluente en el desempeño del chícharo en el laboratorio de Microbiología del Departamento de Microbiología del CICESE.

### 2.1 Efecto de sólidos suspendidos en *Morone saxatilis*

#### 2.1.1 Aclimatación de la lobina rayada

Los juveniles de lobina rayada (*M. saxatilis*) fueron donados por la empresa Pacifico Aquaculture S.A.P.I. de C.V., ubicada en Ensenada, Baja California, México. Se recibieron 274 juveniles en el laboratorio de Peces Marinos del Departamento de Acuicultura del CICESE y fueron colocados en dos estanques tipo raceway de 2,500 litros para su mantenimiento en agua salada (34 g/l). Durante el mantenimiento, los organismos se alimentaron una vez al día con alimento para peces marinos de la marca comercial EWOS Nature-Pacific con 47% proteína y 16% lípidos. Una vez que alcanzaron un peso promedio de 320 g, se seleccionaron organismos aparentemente sanos para ser transferidos a un tanque conectado a un SRA de 4,400 litros ubicado en el Invernadero de Investigación en Sistemas Acuícolas (IISA) del Departamento de Acuicultura, con el fin de realizar el proceso de aclimatación a agua dulce. La aclimatación se hizo disminuyendo en forma gradual la salinidad durante siete días (-5 g/l día) hasta llevar a los organismos a condiciones de agua dulce utilizando agua de la red municipal. Posteriormente, con ayuda de una bomba de calor/frío Delta Star®, se redujo la temperatura del agua a una tasa de 1°C por día, hasta llegar a 16 °C. En esta condición de temperatura se mantuvieron los organismos durante la etapa experimental.

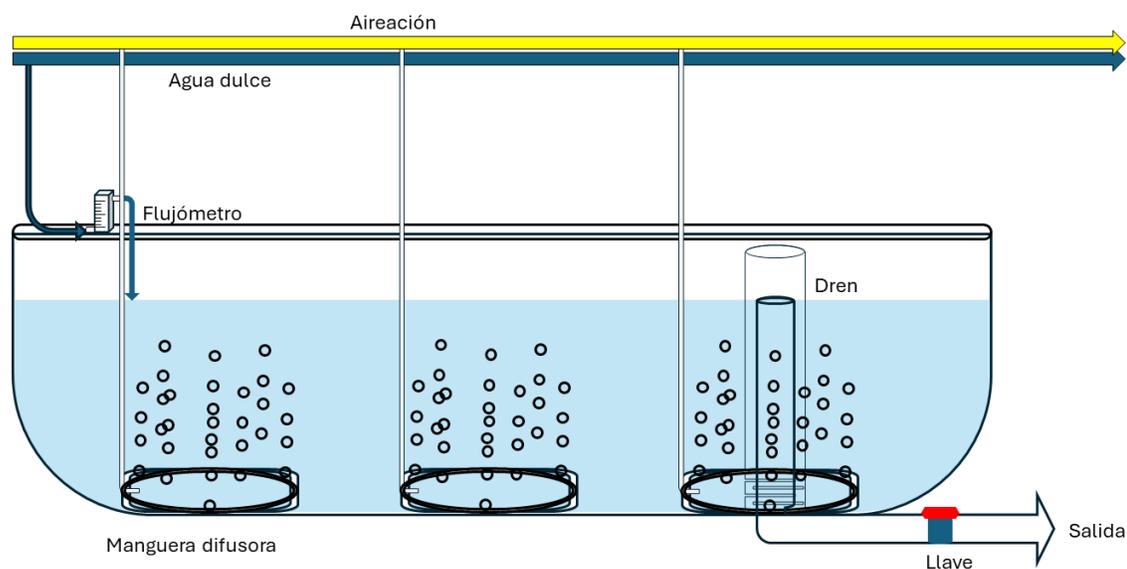
Una vez que los organismos se aclimataron al agua dulce y a 16 °C, se seleccionaron y transfirieron 90 organismos juveniles aparentemente saludables a los estanques experimentales. El peso promedio de los organismos en estos estanques fue de  $552.9 \pm 71.4$  g a una densidad de 10 peces por estanque, de acuerdo

con lo recomendado por Mayoral-Noriega (2024). Los organismos fueron alimentados una vez al día (*ad libitum*) durante todo el periodo de experimentación con el alimento proporcionado por Pacifico Aquaculture S.A.P.O. de C.V., EWOS PACIFICO TERRA SUMMER, de 5 mm con 43% de proteína y 16% de lípidos.

## 2.2 Diseño experimental

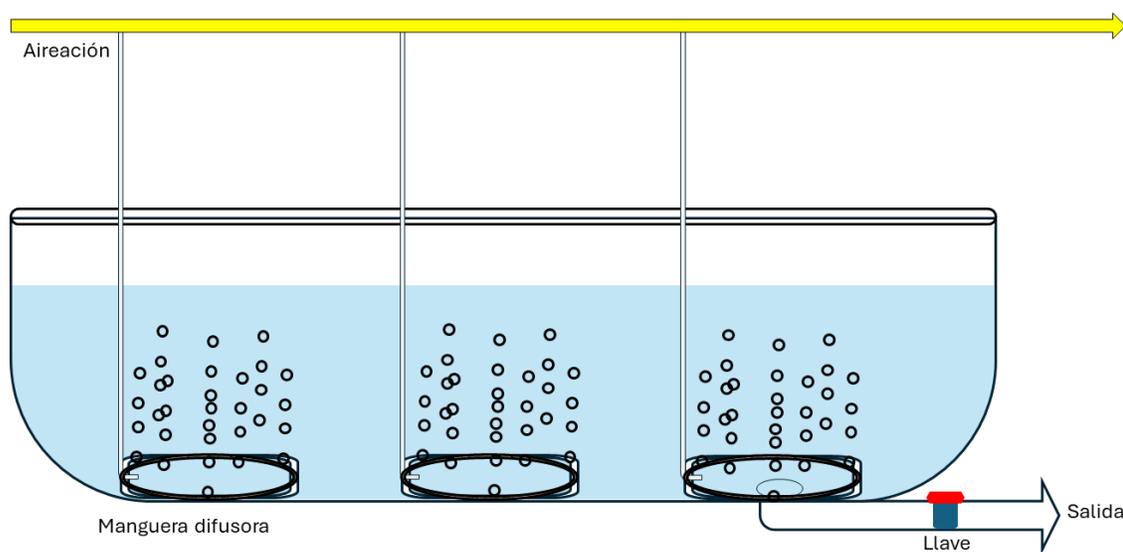
El experimento estuvo conformado por nueve estanques ovalados de 1,200 litros. Cada uno de los estanques se mantuvo con aireación constante mediante tres difusores cuadrangulares elaborados con mangueras difusoras.

Para los 39 días de cultivo, se asignaron aleatoriamente los estanques para los dos tratamientos experimentales con tres repeticiones por tratamiento, en los cuales se mantuvo un sistema de cultivo BFT a temperatura ambiente con una relación C:N distinta para cada tratamiento: 10:1 (C10) y 20:1 (C20), con lo que se promovió una mayor concentración de sólidos en el tratamiento C20 (De Schryver et al., 2008). Adicionalmente, se contó con un tratamiento control asignado aleatoriamente, con tres repeticiones, los cuales se mantuvieron como un sistema de flujo abierto (FA). El tratamiento control contó con entradas de agua continua a temperatura ambiente mediante flujómetros calibrados a una tasa de cuatro litros por minuto (Figura 1).



**Figura 1.** Representación del tratamiento control FA.

Para la generación de sólidos suspendidos, se utilizó la técnica de Biofloc (De Schryver et al., 2008), que consistió en la promoción del crecimiento de bacterias heterótrofas. La fuente de carbono utilizada para mantener las relaciones C:N de los tratamientos C10 y C20 fue sacarosa, la cual tiene un contenido aproximado de 42% de carbono (Avnimelech, 1999; De Schryver et al., 2008). Los sólidos generados en los sistemas experimentales se mantuvieron suspendidos en la columna de agua con un generador de aire comprimido del Departamento de Acuicultura del CICESE, el cual mantuvo una aireación permanente durante el periodo experimental. Cuando la concentración de nitrógeno amoniacal total (NAT) alcanzaba entre 2 y 4 mg/l, o cuando la concentración de sólidos en suspensión aumentaba a niveles en los que se observaba un incremento en la viscosidad del agua y se veía afectado negativamente el consumo de alimento, se realizaban recambios de agua o se reducía el suministro de alimento. Así, los recambios de agua se realizaban tanto para controlar el NAT como para mitigar el impacto de la viscosidad elevada, favoreciendo las condiciones adecuadas para la alimentación de los peces (Figura 2). Diariamente, con la ayuda de un sifón, se retiraron las heces y el alimento no consumido del fondo de los estanques del tratamiento control. Debido a que la visibilidad del fondo en los estanques con bioflóculos era nula, la limpieza se realizaba hasta que dejara de salir alimento del fondo del estanque (McEntire et al., 2015). El alimento no consumido se cuantificó para calcular el factor de conversión alimenticia para cada tratamiento.



**Figura 2.** Representación de los tratamientos C10 y C20.

### 2.2.1 Índices para el desempeño biológico de la lobina rayada

Para estimar el desempeño biológico de los peces se usaron las siguientes ecuaciones:

Supervivencia (%)

$$\text{Supervivencia (\%)} = \frac{\# \text{ de organismos finales}}{\# \text{ de organismos iniciales}} * 100 \quad (1)$$

Alimento consumido por pez (gramos)

$$\begin{aligned} & \text{Alimento consumido por pez (g)} \\ & = \frac{\text{Alimento suministrado por tanque (g)} - \text{Alimento no consumido (g)}}{\text{Número de organismos finales por tanque}} \end{aligned} \quad (2)$$

Ganancia de peso (gramos)

$$\text{Ganancia de peso (g)} = \text{Peso final (g)} - \text{Peso inicial (g)} \quad (3)$$

Tasa de crecimiento específica (TCE)

$$\text{TCE} = 100 * \frac{\ln(\text{peso final (g)}) - \ln(\text{peso inicial (g)})}{\text{Días de cultivo}} \quad (4)$$

Factor de conversión alimenticia (FCA)

$$\text{FCA} = \frac{\text{Alimento suministrado (g)} - \text{Alimento no consumido (g)}}{\text{Peso ganado (g)}} \quad (5)$$

Índice de eficiencia proteica (IEP)

$$\text{IEP} = \frac{\text{Peso ganado (g)}}{(\text{Alimento consumido (g)} * \% \text{ de proteína del alimento})} \quad (6)$$

Factor de condición

$$\text{FC} = \frac{\text{Peso (g)}}{\text{Longitud total (cm)}^3} \quad (7)$$

### 2.3 Parámetros fisicoquímicos del agua

Se realizó un monitoreo diario de los parámetros fisicoquímicos del agua, los cuales incluyeron la temperatura (°C), oxígeno disuelto (O<sub>2</sub>) en mg/l y salinidad (g/l), con un analizador multiparamétrico YSI Pro 2,030, el pH con un potenciómetro OAKTON Waterproof pHTestr 20, los sólidos sedimentables (ml/l)

con conos Imhoff, la turbidez (tomados en cm y convertidos a porcentaje de visibilidad) con un disco de Secchi, y los sólidos suspendidos totales (mg/l) siguiendo el protocolo de American Public Health Association et al. (2017). El nitrógeno amoniacal total (NAT en forma de  $\text{NH}_3^- + \text{NH}_4^-$ ), nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ) y nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) se analizaron mediante espectrofotometría con los espectrofotómetros Beckman Coulter AD 200 para NAT y  $\text{NO}_2^-$ , y HACH DR 5,000 para  $\text{NO}_3^-$ , y pruebas bioquímicas API basadas en colorimetría.

## 2.4 Histología del órgano branquial de *Morone saxatilis*

Una vez realizada la biometría final, se sacrificaron cinco organismos por estanque e inmediatamente se fijaron muestras del órgano branquial para su procesamiento. Se disecó el segundo arco branquial izquierdo y se siguió el proceso histológico de descalcificación, deshidratación e inclusión en parafina, se hicieron cortes de 5  $\mu\text{m}$  de espesor y se tiñeron con Hematoxilina-Eosina siguiendo los protocolos del laboratorio de Sanidad y Patología del Departamento de Acuicultura del CICESE. Para una evaluación de las alteraciones que se encontraron en todos los tratamientos, las laminillas se analizaron con la técnica de campo claro en un microscopio óptico modelo Nikon Eclipse E200 del laboratorio de Microbiología del Departamento de Microbiología y se fotografiaron con ayuda de un microscopio Nikon TI-U del Laboratorio Nacional de Microscopía Avanzada.

Se realizó una tabla de contingencia con los porcentajes de las alteraciones encontradas que no coincidían con la frecuencia en el grupo control siguiendo la lista de lesiones establecidas por Poleksić y Mitrović-Tutundžić (1994).

## 2.5 Efecto de sólidos suspendidos en *Pisum sativum*

Se obtuvieron muestras de los efluentes de los estanques de cultivo de las lobinas al día 30 con el fin de realizar dos bioensayos para analizar su efecto en el desarrollo temprano de plantas de chícharo (*Pisum sativum* L.) cv. Little Marvel (Victory Seed Co., Irving, TX). En el primer bioensayo, el monitoreo se realizó a 24 horas postratamiento, mientras que, en el segundo bioensayo, el monitoreo fue diario durante cuatro días de crecimiento. Se utilizaron los efluentes de los tratamientos FA, C10 y C20. Con base en métodos estándar, la semilla de chícharo fue previamente esterilizada con etanol (96%) e hipoclorito de sodio (5%) e incubada por 48 h en cajas de germinación bajo condiciones estériles (Gunawardena y Hawes, 2002).

Una vez germinadas, se seleccionaron plántulas saludables de 25 o 30 mm de longitud sin alteraciones anatómicas.

### **2.5.1 Efecto de efluentes acuícolas con sólidos suspendidos en planta, 24 horas postratamiento**

Para evaluar el efecto de los efluentes acuícolas en la primera etapa de desarrollo de las plantas, se llevó a cabo un ensayo de exposición temporal de acuerdo con el método descrito por Curlango-Rivera et al. (2010). Los cultivos vegetales estuvieron constituidos de la siguiente manera: en condiciones estériles, en una caja de Petri con agar-agua al 1% y papel de germinación, las plántulas seleccionadas fueron expuestas de manera individual y temporal a 100  $\mu$ l de los efluentes obtenidos de los diferentes tratamientos. Cada tratamiento consistió en nueve repeticiones llevadas a cabo en tres experimentos independientes. Una vez iniciado el experimento, la ubicación del ápice de la raíz fue marcado y su crecimiento fue evaluado después de 24 horas de incubación.

Además, para evaluar algún efecto de los efluentes acuícolas en el meristemo de la raíz, se determinó la producción de células del borde de la raíz y su viabilidad. Para ello, en un tubo Eppendorf con 200  $\mu$ l de agua destilada estéril se colectaron las células de los ápices de las raíces y se aforó a 1 ml. A continuación, con un microscopio óptico modelo Nikon Eclipse E200 se contabilizó el número de células del borde por ápice en alícuotas de 10  $\mu$ l, y se observaron y detectaron las células vivas. La viabilidad se definió como el porcentaje de células vivas encontradas en al menos 30 células analizadas.

### **2.5.2 Efecto de efluentes acuícolas con sólidos suspendidos en planta, cuatro días postratamiento**

Para dar seguimiento al efecto de los efluentes acuícolas en planta en etapa temprana, se analizó el crecimiento de plántulas en un sistema hidropónico modelo por un periodo de cuatro días. El modelo estuvo constituido por bolsas de crecimiento de celofán y papel de germinación con 15 ml de cada efluente acuícola obtenidos de los tratamientos FA, C10 y C20. Cada tratamiento consistió en tres repeticiones y con tres plántulas cada una. Al inicio del experimento se marcó la ubicación del ápice de la raíz y se registró su crecimiento cada 24 horas durante un período de cuatro días.

Además del crecimiento total de la raíz principal, se cuantificó su tasa de crecimiento utilizando la siguiente ecuación:

$$\textit{Tasa de crecimiento} = \frac{\textit{Longitud de la raíz principal total (mm)}}{\textit{Número de días de cultivo}} \quad (8)$$

## 2.6 Análisis estadístico

Para el análisis de los datos, primero se confirmaron los supuestos de normalidad con la prueba de Shapiro-Wilk y de homogeneidad de varianzas con la prueba de Levene. Posteriormente, se realizaron análisis de varianzas (ANOVA) de 1 vía para identificar las diferencias significativas entre tratamientos. Posteriormente, se realizó un análisis *post hoc* con pruebas de Tukey para identificar las diferencias entre tratamientos. Para los datos que no cumplieron con normalidad, se realizaron pruebas no paramétricas de Kruskal-Wallis y *post hoc* con Bonferroni. Estas pruebas se realizaron con un nivel de significancia de  $P < 0.05$  en el programa estadístico IBM SPSS Statistics 25.

## Capítulo 3. Resultados

---

En esta sección se describen los resultados obtenidos en el estudio, los cuales se presentan en función de los objetivos planteados inicialmente. Se evaluaron diversas variables durante el cultivo de lobina y en el bioensayo con los chícharos las cuales se describen a continuación.

### 3.1 Efecto de sólidos suspendidos en *Morone saxatilis*

#### 3.1.1 Aclimatación de *Morone saxatilis*

Durante la etapa de aclimatación, se registró una infección por *Flavobacterium* spp., la cual se atribuye al manejo durante su transporte a los diferentes estanques, así como cambios bruscos en la salinidad, las pruebas de densidad y al tipo de sistema de cultivo, los cuales pudieron haber generado estrés en los organismos, haciéndolos más susceptibles. La caracterización de las bacterias se realizó en el laboratorio de Microbiología del Departamento de Microbiología del CICESE; el resultado de este análisis mostró bacterias en forma de bacilos y cocos delgados y flexibles gram-negativos, las cuales fueron obtenidas de tejido infectado con apariencia grisácea de la piel, así como de úlceras y aletas blanquecinas (podredumbre). Los organismos fueron tratados con una dosis de 230 µg/ml de cloranfenicol disuelto en etanol aplicado en el alimento durante siete días, 10 ml de Melafix® (Melaleuca 5%) por cada 190 litros de agua durante 7 días, baños de sal (34 g/l) durante 1 hora y mantenimiento a 5 g/l de salinidad durante 4 días.

#### 3.1.2 Desempeño biológico de *Morone saxatilis*

Respecto los parámetros productivos de *M. saxatilis* después de los 39 días de cultivo, para el tratamiento FA, la longitud patrón promedio final fue de  $32 \pm 1.4$  cm, longitud total final de  $38.4 \pm 1.4$  cm, peso final de  $749.6 \pm 48.5$  g, y se presentó una supervivencia del 100%; para el tratamiento C10, el promedio de la longitud patrón final fue de  $32.1 \pm 0.9$  cm, longitud total final de  $38.2 \pm 0.7$  cm, peso final de  $716.8 \pm 48.9$  g, y se presentó una supervivencia del  $83.3 \pm 28.9\%$ ; y para el tratamiento C20, el promedio de la longitud patrón final fue de  $32.1 \pm 0.7$  cm, longitud total final de  $37.9 \pm 0.7$  cm, peso final de  $704.1 \pm 42.4$  g, y se

presentó una supervivencia del  $93.3 \pm 11.5\%$ . Aunque no se detectaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos para ninguna de las variables observadas ( $P > 0.05$ ), en el tratamiento control (FA) se observó una mayor ganancia de peso (g) con  $204 \pm 8.8$  g, en comparación con los tratamientos C10 y C20 ( $158 \pm 38.4$  g y  $149.2 \pm 24.1$  g, respectivamente). Este mismo patrón se observó en la cantidad de alimento consumido por pez (g) con  $313 \pm 15.9$  g para FA y  $283.6 \pm 20.4$  g y  $276.5 \pm 41.4$  g para C10 y C20, respectivamente (Tabla 2).

**Tabla 2.** Parámetros productivos del cultivo de lobina rayada (*Morone saxatilis*).<sup>1</sup>

Parámetro	Tratamiento <sup>2</sup>		
	FA	C10	C20
Longitud patrón inicial (cm)	$30.7 \pm 1.2$	$30.3 \pm 1$	$30.7 \pm 0.3$
Longitud total inicial (cm)	$36.7 \pm 0.9$	$36.4 \pm 1$	$36.3 \pm 0.5$
Peso inicial (g)	$545.6 \pm 43.7$	$558.1 \pm 44.6$	$554.9 \pm 24.7$
Longitud patrón final (cm)	$32 \pm 1.4$	$32.1 \pm 0.9$	$32.1 \pm 0.7$
Longitud total final (cm)	$38.4 \pm 1.4$	$38.2 \pm 0.7$	$37.9 \pm 0.7$
Peso final (g)	$749.6 \pm 48.5$	$716.8 \pm 48.9$	$704.1 \pm 42.4$
Supervivencia (%)	$100 \pm 0$	$83.3 \pm 28.9$	$93.3 \pm 11.5$
Alimento consumido por pez (g)	$313 \pm 15.9$	$283.6 \pm 20.4$	$276.5 \pm 41.4$
Ganancia de peso (g)	$204 \pm 8.8$	$158.7 \pm 38.4$	$149.2 \pm 24.1$

<sup>1</sup>Valores indican promedio  $\pm$  desviación estándar por tratamiento (n = 3)

<sup>2</sup>FA = Flujo Abierto (control); C10 = tratamiento con relación Carbono:Nitrógeno 10:1; C20 = tratamiento con relación Carbono:Nitrógeno 20:1

**Tabla 3.** Indicadores biológicos del crecimiento de la lobina rayada (*Morone saxatilis*) obtenidos durante los 39 días de cultivo.<sup>1</sup>

Parámetro	Tratamiento <sup>2</sup>		
	FA	C10	C20
Tasa de crecimiento específica	$0.8 \pm 0.1$	$0.6 \pm 0.2$	$0.6 \pm 0.1$
Factor de conversión alimenticia	$1.5 \pm 0.1$	$1.9 \pm 0.5$	$1.9 \pm 0.2$
Índice de eficiencia proteica	$1.5 \pm 0.1$	$1.3 \pm 0.3$	$1.3 \pm 0.1$
Factor de condición	$2 \pm 0.5$	$1.6 \pm 0.5$	$1.8 \pm 0.5$

<sup>1</sup>Valores indican promedio  $\pm$  desviación estándar por tratamiento (n = 3)

<sup>2</sup>FA = Flujo Abierto (control); C10 = tratamiento con relación Carbono:Nitrógeno 10:1; C20 = tratamiento con relación Carbono:Nitrógeno 20:1

Respecto a los indicadores biológicos (Tabla 3), la tasa de crecimiento específica para los tratamientos FA, C10 y C20 fue de  $0.8 \pm 0.1$ ,  $0.6 \pm 0.2$  y  $0.6 \pm 0.1$ , respectivamente; en este mismo orden, el factor de conversión alimenticia fue de  $1.5 \pm 0.1$ ,  $1.9 \pm 0.5$  y  $1.9 \pm 0.2$ , respectivamente; el índice de eficiencia proteica con valores de  $1.5 \pm 0.1$ ,  $1.3 \pm 0.3$  y  $1.3 \pm 0.1$ , respectivamente; y finalmente el factor de condición fue de  $2 \pm 0.5$ ,  $1.6 \pm 0.5$  y  $1.8 \pm 0.5$ , respectivamente. No se observaron diferencias estadísticas significativas en ninguno de estos parámetros.

### 3.2 Calidad del agua

Los parámetros de calidad de agua se mantuvieron por debajo de los límites máximos tolerables para el cultivo de la lobina rayada, sin embargo, se presentaron diferencias estadísticamente significativas, siendo las más relevantes las siguientes: Nitrógeno Amoniacal Total (NAT) con un valor mayor para FA ( $0.9 \pm 0.1$  mg/l), seguido de los tratamientos C10 y C20 ( $0.6 \pm 0.1$  mg/l y  $0.5 \pm 0.1$  mg/l, respectivamente).

Respecto a los demás parámetros, los nitritos ( $\text{NO}_2$ ) no presentaron diferencias significativas entre los tratamientos, sin embargo, el tratamiento C20 presentó valores numéricamente más bajos ( $0.03 \pm 0.01$  mg/l) en comparación con el tratamiento FA ( $0.1 \pm 0.1$  mg/l) y C10 ( $0.1 \pm 0.2$  mg/l); para los nitratos ( $\text{NO}_3$ ), el tratamiento FA presentó los valores más bajos ( $0.5 \pm 0.1$  mg/l) con diferencias estadísticas significativas en comparación con el tratamiento C10 ( $1 \pm 0.1$  mg/l) y C20 ( $1.6 \pm 0.7$  mg/l) (Tabla 4).

La temperatura del tratamiento FA ( $18.6 \pm 0.1$  °C) fue estadísticamente diferente a los tratamientos C10 y C20, con  $17.1 \pm 0.2$  °C y  $17.2 \pm 0.1$  °C, respectivamente. Con respecto al oxígeno disuelto (OD), los valores obtenidos fueron similares, con  $9 \pm 0.4$  mg/l (FA),  $9.1 \pm 0.2$  mg/l (C10) y  $8.6 \pm 0.3$  mg/l (C20), el pH para FA ( $7.8 \pm 0.1$ ) y C10 ( $7.8 \pm 0.1$ ) fue estadísticamente diferente al tratamiento C20 ( $7.6 \pm 0.1$ ); la salinidad no mostró diferencias significativas entre los tratamientos, teniendo un valor de  $0.7 \pm 0$  g/l para todos los tratamientos (Tabla 4).

Los sólidos suspendidos totales (SST) presentaron diferencias significativas entre FA ( $0.042 \pm 0.012$  mg/l) y los tratamientos C10 y C20 con valores de  $0.087 \pm 0.024$  mg/l y  $0.089 \pm 0.079$  mg/l, respectivamente; la transparencia registrada como porcentaje de visibilidad respecto a la profundidad del estanque, presentó diferencias significativas entre FA ( $100 \pm 0$ ) y el tratamiento C20 ( $37.6 \pm 4.2$ ), sin embargo, C10 ( $56.8 \pm 4.7$ ) no presentó diferencias entre los tratamientos.

**Tabla 4.** Parámetros de calidad de agua en el cultivo de la lobina rayada (*Morone saxatilis*) en 39 días de cultivo.<sup>1</sup>

Variables <sup>3</sup>	Tratamientos <sup>2</sup>		
	FA	C10	C20
NAT (mg/l)	0.9 ± 0.1 <sup>b</sup>	0.6 ± 0.1 <sup>a</sup>	0.5 ± 0.1 <sup>a</sup>
NO <sub>2</sub> (mg/l)	0.1 ± 0.1	0.1 ± 0.2	0.03 ± 0.01
NO <sub>3</sub> (mg/l)	0.5 ± 0.1 <sup>a</sup>	1 ± 0.1 <sup>ab</sup>	1.6 ± 0.7 <sup>b</sup>
Temperatura (°C)	18.6 ± 0.1 <sup>b</sup>	17.1 ± 0.2 <sup>a</sup>	17.2 ± 0.1 <sup>a</sup>
Uso del agua (m <sup>3</sup> )	212.6 ± 0.1 <sup>b</sup>	10.3 ± 2.4 <sup>a</sup>	10.7 ± 1 <sup>a</sup>
Ahorro de agua (%) <sup>4</sup>		95	95
OD (mg/l)	9 ± 0.4	9.1 ± 0.2	8.6 ± 0.3
pH	7.8 ± 0.1 <sup>b</sup>	7.8 ± 0.1 <sup>ab</sup>	7.6 ± 0.1 <sup>a</sup>
SALINIDAD (g/l)	0.7 ± 0	0.7 ± 0	0.7 ± 0
SST (mg/l)	0.042 ± 0.012 <sup>a</sup>	0.087 ± 0.024 <sup>b</sup>	0.089 ± 0.079 <sup>b</sup>
Transparencia (%)	100 ± 0 <sup>b</sup>	56.8 ± 4.7 <sup>ab</sup>	37.6 ± 4.2 <sup>a</sup>
SS (ml/l)	0 ± 0 <sup>a</sup>	58.7 ± 103.2 <sup>b</sup>	1.7 ± 6.3 <sup>ab</sup>

<sup>1</sup>Valores indican el promedio ± desviación estándar por tratamiento (n = 3). Diferentes superíndices indican diferencias estadísticas significativas ( $P < 0.05$ ;  $a < b$ )

<sup>2</sup>FA = Flujo Abierto (control); C10 = tratamiento con relación Carbono:Nitrógeno 10:1; C20 = tratamiento con relación Carbono:Nitrógeno 20:1

<sup>3</sup>NAT = nitrógeno amoniacal total; OD = oxígeno disuelto; SST = sólidos suspendidos totales; SS = sólidos sedimentables

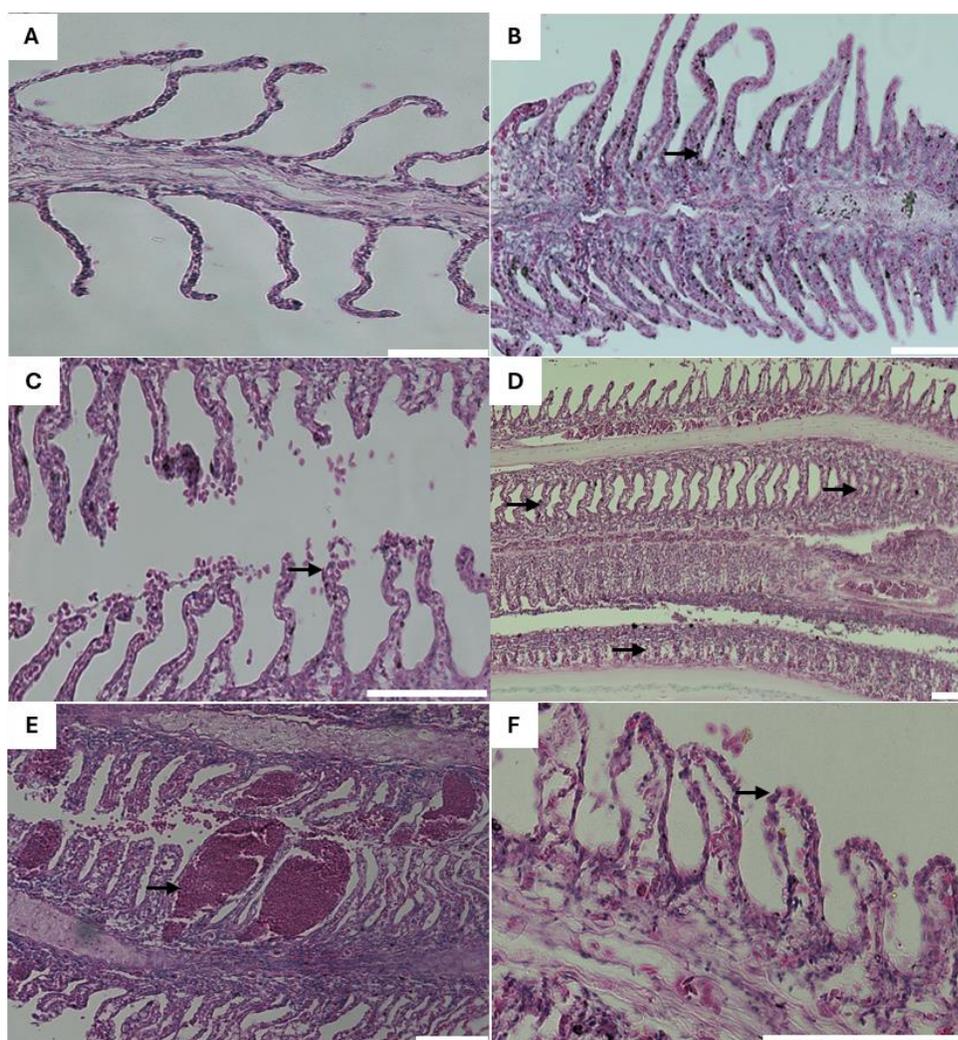
<sup>4</sup>El ahorro en porcentaje de agua se comparó con el tratamiento control

Los sólidos sedimentables (SS) del tratamiento FA ( $0 \pm 0$  ml/l) fueron diferentes de C10 ( $58.7 \pm 103.2$  ml/l) y C20 ( $1.7 \pm 6.3$  ml/l), pero no se detectaron diferencias entre estos tratamientos, sin embargo, es importante mencionar que para los tratamientos C10 y C20, la medición en el cono Imhoff presentó un valor indeterminado entre 0 y 1000 ml/l de sólidos sedimentables en algunos días durante el experimento debido a que estos no sedimentaban posiblemente por la alta viscosidad a causa de la actividad microbiana y los productos metabólicos que contribuyan a la formación de compuestos más viscosos así como la falta de agitación por parte de la aireación, lo que sugiere problemas en la interpretación de los resultados o que los valores obtenidos podrían no reflejar con precisión el comportamiento esperado de la sedimentación (Tabla 4).

El uso del agua ( $\text{m}^3$ ), con un valor significativamente menor en los tratamientos C10 y C20 ( $10.3 \pm 2.4 \text{ m}^3$  y  $10.7 \pm 1 \text{ m}^3$ , respectivamente) que el tratamiento FA ( $212.6 \pm 0.1 \text{ m}^3$ ), lo que significó un ahorro de agua del 95% en los tratamientos experimentales (C10 y C20) en comparación con el tratamiento control (FA).

### 3.3 Histología del órgano branquial de *Morone saxatilis*

En el presente estudio se utilizó la clasificación de lesiones en branquias propuesta por Poleksić y Mitrović-Tutundžić (1994), que se basa en las siguientes categorías: hipertrofia e hiperplasia del epitelio branquial, cambios en la mucosa y/o células de cloro, cambios en los vasos sanguíneos, parásitos branquiales y estadios terminales.



**Figura 3.** Microscopía de campo claro de preparaciones histológicas del segundo arco branquial de lobina rayada, con tinción de Hematoxilina-Eosina. A) Branquia sana. B) Necrosis en epitelio lamelar (flecha). C) Ruptura del epitelio lamelar (flecha). D) Fusión lamelar primaria (flechas). E) Telangiectasias (flecha). F) Hipertrofia de células epiteliales (flecha). Barra de escala 100  $\mu\text{m}$ .

En los tratamientos evaluados, se identificaron alteraciones en branquias que correspondieron a tres de las cinco categorías mencionadas. Estas alteraciones fueron las siguientes: en la categoría de hipertrofia e hiperplasia del epitelio branquial, se observó ruptura del epitelio lamelar, fusión lamelar primaria e hipertrofia de células epiteliales; en la categoría de cambios en los vasos sanguíneos, se observaron telangiectasias; y, en la categoría de estadios terminales, se observó necrosis del epitelio lamelar. Asimismo, se observaron diferencias en la frecuencia de dichas alteraciones entre los tratamientos (Figura 3).

En general, todas las lobinas presentaron una combinación de alteraciones, sin embargo, el análisis estadístico mostró diferencias significativas para FA con una menor presencia de necrosis (60%), ruptura del epitelio lamelar (26.7%) e hipertrofia de células epiteliales (0%), encontrándose que los tratamientos C10 y C20, exhibieron el mayor porcentaje de alteraciones (Tabla 5).

La mortalidad registrada durante el experimento para el tratamiento C10 se dio durante la primera semana, y pudo deberse a las condiciones de estrés que se presentaron durante el sembrado de los peces en los diferentes estanques. Las branquias de los peces del tratamiento C10 que murieron no fueron procesadas para histología debido a que este tejido pudo haberse deteriorado durante el tiempo que pasó entre su deceso y el momento en el que se retiraron del estanque.

**Tabla 5.** Porcentajes de las alteraciones presentes en el segundo arco branquial izquierdo de lobina rayada (*Morone saxatilis*) después de 39 días de cultivo.<sup>1</sup>

Tratamiento <sup>2</sup>	Variables evaluadas				
	Necrosis	Ruptura del epitelio lamelar	Fusión lamelar primaria	Telangiectasias	Hipertrofia de células epiteliales
FA	60.0 <sup>a</sup>	26.7 <sup>a</sup>	33.3	0.0	0.0 <sup>a</sup>
C10	93.3 <sup>b</sup>	93.3 <sup>b</sup>	26.7	26.7	20.0 <sup>ab</sup>
C20	100.0 <sup>b</sup>	73.3 <sup>b</sup>	66.7	26.7	53.3 <sup>b</sup>

<sup>1</sup>Valores indican el porcentaje de presencia de la alteración por tratamiento (n = 15). Diferentes superíndices indican diferencias estadísticas significativas ( $P < 0.05$ ; a < b)

<sup>2</sup>FA = Flujo Abierto (control); C10 = tratamiento con relación Carbono:Nitrógeno 10:1; C20 = tratamiento con relación Carbono:Nitrógeno 20:1

### 3.4 Efecto de sólidos en *Pisum sativum*

#### 3.4.1 Efecto de efluentes acuícolas con sólidos suspendidos en planta, 24 horas postratamiento

En el cultivo de 24 horas (Tabla 6), se observó una longitud de la raíz principal de  $17.6 \pm 5.7$  mm con el efluente del FA, para C10 de  $18.1 \pm 5.1$  mm y para C20 de  $17 \pm 6$  mm. El número de células del borde de la raíz fue de  $58.6 \pm 18$  (FA),  $54 \pm 17.9$  (C10) y  $53.4 \pm 11.5$  (C20); por último, para la viabilidad de las células, el porcentaje obtenido para cada tratamiento fue de  $74.4 \pm 15.6\%$  (FA),  $71.7 \pm 14.2\%$  (C10) y  $74.1 \pm 17.1\%$  (C20). No se observaron diferencias estadísticamente significativas ( $P > 0.05$ ) para ningún parámetro.

**Tabla 6.** Crecimiento radicular, producción y viabilidad celular para plántulas de chícharo (*Pisum sativum*) en un cultivo de 24 horas.<sup>1</sup>

Variables	Tratamientos <sup>2</sup>		
	FA	C10	C20
Longitud de la raíz principal (mm)	$17.6 \pm 5.7$	$18.1 \pm 5.1$	$17 \pm 6$
Células del borde del ápice de la raíz	$5860 \pm 1800$	$5400 \pm 1790$	$5340 \pm 1150$
Viabilidad celular (%)	$74.4 \pm 15.6$	$71.7 \pm 14.2$	$74.1 \pm 17.1$

<sup>1</sup>Valores indican el promedio  $\pm$  desviación estándar por tratamiento (n = 9).

<sup>2</sup>FA = Flujo Abierto (control); C10 = tratamiento con relación Carbono:Nitrógeno 10:1; C20 = tratamiento con relación Carbono:Nitrógeno 20:1

#### 3.4.2 Efecto de efluentes acuícolas con sólidos suspendidos en planta, cuatro días postratamiento

En el cultivo de cuatro días (Tabla 7) la longitud de la raíz principal para el tratamiento FA fue de  $80.6 \pm 18.6$  mm, mientras que para C10 y C20 fue de  $35.8 \pm 9.8$  mm y  $72.7 \pm 26.2$  mm, respectivamente; la tasa de crecimiento en mm/día fue de  $20.1 \pm 4.7$  para FA,  $8.9 \pm 2.4$  para C10 y  $18.2 \pm 6.5$  para C20. No se encontraron diferencias estadísticamente significativas ( $P > 0.05$ ) para las variables de crecimiento en la longitud de la raíz principal y la tasa de crecimiento por día, sin embargo, el tratamiento FA obtuvo los valores más altos ( $80.6$  mm y  $20.1$  mm/día, respectivamente) seguido del tratamiento C20, con una marcada diferencia con respecto al tratamiento C10 ( $35.8$  mm y  $8.9$  mm/día, respectivamente).

**Tabla 7.** Crecimiento de plántulas de chícharo (*Pisum sativum*) en sistemas agrícolas-acuícolas integrados modelo durante cuatro días.<sup>1</sup>

Variable	Tratamientos <sup>2</sup>		
	FA	C10	C20
Longitud Raíz Principal (mm)	80.6±18.6	35.8±9.8	72.7±26.2
Tasa de crecimiento (mm/día)	20.1±4.7	8.9±2.4	18.2±6.5

<sup>1</sup>Valores indican el promedio ± desviación estándar por tratamiento (n = 3).

<sup>2</sup>FA = Flujo Abierto (control); C10 = tratamiento con relación Carbono:Nitrógeno 10:1; C20 = tratamiento con relación Carbono:Nitrógeno 20:1

## Capítulo 4.      Discusión

---

Esta investigación exploró diversas áreas, como peces, plantas y calidad del agua, a través del uso de un sistema de cultivo BFT para responder si la presencia de los sólidos suspendidos en el agua tiene implicaciones sobre el desempeño biológico de la lobina rayada y el chícharo. Los resultados obtenidos indicaron que ambos organismos pueden crecer en sistemas con una alta concentración de sólidos orgánicos en suspensión y no sólo permiten obtener un rendimiento igual a un sistema tradicional, sino que permiten un ahorro de más del 90% de agua sin afectar la producción. A continuación, se discutirán las implicaciones, limitaciones y recomendaciones derivadas de estos resultados.

### 4.1 *Morone saxatilis*

#### 4.1.1 Parámetros productivos de la lobina

Se evaluaron los efectos de sólidos suspendidos generados con dos relaciones de C:N 10:1 (C10) y 20:1 (C20) y un tratamiento control con flujo abierto (FA) en el desempeño biológico de la lobina rayada. Los análisis estadísticos revelaron que no hubo diferencias significativas entre los tratamientos aplicados ( $P > 0.05$ ) en ninguna de las variables evaluadas, excepto en el análisis del órgano branquial. De acuerdo con Setzler et al. (1980) y Goertler et al. (2021) la lobina tiene hábitos migratorios durante su ciclo de vida, la cual ocurre en sus diferentes estadios en condiciones ambientales de turbidez, por lo que esta adaptación biológica le pudo haber permitido sobrevivir a las diferentes concentraciones de sólidos observados en este estudio. Además, Auld y Schubel (1978) identificaron varios factores principales que contribuyen al aumento del rendimiento y la supervivencia en larvas de lobina rayada en condiciones de turbidez. Entre estos factores se incluyen la disminución de la visibilidad, lo que reduce la competencia por alimento, una menor actividad y una mayor preferencia por alimentos más pequeños. Estos resultados se obtuvieron al comparar tratamientos en aguas turbias con aguas claras.

Respecto a los indicadores biológicos evaluados en este estudio, aunque no se encontraron diferencias estadísticas en ningún índice, se observó un mayor crecimiento en peso para FA y un menor consumo de alimento *per cápita* para el tratamiento C20. Green et al. (2017) evaluaron el efecto de diferentes densidades de siembra de lobina híbrida sunshine bass (*M. chrysops* x *M. saxatilis*) en un sistema BFT y

observaron que el rendimiento en peso de los peces ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) era independiente de la concentración de sólidos suspendidos totales (de 200 a 1000 mg/l). De igual manera, Milstein et al. (2001) compararon cultivos con BFT contra cultivos con flujo abierto de lobina híbrida (*Morone saxatilis* x *M. chrysops*) y obtuvieron mayores tasas de supervivencia, buenos índices de crecimiento y factores de conversión alimenticias con los cultivos BFT (<500 mg/l de SST), sin embargo, observaron que, aunque la lobina no consumía los bioflóculos, las biomásas resultaron similares entre tratamientos. Estos resultados indican que al ser una especie carnívora como la totoaba (Amparo-Venegas, 2019), la lobina no consume los bioflóculos y por lo tanto no se encontraron diferencias en las variables productivas al comparar los tratamientos con BFT y el control.

Si bien todos los parámetros de calidad de agua evaluados en este estudio se encontraron dentro del intervalo óptimo para la lobina, en los tratamientos C10 y C20 la transparencia y las diferencias en la temperatura del agua respecto al tratamiento FA pudieron ser los causales de las tendencias menos favorables en los indicadores biológicos evaluados en este estudio (Amparo-Venegas, 2019; Green y Ray, 2022; Green et al., 2017; Milstein et al., 2001). Algunas variables que no fueron evaluadas en este estudio que podrían explicar las diferencias entre los tratamientos son la viscosidad en el agua (Amparo-Venegas, 2019) presente principalmente en el tratamiento C20, y la diversidad de microorganismos en el medio basado en las coloraciones del agua observadas (Pimentel et al., 2023), teniendo color negro, café claro, y café oscuro para el tratamiento C10, y color rosa, naranja, y amarillo para el tratamiento C20, por lo cual se recomienda determinar la diversidad microbiana en futuros estudios.

La mortalidad encontrada en los tratamientos C10 y C20 no se puede adjudicar directamente a las diferentes concentraciones de sólidos observados en este estudio, debido a que los demás parámetros de calidad del agua se encontraban dentro de los límites aceptables (SADER, 2022). En el caso del tratamiento C10, cinco lobinas de un estanque réplica murieron durante los primeros siete días de forma gradual después de la siembra, por razones desconocidas. De estas, tres presentaban signos de infección por flavobacterias, con pequeñas laceraciones en aletas y cuerpo, así como despigmentación en la parte dorsal del organismo y en las puntas de las aletas. Por otro lado, las lobinas sobrevivientes no mostraron tales signos. Esto podría deberse a que los organismos muertos pudieron haber sufrido un cuadro de infección más severo durante la aclimatación, lo que les impidió recuperarse como el resto de la población. De manera similar, Green et al. (2017) reportaron una muerte parcial de lobinas en uno de sus tratamientos durante la noche, sin embargo, los peces no mostraron signos clínicos de enfermedad y la calidad del agua se encontraba en los límites aceptables.

En el caso del tratamiento C20, hubo 2 lobinas que no se encontraron en el estanque al final del experimento, lo cual pudo deberse a que saltaron del estanque y fueron depredadas por la fauna local, o a algún error humano durante la siembra inicial del experimento.

Los resultados observados para las variables productivas soportan la hipótesis de este estudio y tienen implicaciones importantes para la acuicultura, ya que desafía la noción de que las lobinas no podrían sobrevivir en ambientes con las concentraciones de sólidos suspendidos características de los sistemas AAI o BFT. Además, se observó que en estas condiciones las lobinas pueden tener un buen crecimiento (Milstein et al., 2001), lo que ofrece una alternativa a los sistemas de flujo abierto para su producción. Sin embargo, es importante mencionar la duración del experimento, ya que, si bien no hubo hallazgos negativos en las variables productivas de la lobina con los tratamientos C10 y C20, se desconoce si las concentraciones de sólidos observados en estos tratamientos pudiesen afectar negativamente a la producción de lobina a largo plazo.

El efecto que pudiera tener un cultivo con altas concentraciones de sólidos en el desempeño de la lobina rayada no se ha evaluado en sus diferentes estadios de desarrollo. Por ello, se recomienda realizar un estudio que considere los diferentes estadios de la lobina rayada, ya que los juveniles podrían verse afectados a largo plazo, especialmente si se considera que las lobinas enfrentan diversas condiciones ambientales durante su migración, donde los niveles de turbidez no son constantes hasta llegar a mar abierto (McEntire et al., 2015; Setzler et al., 1980). En cultivos acuícolas a largo plazo de *M. saxatilis*, la acumulación de sólidos suspendidos orgánicos podría tener un impacto negativo en la salud y el crecimiento de los peces, puesto que los juveniles son particularmente vulnerables debido a su tamaño reducido y mayor tasa metabólica, lo que aumenta su sensibilidad a la reducción de oxígeno, el estrés y la acumulación de toxinas. La exposición prolongada a una alta carga de sólidos puede resultar en un estrés crónico que afecte su rendimiento (Schweitzer et al., 2013).

## 4.2 Calidad del agua

En este estudio, los parámetros de calidad del agua en los tres tratamientos se mantuvieron dentro de los niveles recomendados para el cultivo de lobina (Green et al., 2017; SADER, 2022). Sin embargo, se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ( $P < 0.05$ ), como se describe a continuación.

El nivel de nitrógeno amoniacal total (NAT) fue significativamente más alto en el tratamiento FA (0.9 mg/l) en comparación con los tratamientos C10 y C20 (0.6 mg/l y 0.5 mg/l, respectivamente), lo que sugiere el consumo bacteriano del amonio en los estanques que utilizaban el sistema de cultivo BFT (Milstein et al., 2001). Esto confirma que la comunidad microbiana en los tratamientos C10 y C20 fue efectiva para utilizar los compuestos nitrogenados, lo cual es crucial para mantener un ambiente saludable en el cultivo de peces (Green et al., 2017; Milstein et al., 2001).

En relación con los nitratos ( $\text{NO}_3$ ), el tratamiento C20 mostró una concentración significativamente mayor (1.6 mg/l) en comparación con el tratamiento FA (0.5 mg/l) lo que indicó la presencia de bacterias autótrofas nitrificantes como en otros cultivos con BFT (Green y Ray, 2022), sin embargo, no fue estadísticamente diferente del tratamiento C10 (1 mg/l). Una estrategia efectiva para aprovechar este nutriente es mediante el uso de plantas (Dusci et al., 2022; Junge et al., 2017; Timmons y Ebeling, 2010).

La temperatura del agua fue más baja en los tratamientos C10 y C20 (17.1 °C y 17.2 °C, respectivamente) en comparación con el control FA (18.6 °C), siendo este último más alto por depender directamente de la temperatura del agua entrante. De igual manera, Green et al. (2017) tuvieron un rango amplio de temperatura en sus estanques BFT, ya que dependía de las condiciones ambientales (31.3 °C en julio a 20.1 °C en octubre con una media de 20.1 °C). Este descenso de temperatura está relacionado con el ambiente, debido a esto, los sistemas que se encuentran al aire libre, tienden a mantener sus temperaturas de acuerdo con su ubicación y temporada del año; esta dinámica en las temperaturas puede ser beneficiosa para el crecimiento de la lobina rayada (*M. saxatilis*) en zonas templadas, pues está mejor adaptada a estas temperaturas (Goertler et al., 2021; Setzler et al., 1980), sin embargo, en estas mismas condiciones, con temperaturas templadas el metabolismo bacteriano podría verse afectado (De Schryver et al., 2008; Milstein et al., 2001).

En cuanto a los otros parámetros, los niveles de OD, pH y salinidad se mantuvieron dentro de rangos aceptables en todos los tratamientos, sin diferencias significativas, no obstante, el pH fue menor en el tratamiento C20. Milstein et al. (2001) mencionan que altos niveles de sólidos suspendidos, carbono orgánico y nitrógeno indican que los remanentes de materia orgánica sirven como sustratos para el desarrollo de biomasa bacteriana, y en un ambiente altamente oxigenado, ocasiona el incremento de compuestos nitrogenados y una reducción del pH a causa de la respiración microbiana.

De acuerdo con Campbell (2001), el pH en el agua siempre se encuentra estable, pero puede variar cuando es alterado por algún agente externo. Este fenómeno puede explicarse mediante el metabolismo

bacteriano, ya que la descomposición de alimento no consumido y productos del metabolismo de los peces produce ácidos orgánicos que, con el tiempo, disminuyen el pH. Además, la respiración genera dióxido de carbono como subproducto, el cual se convierte en ácido carbónico, lo que también contribuye a la disminución del pH. Finalmente, la presencia de la nitrificación, observada en el tratamiento C20, libera ácidos al medio, generando protones ( $H^+$ ) que también reducen el pH.

Se observaron diferencias en los SST, donde los tratamientos C10 (0.087 mg/l) y C20 (0.089 mg/l) presentaron valores significativamente más altos en comparación con el tratamiento FA (0.042 mg/l), y la transparencia donde el tratamiento C20 (37.6%) presentó el menor valor, lo que indica la evidente mayor concentración de sólidos suspendidos y turbidez que se genera en los tratamientos con BFT (Milstein et al., 2001). Sin embargo, estos valores no afectaron a los parámetros de productividad.

Un aspecto para considerar es que la turbidez de los sistemas BFT tienen una ventaja sobre los hábitos de la lobina híbrida (*Morone chrysops* x *Morone saxatilis*), ya que la falta de visibilidad puede reducir la competencia por el alimento, lo cual permite tener tallas más homogéneas en el cultivo (McEntire et al., 2015). Este efecto de la turbidez se observó en este estudio, ya que, aunque no se observaron diferencias estadísticamente significativas, la desviación estándar de las longitudes patrón y total fue menor para los tratamientos C10 ( $32.1 \pm 0.9$  y  $38.2 \pm 0.7$ , respectivamente) y C20 ( $32.1 \pm 0.7$  y  $37.9 \pm 0.7$ , respectivamente) en comparación con el tratamiento FA ( $32 \pm 1.4$  y  $38.4 \pm 1.4$ , respectivamente).

La ventaja principal de usar un sistema de cultivo BFT es el ahorro del agua. Un aspecto notable de este experimento fue que el tratamiento FA requirió  $212.6 \text{ m}^3$ , mientras que los tratamientos C10 y C20 solo necesitaron  $10.3 \text{ m}^3$  y  $10.7 \text{ m}^3$ , respectivamente. Esto representa un ahorro significativo de agua del 95%, lo que subraya la sostenibilidad de los sistemas BFT en comparación con los métodos tradicionales de cultivo. Para mantener la calidad del agua en buen estado, fue necesario reemplazar más del 500% de agua respecto al volumen del estanque diariamente en los estanques del tratamiento FA. De igual manera, Milstein et al. (2001) requirieron de un 500% de recambio diario para mantener la calidad del agua en un sistema convencional a diferencia de un 8% en un estanque intensivo en BFT.

Estos resultados tienen importantes implicaciones para la gestión de cultivos acuáticos. La reducción en NAT y el ahorro significativo de agua sugieren que los sistemas BFT no solo son viables desde una perspectiva productiva, sino también desde un enfoque ambientalmente sostenible. Otra de las ventajas de estos cultivos es que, al ser un sistema cerrado y requerir un intercambio de agua menor que incluso el de los SRA (Gálvez-Cantero et al., 2022), la liberación de desechos o incluso patógenos se reduce

(Avnimelech, 2003). Esto debe considerarse para cumplir con las medidas de bioseguridad del sistema de producción acuícola (Oficina Internacional de Epizootias, 2024).

Futuros estudios deberían explorar más a fondo las interacciones entre la duración del cultivo, etapa de vida de los organismos, densidades de cultivo, manejo y disposición de sólidos, toma de muestras de sólidos e identificación de la biota en los efluentes para disminuir las limitaciones en los resultados y conocer el impacto a largo plazo en la productividad del cultivo.

### 4.3 Órgano branquial

Las alteraciones branquiales fueron observadas en todos los tratamientos, con diferentes intensidades, excepto en la telangiectasia y la hipertrofia de células epiteliales, que no se presentaron en el tratamiento FA. En cuanto a las alteraciones de necrosis, ruptura del epitelio lamelar y fusión lamelar primaria, estas estuvieron presentes en todos los tratamientos. No se encontraron diferencias estadísticas significativas en la fusión lamelar primaria ni en la presencia de telangiectasia.

La fusión lamelar reduce la superficie disponible para el intercambio de gases, mientras que las telangiectasias se caracterizan por la dilatación de los vasos sanguíneos en las branquias, afectando la capacidad respiratoria del pez (Poleksić y Mitrović-Tutundžić, 1994; Roberts, 2012). En un estudio realizado en *Totoaba macdonaldi* (Amparo-Venegas, 2019), se observaron estas mismas alteraciones como resultado de la exposición a diferentes concentraciones de sólidos suspendidos. De acuerdo con Poleksić y Mitrović-Tutundžić (1994), las alteraciones en las branquias son indicadores de estrés ambiental y contaminación, ya que las branquias son órganos extremadamente sensibles que, al estar en contacto directo con el ambiente acuático, pueden verse afectadas por cualquier condición anómala.

Las diferencias observadas entre los tratamientos con BFT y el tratamiento control podrían estar relacionadas principalmente con el efecto de los sólidos, ya que, aunque las lobinas asignadas a los tratamientos provenían del mismo grupo, la presencia de las alteraciones comunes en todos los tratamientos podría estar asociada a la infección bacteriana observada durante la aclimatación de los peces antes del inicio del experimento. Sin embargo, las alteraciones branquiales pudieron haberse acentuado en los organismos expuestos a los tratamientos con sólidos suspendidos, lo que pudo haber ocasionado mayor estrés, reflejado en las diferencias estadísticas en las variables evaluadas, como la ruptura del epitelio lamelar, hipertrofia de células epiteliales y necrosis.

Según los análisis histológicos y la caracterización microbiológica, las alteraciones observadas en las lobinas podrían estar relacionadas con *Flavobacterium* spp; por lo tanto, el diagnóstico se centró en dichas alteraciones. Sin embargo, como se mencionó previamente, las alteraciones presentes en el tratamiento FA, que no se expuso a sólidos suspendidos, coinciden con las lesiones típicas de una infección por *Flavobacterium* spp.

Las condiciones de estrés que alteran la homeostasis de los peces, como las ocasionadas durante la aclimatación, pueden aumentar el riesgo de introducción, propagación y liberación de agentes patógenos. En este contexto, la bacteria *Flavobacterium* spp., que comúnmente se encuentra en la microbiota de los peces o en el agua, puede causar infecciones, como lo señala la Oficina Internacional de Epizootias (2024). Una posible explicación para la presencia de alteraciones en el tratamiento FA es que las lobinas hayan sido afectadas directamente en las branquias por las flavobacterias, ya que estas afectan la piel de la cabeza, el cuerpo y las branquias de los peces, siendo que, en estas últimas, suelen presentarse lesiones necróticas y muerte (Roberts, 2012). Setzler et al. (1980) indican que la lobina (*M. saxatilis*) está adaptada a vivir en aguas turbias y cargadas de limo, y que incluso durante la fase de eclosión en ambientes naturales, las altas cargas de sedimentos no parecen afectarles negativamente. Por lo tanto, en este estudio, la condición de las branquias pudo haberse visto más influenciada por la enfermedad que por las condiciones ambientales.

En el caso de continuar el cultivo de lobina en un sistema con concentraciones elevadas de sólidos, como los basados en la generación de bioflóculos, se recomienda abarcar un periodo de experimentación más prolongado. Sin embargo, para un sistema agrícola-acuícola integrado, el nivel de sólidos registrado en esta investigación resuelve la duda de si las lobinas pueden crecer en un ambiente con una alta cantidad de sólidos suspendidos, así como el uso de los efluentes para el cultivo de leguminosas.

Por lo cual, se sugiere que futuros estudios consideren el uso de distintas densidades y organismos de edades diferentes, debido a que los organismos pueden comportarse de manera diferente dependiendo de su etapa de vida, además de un control sanitario riguroso para evitar errores de evaluación.

#### **4.4 *Pisum sativum***

Para determinar el efecto de sólidos suspendidos en el desempeño biológico del chícharo, se evaluaron cinco variables en dos períodos de crecimiento (24 horas y 4 días), utilizando los efluentes obtenidos de

los cultivos de lobina expuestos a los tres tratamientos (control FA, C10 y C20). No se observaron diferencias significativas con ninguno de los tratamientos.

En el cultivo a 24 horas, la longitud de la raíz principal, número y viabilidad de células del borde de la raíz no mostraron diferencias significativas entre los tratamientos, ni tendencias pronunciadas hacia algún tratamiento. Esto indica un resultado favorable, lo que indica que no hubo un efecto negativo de los sólidos en suspensión en el ciclo celular del meristemo del ápice de la raíz (Curlango-Rivera et al., 2010).

Con respecto al cultivo de cuatro días, las variables longitud de la raíz principal y tasa de crecimiento por día no mostraron diferencias significativas, sin embargo, las plantas con los tratamientos FA y C20 mostraron una tendencia de mayor tamaño respecto al tratamiento C10.

Aunque las plantas en el tratamiento C20 no mostraron diferencias significativas en comparación con el tratamiento FA ni con el tratamiento C10, mostraron una tendencia de mayor crecimiento vegetativo, como en el caso del tratamiento FA. Estudios previos han demostrado que tratamientos específicos, como el uso de extractos acuosos de composta (equivalente a efluentes con nutrientes y una alta densidad de microorganismos) pueden mejorar las características morfológicas y de crecimiento en diversas especies vegetales, como en las plántulas de chícharo (Curlango-Rivera et al., 2013; Tollefson et al., 2015). La densidad de sólidos de origen orgánico, al igual que la diversidad microbiana inducida por las diferentes relaciones C:N, no afectaron el desarrollo de las plántulas al compararse estadísticamente con el tratamiento FA. Sin embargo, la longitud de la raíz principal y la tasa de crecimiento a los cuatro días en el tratamiento FA (80.6 mm y 20.1 mm/día, respectivamente), fue mayor que en el tratamiento C10 (35.8 mm y 8.9 mm/día, respectivamente). Estos hallazgos sugieren que con el tratamiento FA se tuvieron los resultados esperados. Tanto la longitud de la raíz principal como la tasa de crecimiento observada en el tratamiento C10 podrían deberse a una diversidad microbiana distinta, la cual se reflejó en una coloración del agua diferente y en una menor densidad de sólidos suspendidos. Esto sugiere que las condiciones del ambiente podrían ser más determinantes para las plantas debido a la comunidad microbiana que se forma en el medio como resultado de las diferentes concentraciones de carbono (Li et al., 2023). Podría indicarse que esta situación no se afectó estadísticamente por haber existido una relación simbiótica positiva entre los microorganismos y las raíces al ser suministrados de nutrimentos adecuados provenientes de los efluentes acuícolas con diferentes relaciones C:N (Curlango-Rivera et al., 2016; Gunawardena y Hawes, 2002; Tollefson et al., 2015).

En este estudio se pudo considerar la viabilidad del uso de efluentes del BFT para el crecimiento de plantas, similar al estudio realizado por Abdul (2010), donde evaluó la integración de tilapia y lechugas en sistemas agrícolas-acuícolas integrados con sólidos y sin sólidos, obteniendo rendimientos comparables entre tratamientos. Además, Pinheiro et al. (2017), evaluaron la integración del camarón *Litopenaeus vannamei* con la planta halófila *Sarcoconia ambigua*, en un sistema agrícola-acuícola integrado utilizando efluentes de un sistema BFT maduro. En dicho estudio, se obtuvo una productividad de camarón comparable en tratamientos con y sin plantas, y una productividad en peso húmedo de hasta 8 kg/m<sup>2</sup> de *S. ambigua*, con una recuperación de nitrógeno del 39.3% del medio. De igual manera, Pinho et al. (2021) evaluaron sistemas agrícolas-acuícolas integrados desacoplados usando los beneficios de un sistema BFT para reducir la cantidad de proteína en la dieta de juveniles de tilapia, así como para evaluar la producción de lechuga obteniendo valores de rendimiento sin diferencias significativas a los sistemas acuapónicos desacoplados.

Los resultados obtenidos en este estudio tienen importantes implicaciones para el campo de la agricultura, ya que destacan la efectividad del uso de los efluentes acuícolas de los cultivos con bioflóculos como una alternativa sustentable. Además, los efluentes con sólidos suspendidos, que están cargados de comunidades microbianas, pueden ser utilizados para mejorar la eficiencia del uso del agua, lo que beneficia al sistema de producción (Curlango-Rivera et al., 2013; Timmons y Ebeling, 2010). Esto optimiza tanto la producción de cultivos acuícolas como agrícolas, lo que hace recomendable el uso de cultivos integrados para maximizar la productividad (Pinheiro et al., 2017).

Estos resultados indican que el ápice de la raíz no se afecta y, por ende, la planta puede adaptarse a estos sistemas de cultivo con altas densidades de sólidos suspendidos. Es necesario experimentar con plantas en diversas etapas fenológicas, además, se deben investigar más a fondo las razones detrás de la falta de diferencias significativas entre los tratamientos, por lo que, además se sugiere realizar un análisis estadístico de mayor precisión, así como explorar posibles modificaciones para potenciar la productividad.

## Capítulo 5. Conclusiones

---

Los resultados en este estudio sugieren que los sólidos suspendidos derivados de una relación Carbono:Nitrógeno 20:1 no afectan negativamente el desempeño biológico de la lobina rayada (*Morone saxatilis*) ni del chícharo (*Pisum sativum*), ya que ambos organismos mostraron un crecimiento adecuado bajo las condiciones del experimento. La presencia de sólidos en concentraciones de hasta 0.089 mg/l de SST y 58.7 ml/l de SS no resultó en efectos adversos significativos sobre el rendimiento biológico de estos organismos.

Este estudio también resalta el potencial del uso de sistemas con BFT en sistemas agrícola-acuícolas integrados para el cultivo simultáneo de especies acuáticas y terrestres, aprovechando los efluentes generados. No obstante, se requieren más investigaciones para evaluar la viabilidad de estas prácticas a largo plazo y con diferentes concentraciones de sólidos suspendidos.

Este trabajo abre la puerta a futuras investigaciones sobre la producción de la lobina rayada y leguminosas en sistemas sostenibles, con el objetivo de optimizar el uso de recursos y obtener mayores rendimientos a través de su integración.

## Literatura citada

- Abdul, S. S. R. (2010). *Effluent water characterization of intensive tilapia culture units and its application in an integrated lettuce aquaponic production facility*. [Master's Thesis, Graduate Faculty of Auburn University]. Auburn University Digital Library. <https://etd.auburn.edu//handle/10415/2361>
- American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA), & Water Environment Federation (WEF). (2017). 2540 Solids. En R. B. Baird, A. D. Eaton, & E. W. Rice (Eds.), *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (23a ed.). American Public Health Association. [https://edgeanalytical.com/wp-content/uploads/Waste\\_SM2540.pdf](https://edgeanalytical.com/wp-content/uploads/Waste_SM2540.pdf)
- Amparo-Venegas, A. O. (2019). *Aplicación de la tecnología de biofloc (BFT) al cultivo de Totoaba macdonaldi* [Tesis de Maestría, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California]. Repositorio CICESE, <https://biblioteca.cicese.mx/catalogo/tesis/ficha.php?id=25357>
- Auld, A. H., & Schubel, J. R. (1978). Effects of suspended sediment on fish eggs and larvae: A laboratory assessment. *Estuarine and Coastal Marine Science*, 6(2), 153–164. [https://doi.org/10.1016/0302-3524\(78\)90097-X](https://doi.org/10.1016/0302-3524(78)90097-X)
- Avnimelech, Y. (1999). Carbon/nitrogen ratio as a control element in aquaculture systems. *Aquaculture*, 176, 227–235. <https://www.researchgate.net/publication/308052605>
- Avnimelech, Y. (2003). Control of microbial activity in aquaculture systems: active suspension ponds. *Reprinted from World Aquaculture*, 34(4), 19–21. <https://www.was.org/Magazine/ArticleContent/145>
- Boyd, C. E. (2000). *Water use in aquaculture*. <https://www.aquaculturealliance.org>
- Campbell, R. (2001). *Ecología microbiana*. LIMUSA.
- Cano Vera, D. A. (2019). *Efecto de diferentes raciones alimenticias a partir del requerimiento proteico diario en juveniles de lobina rayada Morone saxatilis* [Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco]. Repositorio Institucional de UAM-Xochimilco, <https://repositorio.xoc.uam.mx/jspui/bitstream/123456789/25829/1/cbs1972572.pdf>
- Collazos-Lasso, L. F., & Arias-Castellanos, J. A. (2015). Fundamentos de la tecnología biofloc (BFT). Una alternativa para la piscicultura en Colombia. Una revisión. *ORINOQUIA*, 19(1), 77–86. <http://www.scielo.org.co/pdf/rori/v19n1/v19n1a07.pdf>
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2019, octubre 9). *Agua en el Mundo*. <https://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/agua-en-el-mundo>
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2022). *Registro Público de Derechos de Agua (REPD) / Volúmenes Inscritos (nacional)*. <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=usosAgua>
- Curlango-Rivera, G., Duclos, D. V., Ebolo, J. J., & Hawes, M. C. (2010). Transient exposure of root tips to primary and secondary metabolites: Impact on root growth and production of border cells. *Plant and Soil*, 332(1), 267–275. <https://doi.org/10.1007/s11104-010-0291-8>

- Curlango-Rivera, G., Gunawardena, U., Wen, F., Zhao, X., Xiong, Z., & Hawes, M. C. (2016, enero 15). Roots: Contribution to the Rhizosphere. *Encyclopedia of Life Sciences*, 1–7. <https://doi.org/10.1002/9780470015902.a0002335.pub3>
- Curlango-Rivera, G., Pew, T., VanEtten, H. D., Zhongguo, X., Yu, N., & Hawes, M. C. (2013). Measuring root disease suppression in response to a compost water extract. *Phytopathology*, 103(3), 255–260. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-06-12-0145-R>
- Danaher, J. J., Shultz, R. C., Rakocy, J. E., & Bailey, D. S. (2013). Alternative Solids Removal for Warm Water Recirculating Raft Aquaponic Systems. *Journal of the World Aquaculture Society*, 44(3), 374–383. <https://doi.org/10.1111/jwas.12040>
- De Schryver, P., Crab, R., Defoirdt, T., Boon, N., & Verstraete, W. (2008). The basics of bio-flocs technology: The added value for aquaculture. In *Aquaculture* (Vol. 277, Números 3–4, pp. 125–137). <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.02.019>
- Dusci, J. C., Hager, J., Coyle, S., & Tidwell, J. (2022). Evaluation of freshwater prawn, *Macrobrachium rosenbergii*, for biological solids control in raft aquaponic systems and the protective effectiveness of root guards. *Journal of the World Aquaculture Society*, 53(1), 290–308. <https://doi.org/10.1111/jwas.12856>
- Environmental Protection Agency (EPA). (1975). *Process design manual for suspended solids removal* (Hazen and Sawyer, Ed.). US Environmental Protection Agency (EPA). <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/9101AVYN.PDF?Dockey=9101AVYN.PDF>
- Esquivel López, G., Ruelas Monjardín, L. C., & Villada Canela, M. (2020). Uso y disposición del agua en la acuicultura: ¿falta o exceso de regulación? *Teoría y Praxis*, 29(2), 26–46. <https://doi.org/10.22403/UQROOMX/TYP29/02>
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2018, abril 9). *Every drop counts*. FAO Feature Story. <https://www.fao.org/newsroom/story/Every-drop-counts/en>
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2022). *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2022. Hacia la transformación azul*. <https://www.fao.org/3/cc0461es/cc0461es.pdf>
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2024). *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2024. La transformación azul en acción*. <https://doi.org/10.4060/cd0690es>
- Gálvez-Cantero, L., Julián-Ricardo, M. C., & Ramos-Sánchez, L. B. (2022). El biofloc en la acuicultura. *Revista Centro Azúcar*, 49(2), 136–146. <http://scielo.sld.cu/pdf/caz/v49n2/2223-4861-caz-49-02-136.pdf>
- Goddek, S., Joyce, A., Kotzen, B., & Burnell, G. M. (Eds.). (2020). *Aquaponics Food Production Systems* (1a ed.). Springer Cham. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6>
- Goertler, P., Mahardja, B., & Sommer, T. (2021). Striped bass (*Morone saxatilis*) migration timing driven by estuary outflow and sea surface temperature in the San Francisco Bay-Delta, California. *Scientific Reports*, 11(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-80517-5>
- Good View International Enterprise S.A. de C.V. (2019). *Cultivo de Lobina (Morone saxatilis)*. <https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgiraDocs/documentos/bc/estudios/2019/02BC2019PD064.pdf>

- Green, B., & Ray, C. (2022). Evaluation of Settling Chamber Hydraulic Retention Time in a Sunshine Bass Biofloc Production System. *North American Journal of Aquaculture*, 84(2), 165–171. <https://doi.org/10.1002/naaq.10229>
- Green, B. W., Rawles, S. D., Webster, C. D., & McEntire, M. E. (2017). Effect of Stocking Rate on Growing Juvenile Sunshine Bass, *Morone chrysops* × *M. saxatilis*, in an Outdoor Biofloc Production System. *Journal of the World Aquaculture Society*, 49(5), 827–836. <https://doi.org/10.1111/jwas.12491>
- Guerra-Centeno, D., Valdez-Sandoval, C., Aquino-Sagastume, E., Díaz, M., & Ríos, L. (2016). Adaptación y rendimiento de plantas autóctonas de Guatemala en un sistema acuapónico. *REDVET*, 17(11), 1–13. <https://www.redalyc.org/pdf/636/63649051013.pdf>
- Guillermo Ariza, F., & Mujica Rodríguez, E. (2019). Tecnología Biofloc (BFT), una alternativa sostenible para el desarrollo de la acuicultura: revisión. *Ingeniería y Región*, 21, 2–11. <https://doi.org/10.25054/22161325.1841>
- Gunawardena, U., & Hawes, M. C. (2002). Tissue Specific Localization of Root Infection by Fungal Pathogens: Role of Root Border Cells. In *Molecular Plant-Microbe Interactions MPMI* (Vol. 15, Número 11). <https://doi.org/10.1094/MPMI.2002.15.11.1128>
- Helmer, J. (2020, agosto 24). *Los esfuerzos para abordar los sabores desagradables en peces de RAS están fuera de serie.* <https://www.globalseafood.org/advocate/continua-la-oleada-de-soluciones-para-sabor-desagradable-para-ras/>
- Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP). (2006). Hidroponía: Sistema de Cultivo NFT. *Serie III: Fichas Tecnológicas.* [https://issuu.com/jorgearmandonavarrorizzo9/docs/ficha\\_tecnologica\\_6-sistema\\_nft](https://issuu.com/jorgearmandonavarrorizzo9/docs/ficha_tecnologica_6-sistema_nft)
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2007). *Cultivos anuales de los Estados Unidos Mexicanos. VIII Censo Agrícola, Ganadero y Forestal. Censo Agropecuario.* [https://www.inegi.org.mx/contenido/productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/censos/agropecuario/2007/anua\\_y\\_perenes/anuales\\_eum/culanumex2.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenido/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/censos/agropecuario/2007/anua_y_perenes/anuales_eum/culanumex2.pdf)
- Junge, R., König, B., Villarroel, M., Komives, T., & Jijakli, M. H. (2017). Strategic points in aquaponics. In *Water (Switzerland)* (Vol. 9, Número 3). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/w9030182>
- Lennard, W., & Goddek, S. (2019). Aquaponics: The Basics. In *Aquaponics Food Production Systems: Combined Aquaculture and Hydroponic Production Technologies for the Future* (pp. 113–144). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6_5)
- Li, C., Zhang, X., Chen, Y., Zhang, S., Dai, L., Zhu, W., & Chen, Y. (2023). Optimized Utilization of Organic Carbon in Aquaculture Biofloc Systems: A Review. In *Fishes* (Vol. 8, Número 9). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/fishes8090465>
- Loeza Coatzozon, G. (2020). *Evaluación en materia de impacto ambiental y seguimiento al proyecto del cultivo lobina (Morone saxatilis).* [Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco]. Repositorio Institucional de UAM-Xochimilco, <https://repositorio.xoc.uam.mx/jspui/bitstream/123456789/25988/1/cbsCD280322222858xmmu.pdf>

- Martínez-Córdova, L. R., Emerenciano, M. G. C., Miranda-Baeza, A., Pinho, S. M., Garibay-Valdez, E., & Martínez-Porchas, M. (2023). Advancing toward a more integrated aquaculture with polyculture > aquaponics > biofloc technology > FLOCponics. *Aquaculture International*, 31(2), 1057–1076. <https://doi.org/10.1007/s10499-022-01016-0>
- Mateo, J. (1961). *Leguminosas de grano*. Salvat.
- Maucieri, C., Nicoletto, C., Junge, R., Schmautz, Z., Sambo, P., & Borin, M. (2018). Hydroponic systems and water management in aquaponics: A review. In *Italian Journal of Agronomy* (Vol. 13, Número 1, pp. 1–11). Page Press Publications. <https://doi.org/10.4081/ija.2017.1012>
- Mayoral Noriega, D. E. (2024). *Indicadores de estrés y desempeño biológico de juveniles de lobina rayada (Morone saxatilis) en agua marina: efecto de la densidad de cultivo y color del tanque* [Tesis de Maestría, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California]. Repositorio CICESE, <https://biblioteca.cicese.mx/catalogo/tesis/ficha.php?id=26498>
- McEntire, M., Riche, M., Beck, B. H., & Carter, D. (2015). Effect of Contrasting Agents on Survival, Performance, and Condition of Larval Hybrid Striped Bass *Morone chrysops* x *M. saxatilis* in Tanks. *Journal of Applied Aquaculture*, 27(1), 1–28. <https://doi.org/10.1080/10454438.2014.959814>
- Milstein, A., Avnimelech, Y., Zoran, M., & Joseph, D. (2001). Growth performance of hybrid bass and hybrid tilapia in conventional and active suspension intensive ponds. *Israeli Journal of Aquaculture - Bamidagah*, 53(3–4), 147–157. <https://doi.org/10.46989/001c.20302>
- Monroy-Dosta, M. del C., De Lara-Andrade, R., Castro-Mejía, J., Castro-Mejía, G., & Coelho-Emerenciano, M. G. (2013). Composición y abundancia de comunidades microbianas asociados al biofloc en un cultivo de tilapia. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 48(3), 511–520. <https://doi.org/10.4067/S0718-19572013000300009>
- Moreno Simón, E. W., & Zafra Trelles, A. (2014). Sistema acuapónico del crecimiento de lechuga, *Lactuca sativa*, con efluentes de cultivo de tilapia. *REBIOL*, 34(2), 60–72. <https://core.ac.uk/download/pdf/267888199.pdf>
- Nisar, U., Peng, D., Mu, Y., & Sun, Y. (2022). A Solution for Sustainable Utilization of Aquaculture Waste: A Comprehensive Review of Biofloc Technology and Aquamimicry. In *Frontiers in Nutrition* (Vol. 8). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.791738>
- Oficina Internacional de Epizootias (OIE). (2024). Prevención y control de las enfermedades. En *Código Sanitario para los Animales Acuáticos* (26a ed., Vol. 26). Código Acuático. [https://www.woah.org/es/que-hacemos/normas/codigos-y-manuales/acceso-en-linea-al-codigo-acuatico/?id=169&L=1&htmfile=titre\\_1.4.htm](https://www.woah.org/es/que-hacemos/normas/codigos-y-manuales/acceso-en-linea-al-codigo-acuatico/?id=169&L=1&htmfile=titre_1.4.htm)
- Ovando, M. (2013). La Acuicultura y sus efectos en el medio ambiente. *Espacio I+D Innovación más Desarrollo*, 2(3), 61–80. <https://doi.org/10.31644/IMASD.3.2013.a04>
- Pacifico Striped Bass. (2018). *Única lobina rayada criada en granjas acuícolas a mar abierto. Lobina rayada Pacifico fresco - Entero o filete*. <https://static1.squarespace.com/static/5b43e20c2714e50a13e88f67/t/5e25e8565dfafe47d3a737dd/1579542617862/Pacifico-TearSheets-Fresh-Espa%C3%B1ol-Rd01.pdf>

- Pimentel, O. A. L. F., Amado, A. M., & They, N. H. (2023). Biofloc colors as an assessment tool for water quality in shrimp farming with BFT systems. *Aquacultural Engineering*, 101. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2023.102321>
- Pinheiro, I., Arantes, R., do Espírito Santo, C. M., do Nascimento Vieira, F., Lapa, K. R., Gonzaga, L. V., Fett, R., Barcelos-Oliveira, J. L., & Seiffert, W. Q. (2017). Production of the *halophyte Sarcocornia ambigua* and Pacific white shrimp in an aquaponic system with biofloc technology. *Ecological Engineering*, 100, 261–267. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.12.024>
- Pinho, S. M., David, L. H., Garcia, F., Portella, M. C., & Keesman, K. J. (2022). Sustainability assessment of FLOCponics compared to stand-alone hydroponic and biofloc systems using energy synthesis. *Ecological Indicators*, 141. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109092>
- Pinho, S. M., Lima, J. P., David, L. H., Oliveira, M. S., Goddek, S., Carneiro, D. J., Keesman, K. J., & Portella, M. C. (2021). Decoupled FLOCponics systems as an alternative approach to reduce the protein level of tilapia juveniles' diet in integrated agri-aquaculture production. *Aquaculture*, 543. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.736932>
- Pinho, S. M., Molinari, D., de Mello, G. L., Fitzsimmons, K. M., & Coelho Emerenciano, M. G. (2017). Effluent from a biofloc technology (BFT) tilapia culture on the aquaponics production of different lettuce varieties. *Ecological Engineering*, 103, 146–153. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.03.009>
- Poleksić, V., & Mitrović-Tutundžić, V. (1994). *Fish gills as a monitor of sublethal and chronic effects of pollution* (pp. 339–352). Faculty of Agriculture, University of Belgrade. [https://www.researchgate.net/publication/303517059\\_Fish\\_gills\\_as\\_a\\_monitor\\_of\\_sublethal\\_and\\_chronic\\_effects\\_of\\_pollution](https://www.researchgate.net/publication/303517059_Fish_gills_as_a_monitor_of_sublethal_and_chronic_effects_of_pollution)
- Rakocy, J. E., Masser, M. P., & Losordo, T. M. (2006). *Recirculating aquaculture tank production systems: Aquaponics-Integrating fish and plant culture*. <https://www.researchgate.net/publication/284496499>
- Ramírez-Núñez, J., Castro-Mejía, G., Castro-Mejía, J., Ocampo-Cervantes, J. A., & Castro-Castellón, A. E. (2019). Biofloc excess as raw material for flakes production to ornamental fish and their use as organic fertilizer (Liquid or dry) for plants. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, 7(6), 31–38. <https://www.researchgate.net/publication/340438634>
- Representación agricultura Baja California. (2023, octubre 15). *Generó producción agrícola de Baja California derrama económica de 25,728 MDP en el 2022*. Blog. <https://www.gob.mx/agricultura%7Cbajacalifornia/articulos/genero-produccion-agricola-de-baja-california-derrama-economica-de-25-728-mdp-en-el-2022>
- Roberts, R. J. (2012). *Fish Pathology* (4a ed.). Wiley-Blackwell. [https://www.researchgate.net/profile/Zahoor\\_Mushtaq/post/Which\\_book\\_will\\_be\\_a\\_best\\_option\\_for\\_a\\_Fish\\_Health\\_Specialist/attachment/5b538157b53d2f89289b23b4/AS%3A650904990658560%401532199251505/download/Fish+pathology+RJ+Roberts.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Zahoor_Mushtaq/post/Which_book_will_be_a_best_option_for_a_Fish_Health_Specialist/attachment/5b538157b53d2f89289b23b4/AS%3A650904990658560%401532199251505/download/Fish+pathology+RJ+Roberts.pdf)
- Schveitzer, R., Arantes, R., Costódio, P. F. S., do Espírito Santo, C. M., Arana, L. V., Seiffert, W. Q., & Andreatta, E. R. (2013). Effect of different biofloc levels on microbial activity, water quality and performance of *Litopenaeus vannamei* in a tank system operated with no water exchange. *Aquacultural Engineering*, 56, 59–70. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2013.04.006>

- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). (2018, agosto 19). *¿Conocías esto del chícharo?* <https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/conocias-esto-del-chicharo>
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). (2019a). *Acuaponía, un sistema sustentable que produce peces y plantas.* <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/acuaponia-un-sistema-sustentable-que-produce-peces-y-plantas>
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). (2019b, abril 19). *Acuacultura, producción y conservación de organismos acuáticos.* <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/acuacultura-produccion-y-conservacion-de-organismos-acuaticos>
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). (2022). *Carta Nacional Acuícola.* [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/768911/CNA\\_5ta\\_version.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/768911/CNA_5ta_version.pdf)
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). (2023, febrero 10). *Legumbres, uno de los pilares alimenticios que ofrece el campo mexicano.* Prensa. <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/legumbres-uno-de-los-pilares-alimenticios-que-ofrece-el-campo-mexicano>
- Secretaría de Economía. (2024). *Guisantes “Arvejas, Chícharos” “Pisum Sativum”, Aunque estén Desvainados, Frescos o Refrigerados: Intercambio comercial, compras y ventas internacionales, mercado y especialización.* Data México. <https://www.economia.gob.mx/datamexico/es/profile/product/peas-peas-peas-pisum-sativum-although-they-shelled-fresh-or-chilled>
- Setzler, E. M., Boynton, W. R., Wood, K. V., Zion, H. H., Lubbers, L., Mountford, N. K., Frere, P., Tucker, L., & Mihursky, J. A. (1980). *Synopsis of Biological Data on Striped Bass, Morone saxatilis (Walbaum).* <https://www.fao.org/4/ap927e/ap927e.pdf>
- Silverstein, J. (2020, diciembre 7). *Continúa la oleada de soluciones para sabor desagradable para RAS.* <https://www.globalseafood.org>
- Tacas, E. R. (2015). *Efecto residual del abonamiento orgánico-mineral, en rendimiento de arveja (Pisum sativum L.) variedad remate; Pampa del arco 2772 msnm, Ayacucho.* [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional de San Cristóbal de Humanga]. Repositorio UNSCH – Institucional, <https://repositorio.unsch.edu.pe/items/1fe15b69-624d-4208-8cdd-55e7945901fe>
- Timmons, M. B., & Ebeling, J. M. (2010). *Recirculating aquaculture 2nd Edition* (2a ed.). Cayuga Aqua Ventures. <https://epdf.mx/recirculating-aquaculture.html>
- Tollefson, S. J., Curlango-Rivera, G., Huskey, D. A., Pew, T., Giacomelli, G., & Hawes, M. C. (2015). Altered carbon delivery from roots: rapid, sustained inhibition of border cell dispersal in response to compost water extracts. *Plant and Soil*, 389(1–2), 145–156. <https://doi.org/10.1007/s11104-014-2350-z>
- Torero, M. (2021). *La acuicultura, productividad y uso sostenible del agua.* [https://www.revistaganaderia.com/acuicultura/otras-especies/la-acuicultura--productividad-y-uso-sostenible-del-agua\\_13054\\_164\\_16300\\_0\\_1\\_in.html](https://www.revistaganaderia.com/acuicultura/otras-especies/la-acuicultura--productividad-y-uso-sostenible-del-agua_13054_164_16300_0_1_in.html)
- United Nations. (2024). *World Population Prospects 2024.* Department of Economic and Social Affairs Population Division. <https://population.un.org/wpp/>