



# EL ACUICULTOR

UNA REVISTA DE LA **SVA**

**TENDENCIAS ACTUALES, DESAFÍOS  
E INNOVACIONES GENÉTICAS EN  
LA INDUSTRIA DE REPRODUCTORES  
DE CAMARÓN SPF**

PÁGINA 34

**PECES AMAZÓNICOS, PRODUCCIÓN  
ASIÁTICA: CÓMO CHINA TOMÓ  
EL LIDERAZGO MUNDIAL EN EL  
CULTIVO DE CACHAMA**

PÁGINA 64

**VISITANDO BIORMA AQUACULTURE,  
GRANJA DE CULTIVO DE ALGAS  
MARINAS EN LA ISLA DE COCHE,  
NORORIENTE DE VENEZUELA**

PÁGINA 87

# EL ACUICULTOR

UNA REVISTA DE LA SVA

JUNTA DIRECTIVA

**PRESIDENTE**  
Eduardo Castillo

**VICEPRESIDENTE**  
Alex Guevara

**SECRETARIO**  
Daniel Arana

**TESORERO**  
Víctor Blanco

**VOCALES**  
Abraham Mora  
Germán Poleo  
Edwis Bravo  
Oswaldo Marín

**SUPLENTE**  
Juan Urich  
Eugenio García  
Héctor Rincón

EQUIPO OPERATIVO

**DIRECTOR EJECUTIVO**  
Araldo Figueredo

**DIRECTOR EDITORIAL**  
Alex Guevara

**DIRECTOR DE MEDIOS**  
Víctor Cabezuolo

**ASISTENTE DE MEDIOS**  
Rosa Delgado

**CONSULTORES**  
Marcia Guevara  
Wander Parada



¡COMPROMETIDOS CON EL  
DESARROLLO ACUÍCOLA DE LA REGIÓN!

## GRACIAS A NUESTROS ALIADOS



## CONTACTO

**Web:** [svacuicultura.org](http://svacuicultura.org) / **Email:** [sociedadvenezolanadacuicultura@gmail.com](mailto:sociedadvenezolanadacuicultura@gmail.com)



Sociedad Venezolana de Acuicultura

# CONTENIDO

ABRIL 2026 | VOL. 6 | NÚMERO 2

Pág. / Contenido

**05.** Editorial: Sorteando tiempos complejos para la Acuicultura Global

**06.** Patógenos microbianos en la acuicultura: una revisión de las amenazas emergentes

**15.** Manejo de suelo y efluentes en estanques y embalses

**26.** América Latina: el próximo epicentro mundial para la producción y exportación sostenible de filetes de tilapia

**34.** Tendencias actuales, desafíos e innovaciones genéticas en la industria de reproductores de camarón SPF

**47.** Sostenibilidad ambiental de la tilapia del Nilo criada en el sistema de tecnología Biofloc (BFT): evaluación de la dinámica del carbono, nitrógeno, fósforo e indicadores de sostenibilidad

**59.** Participación de los Jóvenes en la Acuicultura: Formando a la Próxima Generación de Líderes en Alimentos Azules en el Caribe

**64.** Peces amazónicos, producción asiática: cómo China tomó el liderazgo mundial en el cultivo de cachama

**67.** Tilapia del Nilo: anomalía en la estructura reproductiva externa. Causas e impactos en la producción de alevines

**76.** Tecnología Biofloc: Optimización de la acuicultura a través de la innovación microbiana

**87.** Visitando Biorma Aquaculture, granja de cultivo de algas marinas en la Isla de Coche, nororiente de Venezuela

**92.** Movilizando internacionalmente animales acuáticos vivos: Introducción de Pangasius a Panamá

**96.** Páginas web que vale la pena revisar: <https://www.hatch.blue/es>

**Nota:** Las opiniones emitidas en los artículos corresponde a los autores y no deben ser atribuidas a la Sociedad Venezolana de Acuicultura

Ahora **24x** más potente  
**6 x 10<sup>10</sup> UFC/g**

**promegaBioticf**®



El nuevo estándar en biorremediación de fondo

**ANTES**

**MES 1**

**MES 2**



**PELLET**  
AL VOLEO



**SPHERE**  
ALIMENTADORES  
AUTOMÁTICOS

- Reduce los niveles de  $\text{NH}_4$   $\text{NO}_2$   $\text{H}_2\text{S}$   $\text{CH}_4$   
– sin preactivación –
- Controla la floración excesiva de algas.
- Mejora el oxígeno disuelto y reduce el riesgo de enfermedades.

**¿Listo para operar con el biorremediador más potente del mercado?**  
Solicita ficha técnica + protocolo y valida su impacto en tu cultivo

**promegaBioticf**®  
Protección bacteriana.

Hagamos acuicultura juntos   
**MEGASUPPLY**®  
www.megsupply.net orders@megsupply.net

# EDITORIAL

## SORTEANDO TIEMPOS COMPLEJOS PARA LA ACUICULTURA GLOBAL

El escenario global, siempre dinámico, exhibe actualmente numerosas amenazas para la actividad económica en general, pero son especialmente acentuadas en lo que respecta a la acuicultura. Citemos solo algunas:

- Precios globales en niveles históricamente bajos, de manera sostenida, particularmente en rubros como camarón y algas carragenofitas, debido sobre todo al incremento de inventarios en los principales países consumidores.
- Aranceles elevados, específicamente los de EEUU, complicando la competitividad para el ingreso a ese importante mercado.
- Crisis climática palpable, que ya ha afectado severamente a los tilapicultores colombianos con mortandades por las elevadas temperaturas.
- Mercados con intereses cambiantes, tendiendo a la mayor exigencia, obligando a una constante adecuación de operaciones y requerimientos.
- Logística complicada para el comercio internacional, por reducciones en toques de navieras, retrasos en las rutas de navegación, incremento en costos de transporte, entre otros factores.
- Legislaciones volubles, cambiantes, que ceden a presiones ambientalistas

exageradas. Tal es el caso de la suspensión de permisos para la crianza de salmón en jaulas abiertas en Canadá, a pesar de ser una actividad altamente supervisada, con altos estándares de sostenibilidad.

- Patologías recurrentes o emergentes, como la streptococosis o el TILV en Tilapia.

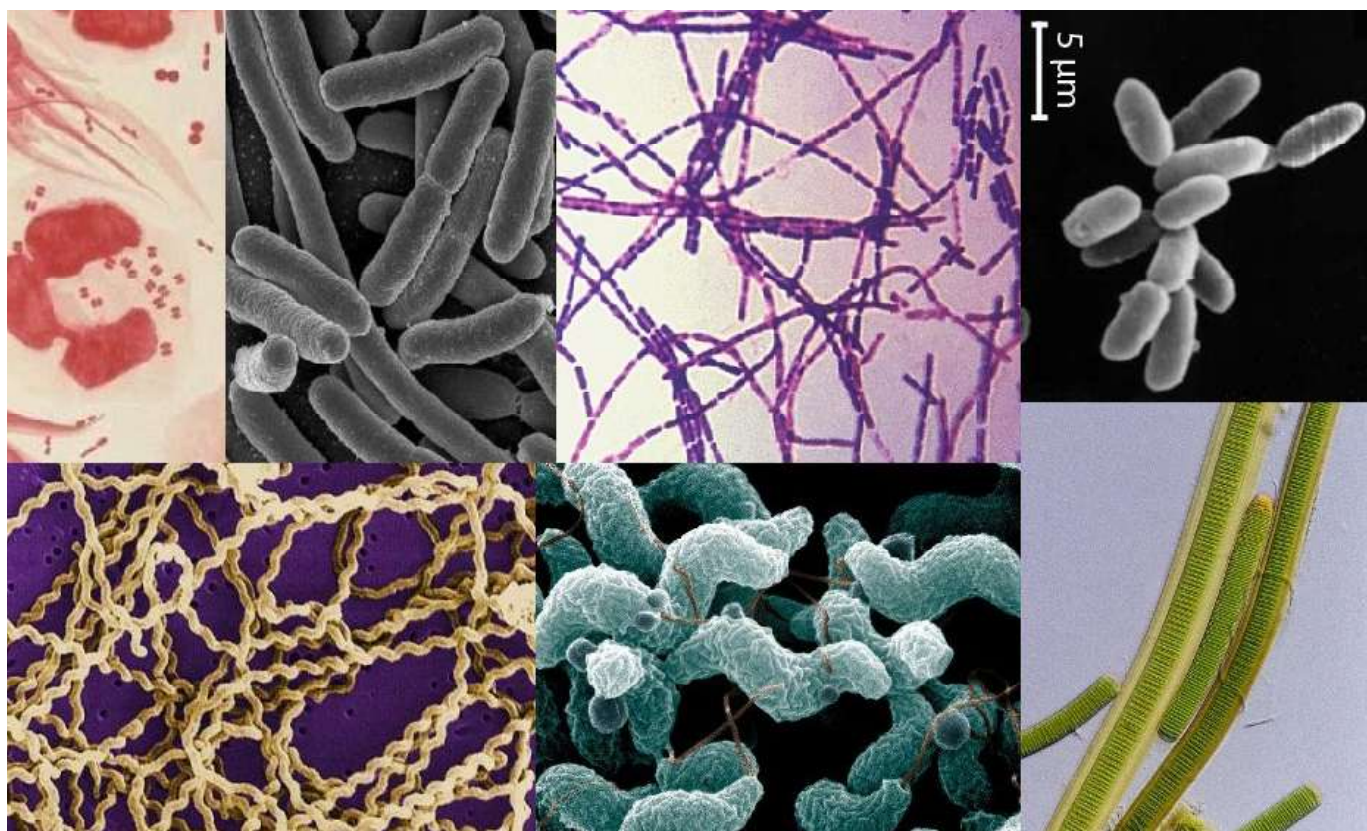
Como se desprende de la anterior recopilación, son muchos los desafíos que enfrenta la acuicultura. Heterogéneos, por la propia naturaleza de la actividad, pero que exigen un abordaje conjunto para lograr la fortaleza necesaria para cancelar los riesgos que suponen. El llamado es para todos los actores acuícolas, en todos los espacios geográficos, a tender puentes con sus homólogos para constituir ese frente unitario que el sector requiere en estos tiempos complejos.



Eduardo Castillo  
Presidente de la SVA

# PATÓGENOS MICROBIANOS EN LA ACUICULTURA: UNA REVISIÓN DE LAS AMENAZAS EMERGENTES

Cuerpo editorial de El Acuicultor



## Introducción

La acuicultura ha crecido significativamente desde ya hace más de 40 años. A pesar de su potencial para mejorar la seguridad alimentaria, enfrenta desafíos importantes, como la alta susceptibilidad de los organismos acuáticos a enfermedades infecciosas debido, entre otras cosas, a prácticas intensivas. Además, el uso excesivo

de antimicrobianos para controlar estas enfermedades ha contribuido a la resistencia antimicrobiana, lo que representa riesgos tanto para la salud animal como humana.

Los brotes de enfermedades en la acuicultura han causado pérdidas económicas sustanciales, afectando a los productores y a la industria. Actualmente se utilizan antimicrobianos y desinfectantes químicos

para controlar los brotes de enfermedades en especies de peces criadas en condiciones de hacinamiento. Las bacterias, virus, hongos y parásitos son los principales patógenos microbianos que afectan la acuicultura provocando una alta mortalidad. Además, los sistemas acuícolas intensivos, con uso frecuente de antibióticos, propician el desarrollo de bacterias resistentes a los antimicrobianos.

La dinámica de los patógenos microbianos en la acuicultura representa un desafío crucial para la sostenibilidad de la industria a nivel mundial, la cual ha crecido significativamente debido al aumento de la demanda de productos del mar. Sin embargo, este crecimiento ha incrementado los brotes de enfermedades causadas por microorganismos patógenos, afectando la producción y seguridad alimentaria.

El uso de antibióticos ha generado bacterias resistentes, lo que limita la eficacia de los tratamientos y supone una amenaza para la salud humana. La creciente resistencia en bacterias ha impulsado la investigación de alternativas como los probióticos, los bacteriófagos y los inhibidores de la percepción de quórum. Este enfoque permite una gestión sostenible de las amenazas microbianas, en consonancia con la demanda de productos del mar libres de antibióticos.

La naturaleza dinámica de los ecosistemas resalta la importancia de las interacciones microbianas en los sistemas de acuicultura. La interacción entre las poblaciones bacterianas puede promover o inhibir el crecimiento de patógenos, lo que subraya la importancia de las comunidades microbianas equilibradas. La **Tabla 1** presenta algunos ejemplos de patógenos microbianos emergentes en la acuicultura.

En general, la complejidad de los patógenos microbianos en la acuicultura exige un enfoque multifacético que combine mejores

prácticas de gestión, el uso de probióticos, el desarrollo de vacunas innovadoras y la investigación continua de las interacciones microbianas para garantizar la sostenibilidad de las operaciones de acuicultura y salvaguardar la salud pública.

## Amenazas microbianas emergentes en la acuicultura

La intensificación de las prácticas acuícolas, incluyendo el aumento de la densidad de población y la mala calidad del agua, incrementa el riesgo de brotes de enfermedades. Las malas condiciones ambientales y la gestión inadecuada se han relacionado con la propagación de enfermedades en la acuicultura. El cambio climático amenaza la acuicultura, ya que el aumento de las temperaturas y la alteración de los patrones de precipitación afectan la distribución y la virulencia de los patógenos, creando condiciones favorables para su crecimiento y aumentando la susceptibilidad del hospedero. Los ambientes acuáticos también se enfrentan a riesgos de contaminación por antibióticos debido a la eutrofización y al uso excesivo de estos químicos.

El uso de antimicrobianos en la acuicultura genera residuos que tienen un impacto significativo en la salud humana y pueden incrementar la resistencia a los antibióticos, incluso a niveles subterapéuticos. Estos residuos contribuyen al desarrollo de super bacterias en ambientes acuáticos, lo que representa un riesgo para la salud ambiental y humana. La presencia continua de antimicrobianos en el medio ambiente, derivada del creciente consumo en acuicultura para combatir patógenos, resulta en la contaminación del agua, sedimentos y tejidos de organismos acuáticos.

**Tabla 1. Patógenos microbianos emergentes en la acuicultura**

Patógeno	Tipo	Hospederos	Enfermedad/impacto	Características notables
Virus de la tilapia del lago (TiLV)	Virus	Tilapia	Alta mortalidad (>80%), lesiones neurológicas y hepáticas.	Virus de ARN segmentado; carece de vacuna eficaz.
<i>Vibrio anguillarum</i>	Bacterias	Peces, crustáceos, moluscos	Vibriosis: septicemia hemorrágica, úlceras cutáneas, infecciones sistémicas.	Produce sideróforos; formación de biopelículas; resistencia a los antibióticos.
<i>Streptococcus</i> spp.	Bacteria	Tilapia y otros peces de agua dulce	Estreptococosis: septicemia, meningoencefalitis.	Potencial zoonótico; altas tasas de reinfección; resistencia a los antibióticos.
<i>Flavobacterium columnare</i>	Bacterias	Peces de agua dulce	Columnariosis: lesiones cutáneas, necrosis branquial, alta mortalidad.	Forma biopelículas; de importancia en sistemas RAS.
<i>Sphaerospora molnari</i>	Parásito	Carpa común ( <i>Cyprinus carpio</i> )	Esferosporosis branquial y cutánea; necrosis tisular.	Parásito mixozoario; prolifera en branquias y tejidos de piel; relacionado con aguas más cálidas.
<i>Kudoa tirsites</i>	Parásito	Peces marinos	Miolicuefacción post mortem; ablandamiento de la carne, pescado no comercializable.	Parásito mixosporidio; forma pseudoquistes en las fibras musculares; amplio rango de hospedadores.
<i>Streptococcus iniae</i>	Bacteria	Tilapia, corvina roja, trucha arcoíris	Meningoencefalitis, lesiones cutáneas, septicemia; infecciones zoonóticas en humanos.	Bacteria grampositiva; impacto económico significativo; dificultades en su identificación.
Enfermedad branquial amebiana (EBA)	Parásito	Salmón del Atlántico, rodaballo, lubina	Lesiones branquiales, dificultad respiratoria, mortalidad; pérdidas en salmonicultura.	<i>Neoparamoeba perurans</i> , prolifera en tejidos branquiales; relacionado con agua más cálidas.
Escuticociliatosis	Parásito	Peces marinos, tiburones	Ulceración cutánea, hemorragia, necrosis; altas tasas de mortalidad.	Escuticociliados oportunistas; brotes relacionados con aguas más cálidas.
<i>Piscine Orthoreovirus</i> (PRV)	Virus	Salmón del Atlántico y del Pacífico	Inflamación del músculo cardíaco y esquelético (HSMI); ictericia/anemia.	Virus ARN; prevalencia en salmones criados en jaulas.

La **Tabla 2** presenta algunos de los antibióticos más comunes utilizados en la acuicultura.

**Tabla 2.** Antibióticos que se encuentran comúnmente en el entorno de la acuicultura.

Antibióticos	
Familia	Ejemplo
Macrólido	Roxitromicina (ROM) Eritromicina (ERM)
Quinolonas	Ciprofloxacino (CIP) Enrofloxacina (ENR) Norfloxacina (NOR)
Sulfonamidas	Sulfadiazina (SDZ) Sulfadimetoxina (SDM) Sulfametoxazol (SMX) Meticilina (TMP)
Tetraciclinas	Clortetraciclina (CTC) Oxitetraciclina (de venta libre) Tetraciclina (TC)

La resistencia a los antibióticos es una amenaza significativa para la acuicultura. El uso intensivo de estos fármacos para controlar enfermedades genera cepas bacterianas resistentes, comprometiendo la eficacia de los tratamientos y afectando la salud humana a través de la cadena alimentaria, destacándose la necesidad de explorar alternativas como los probióticos y la terapia con fagos.

La resistencia también afecta comunidades microbianas enteras, facilitando la diseminación de genes de resistencia a través de la transferencia horizontal entre bacterias. Aguas residuales, alimentos orgánicos y sedimentación alteran la composición microbiana, aumentando la proliferación

de patógenos y afectando la salud de los organismos acuáticos.

Mantener la diversidad microbiana es crucial para la resiliencia ante patógenos. La metagenómica se presenta como una herramienta útil para entender la dinámica microbiana y mejorar la gestión de probióticos. Además, el cambio climático puede influir en la aparición de microbios patógenos, alterando las comunidades microbianas y afectando la sostenibilidad de la acuicultura.

Los patógenos virales emergentes representan otra dimensión de las amenazas microbianas en la acuicultura. La adaptación de las prácticas de manejo para incluir la vigilancia viral y la identificación de patógenos es esencial para proteger las inversiones en acuicultura. Las infecciones virales comparten factores de riesgo comunes con las enfermedades bacterianas, como el estrés ambiental y las altas densidades de población, pero presentan desafíos únicos en la dinámica de transmisión y las interacciones con el hospedero. A diferencia de las bacterias, los virus dependen de la maquinaria celular del hospedador para replicarse, lo que hace que los peces estresados sean particularmente vulnerables. La transmisión vertical y la falta de tratamientos antivirales efectivos complican el manejo de las enfermedades virales en comparación con el manejo de las infecciones bacterianas, que pueden tratarse con antibióticos. El manejo proactivo es esencial para abordar los riesgos de los patógenos virales en la acuicultura. Si bien las infecciones bacterianas a menudo pueden tratarse mediante el manejo de la calidad del agua, las enfermedades virales requieren enfoques integrales, que incluyen protocolos de cuarentena y selección genética para razas resistentes a las enfermedades. La persistencia de los virus en los hospedadores portadores y su rápida propagación en

poblaciones densas resaltan la importancia de la detección temprana. La integración de estas estrategias ayuda a las operaciones de acuicultura a reducir los brotes virales y garantizar una producción sostenible, complementando las medidas de control de enfermedades bacterianas.

Las interacciones microbianas en los sistemas de acuicultura se refieren a las relaciones dinámicas entre diversas comunidades microbianas, incluyendo microorganismos beneficiosos, patógenos oportunistas y microorganismos ambientales. Estas interacciones ocurren en la columna de agua, los sedimentos y los microbiomas asociados a los animales acuáticos. Estas comunidades microbianas participan en competencia, mutualismo, comensalismo, depredación y detección de quórum, lo que influye en la salud y la resistencia a enfermedades del hospedador. Las bacterias beneficiosas pueden competir con los patógenos por nutrientes y sitios de adhesión, o producir compuestos antimicrobianos. Un desequilibrio en las comunidades microbianas debido al estrés, la contaminación o el uso de antibióticos puede conducir al predominio de bacterias dañinas, aumentando la susceptibilidad a enfermedades. Estas interacciones son críticas en condiciones de alta carga orgánica, mala calidad del agua, temperaturas fluctuantes y altas densidades de población en operaciones de acuicultura intensiva.

Las estrategias de mitigación en acuicultura se enfocan en manipular interacciones microbianas para promover microbiomas saludables, utilizando probióticos, prebióticos, simbióticos y bacteriófagos como alternativas a los antibióticos. Estos microorganismos beneficiosos son esenciales en momentos de mayor riesgo de enfermedades, ayudando a establecer una microbiota que supere a los patógenos mediante exclusión competitiva y otros

mecanismos.

La tecnología de biofloc es otra estrategia clave, que utiliza comunidades microbianas para transformar desechos en alimento rico en proteínas, mejorando la sostenibilidad y favoreciendo un entorno microbiano variado que inhibe patógenos. Este sistema recicla nutrientes, utilizando bacterias y microalgas para metabolizar desechos nitrogenados.

Las herramientas genéticas y análisis metagenómicos permiten identificar comunidades microbianas dañinas y mantener la salud del sistema. La respuesta a amenazas microbianas requiere prácticas sostenibles y monitoreo constante, siendo fundamental para la viabilidad a largo plazo de la acuicultura.

## Impacto de los patógenos en las prácticas de acuicultura

En ambientes de acuicultura, los patógenos pueden transmitir genes de resistencia a través de mecanismos de transferencia horizontal, lo que dificulta el tratamiento eficaz de enfermedades. El uso extensivo de antibióticos a menudo resulta en la liberación de estos compuestos al medio ambiente, favoreciendo la proliferación de bacterias resistentes y genes de resistencia, lo que aumenta el riesgo de transmisión a patógenos humanos y animales.

Es crucial reducir el uso de antibióticos y promover métodos alternativos para el manejo de enfermedades. En los países en desarrollo, se necesita mejorar la educación y los recursos sobre antimicrobianos, y la OMS aboga por cesar el uso rutinario de antibióticos en la producción animal. La presión de cepas multirresistentes ha llevado a regulaciones más estrictas, y es necesaria la colaboración entre diversas partes

interesadas para gestionar la resistencia en la acuicultura.

Los patógenos microbianos son un desafío significativo para la acuicultura, representando una de las principales causas de pérdidas en la producción de productos del mar y afectando también la salud humana. Estos patógenos, como *Vibrio* y *Aeromonas*, proliferan en entornos de alta densidad. La gestión de la calidad del agua es crucial, ya que la carga de nutrientes de desechos y alimentos puede favorecer el desarrollo de bacterias patógenas, alterando las comunidades microbianas y propiciando brotes de enfermedades.

El uso de probióticos se está volviendo común para mejorar la salud de los peces, potenciando su microbiota intestinal y respuesta inmunitaria, lo que ofrece una alternativa a los antibióticos y se asocia con un mejor crecimiento y conversión alimenticia. Asimismo, las tecnologías de biorremediación con microorganismos ayudan a mitigar los efluentes de los sistemas acuícolas, purificando el agua y eliminando bacterias patógenas, lo que contribuye a la sostenibilidad y salud del ecosistema acuícola.

Los patógenos microbianos, como *Vibrio parahaemolyticus*, afectan la salud de los peces y representan un riesgo para la salud humana a través del consumo de mariscos contaminados, lo que subraya la necesidad de vigilancia en acuicultura y productos del mar para proteger la salud pública y mantener la confianza del consumidor. Factores ambientales, como cambios estacionales, salinidad y temperatura, impactan la composición microbiana y la prevalencia de estos patógenos, lo que demanda un monitoreo continuo y una gestión flexible.

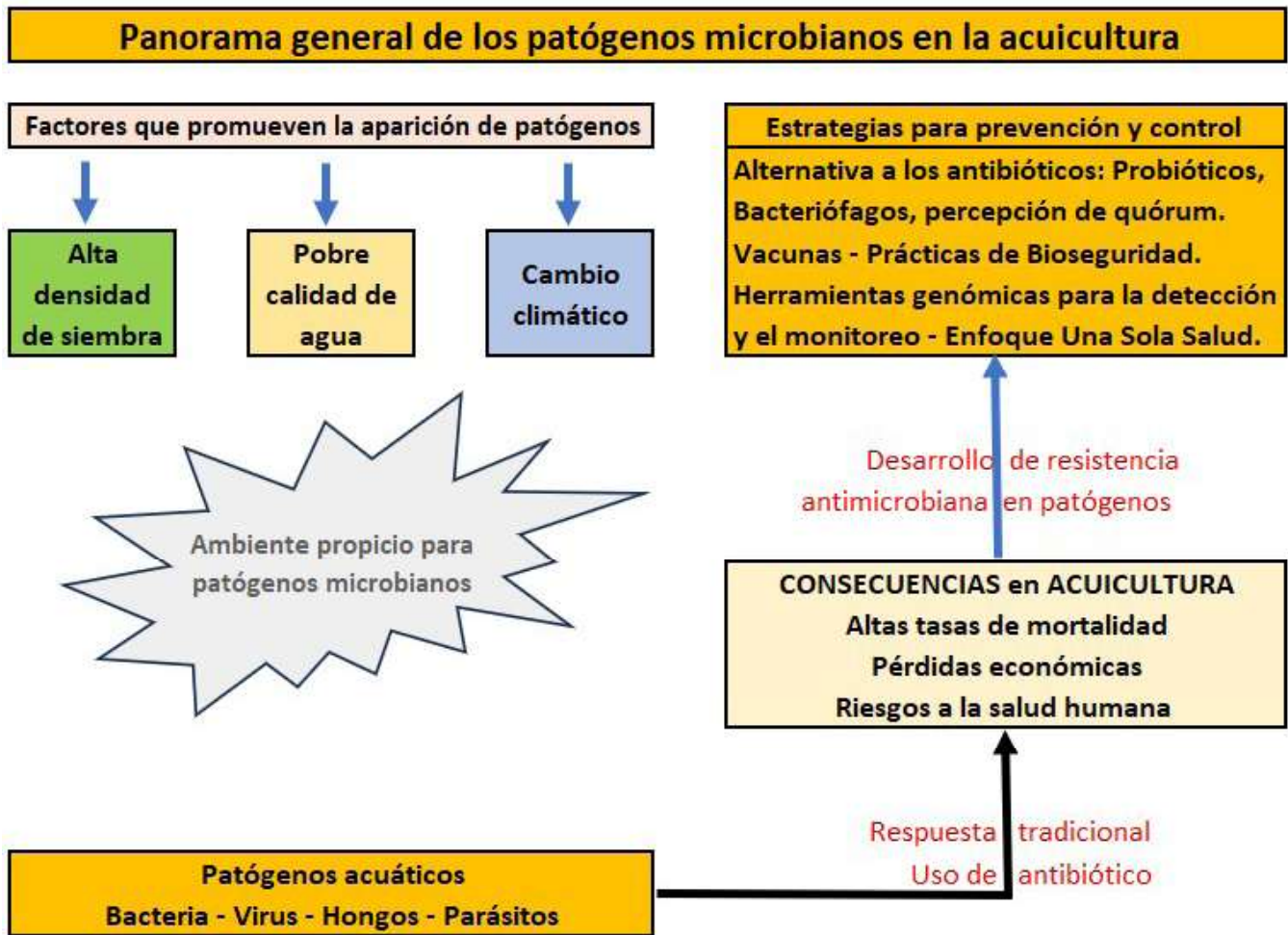
Las tecnologías de metagenómica y secuenciación de alto rendimiento han avanzado en la comprensión de la diversidad

y funciones microbianas en sistemas acuícolas, permitiendo identificar variaciones en las poblaciones microbianas y desarrollar estrategias de gestión efectivas. La **Figura 1** muestra una visión general de los patógenos microbianos y su impacto en la acuicultura.

La integración de estrategias avanzadas de gestión microbiana presenta soluciones prometedoras para la mitigación de patógenos en la acuicultura. El éxito requiere una gestión eficaz de la calidad del agua, el monitoreo microbiano y prácticas sostenibles para garantizar la viabilidad a largo plazo de la industria en medio de preocupaciones ambientales y de salud.

## Estrategias de prevención y control

El sector acuícola necesita soluciones sostenibles para abordar la resistencia antimicrobiana y reducir la aparición de nuevos patógenos, incluyendo la disminución del uso de antimicrobianos en la acuicultura. Es esencial mejorar la gestión y capacitar a los productores. Las vacunas para patógenos comunes son prometedoras para prevenir enfermedades, y la bioseguridad, como la cuarentena y la desinfección, puede ayudar a prevenir la propagación de patógenos. El uso de inmunoestimulantes, probióticos y prebióticos en la alimentación puede fortalecer la respuesta inmunitaria de los animales. Además, se requieren programas de administración de antimicrobianos en entornos veterinarios para minimizar la resistencia, capacitando a veterinarios y acuicultores sobre el uso adecuado de antibióticos y la importancia de las pruebas diagnósticas. La investigación debe enfocarse en entender los mecanismos de resistencia y desarrollar estrategias efectivas.



**Figura 1.** Panorama general de los patógenos microbianos en la acuicultura.

El Plan de Acción Mundial de la OMS busca mejorar la vigilancia, reducir las tasas de infección y optimizar el uso de antimicrobianos, utilizando el enfoque de **Una Salud** que integra la salud humana, animal y ambiental. Esto requiere colaboración entre los interesados para desarrollar estrategias de control integrales. El uso de fitoquímicos y probióticos se propone como alternativas para mejorar la salud animal y tratar enfermedades. Con la expansión de la acuicultura debido a la creciente demanda de productos del mar, son necesarias estrategias integradas que incluyan medidas de bioseguridad para prevenir la introducción y propagación de patógenos, especialmente dado el riesgo de resistencia antimicrobiana (RAM) debido al uso elevado

de antimicrobianos. La bioseguridad implica la gestión de la calidad del agua, protocolos de cuarentena y prácticas de higiene, y su inadecuada implementación puede conducir a infecciones devastadoras en piscifactorías. Las medidas de bioseguridad deben adaptarse a las condiciones locales y aplicarse sistemáticamente para reducir brotes de enfermedades y mejorar la salud de los peces.

El uso prudente de antibióticos es esencial para evitar la resistencia antimicrobiana y garantizar la seguridad del consumidor. Se proponen tratamientos alternativos, como probióticos, prebióticos y plantas medicinales, que ofrecen enfoques sostenibles para combatir infecciones

bacterianas. La vacunación también puede prevenir infecciones específicas y reducir la dependencia de antibióticos. El análisis de ADN ambiental (ADNa) facilita la monitorización no invasiva de patógenos, permitiendo intervenciones tempranas.

La gestión ambiental adecuada, incluyendo la gestión de residuos orgánicos y el mantenimiento de la calidad del agua, es fundamental para reducir la proliferación de patógenos. Es importante monitorear regularmente parámetros del agua, como nitritos y amoníaco, que afectan la salud de las especies acuáticas. La tecnología de biofloc puede ayudar a mejorar la calidad del agua y reducir riesgos de enfermedades.

Una estrategia integral que combine medidas de bioseguridad, alternativas antimicrobianas, herramientas de diagnóstico y gestión ambiental es clave para combatir los patógenos en acuicultura. La formación continua de los trabajadores es crucial para lograr sistemas acuícolas sostenibles que satisfagan la demanda global de productos del mar y protejan la salud animal.

## Retos y direcciones futuras

A pesar de los avances en la acuicultura, persisten desafíos significativos, como la escasez de tratamientos eficaces para enfermedades y la resistencia antimicrobiana, lo que pone en riesgo la sostenibilidad del sector. La falta de métodos de diagnóstico estandarizados y la escasa formación en bioseguridad entre acuicultores, sobre todo en países en desarrollo, complican el control de brotes. Es fundamental realizar investigaciones para desarrollar vacunas y herramientas de diagnóstico, así como mejorar las prácticas de bioseguridad y comprender la ecología de los patógenos. Se debe priorizar el uso de sustancias

ecológicamente compatibles. Además, fortalecer la inmunidad de los organismos cultivados es crucial, y la manipulación del microbioma intestinal ha mostrado potencial. Con el crecimiento poblacional, la acuicultura debe adaptar sus especies y piensos para mejorar su eficiencia y salud.

La gestión de patógenos microbianos en la acuicultura es crucial para equilibrar productividad, sostenibilidad y salud animal. El aumento de la producción enfrenta desafíos por enfermedades infecciosas, agravadas por la intensificación de la acuicultura y el cambio climático, que aumentan la virulencia de los patógenos. Dado que los tratamientos tradicionales pierden eficacia, se buscan alternativas como los probióticos y las bacteriocinas, que pueden mejorar la salud de los peces al establecer una flora intestinal protectora contra patógenos.

Los factores ambientales, como la carga de nutrientes y la calidad de los sedimentos, afectan la dinámica de los patógenos en acuicultura. Para mantener la calidad del agua, son necesarias medidas de bioseguridad robustas y buena gestión ambiental. Los sistemas de monitoreo avanzados, como el aprendizaje automático y el IoT, pueden detectar signos tempranos de enfermedades. Además, el cambio climático representa un reto para la sostenibilidad del sector, ya que el aumento de la temperatura del agua favorece el crecimiento de patógenos y aumenta la vulnerabilidad de las especies cultivadas. Implementar estrategias de adaptación y desarrollar sistemas de acuicultura resilientes que integren especies con diferentes niveles de tolerancia al estrés son esenciales para mitigar esta susceptibilidad. Los sistemas de acuicultura multitrófica integrada (AMTI) pueden mejorar la resiliencia y reducir la carga de patógenos.

El desarrollo de vacunas es esencial para combatir enfermedades en la acuicultura,

ya que pueden reducir la mortalidad de los peces al atacar patógenos de alto riesgo. Sin embargo, la eficacia de las vacunas y su adaptación a la evolución de los patógenos sigue siendo un desafío. Los enfoques genéticos podrían ofrecer soluciones a largo plazo. La gestión proactiva mediante biorremediación y el uso de remedios naturales, como fitobióticos y aceites esenciales, puede reducir los niveles de patógenos sin los inconvenientes de tratamientos químicos. La colaboración entre investigadores, profesionales y responsables políticos es clave para fortalecer los marcos de bioseguridad y la resiliencia del sistema. El futuro de la gestión de patógenos en acuicultura requiere un enfoque multidisciplinario que integre tecnologías innovadoras y prácticas sostenibles, con investigación continua para mantener ecosistemas acuáticos saludables y satisfacer la demanda global de productos del mar.

## Conclusiones

Los patógenos microbianos representan un desafío importante para la sostenibilidad de la acuicultura a nivel mundial. La expansión de la acuicultura, impulsada por la creciente demanda global de productos del mar, ha conllevado un aumento de los brotes de enfermedades causadas por microorganismos patógenos, como bacterias, virus, hongos y parásitos. Las prácticas de cultivo intensivo con altas densidades de población y agua de mala calidad han creado entornos propicios para la propagación de patógenos. La resistencia a los antibióticos es una preocupación importante, ya que su uso excesivo en la acuicultura ha dado lugar a cepas resistentes, poniendo en riesgo la salud animal y humana. Las interacciones entre las comunidades microbianas, los factores ambientales y la inmunidad del hospedero dificultan la gestión de estas amenazas. Se están desarrollando soluciones

como probióticos, vacunas y mejoras en la bioseguridad para mitigar el impacto de los patógenos. Sin embargo, se necesita un enfoque integrado que combine la investigación, las políticas y la colaboración con la industria para abordar estos desafíos de manera efectiva. Los acuicultores deben adoptar prácticas basadas en la ciencia, incluyendo el monitoreo de la salud, la gestión de la calidad del agua y el uso responsable de antimicrobianos. Se debe priorizar la implementación de programas de vacunación, la suplementación con probióticos y los protocolos de bioseguridad. Los responsables políticos deben regular el uso de antibióticos, invertir en la vigilancia epidemiológica y apoyar la investigación de estrategias de control alternativas. Los programas de capacitación colaborativa sobre prevención de enfermedades y prácticas agrícolas sostenibles son esenciales para minimizar los riesgos de patógenos en la acuicultura.

Esta es una versión resumida, elaborada por el cuerpo editorial de "El Acuicultor", del artículo original "Microbial pathogens in aquaculture: a review of emerging threats." escrito por Gundi, V.A.K.B., Bogireddy, D., Vundru, A.K., Arthala, P.K., Vadela, M.B., Karri, S., Allam, U.S., Gujjula, M.S., y Kodali, V.P. (2025). Publicado en *Academia Biology*. 2025; 3(3).

<https://www.academia.edu/2837-4010/3/3/10.20935/AcadBiol7814>

# MANEJO DE SUELO Y EFLUENTES EN ESTANQUES Y EMBALSES

Fernando Kubitza, Ph.D.

Acqua Imagem Servicios de Acuicultura

fernando@acquaimagem.com.br



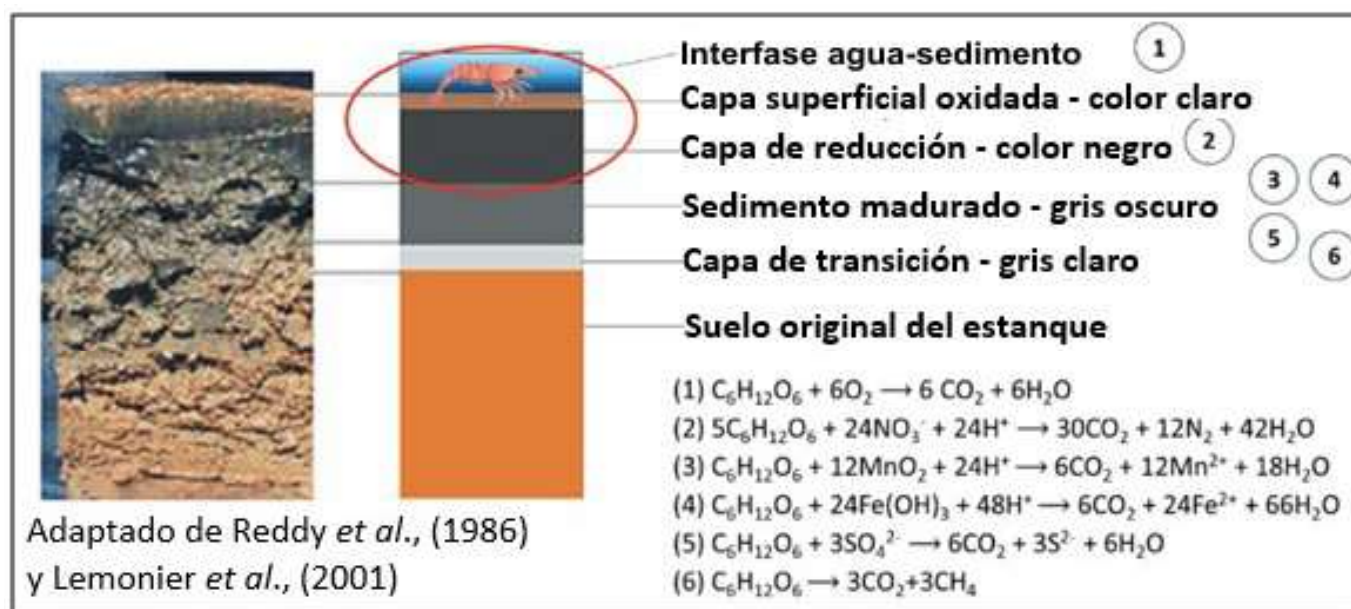
La calidad del suelo, los sedimentos y la interfase agua-sedimento influyen en la calidad del ambiente acuático y, por lo tanto, en el bienestar, el rendimiento y la salud de los peces y camarones. Los camarones, en particular, habitan y se alimentan en el fondo de los estanques, lo que los hace aún más dependientes de la calidad del ambiente en la interfase agua-sedimento. La acumulación excesiva de sedimentos en el fondo de los

estanques dificulta la cosecha, acelera el deterioro de la calidad del agua y favorece un aumento en la incidencia de enfermedades en los ciclos de cultivo posteriores. Este artículo aborda los fundamentos y las mejores prácticas de manejo para mantener la calidad de los sedimentos y efluentes en estanques de cultivo intensivo de peces y camarones.

## Suelo y sedimentos en estanques

Aquí es necesario distinguir entre suelo y sedimentos. El suelo se refiere al material compactado original que formó el fondo y las laderas de los estanques (**Figura 1**). Los sedimentos comprenden la materia mineral y orgánica que se deposita en el fondo de los estanques durante los ciclos de cultivo. Con el tiempo, los sedimentos terminan teniendo un mayor impacto en la calidad del agua de los estanques y embalses que el suelo original. Los residuos minerales y orgánicos, así como nutrientes como el nitrógeno y el fósforo, se depositan y concentran en los sedimentos. Debido a esta mayor acumulación de residuos orgánicos, la población de microorganismos (bacterias, protozoos, hongos, etc.) es de cientos a miles de veces mayor en los sedimentos que en la columna de agua.

El sedimento que se deposita en el fondo de los estanques se compone principalmente de una fracción fina del propio suelo (arcilla y limo). Este material proviene de la erosión o el desplazamiento de material de las laderas y el fondo de los estanques (debido a la acción del viento, los aireadores e incluso la actividad de peces y camarones). La arcilla y el limo también pueden ingresar a través del agua. Así, entre el 85 y 90 % de los sedimentos están compuestos de arcilla y limo, que se depositan preferentemente en las zonas más profundas de los estanques. Una fracción menor de los sedimentos (entre el 3 y 8 %) está representada por materia orgánica proveniente de la deposición de microalgas, heces de peces, fertilizantes orgánicos aplicados y el crecimiento de biomasa microbiana.



**Figura 1.** Distinción entre los diferentes estratos de sedimentos y suelo en el fondo de un estanque de cultivo de peces y camarones. Los números indican las reacciones de reducción que ocurren en cada estrato, las cuales se corresponden con las reacciones presentadas en la **Tabla 1**, más adelante en este artículo.

## Origen de la materia orgánica en los sedimentos

El alimento es la principal fuente de nutrientes en la acuicultura intensiva. A mayor consumo de alimento, mayor es el volumen diario de heces generado y mayor el aporte de nutrientes al agua. Solo entre el 20 y 25 % de la materia seca del alimento se transforma directamente en biomasa de peces y camarones. Los desechos sólidos de la alimentación (heces, alimento no consumido, moco corporal e intestinal, mudas de camarón) se depositan en los sedimentos, donde son consumidos y/o descompuestos por otros organismos, especialmente organismos bentónicos y bacterias. Este proceso genera la disponibilidad de  $\text{CO}_2$ , nutrientes y diversos compuestos orgánicos. El aumento en la disponibilidad de  $\text{CO}_2$  y nutrientes estimula la rápida multiplicación y el incremento de la biomasa de microalgas (fitoplancton). Las floraciones de microalgas son responsables de la mayor parte de los sólidos en suspensión y de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) en el agua del estanque. Con un exceso de fitoplancton (aguas muy verdes), una cantidad significativa de microalgas muere y se regenera continuamente. Aunque el alimento es la fuente original de materia orgánica, la muerte y sedimentación de las microalgas representan la mayor contribución de desechos orgánicos a los sedimentos de los estanques en la cría intensiva de peces y camarones.

## Descomposición de residuos orgánicos

La materia orgánica depositada en el fondo de los estanques se somete a un proceso continuo de descomposición llevado a cabo por bacterias y otros organismos presentes en la interfase agua-sedimento. La descomposición de la materia orgánica en los sedimentos se produce mediante procesos aeróbicos y anaeróbicos, cada uno con características distintas e importantes efectos sobre la calidad del agua y la salud de los peces y camarones.

**Descomposición aeróbica:** en la interfase agua-sedimento y en los primeros centímetros por debajo de ella, donde aún hay algo de oxígeno disponible, predomina la descomposición aeróbica. Los microorganismos utilizan el  $\text{O}_2$  como aceptor final de electrones en la oxidación de compuestos orgánicos, produciendo  $\text{CO}_2$  y agua. Este proceso es eficiente en la mineralización de la materia orgánica, libera nutrientes esenciales para el fitoplancton y contribuye a mantener la calidad del agua, previniendo la acumulación de compuestos tóxicos. La descomposición aeróbica requiere una gran cantidad de oxígeno. Se estima que los microorganismos presentes en la interfase agua-sedimento consumen entre 1 y 4 kg de  $\text{O}_2$ /ha/h. Esto requiere una potencia de aireación de entre 1 y 4 CV/ha. La demanda de oxígeno de los microorganismos es mayor que la tasa de transferencia de oxígeno desde la columna de agua a la interfase agua-sedimento. Como resultado, el sedimento se vuelve rápidamente anóxico, es decir, carece de oxígeno. Cuando esto ocurre, la descomposición de la materia orgánica se vuelve anaeróbica.

**Descomposición anaeróbica facultativa (respiración de nitrato y otros elementos):** con el agotamiento del  $\text{O}_2$  a pocos

centímetros por debajo de la interfase agua-sedimento, las bacterias aerobias dejan de actuar y dan paso a microorganismos anaerobios facultativos. Estos utilizan nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ), hierro ( $\text{Fe}^{3+}$ ) y manganeso ( $\text{Mn}^{4+}$ ) como aceptores de electrones para continuar la descomposición. La respiración de nitrato es un proceso relevante que permite la oxidación de compuestos orgánicos en ambientes pobres en oxígeno. En este proceso, el  $\text{NO}_3^-$  puede reducirse a  $\text{N}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  o  $\text{NH}_4^+$ , además de otros compuestos intermedios potencialmente tóxicos. Los estanques de camarones en antiguas salinas tienden a presentar una alta respiración de nitrato debido a la ausencia de oxígeno en los sustratos salinos y la acumulación de materia orgánica a lo largo de los años. En los estanques más antiguos, la intensidad de la respiración de nitratos es mayor que en los nuevos. La aplicación de nitrato de calcio durante la preparación para nuevos cultivos es una práctica que se utiliza para estimular la descomposición orgánica en los sedimentos, lo que favorece la respiración de nitratos y promueve la eliminación de nitrógeno en forma de  $\text{N}_2$  liberado a la atmósfera.

**Descomposición anaeróbica estricta:** en ausencia total de oxígeno, predominan los microorganismos anaerobios estrictos, que utilizan sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) y  $\text{CO}_2$  como aceptores de electrones. En este caso, los productos finales de la descomposición de la materia orgánica incluyen metano ( $\text{CH}_4$ ), sulfuro de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{S}$ ) y amoníaco. Dependiendo de su concentración y su interacción con el pH del agua, estos compuestos pueden alcanzar niveles tóxicos para los organismos acuáticos, perjudicando los cultivos.

En condiciones anaeróbicas, se produce la formación y acumulación de sustancias reducidas, potencialmente tóxicas para peces y camarones. Estas incluyen sulfuro de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{S}$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ), nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ), iones  $\text{Fe}^{2+}$  e iones  $\text{Mn}^{2+}$ . La

disponibilidad de oxígeno en la interfase sedimento-agua es esencial para una descomposición más rápida de la materia orgánica y para prevenir la formación y acumulación de compuestos tóxicos como el amoníaco, el nitrito, el sulfuro de hidrógeno y el metano. De ahí la importancia de la circulación del agua desde la superficie hasta el fondo de los estanques durante el día, manteniendo un suministro continuo de oxígeno en la interfase agua-sedimento.

## Potencial redox

El potencial redox es una medida relativa del grado de oxidación o reducción del agua o del suelo. El agua bien oxigenada tiene un potencial redox entre +300 y +500 mV (mV = milivoltios), mientras que en sedimentos anaeróbicos el potencial redox se aproxima a -300 mV.

En resumen, el potencial redox indica el estado reducido u oxidado de los sedimentos. Un potencial redox positivo, superior a +200 mV, se asocia con suficiente oxígeno para la descomposición de la materia orgánica mediante procesos aeróbicos. Un potencial redox inferior a +200 mV o negativo se asocia con baja o nula presencia de oxígeno (anaerobiosis), lo que favorece la formación y acumulación de compuestos reducidos altamente tóxicos para los peces, como el sulfuro de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{S}$ ), el nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) y el metano ( $\text{CH}_4$ ). Estos compuestos generalmente no se encuentran en altas concentraciones en la columna de agua, pero pueden acumularse en los lodos y causar problemas cuando éstos se remueven repentinamente, por ejemplo, al arrastrar redes o por la acción de aireadores.

La formación de compuestos reducidos tóxicos para camarones y peces está regida por las condiciones de reducción-oxidación del agua o del sustrato (lodo). La **Tabla 1** presenta los valores del potencial redox a los que se forman diversas sustancias reducidas.

Tabla 1. Potencial redox al que se produce la formación de compuestos reducidos tóxicos en peces y camarones. Adaptado de Reddy *et al.*, 1986.

Reacción de reducción	Potencial redox del ambiente	Representación química de la reacción de reducción
$O_2$ a $CO_2$	> 400 mV	(1) $C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \longrightarrow 6CO_2 + 6H_2O$
$NO_3^-$ a $N_2$	400 mV a 200 mV	(2) $5C_6H_{12}O_6 + 24NO_3^- + 24H^+ \longrightarrow 30CO_2 + 12N_2 + 42H_2O$
$Mn^{3+}$ a $Mn^{2+}$	200 mV a 50 mV	(3) $C_6H_{12}O_6 + 12MnO_2 + 24H^+ \longrightarrow 6CO_2 + 12Mn^{2+} + 18H_2O$
$Fe^{3+}$ a $Fe^{2+}$	200 mV a 50 mV	(4) $C_6H_{12}O_6 + 24Fe(OH)_3 + 48H^+ \longrightarrow 6CO_2 + 24Fe^{2+} + 66H_2O$
$SO_4^{2-}$ a $S^{2-}$	- 100 mV a - 200 mV	(5) $C_6H_{12}O_6 + 3SO_4^{2-} \longrightarrow 6CO_2 + 3S^{2-} + 6H_2O$
$CO_2$ a $CH_4$	- 200 mV a - 250 mV	(6) $C_6H_{12}O_6 \longrightarrow 3CO_2 + 3CH_4$

En la práctica, los sedimentos reducidos (anaeróbicos y con bajo potencial redox) se reconocen por su color oscuro, casi negro. Los sedimentos que contienen sulfuro de hidrógeno ( $H_2S$ ) tienen olor a huevo podrido (potencial redox de -100 a - 200 mV) y son muy oscuros debido a la presencia de hierro reducido. Por otro lado, los sedimentos aeróbicos tienen un color gris claro o marrón. Si bien la degradación de la materia orgánica es más intensa cuando los estanques están vacíos (con los sedimentos expuestos al aire, lo que proporciona abundante oxígeno para los procesos de descomposición), es durante el cultivo cuando se degrada la mayor parte de la materia orgánica generada en la producción. La descomposición de la materia orgánica en los sedimentos provoca el rápido consumo del oxígeno disponible en la interfase agua-sedimento. Dado que la actividad microbiana consume oxígeno más rápidamente de lo que se repone mediante la circulación espontánea del agua en la interfase agua-sedimento, los sedimentos se vuelven invariablemente anaeróbicos (sin oxígeno y de color negro). En los sedimentos anaeróbicos, la descomposición de la materia orgánica ocurre a través de procesos fermentativos que generan diversas sustancias tóxicas para los peces (**Figura 1**).

## Factores que influyen en la descomposición de los residuos orgánicos y fundamentos para una buena gestión

Además de la disponibilidad de oxígeno, otros factores influyen en la velocidad y la eficiencia de la descomposición (mineralización) de los residuos orgánicos por microorganismos, como la temperatura del agua en la interfase agua-sedimento, la acidez del sedimento (pH), la relación C/N en los residuos orgánicos y la actividad del agua (humedad) en los sedimentos. Estos factores constituyen la base de buenas prácticas de gestión para garantizar una buena calidad de la interfase agua-sedimento y una degradación más rápida de los residuos orgánicos en los sedimentos, tal como se resume a continuación.

### Oxígeno

**Implicación:** La descomposición aeróbica de la materia orgánica es más rápida y minimiza la formación y acumulación de compuestos

reducidos potencialmente tóxicos, como amoníaco, nitrito, sulfuro de hidrógeno y metano.

**Fundamentos y buenas prácticas:** La circulación diaria del agua del estanque durante las horas pico de fotosíntesis (entre las 11:00 y las 13:00) mezcla el agua superficial rica en oxígeno con el agua del fondo. El drenaje del estanque y la exposición de los sedimentos al aire se realizan entre los ciclos de cultivo. El aire contiene un 20% de O<sub>2</sub> (200.000 ppm), en comparación con menos de 8 ppm en el agua del fondo. La mayor disponibilidad de O<sub>2</sub> acelera la descomposición microbiana de los residuos orgánicos.

### Temperatura

**Implicación:** Cuanto mayor sea la temperatura en los sedimentos, más rápida será la descomposición de la materia orgánica.

**Fundamentos y buenas prácticas:** La circulación de agua superficial más cálida hacia el fondo contribuye a elevar la temperatura en la interfaz agua-sedimento, así como en las capas superiores de los sedimentos. Además, aumenta la disponibilidad de oxígeno. El drenaje de los estanques y su exposición a la luz solar eleva la temperatura de los sedimentos, además de aumentar la disponibilidad de oxígeno. Estas prácticas aceleran el proceso de descomposición de la materia orgánica.

### pH o acidez de los sedimentos

**Implicación:** La descomposición microbiana de la materia orgánica es más rápida en un ambiente alcalino (pH entre 7,5 y 8,5).

**Fundamentos y buenas prácticas:** Encalado con cal agrícola y/o dosis moderadas de cal hidratada para neutralizar la acidez y elevar el pH de los sedimentos y la interfase agua-sedimento.

### Relación C/N en residuos orgánicos

**Implicación:** En los cultivos intensivos, el pienso es la principal fuente de alimento. En general, la relación C/N en los residuos fecales de peces y camarones se encuentra entre 10 y 12:1, lo que favorece la acción microbiana sobre la materia orgánica.

**Fundamentos y buenas prácticas:** Si los residuos orgánicos presentan una relación C/N elevada (por ejemplo, superior a 18 o 20:1), la aplicación de una fuente de nitrógeno (urea, nitrato de calcio y nitrato de sodio) para reducirla a 10 o 12:1 favorece el proceso de descomposición microbiana de la materia orgánica. Esto es especialmente importante cuando se utiliza estiércol animal y restos vegetales para fertilizar viveros.

### Actividad del agua (aw) y tiempo de acción de los microorganismos

**Implicación:** La microbiota de los sedimentos descompone rápidamente la materia orgánica cuando la actividad hídrica (aw) se encuentra entre 0,91 y 0,95. Esta actividad hídrica corresponde a un contenido de humedad del sedimento de entre el 20 y el 40%. En sedimentos muy secos o excesivamente húmedos (encharcados), la descomposición de la materia orgánica es más lenta.

**Fundamentos y buenas prácticas:** Tras drenar los estanques y exponer los sedimentos al sol y al aire entre ciclos de cultivo, es recomendable reponer la humedad si los sedimentos se secan demasiado. Para ello, suministre agua al estanque y cubra buena parte de los sedimentos. Posteriormente, se debe drenar el agua. También se pueden utilizar aspersores, similares a los utilizados en el riego.

### Productos químicos

**Implicación:** Se aplican diversos compuestos

químicos al fondo de los estanques con fines de saneamiento (reduciendo la carga patógena). Sin embargo, estos productos también eliminan las bacterias beneficiosas que intervienen en la descomposición de la materia orgánica en los sedimentos.

### **Fundamentos y buenas prácticas:**

Productos como hipoclorito de calcio o sodio (cloro), óxido de calcio y magnesio (cal viva), hidróxido de calcio y magnesio (cal hidratada) y peróxido de hidrógeno se aplican al fondo de los estanques drenados con fines de asepsia (reducción de la carga patógena) o incluso para eliminar los peces restantes después de la cosecha. Estos productos pueden dañar las bacterias beneficiosas en los sedimentos. Si es necesario usar estos productos, la aplicación debe realizarse solo después de que los sedimentos hayan estado expuestos al sol y al aire durante un período de tiempo, uno o dos días antes de comenzar a llenar el estanque, nunca inmediatamente después del drenaje, para no matar las bacterias y otros organismos beneficiosos que contribuyen a la descomposición de la materia orgánica en los sedimentos durante el drenaje del estanque.

## **Buenas prácticas de gestión de sedimentos**

**Uso de alimentos de alta calidad:** en los cultivos intensivos, el alimento es la fuente de residuos orgánicos y nutrientes. Los alimentos con baja estabilidad en agua y baja digestibilidad aumentan la cantidad de residuos orgánicos en los sedimentos. El productor siempre debe optar por alimentos de alta calidad, monitorear continuamente la conversión alimenticia y el crecimiento animal para identificar a los mejores proveedores.

**Control sistemático de floraciones de cianobacterias:** gran parte de los residuos orgánicos en los sedimentos provienen de

la muerte y sedimentación de microalgas, en particular cianobacterias. El control regular de estas floraciones es una práctica importante para reducir el aporte de residuos orgánicos y la demanda de oxígeno en los sedimentos.

### **La aireación mecánica y la circulación del agua en estanques:**

son prácticas fundamentales para asegurar concentraciones de oxígeno adecuadas en toda la columna de agua, especialmente en la interfase agua-sedimento. Los aireadores de paletas y las bombas de hélice son eficaces para promover la circulación del agua en los estanques, enriqueciendo el agua con oxígeno en la interfase agua-sedimento. Para circular el agua en los estanques, se recomienda activar los aireadores diariamente durante unas 2 a 3 horas cuando hay mayor insolación (entre las 11:00 y las 13:00). De esta manera, el aireador favorece la mezcla del agua superficial (donde la producción de oxígeno es muy intensa y la temperatura es más alta) con el agua del fondo (que es más fría y generalmente tiene poco oxígeno). Esto mejora la disponibilidad de oxígeno y eleva la temperatura del agua en la interfase agua-sedimento, acelerando la descomposición de la materia orgánica. La descomposición de la materia orgánica se produce mediante procesos aeróbicos, generando compuestos oxidados de baja toxicidad como dióxido de carbono, nitrato y otros (por ejemplo, sulfatos y fosfatos). Se debe prestar atención a la ubicación de los aireadores para reducir la erosión en las laderas. Los cambios periódicos en la posición de los aireadores contribuyen a una distribución más homogénea de los sedimentos, evitando la acumulación excesiva en zonas específicas de los estanques.

**El drenaje y la exposición del fondo del estanque al aire:** (el vaciado entre ciclos) expone el suelo al aire, un medio más rico en oxígeno que el agua. El aire

penetra en los poros del suelo (espacios intersticiales) y promueve una acción más rápida de los microorganismos aerobios en la descomposición de la materia orgánica. El rastrillado superficial de los sedimentos mejora aún más la entrada de aire (oxígeno) y, por lo tanto, acelera la descomposición de la materia orgánica. La aplicación de cal agrícola al fondo de los estanques corrige el pH de los sedimentos, favoreciendo la descomposición de los residuos orgánicos. Generalmente, la velocidad de descomposición de la materia orgánica alcanza su punto máximo entre 3 y 4 días después del vaciado de los estanques. A partir de este momento, la descomposición de la materia orgánica en los sedimentos se ralentiza debido a la disminución de la cantidad de materia orgánica disponible para la acción de los microorganismos y a la desecación del suelo (disminución de la actividad del agua). La velocidad de descomposición de la materia orgánica se optimiza cuando la humedad del suelo se sitúa entre el 20 y 40 %. Por lo tanto, una práctica eficaz para promover una mayor degradación de la materia orgánica consiste en restaurar la humedad del suelo alrededor del quinto o sexto día después del drenaje (si no ha llovido durante el período en que el estanque permaneció vacío). Esto se puede lograr llenando parcialmente el estanque, lo suficiente para cubrir el fondo, y luego drenándolo nuevamente. Generalmente, dos semanas de exposición al aire son más que suficientes para la oxidación de la mayor parte de la materia orgánica presente en los sedimentos, por lo que no hay gran ventaja en mantener el estanque vacío por períodos más prolongados. Recuerde aplicar cal viva o cal hidratada solo a los charcos que queden en el fondo del estanque, o esperar uno o dos días antes de volver a llenarlo para aplicar la cal a todo el fondo. Esto se debe a que la cal viva y la cal hidratada son muy reactivas y terminan matando las bacterias que descomponen los residuos en los sedimentos.

**Encalado para corregir la acidez potencial del suelo y los sedimentos:** la aplicación de cal agrícola aumenta la saturación de bases y corrige la acidez potencial del suelo y los sedimentos. Con un pH más cercano a la neutralidad y ligeramente alcalino, las bacterias se vuelven más eficientes en la descomposición de residuos orgánicos y en el proceso de nitrificación (oxidación del amoníaco a nitrato) durante el cultivo. Las aplicaciones fraccionadas de cal hidratada (100 a 150 kg/ha/día) directamente sobre el agua del estanque son eficaces para corregir la alcalinidad total. La cal hidratada es más soluble y reactiva que la cal agrícola y, por lo tanto, permite elevar la alcalinidad a valores superiores a 60-80 mg  $\text{CaCO}_3/\text{L}$ , deseables en el cultivo de camarones y también en la piscicultura superintensiva en estanques, como el cultivo intensivo de tilapia, donde se alcanzan biomásas de peces superiores a 60 toneladas/ha.

**Renovación de taludes de estanques:** contrariamente a lo que muchos imaginan, gran parte del material acumulado en el fondo de los estanques proviene de la erosión de las caras internas de los taludes. Esta erosión se debe a la acción de las olas (viento), los aireadores, la construcción de nidos por parte de los peces (especialmente la tilapia) y el pisoteo durante la pesca con redes. Por lo tanto, estos sedimentos se pueden raspar y compactar para restaurar los taludes, sin necesidad de extraerlos del estanque.

## Buenas prácticas para la gestión de aguas residuales y la reutilización del agua

La intensificación de la piscicultura y la camaronicultura ha exigido un mayor consumo de agua, tanto para llenar los estanques como para realizar renovaciones

parciales del agua con el fin de controlar el exceso de microalgas (principalmente cianobacterias en acuicultura de agua dulce o baja salinidad) y diluir metabolitos tóxicos como el amoníaco y el nitrito. El aumento de la renovación del agua implica directamente un incremento en el volumen de efluentes que se descargan. El crecimiento sostenible de la piscicultura y la camaronicultura intensivas debe evitar conflictos relacionados con el uso del agua y la descarga de efluentes. Para ello, es necesario adoptar buenas prácticas de conservación del agua y reducir la descarga de efluentes en los ecosistemas acuáticos naturales.

El volumen total de efluentes incluye el agua vertida intencionalmente durante las renovaciones parciales de agua, el agua que se desborda accidentalmente de los aliviaderos o tuberías de drenaje (agua de lluvia que cae directamente sobre los estanques o que llega a ellos por escorrentía) y el agua que se descarga de los estanques cuando se vacían total o parcialmente durante o después de las operaciones de cosecha. Los acuicultores pueden minimizar el volumen de efluentes vertidos adoptando buenas prácticas de uso y conservación del agua.

**Conservación del agua de lluvia:** los estanques deben construirse con un margen suficiente para contener la precipitación. Se recomienda que el nivel operativo de los estanques se encuentre al menos entre 10 y 15 cm por debajo de su nivel máximo de agua. En teoría, esto permite contener un volumen de lluvia de entre 100 y 150 mm sin que el agua se desborde por los aliviaderos. Esta práctica reduce la necesidad de extraer agua de ríos u otras fuentes y disminuye los costos de bombeo. Además, la reutilización del agua reduce los gastos relacionados con la aplicación de enmiendas al suelo (cal y cemento).

**Conservación y reutilización del agua**

**en la piscicultura:** en el cultivo de peces como la cachama, es posible cosechar sin necesidad de vaciar completamente los estanques, lo que facilita la conservación del agua. En el cultivo de tilapia, en cambio, solo es posible extraer todos los peces y mitigar los problemas de reproducción no deseada mediante el vaciado completo de los estanques. En el cultivo de camarón marino, la cosecha también se realiza con el vaciado completo de los estanques. En los casos en que se produce el vaciado completo de los estanques, es necesario contar con una infraestructura adecuada de canales, espacio adicional en los bordes de los estanques e incluso estanques de almacenamiento para la reutilización del agua en ciclos de cultivo posteriores. La reutilización del agua en varios ciclos de producción consecutivos minimiza la descarga de efluentes, reduce el uso de enmiendas del suelo y fertilizantes, y también puede reducir los costos de bombeo.

**Control de efluentes en operaciones de cosecha de peces:** en la captura con redes de arrastre, es común tener que bajar ligeramente el nivel del agua en los estanques. Esto requiere drenar el agua del fondo, que generalmente tiene una menor concentración de plancton y sólidos, y una menor demanda bioquímica de oxígeno (DBO) en comparación con el agua superficial. La descarga inicial de esta agua, durante los primeros 2 a 10 minutos, suele estar cargada de sólidos (de 1.400 a 40.000 mg/L de sólidos totales) que se han acumulado cerca de la entrada del tubo o desagüe. Esta descarga inicial debe dirigirse a un canal o tanque de sedimentación para los sólidos (con un tiempo de retención de 30 a 45 minutos). En las operaciones de acuicultura, el agua de drenaje de los estanques generalmente pasa por canales o zanjas de drenaje. Es importante que, en el punto de descarga del agua de los estanques, estos canales y zanjas estén protegidos contra la erosión, debido a la fuerza del impacto y la velocidad del agua en este momento inicial del drenaje.

Estudios realizados en granjas de bagres demuestran que más del 95 % de estos sólidos se depositan en un canal de 120 - 150 m con una base de 1,0 - 1,5 m de ancho. Los canales con vegetación, además de brindar mayor protección contra la erosión, ofrecen una retención más eficiente de los sólidos. Estos canales requieren mantenimiento y limpieza periódica. El material extraído de estos canales es un excelente fertilizante para cultivos agrícolas. Una vez que estos sólidos del inicio del drenaje se han depositado, el agua restante de los estanques (con un contenido total de sólidos entre 80 y 120 mg/L, compuesto principalmente de microalgas y fitoplancton) puede fluir directamente a los canales o a pequeños estanques de almacenamiento, desde donde se puede bombear simultáneamente a otros estanques de la propiedad. Para ello, es importante que los estanques tengan suficiente espacio libre para acomodar un volumen adicional de agua. Cuando el nivel del agua sea el adecuado para la pesca de arrastre, se deben cerrar los drenajes. La pesca debe realizarse con los desagües cerrados, ya que habrá una gran cantidad de sólidos en suspensión en el agua debido al arrastre de las redes, el pisoteo de los trabajadores y el movimiento de los peces. Una vez retirada la mayor parte de los peces, se debe dejar reposar el agua de 2 a 3 días para que la mayor parte de los sólidos en suspensión se depositen en el fondo del estanque. Solo después de este periodo se debe drenar el agua. Esta agua final se puede distribuir a los demás estanques de la propiedad o dirigir a pequeños estanques de sedimentación y purificación. Idealmente, estos estanques deberían contener macrófitas para una mejor retención de sólidos y nutrientes.

Estas buenas prácticas minimizan el consumo de agua y el volumen de efluentes descargados por las operaciones de acuicultura. De esta manera, prácticamente todos los residuos sólidos y nutrientes introducidos en los cultivos se retendrían en

los sedimentos de los estanques y se tratarían dentro de la propia estructura de cultivo, a lo largo de los ciclos de producción. Por lo tanto, estas prácticas eliminan la necesidad de construir lagunas de depuración o humedales para reducir los sólidos, la demanda biológica de oxígeno (DBO), el nitrógeno y fósforo total en estos efluentes ricos en microalgas, en caso de que deban descargarse. Los sólidos totales, la DBO y una gran parte del nitrógeno y fósforo totales presentes en este efluente están asociados a las microalgas. La eliminación de microalgas requiere un largo tiempo de retención en lagunas y humedales, que por consiguiente deben ocupar una superficie considerable del terreno, a menudo no disponible, además de la elevada inversión requerida para su construcción. Por lo tanto, la inversión en lagunas y humedales, actualmente exigida por las agencias ambientales estatales en Brasil, debería reconsiderarse con base en criterios técnicos y científicos ya conocidos para la gestión de efluentes de empresas acuícolas. Esto evitaría que las empresas acuícolas tuvieran que invertir en estructuras que a menudo resultan poco eficaces para mejorar la calidad de los efluentes.

## Purificación y tratamiento de aguas residuales

Si las aguas residuales no pueden reutilizarse, una alternativa es tratarlas o purificarlas en lagunas con macrófitas o humedales (**Figura 2**). Algunas propiedades pueden contar con zonas bajas o marismas preexistentes que pueden utilizarse para esta purificación con poca inversión. Si estas zonas no existen, será necesario invertir en la construcción de lagunas y humedales. El tratamiento consiste en la retención de sólidos, la nitrificación y la extracción de nutrientes antes de que el efluente se vierta al medio ambiente. De ahí la importancia de un diseño adecuado de las instalaciones para permitir la reutilización

del agua. Estas lagunas y humedales con macrófitas generalmente requieren un tiempo de retención hidráulica de entre 5 y 8 días. Por lo tanto, supongamos que un estanque de 1 hectárea se vacía cada 15 días, considerando que, por cada 2 hectáreas de estanque de producción, se necesita 1 hectárea de volumen equivalente de laguna de purificación o humedal. Así, en este ejemplo, el sistema de tratamiento de aguas residuales requeriría una superficie de al menos el 50 % de la superficie total de producción, lo que puede resultar inviable tanto en términos de disponibilidad de espacio como de inversión.

La gestión de sedimentos depositados (canales de drenaje, estanques de sedimentación y purificación, y humedales) requiere la remoción constante de los sedimentos depositados. La vegetación presente en estos espacios también necesita ser removida o pastoreada continuamente. Estas plantas pueden servir de alimento para el ganado y otros rumiantes. Los sólidos depositados, así como la materia vegetal removida, pueden incorporarse a cultivos agrícolas y pastos.

## Consideraciones finales

La calidad de los sedimentos afecta directamente el rendimiento y la salud de los peces y camarones. Los fundamentos

y las mejores prácticas de manejo que se analizan aquí son clave para mantener una buena calidad en la interfase suelo-agua y reducir la acumulación de sedimentos, lo que contribuye a disminuir los costos operativos de la gestión de sedimentos y efluentes en las operaciones de acuicultura. Es necesario evaluar mejor la eficacia de la infraestructura de estanques de sedimentación que actualmente exigen las agencias ambientales, en comparación con otras estrategias para mitigar la descarga de efluentes. Las propiedades que adopten infraestructuras y estrategias para la conservación y reutilización del agua, con el fin de minimizar la descarga de efluentes, podrían obtener la autorización para operar sin necesidad de construir estanques de sedimentación ni humedales. Existe un gran volumen de estudios sobre las mejores prácticas y la gestión de efluentes en las operaciones de acuicultura que pueden respaldar una revisión de los requisitos actuales para la contención y el tratamiento del agua y los efluentes de dichas operaciones.

Puede acceder al artículo original en la revista **Panorama da AQUICULTURA**, 2025, Vol. 33, edición 202, Pág.: 14-23 o a través del siguiente enlace:

<https://panoramadaaquicultura.com.br/manejo-do-solo-do-fundo-dos-viveiros-e-acudes-e-de-efluentes/>



**Figura 2.** Tanques con vegetación y humedales utilizados en el tratamiento de aguas residuales.

# AMÉRICA LATINA: EL PRÓXIMO EPICENTRO MUNDIAL PARA LA PRODUCCIÓN Y EXPORTACIÓN SOSTENIBLE DE FILETES DE TILAPIA

Rodrigo Misa

Asesor de Comunicación y Relacionamiento Institucional en INFOPECA

Correo: rodrigo.misa@infopesca.org



Juveniles de tilapia. Crédito: GenoMar Genetics, Brasil.

América Latina está emergiendo como un centro líder para la producción y exportación sostenible de filetes de tilapia, impulsado por una combinación de ventajas naturales, innovación tecnológica y una fuerte adopción de certificaciones. Brasil es uno

de los mayores productores mundiales de tilapia, mientras que Colombia se ha forjado una reputación por sus filetes frescos premium y totalmente rastreables, destinados principalmente a Estados Unidos. Otros, como México y Honduras, contribuyen a

una base regional diversificada respaldada por una genética mejorada, sistemas de producción modernos y una creciente profesionalización. En cuanto a producción, comercio, sostenibilidad y posicionamiento en el mercado, América Latina no solo se está integrando, sino que está reconfigurando la industria global de la tilapia.

Durante décadas, la industria global de la tilapia ha estado marcada principalmente por productores asiáticos, cuya escala, integración de mercado y larga experiencia los han consolidado como los principales proveedores de productos frescos y congelados de tilapia a nivel mundial. Sin embargo, en los últimos años se ha producido un cambio estructural profundo: no impulsado por choques externos repentinos, sino por la maduración constante y consistente de una región que antes desempeñaba solo un papel modesto en la industria. América Latina y el Caribe están emergiendo no sólo como proveedores relevantes de filetes frescos para Estados Unidos, sino cada vez más como una región capaz de posicionarse como el próximo epicentro global para la producción y exportación sostenible de filetes de tilapia.

Esta transformación no es accidental ni puramente impulsada por el mercado. En cambio, refleja una alineación a largo plazo de ventajas medioambientales, inversión en sistemas de producción modernos, profesionalización de las cadenas de suministro y un enfoque estratégico en las certificaciones de sostenibilidad. Estos elementos, combinados con una logística favorable para el mercado norteamericano y un creciente interés de los importadores por filetes frescos fiables y de alta calidad, han colocado a países como Brasil, Colombia y México a la vanguardia de un cambio regional que ahora es imposible de pasar por alto.

Este artículo examina cómo y por qué la región ha llegado a este punto, basándose en las últimas tendencias de producción y comercio, desarrollos regulatorios y señales de mercado procedentes de Estados Unidos. También explora las oportunidades y desafíos que se avecinan a medida que América Latina consolida su papel como un centro líder para los filetes de tilapia producidos de forma sostenible.

## Una región que está transformando silenciosamente el paisaje global de la tilapia

El pilar central de la creciente influencia de América Latina en el mercado de la tilapia es su capacidad de producción, tanto en volumen como en consistencia. Entre los países productores, Brasil destaca por su enorme escala y dinamismo. Con más de 600.000 toneladas de producción anual de tilapia (662.230 toneladas en 2024), el país se ha consolidado como el mayor productor de la región y uno de los más importantes a nivel mundial (cuarto lugar). Gran parte de este crecimiento se basa en áreas de producción acuícola de agua dulce bien desarrolladas, reforzadas por redes cooperativas, introducción de una genética mejorada y un número creciente de granjas que adoptan las mejores prácticas acuícolas.

Colombia, aunque menor en tonelaje absoluto, ha alcanzado un nivel de especialización que la posiciona de forma diferente dentro de la cadena de suministro global. Según las estadísticas nacionales de exportación de la Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca (AUNAP), Colombia exportó 17.000 toneladas de tilapia durante la primera mitad de 2025. Aunque no se disponen de datos comparables del primer



La selección genética de reproductores de tilapia tiene como objetivo mejorar rasgos como el crecimiento, la supervivencia y la resistencia a enfermedades a nivel de producción comercial. Crédito: GenoMar.

semestre de 2024, las cifras anuales de Global Trade Tracker (GTT) indican que Colombia exportó 13.841 toneladas en 2024, lo que representa una disminución del 10 % con respecto al año anterior. La mayor parte de este volumen consiste en filetes frescos de alta calidad destinados al mercado estadounidense. La ventaja competitiva del país radica en la presencia de empresas integradas verticalmente, altos estándares sanitarios y una combinación de temperaturas favorables del agua y ciclos de producción durante todo el año que permiten un suministro constante.

Otros países de la región, especialmente México, Honduras y Costa Rica, contribuyen a una base productiva creciente y diversificada, aunque sus cuotas de exportación siguen siendo más modestas. Lo que distingue a América Latina en su conjunto no es solo el volumen que se produce, sino también

las aceleradas mejoras en productividad y rendimiento. La inversión en genética y mejora genética ha desempeñado un papel clave. Un ejemplo notable es la línea de tilapia editada genéticamente desarrollada gracias a la colaboración entre productores brasileños y el Centro de Tecnologías Acuícolas. Las primeras evaluaciones indican mejores tasas de crecimiento, mayor eficiencia con el alimento y mayores rendimientos de filete. Estos desarrollos podrían tener consecuencias a largo plazo para las estructuras de costos y el desempeño medioambiental si los marcos regulatorios evolucionan en consecuencia.

Esta intersección de condiciones naturales, innovación tecnológica y gestión profesional está redefiniendo gradualmente la identidad de la región, pasando de ser un actor prometedor, pero periférico, a convertirse en un pilar consolidado de la industria global.

## Un aumento de las exportaciones: filetes frescos y la conexión con Estados Unidos

Aunque el crecimiento de la producción en América Latina es esencial, el auge de la región como centro exportador es aún más notable. Los filetes frescos de tilapia se han convertido en el principal rasgo distintivo de la presencia global regional, especialmente en el mercado estadounidense. Durante la primera mitad de 2025, Estados Unidos importó 9.600 toneladas de filetes frescos de tilapia, según datos del GTT proporcionados por la FAO GLOBEFISH. De este volumen, solo Brasil suministró 3.380 toneladas, posicionándose como una de las principales fuentes de filetes frescos (alrededor de un tercio).

Esto supone un desarrollo significativo, especialmente teniendo en cuenta que Estados Unidos, el segundo mayor importador mundial de pescado y productos acuáticos tras la Unión Europea, desempeña un papel clave en la configuración de los patrones de demanda global de tilapia. Los filetes frescos siguen siendo un segmento de nicho en comparación con el pescado entero congelado y los filetes congelados, pero alcanzan precios más altos y están estrechamente asociados con la fiabilidad del suministro, la trazabilidad y la sostenibilidad, características por las que la región es cada vez más conocida.

El perfil exportador de Colombia complementa el crecimiento de Brasil. Mientras Brasil está creciendo rápidamente, Colombia ha consolidado su reputación por los filetes de calidad premium con atributos sensoriales consistentes, una fuerte adopción de certificaciones y un excelente cumplimiento de los requisitos regulatorios

estadounidenses. La presencia de empresas integradas con control sobre todas las etapas de producción, incluyendo la cría, el crecimiento, el procesamiento y la logística, ha permitido un estricto control de la calidad del producto y la integridad de la cadena de frío. En la primera mitad de 2025, Colombia envió 3.840 toneladas de filetes frescos de tilapia a Estados Unidos, un volumen que, al igual que Brasil, también representa cerca de un tercio del total de importaciones estadounidenses. Sin embargo, la cuota de Colombia ha ido disminuyendo gradualmente a medida que Brasil sigue ganando terreno en este segmento.

Más allá de Brasil y Colombia, México y Honduras mantienen un comercio estable de filetes frescos y productos procesados de tilapia, contribuyendo a una oferta regional diversificada. En conjunto, estos países están redefiniendo las expectativas sobre lo que América Latina puede ofrecer a los compradores globales.

En el caso de México, la dinámica difiere del modelo orientado a la exportación que se observa en otras partes de la región. Aunque la cría nacional de tilapia ha crecido de forma constante, la producción sigue por debajo de la demanda nacional y el país sigue dependiendo en gran medida de la oferta importada para satisfacer sus necesidades de consumo. Esta brecha ha llevado a las autoridades a presentar la tilapia como una especie estratégica para la seguridad alimentaria y el desarrollo rural, con esfuerzos ahora dirigidos a fortalecer la capacidad técnica, promover la innovación y mejorar la eficiencia productiva. Los programas públicos dirigidos a pequeños productores, coordinados por instituciones nacionales de investigación y acuicultura, han comenzado a modernizar el sector y reforzar su resiliencia a largo plazo. En conjunto, estas iniciativas reflejan la intención de México de reducir su dependencia de las importaciones mientras



**Brasil, Colombia, México y Honduras son los principales exportadores latinoamericanos de filetes frescos de tilapia de alta calidad hacia mercados diversificados. Crédito: FAO.**

moderniza el sector y posiciona a la tilapia de forma más destacada dentro de los sistemas alimentarios nacionales.

En Honduras, la situación ha cambiado de forma más drástica. El país desempeñó un papel clave en la exportación de filetes frescos de tilapia durante muchos años, apoyado en gran parte por las operaciones de cría en jaulas en el lago Yojoa. Sin embargo, una serie de desarrollos regulatorios y medioambientales alteraron significativamente el sector. La administración suspendió las licencias medioambientales para la acuicultura industrial en Yojoa por motivos técnicos y científicos, deteniendo el inicio de nuevos ciclos de producción y provocando un cierre progresivo de las granjas. Esta medida, combinada con la eliminación de permisos de explotación en reservas naturales, el aumento de los costos de producción y la mortalidad de peces reportada vinculada a la variabilidad climática, provocó un marcado descenso en la producción. Las autoridades confirmaron posteriormente que Yojoa permanecerá cerrada al cultivo de tilapia y que los centros

de producción serán reubicados, en medio de preocupaciones sobre el empleo y la reestructuración a largo plazo del sector.

Ecuador también fue un proveedor importante a principios de los años 2000, cuando la cría de tilapia se expandió rápidamente a medida que los productores se diversificaban en respuesta a brotes de enfermedades del camarón, especialmente el síndrome de la mancha blanca. Durante ese periodo, el país aumentó sus exportaciones de filetes frescos a Estados Unidos, posicionando la tilapia como un producto complementario de la acuicultura junto con el camarón. Sin embargo, este impulso se fue ralentizando gradualmente a medida que los competidores regionales consolidaron su presencia en el mercado estadounidense y los productores asiáticos reforzaron su papel en el comercio de tilapia congelada. Aunque Ecuador mantiene una industria estable de tilapia orientada a Estados Unidos, su escala actual de exportación es significativamente menor que la de Brasil, Colombia, México u Honduras, y el sector juega un papel secundario en comparación con el camarón.

## Efectos dominó de nuevas regulaciones de mercado

Un factor clave que influye en el comercio global de tilapia, y que afecta directamente a América Latina, es el cambiante panorama regulatorio, especialmente en Estados Unidos. Las consideraciones medioambientales y de derechos humanos están cada vez más integradas en las políticas de importación, influyendo en las decisiones de compra de minoristas, distribuidores y empresas de servicios de alimentos.

Los recientes ajustes arancelarios, aunque aplicados de forma amplia en todos los sectores, han introducido costos más altos para ciertos proveedores asiáticos. Aunque la intención de estas medidas no está específicamente ligada a la tilapia, el efecto indirecto ha sido una reevaluación de las estrategias de aprovisionamiento por parte de los compradores estadounidenses. Para América Latina, esto crea una oportunidad inmediata: la proximidad geográfica reduce los tiempos y costos de transporte, permitiendo productos más frescos y menores emisiones por unidad de producto entregado.

Además, las agencias reguladoras estadounidenses han intensificado el escrutinio de la trazabilidad y las condiciones laborales, áreas en las que muchos productores latinoamericanos ya han realizado inversiones significativas en los últimos años. Colombia, Brasil y varios productores centroamericanos han logrado una fuerte penetración en esquemas de certificación como el Aquaculture Stewardship Council (ASC) y Best Aquaculture Practices (BAP), proporcionando una ventaja competitiva en un mercado donde los compradores corporativos dependen

cada vez más de métricas de sostenibilidad verificadas de forma independiente.

El resultado es un entorno comercial cambiante que favorece a proveedores capaces de demostrar altos estándares de gestión ambiental, seguridad alimentaria y responsabilidad social. En este sentido, la consolidación regional de América Latina en torno a la certificación y las prácticas acuícolas responsables le ha permitido posicionarse estratégicamente en un momento en que los compradores globales buscan socios fiables, con alto cumplimiento normativo y foco en sostenibilidad.

## Por qué la sostenibilidad se está convirtiendo en el distintivo de la región

Uno de los principales rasgos distintivos del surgimiento de América Latina como centro de tilapia es su fuerte alineación con la sostenibilidad. Lejos de ser un complemento opcional, la sostenibilidad se ha convertido en un pilar estructural de la identidad competitiva de la región.

El desempeño medioambiental se basa en parte en condiciones naturales. Muchas de las principales regiones productoras de la región se benefician de una calidad del agua favorable, temperaturas estables y condiciones hidrológicas propicias para una acuicultura responsable. Estas ventajas naturales se traducen en menores costos energéticos, menor incidencia de enfermedades y ciclos de crecimiento más predecibles.

Sin embargo, el desempeño de sostenibilidad en la región va mucho más allá de las circunstancias medioambientales. Productores de toda América Latina han

invertido fuertemente en:

- Sistemas de recirculación y semi-intensivos, diseñados para optimizar la conversión de alimento y el uso de agua.
- Mejoras en genética y programas de mejora genética, centrados en la robustez y el rendimiento.
- Gestión de efluentes y tecnologías de monitoreo ambiental.
- Profesionalización de la producción mediante formación técnica y desarrollo de capacidades.
- La certificación como piedra angular del posicionamiento en el mercado.

Hoy en día, las certificaciones ASC y BAP son ampliamente adoptadas en las principales empresas productoras de Brasil y Colombia. Esta adopción ha reforzado la transparencia y trazabilidad de las cadenas de suministro, al tiempo que proporciona una garantía directa a los compradores de que se están cumpliendo los estándares medioambientales y sociales.

Paralelamente, muchas empresas están incorporando herramientas digitales para la gestión acuícola, integrando biometría mejorada, sistemas de alimentación, monitorización de la calidad del agua y plataformas de trazabilidad. Estas herramientas permiten un uso más eficiente de los recursos y mejoran tanto la productividad como los resultados medioambientales.

El efecto combinado de estos factores es una oferta regional de productos que cada vez es más identificada por compradores globales como competitiva en calidad y referente en sostenibilidad.

## Oportunidades de mercado y el camino a seguir

La creciente presencia de América Latina en el segmento de filetes frescos de tilapia abre una serie de oportunidades estratégicas, pero también desafíos que deben abordarse para consolidar el liderazgo regional a largo plazo.

### 1. Expansión más allá del mercado estadounidense

Hoy en día, Estados Unidos absorbe la gran mayoría de las exportaciones de tilapia en América Latina y el Caribe, un patrón consistente con los datos de FishstatJ (FAO) que muestran una cuota del 98 por ciento en 2023. Aunque esto es ventajoso en términos logísticos y de preferencia del consumidor por los filetes frescos, también crea dependencia de un mercado único. La diversificación hacia mercados en Europa, Canadá y Oriente Medio, donde la demanda de productos certificados de forma sostenible está aumentando, representa una vía prometedora para el futuro.

### 2. Abordar las limitaciones logísticas y de costos

La región sigue enfrentando desafíos en los costos de transporte, especialmente en el transporte aéreo para los filetes frescos. Estos costos pueden reducir la competitividad durante periodos de volatilidad de precios. La inversión continua en optimización de la cadena de frío, rutas logísticas alternativas y una posible expansión hacia productos de valor agregado puede ayudar a mitigar estas limitaciones.

### 3. Mantener la competitividad bajo normas comerciales en evolución

Aunque los aranceles recientes han beneficiado indirectamente a los proveedores latinoamericanos, futuros ajustes regulatorios, ya sea en Estados Unidos, Asia o Europa, podrían redefinir la dinámica competitiva. Mantener un sólido cumplimiento normativo, documentación y trazabilidad será esencial.

#### **4. Equilibrar el crecimiento con la gestión ambiental**

Las ventajas naturales de la región no pueden darse por sentadas. A medida que la producción crece, la eficiencia en el uso del agua, la prevención de enfermedades, la sostenibilidad del alimento y las consideraciones sobre el uso del suelo serán cada vez más relevantes. Garantizar que el crecimiento vaya acompañado de una estricta supervisión medioambiental es clave para mantener la reputación del mercado.

#### **5. Fortalecimiento de la cooperación regional y el intercambio de conocimientos**

Muchas de las fortalezas que han impulsado a América Latina son el resultado de esfuerzos coordinados entre productores, instituciones de investigación, gobiernos y organismos certificadores. Profundizar estas redes será crucial para mantener el impulso y abordar los desafíos transfronterizos.

## **Conclusión: una región lista para alcanzar la prominencia global**

La aparición de América Latina y el Caribe como nuevo epicentro para la producción sostenible de filetes de tilapia no es una proyección especulativa; ya es visible en los datos, en la dinámica del mercado y en las decisiones estratégicas tanto de productores como de compradores. El considerable crecimiento de la producción

y las exportaciones de Brasil y Colombia, combinado con altos niveles de certificación, avances tecnológicos y condiciones favorables para la producción durante todo el año, han posicionado a la región en una trayectoria de creciente relevancia global.

De cara al futuro, el reto no es simplemente mantener el crecimiento, sino consolidar un modelo en el que la sostenibilidad, la calidad y la resiliencia formen la base de la competitividad a largo plazo. La industria global de la tilapia está evolucionando, impulsada por nuevas expectativas de los consumidores, la presión regulatoria y la demanda de trazabilidad y responsabilidad medioambiental. En este contexto, América Latina está excepcionalmente bien posicionada para desempeñar un papel cada vez más destacado en la industria global.

El artículo original está disponible en INFOFISH International (No. 1/2026, enero-febrero: 22-25) y en: <https://v4.infofish.org/index.php/publications/magazine-issues> El mismo fue traducido por el cuerpo editorial de la Sociedad Venezolana de Acuicultura con permiso del autor.



# TENDENCIAS ACTUALES, DESAFÍOS E INNOVACIONES GENÉTICAS EN LA INDUSTRIA DE REPRODUCTORES DE CAMARÓN SPF

Cuerpo editorial de “El Acuicultor”

## INTRODUCCIÓN

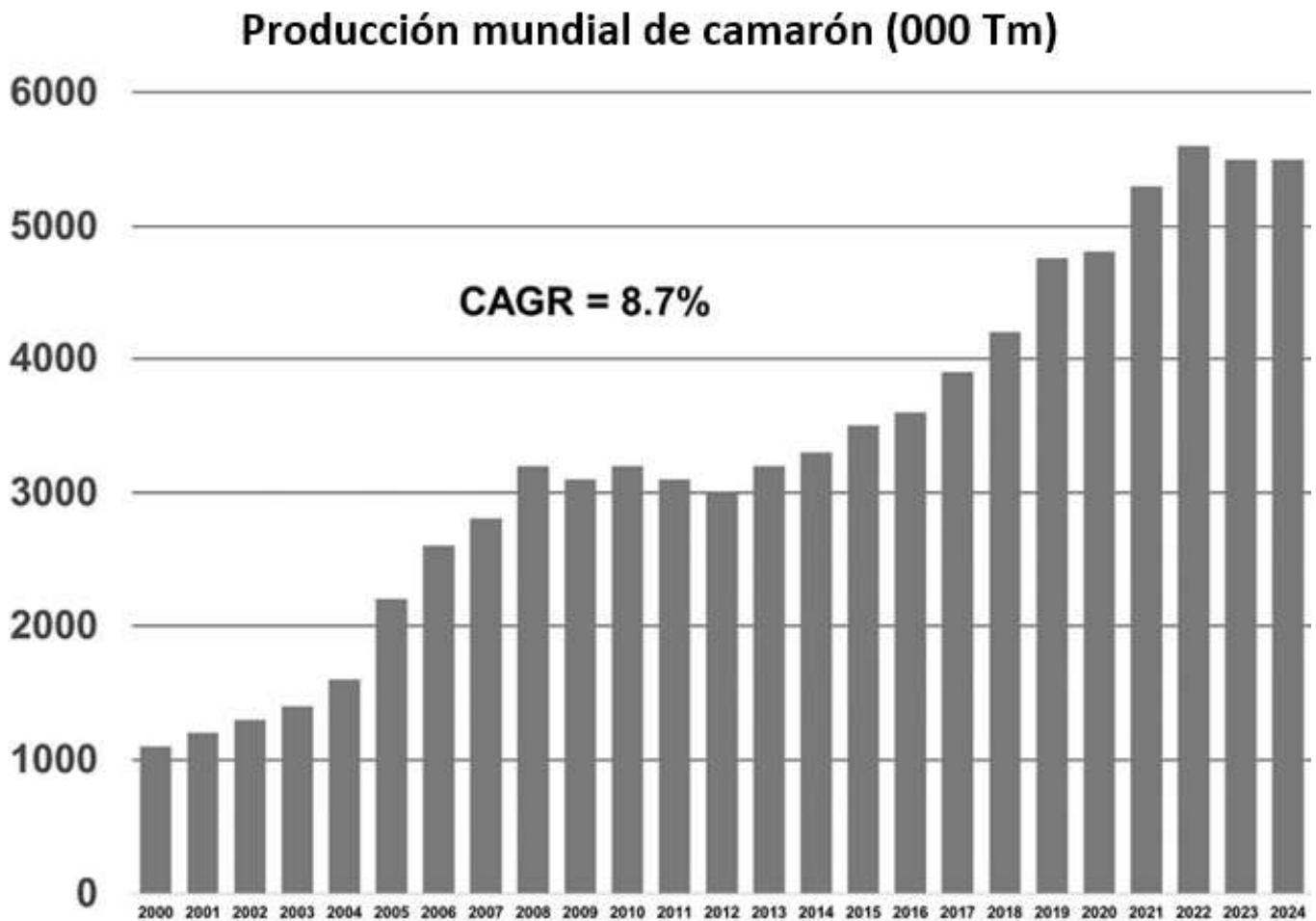
La camaronicultura aumentó de 800.000 a más de 5,2 millones de toneladas métricas entre 1998 y 2022 tras la introducción y adopción generalizada de *Penaeus vannamei* libre de patógenos específicos (SPF) en Asia (**Figura 1**). El cultivo de camarones *P. vannamei* SPF ha sido mucho más productivo y rentable, con menos enfermedades, que el modelo de cultivo asiático tradicional que utiliza *P. monodon* de tipo silvestre.

Los reproductores SPF consisten en poblaciones de camarones multigeneracionales criados en instalaciones bioseguras y certificados libres de patógenos específicos según protocolos particulares de detección de patógenos. Una piedra angular de la industria del cultivo de camarón, la demanda de camarón SPF, se puede atribuir a la necesidad de un stock resistente, de alta calidad y libre de enfermedades que evite brotes de afecciones importantes, como el síndrome de mortalidad temprana (EMS) y la enfermedad de la mancha blanca (WSD), que

históricamente han devastado las granjas de camarón a nivel mundial.

*Penaeus vannamei* representa más del 85 % de la producción mundial gracias a su adaptabilidad, rápido crecimiento y disponibilidad de reproductores SPF. La región de Asia-Pacífico sigue siendo la mayor región productora del mundo, representando más del 75 % de la producción mundial, mientras que Ecuador se ha consolidado como el principal país exportador a nivel mundial.

Los esfuerzos de cría de camarones SPF se han centrado en aumentar la tasa de crecimiento, la resistencia a las enfermedades y el rendimiento reproductivo. Los estudios han demostrado que los programas de cría selectiva que incorporan principios SPF han reducido significativamente la susceptibilidad al virus del síndrome de la mancha blanca (WSSV) y al síndrome de mortalidad temprana (EMS). Los avances emergentes en la selección genómica y la crianza asistida por marcadores optimizarán aún más los rasgos de crecimiento y los genes de respuesta inmune, además que



**Figura 1.** Producción mundial de cultivo de camarón. CAGR = tasa de crecimiento anual acumulada.

contribuirán a la sostenibilidad a largo plazo del camarón SPF. Sin embargo, aún persisten desafíos para equilibrar la diversidad genética con la eficiencia de la producción, lo que requiere una innovación continua en la selección de reproductores de camarón y la gestión de la bioseguridad.

Esta revisión busca evaluar el estado de la industria de reproductores de camarón SPF, examinar los desafíos que enfrenta y explorar sus oportunidades de crecimiento futuro. También ofrece una perspectiva sobre el futuro de la industria, con especial atención a las innovaciones tecnológicas genéticas, la dinámica económica y las consideraciones ambientales.

## HISTORIA DE LA INDUSTRIA DE REPRODUCTORES DE CAMARÓN SPF

### Primeros desarrollos e hitos

El desarrollo de la tecnología del camarón SPF comenzó en Hawái a principios de la década de 1990. Un consorcio de investigación financiado por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) se encargó de superar las limitaciones de la cría de camarón en Estados Unidos. Estudios de la industria revelaron que las enfermedades del camarón estaban haciendo que la

cría comercial de éstos no fuera rentable. Investigaciones posteriores revelaron que la mayoría de las enfermedades provenían de postlarvas (PL) contaminadas.

Los investigadores del programa se propusieron desarrollar camarones libres de enfermedades como una posible solución a estos problemas. Los primeros camarones SPF nacieron en Kona, Hawái, en la primavera de 1991. Se distribuyeron PL SPF a Texas, Carolina del Sur y Hawái para realizar pruebas de rendimiento en sistemas comerciales. En todos los casos, los camarones SPF superaron a otras poblaciones, demostrando un crecimiento, sobrevivencia, distribución de tallas y tasa de conversión alimenticia (TCA) superiores a los de las poblaciones tradicionales. En 1992, los reproductores SPF producidos en Kona se suministraron a criaderos comerciales de camarones de EE. UU. y toda la industria estadounidense se sembró con PL SPF. El resultado de esta adopción en toda la industria fue, una vez más, notable, ya que la producción de camarón de cultivo se duplicó en comparación con años anteriores. Para impulsar la industria del camarón SPF, los esfuerzos se centraron en el desarrollo de mejores protocolos de bioseguridad, tecnología de diagnóstico molecular y rigurosos procedimientos de prueba para certificar y propagar poblaciones libres de patógenos.

Tras la exitosa demostración del camarón SPF en toda la industria, se fundó High Health Aquaculture (HHA), la primera empresa de cría de camarones SPF, para comercializar globalmente la tecnología SPF. HHA introdujo el camarón SPF en Taiwán en 1998 y obtuvo resultados tan impresionantes como los de Estados Unidos. A partir de entonces, la adopción del camarón SPF fue ganando reconocimiento en todos los países de la enorme industria camaronera asiática, lo que resultó en una reducción significativa de los episodios de enfermedades y un aumento de

la producción total. A medida que *P. vannamei* SPF se expandió por Asia, esta tecnología transformó la industria camaronera, multiplicando por seis la producción mundial y mejorando la sostenibilidad del cultivo (**Figura 1**).

Hawái se convirtió en el principal centro mundial de producción de reproductores de camarón SPF, suministrando millones de reproductores libres de enfermedades a granjas camaroneras de Asia y Oriente Medio. Para la década de 2010, Hawái exportaba reproductores SPF a más de 26 países, consolidándose como líder en la industria mundial de la acuicultura camaronera y ganándose el título de "capital mundial de la cría de camarones".

## Actores y regiones clave

A medida que la tecnología SPF ganó impulso internacionalmente, nuevas empresas se incorporaron al sector, lo que resultó en el establecimiento de múltiples empresas de cría de reproductores SPF. Hoy en día, la industria es global, con operaciones clave en EE. UU. (Hawái, Florida y Texas). Los principales proveedores, CP Group y SyAqua, tienen su sede en Tailandia, mientras que la francesa Blue Genetics tiene su sede en México (**Tabla 1**).

Los datos presentados en esta revisión se recopilaron de diversas fuentes, incluyendo informes públicos de la industria, entrevistas directas con productores de camarón SPF y literatura científica revisada por pares. Las estadísticas oficiales de producción se obtuvieron de agencias gubernamentales de acuicultura (p. ej., la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA)) e informes de la industria privada de importantes empresas de cría de camarón.

**Tabla 1.** Principales empresas de reproductores libres de patógenos específicos (SPF) clasificadas según las exportaciones totales de reproductores de 2024. <sup>1</sup>Data de Shrimp Insight. Datos expresados en millares.

Compañía	Centro de Reproducción (NBC)	Centro de Producción de reproductores (BMC)	Especies	Reproductores exportados (2024) <sup>1</sup>
Shrimp Improvement Systems (SIS)	Florida	Hawái	<i>P. vannamei</i>	300
Kona Bay/Hendrix Genetics	Hawái	Indonesia, India Tailandia, Ecuador	<i>P. vannamei</i>	250
CP Group	Tailandia	Tailandia, Florida	<i>P. vannamei</i> , <i>P. monodon</i>	150 30
SyAqua	Tailandia	Florida	<i>P. vannamei</i>	140
Blue Genetics/SPD	México	Texas, India	<i>P. vannamei</i>	140
American Penaeid Inc (API)	Florida		<i>P. vannamei</i>	120
Moana Technologies	Hawái	Vietnam, India	<i>P. monodon</i>	90
Unima	Madagascar	India	<i>P. monodon</i>	15

## Fusiones y adquisiciones

El mercado de reproductores de camarón SPF es dinámico y está fuertemente influenciado por factores que impactan la industria camaronera en general, como brotes de enfermedades, restricciones de acceso al mercado y precios de mercado del camarón de cultivo. La consolidación de la industria se ha debido a la dinámica del mercado, incluyendo el exceso de oferta, que ha provocado una reducción de los precios. A medida que la producción se expandió rápidamente en los últimos años, el mercado mundial del camarón se ha enfrentado a presiones de precios, lo que ha generado tensiones financieras para muchos actores de la industria. Esto ha dado lugar a fusiones, adquisiciones y reajustes estratégicos, a medida que las empresas buscan mantenerse competitivas y sostenibles. Se espera que la consolidación impulse la eficiencia, fomente la innovación y alinee la oferta con la evolución de las demandas del mercado, posicionando a la industria para una estabilidad a largo plazo.

Si bien la consolidación de la industria ha mejorado la estandarización genética

y la resistencia a las enfermedades, también ha suscitado inquietudes sobre la monopolización del mercado, la reducción de la diversidad genética y las barreras de entrada para los criaderos más pequeños. Comprender estos cambios estructurales es esencial para evaluar la trayectoria futura de los programas de cría de camarones SPF.

## ESTADO ACTUAL DE LA INDUSTRIA DE REPRODUCTORES DE CAMARÓN SPF

### Panorama del mercado global

El mercado global de reproductores de camarón SPF ha experimentado un crecimiento constante, impulsado por la creciente demanda de camarón de alta calidad por parte de los consumidores y la necesidad de reducir el riesgo de enfermedades en el cultivo. Los mercados más grandes para reproductores SPF se encuentran en Asia, particularmente en China, Indonesia, Vietnam e India, donde se encuentran las industrias de producción de camarón más grandes del

mundo. Si bien algunos reproductores SPF se venden en Latinoamérica, el mercado allí sigue siendo relativamente pequeño. Ecuador, el mayor productor de camarón de América, no importa reproductores SPF. En su lugar, Ecuador sigue una estrategia de reproducción alternativa conocida como "Exposición a Todos los Patógenos" (APE), que se basa en un enfoque de selección masiva utilizando animales criados en estanques y expuestos a patógenos. Recientemente, se han incorporado técnicas moleculares al programa de reproducción de Ecuador para ayudar a reducir la endogamia. Este enfoque ha demostrado ser muy exitoso en Ecuador, pero no se analizará aquí.

La importancia económica de la industria del camarón SPF es evidente en su papel en la estabilización de las cadenas de suministro de camarón y la mejora de la productividad de las granjas. Shrimp Insights, una organización europea de análisis de camarones, ha publicado varios informes sobre el mercado de reproductores de camarón SPF, incluyendo estadísticas sobre las importaciones de reproductores por país y un análisis de los principales proveedores. El informe más reciente de Shrimp Insights describió la industria en 2024.

China sigue siendo la industria camaronera más grande del mundo y el mayor mercado de reproductores SPF, con una demanda anual estimada de 1,5 millones de reproductores. Aproximadamente la mitad de esta demanda se cubre con reproductores de segunda generación de producción nacional, aunque persisten las preocupaciones sobre la endogamia y la calidad genética en estos programas. La mitad restante se abastece con reproductores de primera generación, tanto de producción local como importados. CP Group, Blue Genetics, SyAqua y American Penaeid Inc. (API) dominan el mercado chino de reproductores importados, con una cuota de mercado combinada del 80 %.

India ha experimentado una disminución en las importaciones de reproductores SPF en los últimos años. Shrimp Improvement Systems (SIS) sigue siendo el principal proveedor de India, pero ha perdido cuota de mercado frente a Kona Bay-Hendrix Genetics, SyAqua y Blue Genetics en los últimos dos años. Los centros de producción de reproductores (BMC, por sus siglas en inglés) han crecido en India. Tanto Hendrix Genetics como Blue Genetics han establecido BMC en India. El concepto de BMC se analiza con más detalle en la sección sobre tecnologías emergentes que aparece a continuación.

En 2022, Vietnam importó aproximadamente 171.000 reproductores de *P. vannamei*, una cifra inferior a los 200.000 de 2021. Dos empresas dominan el suministro de reproductores a Vietnam: SIS, con una cuota de mercado del 60 %, y CP Group, con una del 30 %. SIS abastece al mercado abierto, mientras que CP Group suministra exclusivamente reproductores a sus criaderos integrados verticalmente. Además, Viet-Uc, con sede en Vietnam, produjo unos 60.000 reproductores de *P. vannamei* para sus propios criaderos en el país. Moana Technologies opera un importante centro de gestión de cría (BMC) para producir reproductores de *P. monodon* SPF en Vietnam.

El mercado indonesio de reproductores SPF fue de aproximadamente 140.000 en 2022. BMC de Kona Bay en Indonesia ha aumentado su participación de mercado a alrededor del 67 %, lo que demuestra ser una inversión exitosa para la empresa.

## **Problemas con la piratería genética**

Una preocupación importante en la industria es la piratería de la genética del camarón. Algunas empresas locales obtienen PL SPF de criaderos certificados, los crían como reproductores y luego los venden como reproductores SPF certificados. Estas

empresas evitan los altos costos asociados con el desarrollo y operación de centros de reproducción y a menudo carecen de medidas de bioseguridad adecuadas. Esta práctica socava la estabilidad de la industria camaronera, poniendo en riesgo tanto a los acuicultores como al mercado en general.

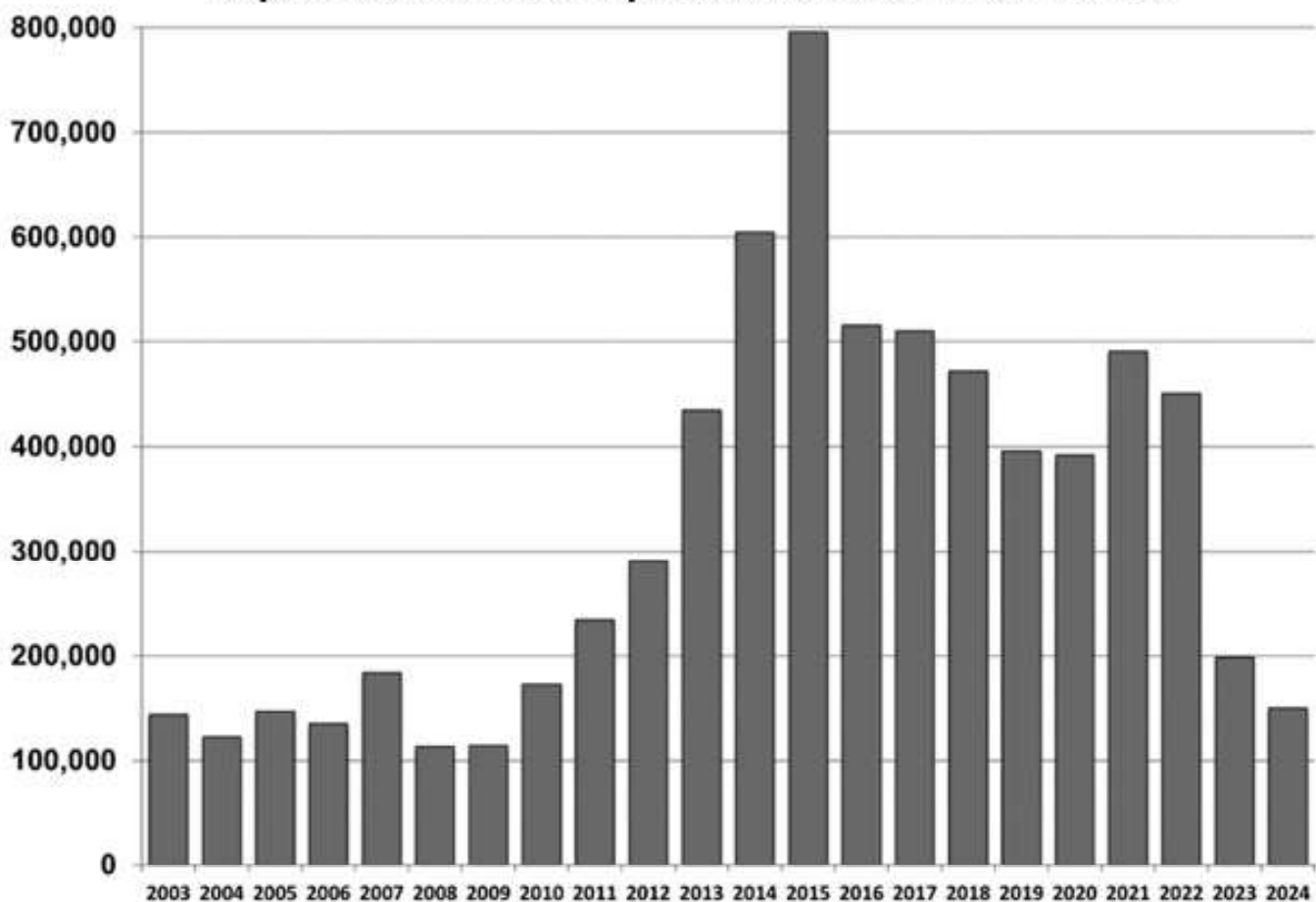
## El papel actual de Hawái en la industria de reproductores de camarón SPF

Hawái es un proveedor clave de reproductores de camarón de rápido crecimiento, resistentes a enfermedades y resilientes al medio ambiente. Las empresas hawaianas han exportado más de 7 millones de reproductores SPF, con un valor de más de 400 millones de dólares, desde 1999 (Figura

2). En 2022, el 38 % del suministro mundial de reproductores SPF provino de Hawái. Las empresas hawaianas Kona Bay (Hendrix Genetics), SIS y Moana Technologies operan instalaciones de cría en Hawái que exportan reproductores SPF de alta calidad y PPL (postlarvas progenitoras para su cultivo). La ubicación biosegura de Hawái, el programa de certificación sanitaria estatal, la ausencia de una industria camaronera que albergue enfermedades, el agua de mar prístina y los entornos de cría controlados lo convierten en un sitio ideal para el desarrollo de camarones SPF con características deseables para los mercados acuícolas globales.

El informe muestra las exportaciones de reproductores SPF de Hawái de 2003 a 2024. Las disminuciones significativas en

### Exportaciones de reproductores SPF de Hawái



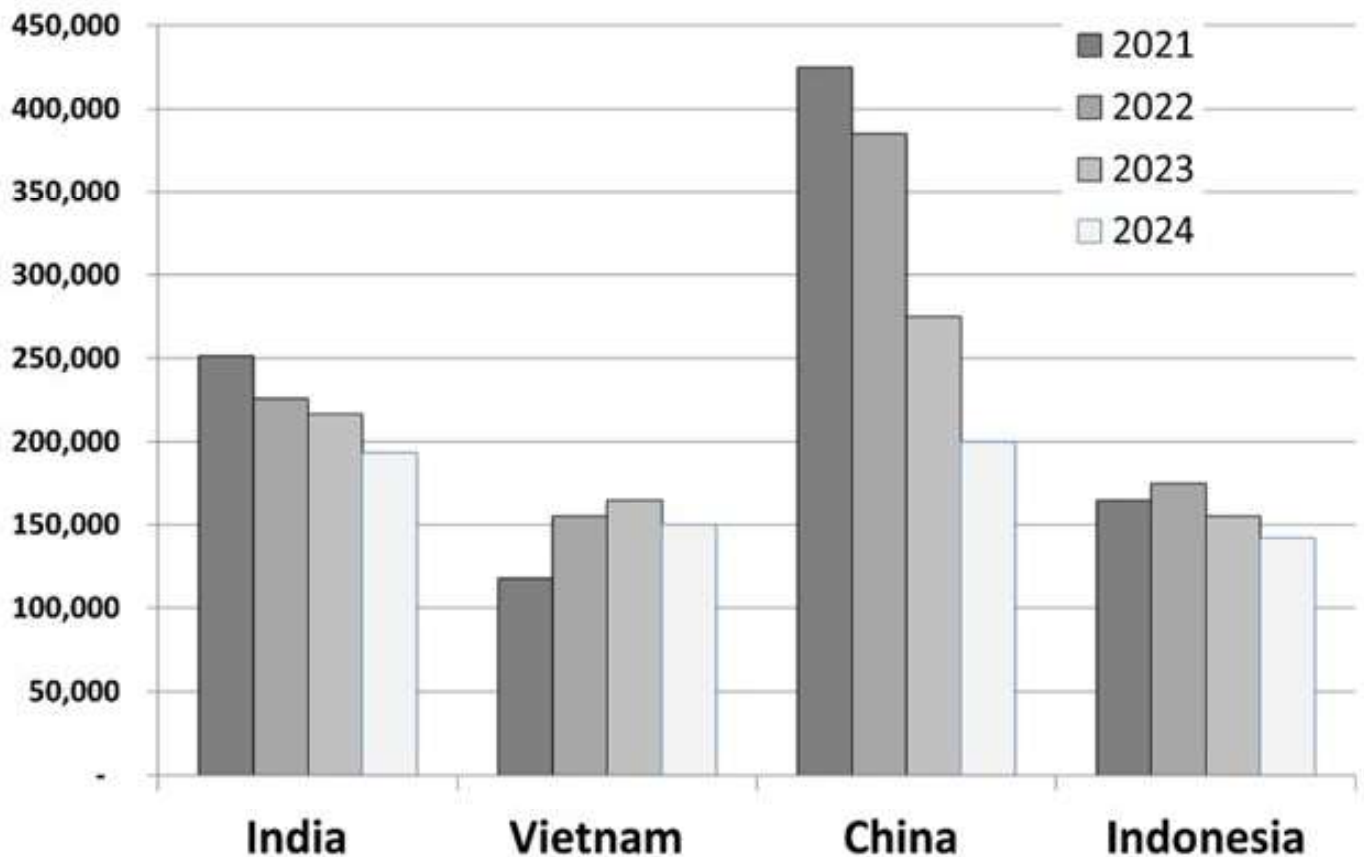
**Figura 2.** Exportaciones anuales de reproductores SPF de Hawái (datos del estado de Hawái).

2023 y 2024 probablemente se debieron a una mayor competencia de otras regiones (incluidas las BMC) y a los bajos precios del mercado del camarón en la industria.

Hawái representa más del 50 % del suministro de reproductores de camarón SPF de Vietnam e India, lo que lo convierte en su principal proveedor. Hawái aportó aproximadamente el 25 % de los reproductores SPF tanto a Indonesia como a China, y la mayor parte proviene de otras fuentes (**Figura 3**). Esto indica una mayor competencia o una dinámica de mercado diferente en estos países. Estas tendencias reflejan la sólida reputación de Hawái por su alta calidad de reproductores y la variabilidad en la demanda y la oferta regional.

De cara al futuro, la industria del camarón SPF de Hawái puede revertir la tendencia a la baja en las ventas mediante una inversión continua en genética, bioseguridad y tecnologías de reproducción climáticamente inteligentes para garantizar que las empresas hawaianas mantengan su ventaja competitiva. Las colaboraciones con instituciones de investigación globales y compañías internacionales de camarones pueden impulsar la innovación en el desarrollo de camarones de rápido crecimiento, resistentes a las enfermedades y resilientes al clima para métodos de producción sustentables y consolidar el papel de Hawái como líder mundial en la cría de camarones.

### Importaciones anuales de SPF 2021-2024



**Figura 3.** Importaciones anuales de reproductores SPF de Hawái por parte de los principales países productores de camarón (2021-2024).

## DESAFÍOS QUE ENFRENTA LA INDUSTRIA DE REPRODUCTORES DE CAMARÓN SPF

A pesar del éxito de los programas de cría de camarón SPF, la industria enfrenta varios desafíos económicos, incluyendo la excesiva dependencia de unas pocas grandes empresas de cría y la preocupación por los cuellos de botella genéticos. El sector de reproductores SPF se ha concentrado cada vez más, con un puñado de multinacionales controlando una parte significativa de la cría de camarón SPF. Esta consolidación plantea riesgos como la reducción de la competencia en el mercado, la volatilidad de precios y posibles interrupciones en las cadenas de suministro genético si las empresas de cría dominantes experimentan fallos de producción o contaminación por patógenos. Además, la selección intensiva de rasgos específicos en programas de cría cerrados puede reducir la variabilidad genética, lo que resulta en una menor resiliencia frente a patógenos emergentes o factores de estrés climáticos. Para garantizar la sostenibilidad a largo plazo, los actores de la industria deberían adoptar estrategias como la adquisición de reproductores de múltiples fuentes, el monitoreo de la diversidad genética y la supervisión regulatoria sobre la monopolización de la cría SPF.

Mantener la diversidad genética en las poblaciones de camarones SPF es crucial para prevenir la depresión endogámica y garantizar la viabilidad a largo plazo. La endogamia puede reducir la aptitud biológica y aumentar la susceptibilidad a enfermedades. Las estrategias para mantener la salud genética incluyen un manejo cuidadoso de los reproductores, el apareamiento controlado y la introducción de nuevo material genético de poblaciones silvestres o genéticamente diversas.

Recientemente se informó sobre un estudio global de la diversidad genética de *P. vannamei* tanto en poblaciones de cultivo como silvestres. Utilizando un amplio conjunto de datos de polimorfismos de un solo nucleótido (SNP), los autores informaron sobre la diversidad genética en poblaciones de cultivo distribuidas globalmente e individuos silvestres de *P. vannamei* de su área de distribución en Latinoamérica. Las comparaciones entre poblaciones silvestres y de cultivo mostraron una baja diferenciación poblacional (Índice de Fijación [FST] < 6 %), siendo las poblaciones de cultivo asiáticas las más divergentes. A pesar de años de domesticación y selección artificial de las poblaciones domesticadas, encontraron poca reducción en la diversidad genética en las poblaciones de cultivo en comparación con sus poblaciones silvestres. La secuenciación del genoma completo de camarones de cultivo y silvestres también reveló niveles similares de diversidad de nucleótidos, lo que sugiere que las repetidas introducciones de camarones silvestres podrían haber mantenido la variación genética.

## DISMINUCIÓN DE LA DEMANDA DE REPRODUCTORES DEBIDO A LOS BAJOS PRECIOS DEL CAMARÓN

El mercado de reproductores SPF ha alcanzado su madurez plena. En estas condiciones, el crecimiento de los ingresos de las empresas de cría de camarones depende de superar a sus competidores y captar su cuota de mercado, o de una industria en expansión. Tras el COVID-19, la demanda y los precios del camarón han sido históricamente bajos, lo que ha obligado a los acuicultores a reducir costos e incluso a suspender la siembra. Para reducir costos, los acuicultores compran PL más barata.

Estos pueden ser producidos por empresas que utilizan reproductores de menor costo, conocidos como "piratas", quienes venden reproductores no certificados a la industria. Debido a las limitaciones de bioseguridad en estas instalaciones, los reproductores F2 pueden no ser SPF. Esta práctica aumenta el riesgo de enfermedades, perjudica el rendimiento económico y reduce la producción de la industria. Esto representa un regreso a la época anterior a la SPF, cuando el cultivo de camarón a menudo se consideraba una apuesta.

El modelo alternativo consiste en que la industria camaronera invierta en la comercialización del camarón para aumentar la demanda y el precio de mercado, lo que incentivará a los acuicultores a cultivar más camarón. En este escenario, los acuicultores comprarán PL genéticamente mejoradas y certificadas SPF, derivadas de reproductores SPF certificados de empresas de cría. Al invertir en la expansión del mercado del camarón, el consumo mundial de camarón podría duplicarse de 1 a 2 kg/persona/año. Un incremento de la demanda elevaría los precios e incentivaría a la industria a duplicar la producción por año. Para lograr este aumento de producción se requerirán inversiones en innovación y nuevas tecnologías, especialmente camarones mejorados, más robustos y de crecimiento más rápido, lo que aumentará los incentivos y los mercados de las empresas de cría.

## TECNOLOGÍAS EMERGENTES

### Desarrollo de BMC

Una tendencia reciente en la industria es el desarrollo de Centros de Producción de Reproductores (BMC). Estos son centros de producción de reproductores SPF a partir de PL (denominadas PPL o PL parental) suministradas por una empresa madre. La

justificación de un BMC es evitar los altos costos y el estrés de los reproductores que conllevan los envíos internacionales. Durante la pandemia, la logística de transporte se vio interrumpida y el suministro de reproductores se vio afectado. Estos problemas constituyeron un fuerte incentivo para el desarrollo de las BMC.

El ejemplo más exitoso de BMC es PT Kona Bay, Indonesia, inaugurado por Hendrix Genetics en 2022. Esta instalación, construida específicamente para este fin, tiene una capacidad de producción de 100.000 reproductores SPF de *P. vannamei* al año y se abastece con PPL del NBC de la compañía en Hawái. En 2024, Hendrix Genetics inauguró su nuevo BMC en India y también está desarrollando uno en Tailandia.

Moana Technologies (MT), con sede en Hawái, posee una importante empresa de gestión de cría (BMC) en Vietnam, Moana Ninh Thuan (MNH), que produce reproductores de *P. monodon* SPF a partir de PPL de NBC, con sede en Kona, de MT. MNH suministró alrededor de 90.000 reproductores de *P. monodon* en 2024 para Vietnam y para la exportación. En los últimos años, la cría de *P. monodon* ha experimentado un aumento en la producción como resultado directo de la disponibilidad de PL SPF domesticadas por parte de Moana, CPF (Tailandia) y Unima (Madagascar). Es probable que esta tendencia continúe, a pesar de los precios históricamente bajos del camarón blanco (*P. vannamei*). Las exportaciones de PPL de empresas de cría hawaianas (*P. vannamei* y *P. monodon*) han oscilado entre 800.000 y 1.100.000 en los últimos cuatro años.

### Adopción de métodos sin ablación en el manejo de reproductores

La reproducción de reproductores de camarón se ha basado tradicionalmente en la ablación del pedúnculo ocular de

las hembras, mediante la cual se extirpa quirúrgicamente uno de ellos. Esta ablación estimula la maduración y aumenta la frecuencia de desove. Este método ha sido el estándar en la industria durante 40 años, ofreciendo una mayor producción de nauplios por hembra. Recientemente, ha aumentado la preocupación por el bienestar animal (especialmente en Europa), ya que la ablación se reconoce como un procedimiento estresante e invasivo. Entre los posibles efectos negativos se incluyen la reducción de la función inmunitaria, mayores tasas de mortalidad y una disminución de la productividad reproductiva con el tiempo debido al estrés fisiológico que sufren los reproductores.

En respuesta a estos desafíos, existe un creciente interés en métodos sin ablación, que permiten que los camarones se reproduzcan de forma natural. Si bien estos métodos pueden resultar en tasas de desove más bajas y tiempos de maduración más largos, se cree que promueven una mejor salud general del camarón, un sistema inmunitario más fuerte y crías de mayor calidad. Esta práctica humanitaria se alinea con la demanda de los consumidores de mariscos cultivados éticamente y podría impulsar ciclos de producción más sostenibles, reduciendo los costos asociados con la reposición de reproductores, las enfermedades y la mortalidad a lo largo del tiempo.

La industria está adoptando gradualmente técnicas sin ablación, impulsada por preocupaciones éticas y presiones del mercado, especialmente en Europa, donde algunos distribuidores de camarón exigen ahora la certificación de estas prácticas. Si bien estos métodos pueden presentar desafíos a corto plazo, como mayores costos y menor productividad inicial, pueden

ofrecer beneficios a largo plazo, como una mayor resiliencia de los reproductores y el acceso a mercados premium para el camarón producido éticamente. Esta transición refleja un movimiento más amplio en la acuicultura hacia un equilibrio entre la productividad económica, el bienestar animal y la responsabilidad ambiental. Es indudable que la cría de camarones para una mejor reproducción sin ablación contribuirá a resolver este problema. La heredabilidad de los rasgos reproductivos en el camarón está bien documentada.

### **Selección genómica para mejorar el crecimiento y la resistencia a las enfermedades**

La selección genómica (SG) es una tecnología emergente de mejoramiento que utiliza marcadores de todo el genoma (SNP) para predecir el potencial genético de un organismo y facilitar la selección de individuos con rasgos deseables. La SG ofrece el potencial de aumentar la resistencia a enfermedades y el crecimiento, así como de mejorar los rasgos de productividad general.

La selección genómica implica escanear todo el genoma de un camarón en busca de marcadores específicos (generalmente SNP) que estén asociados con rasgos de interés, como la resistencia a las enfermedades. Al incorporar estos marcadores en un índice de selección, los criadores pueden predecir el valor genético de los animales con mayor precisión que con los métodos de selección tradicionales basados únicamente en rasgos fenotípicos o datos de pedigrí.

La SG también permite la identificación temprana de animales con alto potencial genético, reduciendo así el intervalo entre generaciones y acelerando el mejoramiento genético. Las mejoras genéticas logradas mediante la SG son acumulativas y se

transmiten a las generaciones futuras, brindando beneficios a largo plazo.

La SG se ha implementado con éxito para mejorar la resistencia a enfermedades como la mastitis en vacas lecheras, el síndrome reproductivo y respiratorio porcino (PRRS) en cerdos y la influenza aviar en aves de corral. La identificación de regiones genómicas específicas asociadas con la resistencia a estas enfermedades ha permitido programas de mejoramiento genético más específicos y eficaces.

A pesar de sus ventajas, la SG se enfrenta a retos como la necesidad de grandes poblaciones de referencia con datos fenotípicos precisos, la complejidad de los rasgos patológicos (que suelen ser poligénicos) y el elevado coste de la genotipificación. Sin embargo, es probable que los avances en las tecnologías genómicas y la creciente disponibilidad de grandes conjuntos de datos, junto con la IA para la minería de datos, superen estos obstáculos, convirtiendo a la SG en una herramienta cada vez más potente para mejorar los rasgos clave de rendimiento en la cría de camarones.

### **Edición genética para la resistencia a las enfermedades**

La edición genética con herramientas como CRISPR-Cas9 se utiliza cada vez más para inducir resistencia a enfermedades en plantas y animales mediante la modificación de genes específicos responsables de la susceptibilidad a patógenos. Esta tecnología permite alteraciones precisas en el genoma del organismo, lo que permite mejorar las defensas naturales contra enfermedades sin la introducción de ADN extraño, como en la modificación genética tradicional.

En animales, la edición genética se aplica para mejorar la resistencia a enfermedades

en la ganadería y la acuicultura y funciona eliminando genes implicados en la susceptibilidad a enfermedades o insertando mutaciones beneficiosas que mejoran la resistencia a las enfermedades. Estas ediciones pueden ser muy específicas, minimizando los efectos no deseados y permitiendo un desarrollo más rápido de especies resistentes en comparación con los métodos de mejoramiento tradicionales.

La producción de plantas y animales resistentes a enfermedades reduce la necesidad de tratamientos químicos como pesticidas, antibióticos y fungicidas. Los organismos modificados genéticamente contribuyen a prácticas más sostenibles al mejorar la producción y reducir las pérdidas por enfermedades. En los animales, mejorar la resistencia natural a las enfermedades puede mejorar el bienestar al reducir la prevalencia de infecciones que causan sufrimiento. Los avances recientes en edición genética han incorporado la IA a la minería de datos necesaria para analizar grandes conjuntos de datos de ADN, lo que mejorará significativamente la tecnología de edición genética y la llevará a un nuevo nivel.

### **Avances en los alimentos SPF**

Los gusanos marinos estimulan la maduración del camarón y han sido una dieta estándar para los reproductores de camarón desde el comienzo de la reproducción en cautiverio porque mejoran la fecundidad, la calidad de los huevos, las tasas de maduración y las tasas de sobrevivencia larvaria. Sin embargo, el uso de gusanos marinos capturados en la naturaleza como alimento para reproductores es uno de los mayores riesgos de contaminación por patógenos de los reproductores SPF. Por lo tanto, el desarrollo de gusanos SPF es un componente crítico en la dieta de los

reproductores de camarón SPF, ya que proporciona una nutrición de alta calidad y libre de patógenos para mejorar el rendimiento reproductivo y evitar el riesgo de introducción de enfermedades. Estos gusanos, típicamente poliquetos o anélidos marinos, se cultivan en instalaciones de bioseguridad para garantizar que estén libres de enfermedades que podrían comprometer la salud de los reproductores de camarón. Los principales productores de gusanos SPF se encuentran en Europa, Australia, EE. UU. y Asia, y se adhieren a estrictos protocolos de bioseguridad para abastecer a los criaderos de camarones de todo el mundo.

## **PERSPECTIVAS Y TENDENCIAS EMERGENTES**

El futuro de la industria de reproductores de camarón SPF está íntimamente ligado al éxito de la industria camaronera. Actualmente, la camaronicultura se enfrenta a los bajos precios del mercado debido al exceso de oferta, a pesar de que las enfermedades reducen las tasas de sobrevivencia y la productividad, y suponen un reto para las empresas. La inflación y el aumento de los costos de los insumos reducen los márgenes de beneficio. No se prevé un aumento de precios en el futuro próximo. Algunos cuestionan la sostenibilidad económica del modelo actual de cultivo.

La industria camaronera se enfrenta a dos escenarios distintos según sus características operativas: uno con el modelo tradicional (la camaronicultura es una apuesta arriesgada), caracterizado por operaciones fragmentadas y de pequeña escala con estrategias de rentabilidad a corto plazo, tecnología limitada y un alto impacto ambiental, lo que a menudo conlleva la degradación del ecosistema y una rentabilidad impredecible.

Por otro lado, podría surgir una industria camaronera moderna e integrada, con énfasis en operaciones consolidadas y verticalmente integradas, impulsadas por la sostenibilidad a largo plazo, programas de comercialización bien financiados, el uso de tecnología avanzada, la gestión proactiva de riesgos y un sólido cumplimiento normativo. Este enfoque integrado priorizaría la producción orientada al mercado, la innovación y la gestión ambiental, lo que se traduciría en una mayor rentabilidad, prácticas laborales cualificadas y un impacto ecológico mínimo. El mejoramiento genético de las poblaciones de camarones SPF es un elemento fundamental de la industria camaronera avanzada, y las empresas de cría de camarones SPF crecerían junto con la industria en general en este escenario.

## **CONCLUSIÓN**

La industria de reproductores de camarón SPF ha logrado avances significativos en la mejora de la salud, la productividad y la sostenibilidad del cultivo de camarón. A pesar de los desafíos actuales, la industria se encuentra bien posicionada para el crecimiento y la innovación continuos. Las partes interesadas, como productores, investigadores, legisladores y consumidores, desempeñan un papel vital en la definición del futuro de la industria. La inversión continua en desarrollo de mercado, bioseguridad, investigación y prácticas sostenibles será esencial para el éxito de la industria. La investigación futura debe centrarse en el desarrollo de cepas de camarón más resilientes, la mejora de las estrategias de gestión de enfermedades y el fomento de la sostenibilidad. Los legisladores deben trabajar para armonizar las regulaciones y apoyar la innovación en la industria.

Si bien los programas de cría de camarones SPF han logrado reducir la prevalencia

de enfermedades y mejorar las tasas de crecimiento, mantener la estabilidad genética sigue siendo un desafío crítico. Con el tiempo, la selección continua de rasgos específicos, como la resistencia a enfermedades y el crecimiento rápido, puede conducir a una disminución de la diversidad genética dentro de las poblaciones de reproductores SPF. La menor variabilidad genética puede aumentar el riesgo de depresión endogámica, lo que aumenta la vulnerabilidad de las poblaciones de camarones a factores de estrés ambiental y enfermedades emergentes. Además, los programas de cría cerrados pueden limitar el potencial de adaptación, lo que reduce la capacidad de la industria para responder al cambio climático o a nuevos patógenos. Para mitigar estos riesgos, los programas de cría de camarones SPF deben incorporar evaluaciones periódicas de la diversidad genética, estrategias de cruzamiento cruzado y herramientas de selección genómica para garantizar la sostenibilidad y la adaptabilidad

a largo plazo.

A pesar de los desafíos, los líderes de la industria se mantienen optimistas sobre el futuro de la industria de reproductores de camarón SPF y su papel en el cultivo de camarón a gran escala. Destacan la importancia de la innovación continua y el potencial de crecimiento a largo plazo, especialmente a medida que las tecnologías genéticas y las prácticas de bioseguridad siguen evolucionando.

Esta es una versión resumida, elaborada por el cuerpo editorial de "El Acuicultor", del artículo original "Current trends, challenges, and genetic innovations in the SPF shrimp broodstock industry" escrito por Wyban, Jim. Publicado originalmente en *Critical Insights in Aquaculture*, 2025, 1:1, 2508544.

<https://doi.org/10.1080/29932181.2025.2508544>

**Prilabsa**

Soluciones **nutricionales** de alta calidad, desde 1992.

[www.prilabsa.com](http://www.prilabsa.com) | f in @

Logos de socios: BASF, AQUALABO, OAKION, DSM, PACER, W&ZVIL, CHEMetrics, GAST, HORIBA, LaMotte, inermas, API, NIEC, Aero-Tube, PROBIT, VAN GUARD, OxyGuard, THOSCO, ÚNICA DE CONGELADOS, OHRUS, VEE GEE, ZEIGLER, REETON, HOSOKAWA, KREITON, HOSOKAWA.

ESCANÉAME

# SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL DE LA TILAPIA DEL NILO CRIADA EN EL SISTEMA DE TECNOLOGÍA BIOFLOC (BFT): EVALUACIÓN DE LA DINÁMICA DEL CARBONO, NITRÓGENO, FÓSFORO E INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD

Cuerpo editorial de “El Acuicultor”

## Introducción

El crecimiento de la población y la necesidad de alimentos de calidad han impulsado el desarrollo de la acuicultura intensiva, que a su vez ha incrementado los niveles de nitrógeno, fósforo y materia orgánica, comprometiendo la calidad del agua y afectando el medio ambiente acuático. La acuicultura sostenible busca producir alimentos respetando el medio ambiente, y la tecnología de biofloc (BFT, por sus siglas en inglés) es una solución prometedora, ya que permite una renovación mínima o nula del agua al facilitar la actividad de microorganismos que procesan los residuos y mantienen la calidad del agua.

Los métodos para evaluar la sostenibilidad ambiental son cruciales en la toma de decisiones y la mejora de los sistemas de producción. La dinámica de nutrientes y el balance de masas son enfoques que permiten cuantificar la entrada, salida y acumulación de nutrientes en los sistemas acuáticos,

basándose en la ley de conservación de la masa.

Se han desarrollado indicadores específicos para evaluar la sostenibilidad ambiental de los sistemas acuícolas, centrándose en la eficiencia del uso de recursos, el reciclaje de nutrientes, la descarga de contaminantes, la ocupación espacial y la conservación de la biodiversidad. Estos indicadores permiten una evaluación integrada de los impactos ambientales y facilitan la identificación de áreas de mejora, siendo especialmente relevantes para sistemas intensivos como la tecnología de biofloc. Sin embargo, hasta el momento no se han utilizado estos indicadores para evaluar la producción de juveniles de tilapia del Nilo en sistemas de biofloc.

Por tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar la dinámica del carbono total (CT), nitrógeno total (NT), fósforo total (PT) y algunos indicadores de sostenibilidad ambiental de juveniles de tilapia del Nilo criados en un sistema de biofloc.

## Materiales y métodos

### Peces, condiciones experimentales y alimentación

Alevines machos de tilapia del Nilo (peso promedio inicial  $3,42 \pm 0,07$  g) se obtuvieron de una piscifactoría comercial, se clasificaron y se distribuyeron aleatoriamente entre tres unidades de producción al aire libre con un sistema de tecnología de biofloc (BFT). Cada unidad de producción comprendía de un tanque de  $4,2 \text{ m}^3$  dentro de un invernadero (**Figura 1A**). La densidad de población promedio se mantuvo en  $395 \text{ peces/m}^3$ . Dentro de cada unidad de producción, un tercio del volumen total consistió en un inóculo madurado proveniente de un sistema BFT previamente estabilizado, mientras que los dos tercios restantes se llenaron con agua limpia de un pozo artesiano. Para promover el desarrollo del biofloc, se agregó azúcar como fuente suplementaria de carbono, manteniendo una relación carbono/nitrógeno de 12:1.

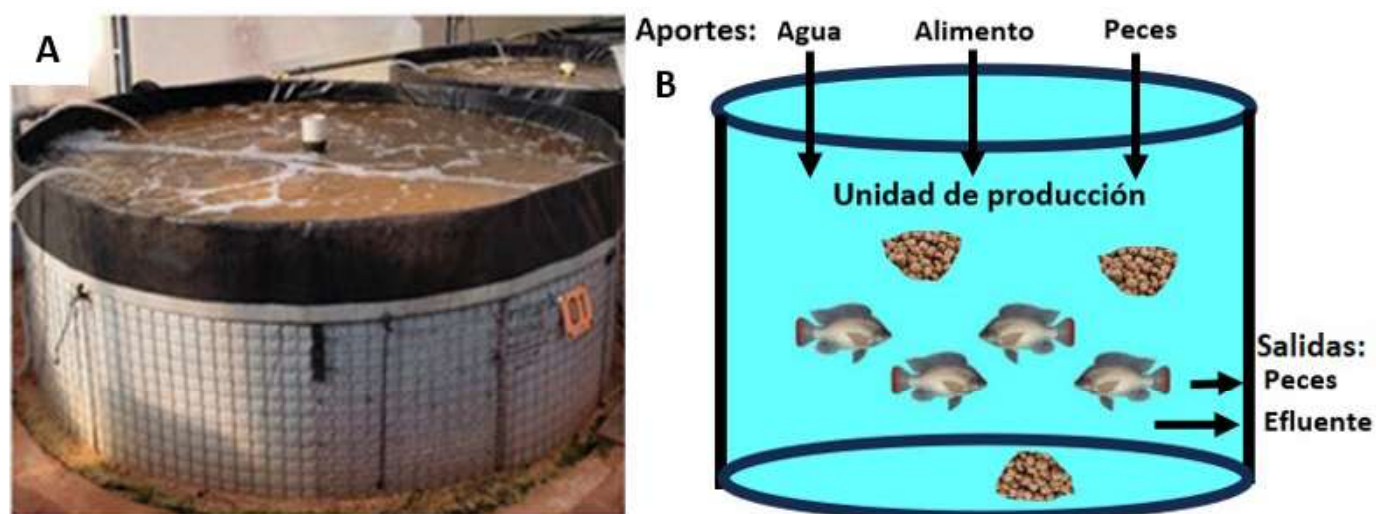
Durante el período experimental de 70 días, los peces fueron alimentados con una dieta extruida de 28 % de proteína cruda y 3.200

kcal/kg de energía digestible. La tasa de alimentación varió entre el 3 y el 5 % de la biomasa, que se proporcionó cuatro veces al día (8:00 am, 11:00 a. m., 2:00 pm y 4:00 pm). Quincenalmente, se recolectaron muestras de peces de cada unidad de producción para evaluación biométrica. Los peces fueron anestesiados por inmersión y pesados individualmente para estimar la biomasa y ajustar la tasa de alimentación.

### Variables de desempeño del crecimiento

Al final del período experimental, se evaluó el desempeño del crecimiento con base en las siguientes variables:

- Tasa de sobrevivencia (TS; %) =  $(\text{número final de peces} / \text{número inicial de peces}) \times 100$ .
- Ganancia de peso (GP; g) = peso final (g) – peso inicial (g).
- Conversión alimenticia (TCA) = consumo de alimento (g)/ganancia de peso (g).
- Tasa de crecimiento específico (TCE; %/día) =  $100 - [\ln \text{ peso final (g)} - \ln \text{ peso inicial (g)}] / \text{período de prueba}$ .



**Figura 1. (A)** Unidad de producción con sistema de biofloc (BFT) utilizada en el estudio. **(B)** Representación esquemática del flujo de nutrientes utilizado para los cálculos de balance de masa.

## Monitoreo de la calidad del agua

La temperatura (°C), el oxígeno disuelto (OD) y la salinidad del agua se midieron dos veces al día (8:00 am y 2:00 pm). El amoníaco ( $\text{NH}_3$ ), nitrito-nitrógeno ( $\text{NO}_2^-$ -N), nitrato-nitrógeno ( $\text{NO}_3^-$ -N) y fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) se midieron semanalmente, además de la alcalinidad ( $\text{CaCO}_3$ ) y el pH. La clorofila- $\alpha$  se determinó quincenalmente.

Los sólidos sedimentables (SS) y los sólidos suspendidos totales (SST) se analizaron semanalmente. Cuando los niveles de SS superaron los 40 mL/L, el agua del tanque se bombeó a tanques de sedimentación cónicos de 200 L para eliminar el exceso de sólidos. La cantidad de sólidos eliminados se cuantificó y analizó mediante muestreo, para controlar la producción de nutrientes. Después de decantar los sólidos, el agua sobrenadante se devolvió a los tanques y el volumen eliminado se reemplazó con agua de suministro. No hubo recambios de agua durante el estudio, excepto por el reemplazo de la cantidad perdida por evaporación y la eliminación de sólidos.

## Cuantificación de nutrientes en el sistema

Para calcular el balance de masa de carbono total (CT), nitrógeno total (NT) y fósforo total (PT) dentro de la unidad de producción, se consideró la entrada de nutrientes del agua de suministro, la biomasa inicial de los peces y la dieta (**Figura 1B**) durante el período experimental. La salida de nutrientes se determinó con base en las cantidades retenidas en la biomasa final de los peces y las presentes en el efluente (**Figura 1B**). El efluente comprendió la remoción de sólidos sedimentados y agua de cultivo de la unidad de producción, incluyendo la biomasa microbiana suspendida (bioflóculos) formada naturalmente durante el período de cultivo.

El aporte de nutrientes en forma de alimento se calculó con base en la cantidad total de alimento suministrado durante el período de estudio. Se analizó una muestra de la dieta para determinar los niveles de CT, NT y PT, así como materia seca (MS), extracto etéreo (EE), proteína cruda (PC), fibra cruda (FC) y materia mineral (MM).

Para determinar la concentración de nutrientes retenidos en los peces, se recogieron muestras de aproximadamente 100 g de cada unidad de producción al inicio y al final del período experimental. Los peces de las muestras fueron desescamados y eviscerados. Posteriormente, estas muestras de pescado se secaron en una estufa a 55 °C durante 72 h, para determinar su masa seca y analizar su composición química (CT, NT y PT).

## Balance de masa de nutrientes

Para el cálculo de masa de nutrientes se utilizaron las siguientes ecuaciones:

Aporte de nutrientes:

- Agua inicial (AI) = concentración de CT, NT o PT analizada en el agua inicial (mg/L) × volumen de agua del tanque (L).
- Reposición de agua (RA) = concentración de CT, NT o PT analizada en el suministro de agua (mg/L) × volumen de agua utilizado (L);
- Biomasa inicial del pez (BI) = concentración de CT, NT o PT analizada en la carcasa inicial (g/kg) × biomasa inicial del pez (kg);
- Alimento (A) = concentración de CT, NT o PT analizada en el alimento (g/kg en base a materia seca) × cantidad total de alimento proporcionado (kg);
- Aporte total de nutrientes (ATN) = AI + RA + BI + A.

Para la producción de nutrientes se consideró lo siguiente:

- Agua final (AF) = concentración de CT, NT o PT analizada en el agua final (mg/L) × volumen de agua del tanque (L);
- Sólidos eliminados (SE) = concentración de CT, NT o PT analizada en los sólidos eliminados durante la prueba (g/kg) × volumen de sólidos descartados (L);
- Biomasa final del pez (BF) = concentración de CT, NT o PT analizada en la carcasa final (g/kg) × biomasa final del pez (kg);
- Producción total de nutrientes (PTN) = AF + SE + BF.

La fracción de nutrientes no contabilizada (NNC) se determinó utilizando la siguiente ecuación:  $NNC = PTN (CT, NT \text{ o } PT) - PTN (CT, NT \text{ o } PT)$ .

El porcentaje de retención de nutrientes en la biomasa de los peces se calculó de acuerdo con la respectiva ecuación:  $Tasa \text{ de retención } (\%) = 100 \times [(peso \text{ final} \times nutriente \text{ final } (CT, NT \text{ o } PT)) - (peso \text{ inicial} \times nutriente \text{ inicial } (CT, NT \text{ o } PT))] / ingesta \text{ de nutrientes en el alimento}$ .

## Indicadores de sostenibilidad

Para evaluar la sostenibilidad ambiental de la producción en un sistema de biofloc, se empleó un conjunto de indicadores; estos se categorizaron, incluyendo el uso de recursos naturales, la eficiencia de uso, la liberación de contaminantes y la conservación de la biodiversidad de especies, como se describe en la **Tabla 1**.

**Tabla 1.** Indicadores de sostenibilidad ambiental aplicados para evaluar juveniles de tilapia del Nilo producidos en el sistema BFT.

Categoría	Indicador	Fórmula
Uso de los recursos	Uso del espacio	$E = \text{superficie utilizada (ha)} / \text{producción (ton)}$
	Uso del agua	$A = \text{volumen utilizado (m}^3\text{)} / \text{producción (ton)}$
	Uso de energía	$EN = \text{potencia de la bomba (cv)} \times \text{tiempo de aireación (h)} \times 0,745 \text{ kW/cv/prod. (kg)} \times 0,9 \text{ (MJ/kg)}$
	Uso de nutrientes	$U = \text{nutrientes aplicados (kg)} / \text{producción (ton)}$
Eficiencia en el uso de recursos	Producción realmente utilizada	$PEU (\%) = (\text{producción} - \text{no utilizada}) \times 100$
	Eficiencia en el uso de nutrientes	$UE (\%) = (\text{masa de nutrientes en el pescado} / \text{masa de nutrientes aplicada}) \times 100$
Liberación de contaminantes	Potencial de eutrofización: C, N y P liberados al agua	$PE = \text{masa de nutrientes liberados en el efluente (kg)} / \text{producción total (ton)}$
Riesgo de la producción para la conservación de la genética y la biodiversidad	Riesgo de especies producidas: niveles crecientes de impacto según el organismo producido	$REC = 1, 2, 3, 4, 5, 6 \text{ u } 8$

## Resultados

### Calidad del agua

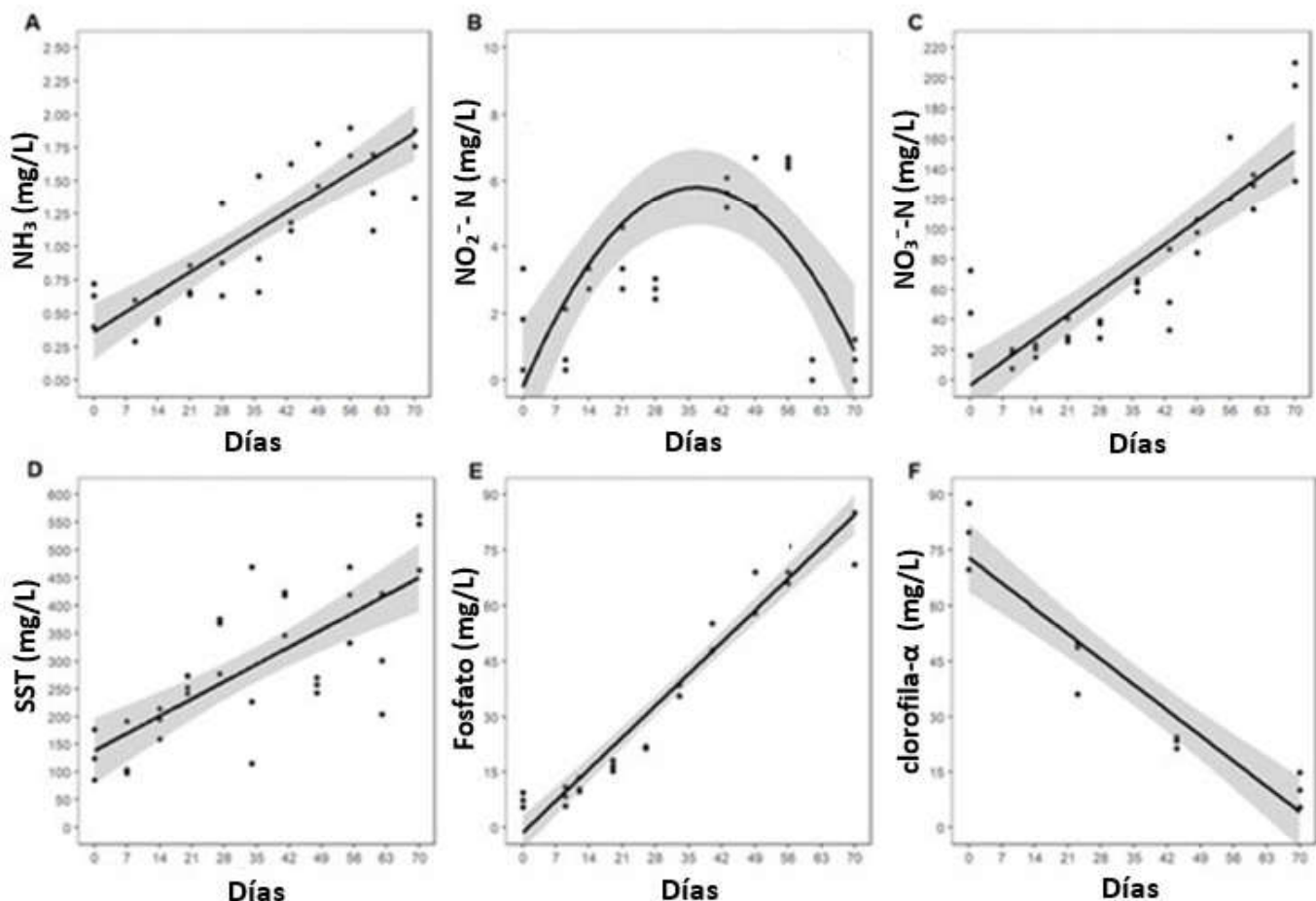
Durante el período experimental, los valores medios  $\pm$  desviación estándar de los parámetros fisicoquímicos de calidad del agua fueron los siguientes: temperatura =  $22,52 \pm 3,18$  °C, OD =  $7,99 \pm 0,68$  mg/L, pH =  $7,47 \pm 0,32$ , alcalinidad =  $71,76 \pm 19,42$  mg  $\text{CaCO}_3/\text{L}$  y sólidos sedimentables =  $35,53 \pm 21,96$  mL/L. Las concentraciones de  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NO}_2^-$ -N, TSS y fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) aumentaron linealmente con el tiempo, alcanzando sus niveles más altos al final del período de cultivo (**Figura 2 A, C, D y E**). Por

el contrario,  $\text{NO}_3^-$ -N mostró un efecto cuadrático, alcanzando un valor máximo a los 37 días, seguido de una disminución posterior (**Figura 2 B**). La concentración de clorofila-a disminuyó linealmente con la maduración del biofloc (**Figura 2 F**).

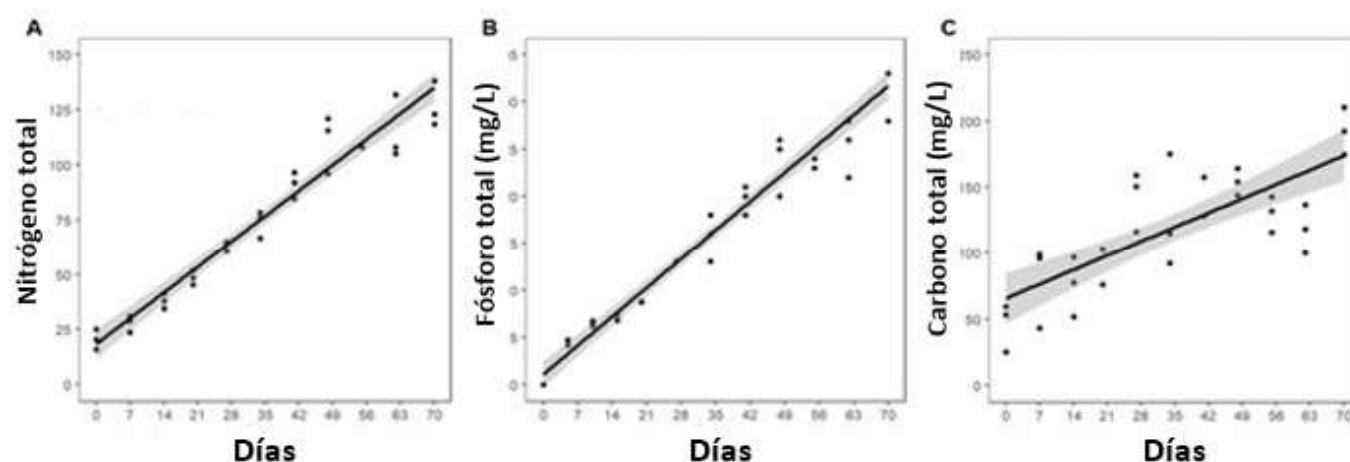
### Cuantificación de nutrientes

Las concentraciones de nitrógeno, fósforo y carbono total aumentaron linealmente con el tiempo (**Figura 3 A-C**).

La composición química del alimento suministrado a los peces durante el período experimental, así como la composición de la biomasa de biofloc seca colectada al finalizar el estudio, se detalla en la **Tabla 2**.



**Figura 2.** Variables de calidad del agua del sistema biofloc para el cultivo de tilapia del Nilo durante 70 días. **(A)** amoníaco; **(B)** nitrito-nitrógeno ( $\text{NO}_2^-$ -N); **(C)** nitrato-nitrógeno ( $\text{NO}_3^-$ -N); **(D)** sólidos suspendidos totales (SST); **(E)** fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ); **(F)** clorofila-a.



**Figura 3.** Acumulación de nutrientes en el agua del sistema biofloc en la producción de juveniles de tilapia del Nilo durante 70 días. **(A)** Nitrógeno total (mg/L); **(B)** Fósforo total (mg/L); **(C)** Carbono total (mg/L).

**Tabla 2.** Análisis químico del alimento utilizado y biofloc de las unidades de producción. <sup>1</sup>Valores basados en materia seca. <sup>2</sup>Composiciones aproximadas (valores medios  $\pm$  desviación estándar) de biomasa de biofloc seca obtenida mediante evaporación de muestras de agua de las tres unidades de producción.

Variables <sup>1</sup>	Alimento	Biofloc <sup>2</sup>
Carbono (%)	42,9	33,97 $\pm$ 1,16
Nitrógeno (%)	4,55	4,64 $\pm$ 0,23
Fósforo (%)	1,01	2,62 $\pm$ 0,17
Proteína cruda (%)	28,44	29,98 $\pm$ 1,40
Fibra cruda (%)	4,18	6,17 $\pm$ 0,68
Extracto de éter (%)	5,54	0,81 $\pm$ 0,13
Materia mineral (%)	6,94	27,67 $\pm$ 1,66

## Balance de masa

El balance de masa, que detalla los flujos de entrada y salida de carbono, nitrógeno y fósforo total, se presenta en la Tabla 3. Para mayor claridad, se representaron los flujos porcentuales para las entradas y salidas de nutrientes con base en los valores medios calculados a partir de las tres unidades de producción.

A lo largo del período experimental, el principal aporte de nutrientes provino del alimento, constituido por: 94,35 % CT, 88,36 % NT y 89,26 % PT del aporte total de nutrientes (**Tabla 3**). La biomasa inicial de los juveniles contribuyó con el 3,35 % de CT, el 6,71 % de NT y el 10,72 % de PT del aporte total de nutrientes (**Tabla 3**) y los reemplazos de agua representaron el 2,30 % de CT, el 4,93 % de NT y el 0,03 % de PT del aporte total de nutrientes (**Tabla 3**).

Al final del período de cultivo, la mayoría de los nutrientes se retuvieron en la biomasa de los peces, lo que representa el 65,68 % de CT, el 55,16 % de NT y el 54,47 % de PT de la producción total de nutrientes (**Tabla 3**). El efluente, que incluye la suma de los nutrientes retenidos en el agua final y los sólidos eliminados durante los 70 días, constituyó el 34,32 % de CT, el 44,84 % de NT y el 45,53 % de PT de la producción total de nutrientes (**Tabla 3**). Dentro del total de nutrientes retenidos en el efluente, el 59,69 % de CT, el 90 % de NT y el 99 % de PT se encontraron en el agua final del sistema, mientras que el resto se eliminó de manera efectiva mediante el manejo de sólidos.

El sistema BFT mostró un uso eficiente de

**Tabla 3.** Balance de masa de nutrientes en la producción de juveniles de tilapia del Nilo en un sistema de biofloc durante 70 días. <sup>1</sup>Valores medios  $\pm$  desviación estándar (DE) de las entradas y salidas de carbono (kg), nitrógeno (Kg) y fósforo (g) considerando las tres unidades de producción; <sup>2</sup>porcentaje basado en los valores promedio de las tres unidades de producción.

	Carbono total (CT)		Nitrógeno total (NT)		Fósforo total (FT)	
	Media $\pm$ DE (kg) <sup>1</sup>	% <sup>2</sup>	Media $\pm$ DE (kg) <sup>1</sup>	% <sup>2</sup>	Media $\pm$ DE (g) <sup>1</sup>	% <sup>2</sup>
Agua inicial + reposición	0,36 $\pm$ 0,06	2,30 $\pm$ 0,23	0,09 $\pm$ 0,02	4,93 $\pm$ 0,76	0,12 $\pm$ 0,03	0,03 $\pm$ 0,01
Alimento	14,75 $\pm$ 0,85	94,35 $\pm$ 0,18	1,56 $\pm$ 0,09	88,36 $\pm$ 0,54	399,84 $\pm$ 23,06	89,26 $\pm$ 0,27
Biomasa inicial de los peces	0,52 $\pm$ 0,02	3,35 $\pm$ 0,09	0,12 $\pm$ 0,00	6,71 $\pm$ 0,23	47,96 $\pm$ 1,79	10,72 $\pm$ 0,27
Entrada total	15,63 $\pm$ 0,92	100,00	1,77 $\pm$ 0,11	100,00	447,92 $\pm$ 24,68	100,00
Efluente (agua final + sólidos)	2,58 $\pm$ 0,38	34,32 $\pm$ 3,07	0,67 $\pm$ 0,07	44,84 $\pm$ 3,00	194,92 $\pm$ 11,35	45,53 $\pm$ 1,33
Biomasa final de los peces	4,91 $\pm$ 0,35	65,68 $\pm$ 3,07	0,83 $\pm$ 0,02	55,16 $\pm$ 3,00	233,49 $\pm$ 18,95	54,47 $\pm$ 1,33
Producción total	7,49 $\pm$ 0,62	100,00	1,50 $\pm$ 0,06	100,00	428,42 $\pm$ 30,30	100,00
Porción no contabilizada	8,15 $\pm$ 0,31		0,27 $\pm$ 0,17		19,50 $\pm$ 9,85	
Tasa de retención (%)		29,74 $\pm$ 1,42		45,38 $\pm$ 2,76		46,34 $\pm$ 1,72

nutrientes, con tasas de retención del 29,74 % de CT, 45,38 % de NT y 46,34 % de PT (**Tabla 3**). La cantidad no contabilizada de nutrientes se estimó en aproximadamente 8,15 kg de CT, 0,27 kg de NT y 19,50 g de PT (**Tabla 3**), lo que representa la diferencia entre las entradas y las salidas.

### Indicadores de sostenibilidad

Los indicadores de sostenibilidad ambiental del sistema BFT se detallan en la **Tabla 4**. Además, se han incorporado en esa tabla valores de referencia para la producción de tilapia del Nilo en jaulas.

En la categoría de “uso de recursos”, BFT demuestra un consumo insignificante de agua en comparación con la producción de tilapia en jaulas; sin embargo, requiere más espacio y energía (**Tabla 4**). Con respecto

a la “eficiencia en el uso de recursos”, BFT tiene mayor eficiencia en el uso de carbono, nitrógeno y fósforo, lo que resulta en un menor uso de nutrientes por tonelada de tilapia en comparación con el sistema de producción en jaulas (**Tabla 4**). En la categoría de “liberación de contaminantes”, BFT muestra un menor potencial de eutrofización que la producción en jaulas (**Tabla 4**). Evaluando el “Riesgo de la producción para la conservación de la genética y la biodiversidad”, BFT conlleva un nivel de riesgo de 4 debido a su sistema cerrado, independientemente de las especies producidas (**Tabla 4**). Por el contrario, la producción en jaulas tiene un nivel de riesgo de 5 debido al posible escape de tilapia al medio ambiente (**Tabla 4**).

**Tabla 4.** Indicadores de sostenibilidad utilizados para evaluar la producción de juveniles de tilapia en el sistema BFT. <sup>1</sup>Valores medios obtenidos de la producción de tilapia en jaulas; <sup>2</sup>Valores medios  $\pm$  desviación estándar considerando las tres unidades de producción.

Categoría	Indicadores	Jaulas <sup>1</sup>	BFT <sup>2</sup>
Uso de recursos	Uso del espacio (ha/ton)	0,0014	0,0150 $\pm$ 0,0008
	Uso de agua (m <sup>3</sup> /ton)	0,754	0,0074 $\pm$ 0,0005
	Uso de carbono (kg de CT/ton)	700,00	442,47 $\pm$ 12,77
	Uso de nitrógeno (kg de NT/ton)	77,5	46,63 $\pm$ 1,36
	Uso de fósforo (kg de PT/ton)	18,25	10,24 $\pm$ 0,05
	Uso de energía (MJ/kg)	0,028	114,59 $\pm$ 6,95
Eficiencia en el uso de recursos	Eficiencia en el uso de CT (%)	-	29,74 $\pm$ 1,41
	Eficiencia en el uso de NT (%)	25,82	45,56 $\pm$ 2,86
	Eficiencia en el uso de PT (%)	16,87	46,56 $\pm$ 1,62
	Producción realmente utilizada (%)	100,00	100,00 $\pm$ 0,00
Liberación de contaminantes	Potencial de eutrofización del CT (kg/ton)	-	57,39 $\pm$ 7,64
	Potencial de eutrofización de NT (kg/ton)	59,5	20,02 $\pm$ 2,74
	Potencial de eutrofización de PT (kg/ton)	22,00	5,70 $\pm$ 0,50
Riesgo de la producción para la conservación de la genética y la biodiversidad	Riesgo de especies producidas	5	4

**Tabla 5.** Rendimiento del crecimiento de juveniles de tilapia del Nilo después de 70 días de cultivo en el sistema BFT. <sup>1</sup>Valores medios  $\pm$  desviación estándar (DE) considerando las tres unidades de producción.

Variables	Unidad de producción			Media $\pm$ DE <sup>1</sup>
	BFT 1	BFT 2	BFT 3	
Tasa de sobrevivencia (%)	98,19	95,96	100,00	98,05 $\pm$ 2,02
Peso inicial (g)	3,46	3,34	3,45	3,42 $\pm$ 0,07
Peso final (g)	21,8	19,77	19,73	20,43 $\pm$ 1,19
Aumento de peso (g/pescado)	18,34	16,43	16,27	17,01 $\pm$ 1,15
Tasa Conversión Alimenticia	1,03	1,03	1,08	1,05 $\pm$ 0,03
Tasa de crecimiento específica (%/día)	3,06	2,74	2,71	2,84 $\pm$ 0,19

## Desempeño productivo

Después de 70 días de cultivo en el sistema BFT, el desempeño del crecimiento de los juveniles de tilapia del Nilo de cada unidad de producción se presenta en la **Tabla 5**.

## Discusión

### Calidad del agua

El sistema de biofloc mantuvo adecuadamente las condiciones fisico-químicas del agua, favoreciendo la producción de juveniles de tilapia. Es necesario tener en cuenta que la alimentación continua y la acumulación de desechos pueden incrementar las concentraciones de nitrógeno, fósforo y materia orgánica, lo que puede, eventualmente, afectar negativamente a los peces. La adición de fuentes de carbono en un sistema de biofloc ayuda a reciclar nutrientes mediante microorganismos heterotróficos, y se observó que la relación carbono-nitrógeno (C-N) se mantuvo entre 10 y 12:1, favoreciendo la movilización de nutrientes hacia proteína microbiana.

Los compuestos nitrogenados se eliminan a través de la nitrificación realizada por bacterias químio autótroficas. Aunque las concentraciones de compuestos nitrogenados fluctuaron, permanecieron dentro de los límites recomendados, indicando la actividad de las bacterias nitrificantes y la estabilización de los compuestos nitrogenados en el sistema.

El contenido proteico en la dieta es crucial para la acumulación de nutrientes en sistemas de producción de tilapia, ya que una alta proteína puede aumentar la excreción de nitrógeno. Por ello, se utilizó una dieta baja en proteína (28 % PC), lo que resultó en menores concentraciones de compuestos nitrogenados y menores costos

de alimentación, mejorando la sostenibilidad del sistema.

Además, se destacó la importancia de los carbonatos para mantener las condiciones óptimas de nitrificación y el efecto amortiguador del sistema. Aunque se observó una disminución en los niveles de carbonato de calcio durante el experimento, los valores de pH se mantuvieron estables, lo que indica que el sistema tiene una buena capacidad de buffer sin necesidad de fuentes adicionales de carbono.

A lo largo del tiempo, las concentraciones de clorofila disminuyeron, lo que puede atribuirse al hábito de filtrado de la tilapia, que consume eficientemente fitoplancton. Además, la estabilización del sistema de biofloc provoca un cambio de altas concentraciones de algas a un predominio bacteriano, lo que también contribuye a la reducción de clorofila. Este cambio puede verse influido por el aumento de materia particulada en suspensión (SST), que limita la radiación solar. A pesar de esto, se controlaron los sólidos en el sistema, manteniendo un volumen de sólidos suspendidos entre 40 y 70 mL/L, y asegurando que las concentraciones de SST no superaran el límite máximo recomendado de 500 mg/L.

### Equilibrio de nutrientes

El análisis del balance de masa de nutrientes en el sistema de biofloc mostró que los juveniles de tilapia utilizan los nutrientes de manera eficiente durante 70 días, con tasas de retención del 45,38 % de nitrógeno y 46,34 % de fósforo, superiores a las de los sistemas de recirculación (28,42 % de nitrógeno y 27,05 % de fósforo). La retención de carbono fue del 29,74 %, inferior a la de nitrógeno y fósforo, debido a que los carbohidratos se usan principalmente como energía. A pesar de esto, es considerada eficiente,

duplicando el 12 % reportado anteriormente para tilapia. En etapas iniciales, la tilapia aprovechó el alimento natural del sistema, pero el uso de alimento en hojuelas de alto contenido nutricional mejoró las tasas de retención de nutrientes, permitiendo que los peces triplicaran su peso promedio en 70 días. Además, se observó que períodos de restricción alimentaria seguidos de alimentación normal favorecieron la recuperación del crecimiento y el uso de nutrientes.

El sistema de biofloc ayuda a mitigar los impactos ambientales negativos de la carga de nutrientes en los efluentes mediante la reutilización de aguas residuales y el reciclaje de sólidos como subproductos útiles. Un manejo adecuado de los sólidos es esencial para evitar daños a los animales y se sugiere investigar el uso de estos residuos para alimento de otros animales, producción de biogás y fertilizantes, lo que podría reducir la contaminación en acuicultura. Los nutrientes no contabilizados en el balance de masa se deben a la sedimentación de sólidos y su uso por microorganismos. En estanques, el carbono no contabilizado proviene del carbono orgánico sedimentado y del  $\text{CO}_2$  generado por la respiración y descomposición microbiana, indicando que el fondo de los tanques puede tener más nutrientes que la columna de agua. En el sistema BFT, a pesar de la aireación, también se puede acumular una capa de sólidos sedimentables que contribuye a estos nutrientes no contabilizados.

El nitrógeno en los sistemas de biofloc se pierde parcialmente por volatilización y desnitrificación, mientras que el fósforo tiende a acumularse. Aunque las pérdidas por volatilización no se cuantificaron en este estudio, se reconoce que pueden ser significativas. Existen técnicas para estimar

las emisiones de gases de efecto invernadero en acuicultura, pero su aplicación requiere recursos no disponibles en este análisis. Por ello, es esencial realizar investigaciones futuras que midan estas pérdidas gaseosas y que establezcan estrategias para gestionar los sedimentos, lo que mejoraría la evaluación de la sostenibilidad ambiental de los sistemas de biofloc.

## Métricas de sostenibilidad

Dado que no existen indicadores de sostenibilidad específicos para el sistema BFT, se utilizó información de otros sistemas acuícolas para realizar comparaciones. Este estudio estimó que la tilapia juvenil en BFT requiere un volumen de  $0,0074 \text{ m}^3$  por tonelada, en comparación con los  $0,75$  a  $4,69 \text{ m}^3$  por tonelada en sistemas de jaulas. Además, el BFT permite una mayor densidad de población, con  $350$  peces/ $\text{m}^3$ , lo que facilita una alta productividad en menor espacio y con menos uso de agua.

Sin embargo, la aireación continua necesaria en BFT para mantener los sólidos en suspensión y satisfacer la demanda de oxígeno conlleva un alto consumo energético, reportando alrededor de  $114,000 \text{ kWh}$  anuales. Esta alta dependencia energética puede deberse a ineficiencias operativas en el equipo de aireación. Para mejorar la sostenibilidad del BFT, es vital abordar estas ineficiencias mediante aireadores más eficientes, la optimización de programas de aireación, y la integración de sistemas de monitoreo en tiempo real. Además, la implementación de fuentes de energía renovables, como paneles solares, podría reducir significativamente el consumo eléctrico y la huella de carbono del sistema. La adopción de estas mejoras es crucial para aumentar la eficiencia energética y el rendimiento ambiental del BFT.

Los sistemas de acuicultura intensiva, al depender del alimento artificial, aumentan el aporte de nutrientes al medio ambiente. Sin embargo, el sistema BFT presenta ventajas en este aspecto, mostrando menores aportes de carbono, nitrógeno y fósforo en comparación con la producción de tilapia en jaulas en el sureste de Brasil. Según un estudio mencionado, los sistemas de jaulas requieren alrededor de 700 kg de carbono, 77,5 kg de nitrógeno y 18,25 kg de fósforo por tonelada de tilapia producida, mientras que el sistema BFT solo requiere aproximadamente 257,54 kg de carbono, 30,86 kg de nitrógeno y 7,77 kg de fósforo por tonelada de pescado.

La alta eficiencia en el uso de nutrientes del sistema BFT resulta en un menor potencial de eutrofización. Aunque se generan desechos, el potencial eutrofizante del BFT es significativamente más bajo que el de los sistemas de jaulas, que descargan 57,39 kg de carbono, 20,01 kg de nitrógeno y 5,70 kg de fósforo por tonelada de pescado. Esto se debe a la dinámica microbiana en BFT, donde las bacterias heterotróficas asimilan compuestos nitrogenados, minimizando la pérdida de nutrientes y promoviendo su reciclaje interno a través de los biofloc, que también sirven como fuente de nutrientes para los peces. Además, la naturaleza de circuito cerrado del BFT retiene nutrientes en la columna de agua, permitiendo su reutilización en ciclos de producción posteriores, lo que reduce la liberación de contaminantes al medio ambiente.

El riesgo del sistema BFT para la conservación de la biodiversidad local se considera medio. Los sistemas cerrados como el BFT previenen la propagación de especies exóticas y microorganismos debido a la barrera física que presentan. Esta configuración garantiza la seguridad contra fugas y refleja un alto estándar de seguridad ambiental.

Considerando estos indicadores ambientales, el BFT destaca como un sistema de alta productividad con un consumo mínimo de agua y una superficie de producción mínima. Además, las eficientes técnicas del sistema BFT para retener nutrientes en la biomasa animal, reducir el potencial de eutrofización y conservar la biodiversidad local resaltan su sostenibilidad general.

## **Eficiencia del crecimiento**

La tasa de supervivencia de los juveniles de tilapia del Nilo en el estudio fue del 95,96% al 100%, lo que es fundamental para la rentabilidad en la acuicultura al reducir pérdidas. Estas altas tasas de supervivencia en el sistema BFT están asociadas con el consumo de hojuelas microbianas, que mejoran la inmunidad de los peces y reducen la mortalidad.

A pesar de que la temperatura promedio estuvo por debajo del rango óptimo de 28-30 °C, esto no afectó negativamente el crecimiento, como lo evidencian el peso final y la tasa de crecimiento específica. Resultados similares se han observado en otros estudios con tilapia criada en condiciones BFT.

Además, el factor de conversión alimenticia (AFC) promedio fue de 1,05, mostrando alta eficiencia alimenticia, en parte gracias a la utilización de hojuelas microbianas como fuente de alimento complementario. En contraste, en sistemas de recirculación de agua, el AFC se encuentra entre 1,48 y 1,76. Esta eficiencia en el uso de nutrientes también contribuye a la producción de menos desechos en el medio acuático. En resumen, el sistema BFT es una opción viable para la crianza de juveniles de tilapia del Nilo, ya que presenta altas tasas de supervivencia, buen rendimiento de crecimiento y alta eficiencia alimenticia.

## Conclusiones

El análisis de balance de masa reveló un alto nivel de retención de nutrientes en la biomasa de los peces, con mínimas pérdidas de nutrientes al medio acuático. Esta eficiencia minimiza la liberación de efluentes potencialmente eutrofizantes, contribuyendo directamente a la sostenibilidad ambiental del sistema de producción. Los indicadores de sostenibilidad confirman que el sistema de biofloc promueve una alta productividad, a la vez que reduce significativamente el consumo de agua y la necesidad de espacio. Estas características convierten al BFT en una solución estratégica para regiones con escasez de agua, restricciones ambientales o la necesidad de intensificar la producción de forma sostenible. Sin embargo, la estabilidad a largo plazo del sistema de biofloc es crucial para mantener estos beneficios, ya

que las condiciones inestables pueden comprometer la productividad y la eficiencia del sistema. Además, es importante destacar la alta dependencia del sistema de la energía eléctrica, lo cual debe considerarse cuidadosamente al evaluar su viabilidad económica y ambiental general. Las investigaciones futuras deberían centrarse en optimizar el uso de la energía y mejorar la estabilidad del sistema para incrementar la viabilidad general del sistema de biofloc como tecnología acuícola sostenible.

Blatt, TL d. S., Cardoso, AJ d. S., Watanabe, AL, Neto, CCB y Hisano, H. (2025). Environmental Sustainability of Nile Tilapia Reared in Biofloc Technology (BFT) System: Evaluation of Carbon, Nitrogen, and Phosphorus Dynamics and Indicators of Sustainability. *Sustainability*, 17 (13), 5670. <https://doi.org/10.3390/su17135670>

Ciclo de webinar

Revista El Acuicultor y Boletín mensual

Página web

Membresía SVA

Plataformas sociales comunidad digital

**AHORA TU MARCA ES VISIBLE PARA EL SECTOR ACUÍCOLA**

**[www.svacuicultura.org](http://www.svacuicultura.org)**

**SVA** Sociedad Venezolana de Acuicultura

# PARTICIPACIÓN DE LOS JÓVENES EN LA ACUICULTURA: FORMANDO A LA PRÓXIMA GENERACIÓN DE LÍDERES EN ALIMENTOS AZULES EN EL CARIBE

Juli-Anne Russo / Centro de Educación e Innovación en Acuicultura del Caribe  
caribbeanaquaculturen876@gmail.com



Bethany Dean, recién graduada, ahora en la Fundación Alligator Head.

A medida que el Caribe se enfrenta a crecientes desafíos ambientales y económicos, la acuicultura presenta una de las soluciones más prometedoras para lograr la seguridad alimentaria, mejorar la resiliencia climática y promover el empleo juvenil. Sin embargo, el sector sigue estando infrautilizado y poco representado, especialmente por el grupo que podría impulsar su transformación: los jóvenes.

En todo el Caribe, la mano de obra dedicada a la acuicultura y las ciencias marinas está envejeciendo rápidamente. Se prevé que muchos de los científicos y técnicos más experimentados de la región se jubilen en los próximos tres a cinco años. Sin una reserva de nuevos talentos, la región corre el riesgo de perder conocimientos fundamentales, ralentizar la innovación y perder la oportunidad de expandir la acuicultura como pilar de la economía azul.

Al mismo tiempo, los estudiantes que se gradúan con títulos en ciencias marinas se

enfrentan a perspectivas laborales limitadas. A pesar de su formación académica, muchos tienen dificultades para encontrar un empleo relevante, lo que conduce a la fuga de cerebros y a la desilusión. Mientras tanto, el cultivo en entornos marinos es un sector en gran parte sin explotar, que ofrece un enorme potencial de crecimiento en áreas como el cultivo de ornamentales marinos y algas, el cultivo de bivalvos, erizos de mar, pepinos de mar, sistemas de acuicultura multiintegrados y muchos otros.

Existe una necesidad apremiante de conectar a los jóvenes con este potencial, no solo como solución al desempleo juvenil, sino como inversión estratégica en la resiliencia y la autosuficiencia del Caribe.

## Por qué son importantes la Acuicultura y la Maricultura

La acuicultura y la maricultura son fundamentales para el uso sostenible de los recursos oceánicos con fines de crecimiento económico, mejora de los medios de vida y salud del ecosistema oceánico. En los pequeños estados insulares en desarrollo, como los del Caribe, estos sectores pueden:

- Reducir la dependencia de los productos del mar importados.
- Proporcionar alimentos nutritivos a las comunidades locales.
- Crear oportunidades de medios de vida resistentes al clima.
- Impulsar la innovación en prácticas de cultivo sostenibles.
- Crear soluciones basadas en los ecosistemas para la conservación marina.

La participación de los jóvenes es clave para aprovechar estos beneficios. Los

jóvenes científicos, emprendedores y estudiantes aportan ideas frescas, fluidez digital y voluntad de desafiar los modelos obsoletos. También se encuentran en una posición única para disipar las percepciones negativas del público sobre la acuicultura, como las preocupaciones por la contaminación excesiva o las prácticas insostenibles, aplicando su formación científica para desarrollar soluciones limpias, eficientes desde el punto de vista energético y centradas en la comunidad. En el Caribe también existe una falta de comprensión del alcance de la acuicultura, y el reconocimiento actual se limita generalmente al cultivo de tilapia.

## Por qué los Jóvenes del Caribe Deben Trabajar Juntos

El Caribe está formado por más de 100 islas, cada una con culturas, recursos y retos distintos. Sin embargo, los obstáculos a los que se enfrentan los jóvenes, como el cambio climático, el desempleo y la falta de infraestructura científica, son compartidos. Para que la acuicultura prospere como estrategia regional, los jóvenes del Caribe deben colaborar más allá de las fronteras para intercambiar conocimientos, fortalecer las redes y desarrollar conjuntamente soluciones sostenibles.

Esta unidad se alinea con los objetivos de la Secretaría de la CARICOM y la Organización de Estados del Caribe Oriental (OECS), que promueven la integración regional, la seguridad alimentaria y el desarrollo de la juventud. La formación de Youth in Caribbean Aquaculture (YCA) apoya directamente estos esfuerzos al conectar a los jóvenes a través de objetivos comunes, oportunidades de trabajo de campo y formación en liderazgo.

Con una contribución inferior al 1 % de la

producción acuícola mundial, el Caribe ha quedado al margen de los debates en numerosas conferencias sobre acuicultura, conservación de los océanos, economía azul e innovación azul, en comparación con otras regiones. Este espíritu de solidaridad regional es el núcleo de la misión de YCA para crear una generación de líderes acuícolas en el Caribe conectados, cualificados y empoderados.

## El Movimiento YCA

Reconociendo estas necesidades y oportunidades, bajo el liderazgo del Centro de Educación e Innovación en Acuicultura del Caribe (CAEIH) y la orientación de la Dra. Juli-Anne Russo, directora ejecutiva y fundadora del CAEIH, un grupo de ocho estudiantes universitarios de ciencias marinas

de la Universidad de las Indias Occidentales (UWI), Departamento de Ciencias de la Vida, en Kingston, Jamaica, fundó Youth in Caribbean Aquaculture (YCA) en 2024. Como filial del Centro de Educación e Innovación en Acuicultura del Caribe, YCA se dirige a jóvenes de entre 16 y 25 años, con el objetivo de fomentar la concienciación, el liderazgo y las habilidades técnicas entre la próxima generación de defensores de los alimentos azules. YCA ofrece formación, networking y experiencias prácticas a los jóvenes, al tiempo que promueve la innovación en el cultivo sostenible y la colaboración intercultural. Al empoderar a los jóvenes como científicos y emprendedores, YCA apoya el desarrollo de una economía azul resiliente y el futuro de la seguridad alimentaria y la sostenibilidad medioambiental del Caribe.



Geresa-Leigh Luke, coordinadora de eventos de YCA.

Desde su creación, YCA ha tenido un impacto extraordinario:

- En 2024 se celebraron tres reuniones virtuales de networking, que conectaron a estudiantes de todo el Caribe y los expusieron a oportunidades reales en la cría de peces ornamentales, la acuicultura marina y la innovación en la acuicultura de algas marinas.
- Los estudiantes tuvieron la oportunidad de visitar granjas de peces ornamentales, donde los productores de peces ornamentales tienen el potencial de contribuir a un lucrativo mercado de exportación en Jamaica.
- De los ocho miembros fundadores, dos se han graduado desde entonces. Bethany Dean es ahora una prometedora investigadora científica en la Alligator Head Foundation de Jamaica, y Matthew-Pierre Roger está cursando estudios de posgrado en la Universidad de las Indias Occidentales, campus de Mona en Kingston, Jamaica, como el primer estudiante caribeño especializado en ciencias de la acuicultura con enfoque en la producción de algas marinas. Tanto Bethany como Matthew-Pierre se convirtieron en los primeros líderes estudiantiles de la Junta Directiva Ejecutiva del CAEIH, dando voz a las necesidades de los jóvenes en el crecimiento del sector de la acuicultura.
- Bajo la orientación del CAEIH, Matthew-Pierre recibió recientemente una subvención en la primavera de 2025 para ayudar a una asociación cooperativa de algas marinas dirigida por mujeres en la isla de Canouan, en las Granadinas, para realizar pruebas y formarlos en el análisis de la calidad del agua. En julio de 2024, el huracán Beryl azotó Canouan, causando una devastación significativa en las granjas de estas mujeres, que dependían del cultivo de algas marinas y la creación de productos de valor agregado

para su sustento. Matthew pudo empoderar a estas mujeres enseñándoles a comprender mejor su entorno marino.

- En abril de 2025, Alessandro Russo, un estudiante de secundaria de 16 años, adquirió una valiosa experiencia y conocimientos al interactuar con expertos de alto nivel en acuicultura en la Cumbre de Innovación Alimentaria Azul celebrada en Londres.
- En julio de 2025, el grupo nombró a Geresaleigh Luke, del Laboratorio Whitney de la Universidad de Florida, coordinadora de eventos, con el fin de ampliar la participación regional y profundizar el compromiso de los estudiantes.
- También se puso en marcha un programa de embajadores nacionales para organizar excursiones y visitas a granjas en las distintas islas, con el fin de que los estudiantes pudieran conocer de primera mano las operaciones acuícolas y a los empresarios del sector.

## Colaboración Regional e Internacional

En septiembre de 2025, YCA organizó su primera sesión de networking intercultural con estudiantes del programa Oceans Duke de la Universidad de Duke, dirigido por la Dra. Stephanie Russo. Esta colaboración fomentará el diálogo entre los jóvenes del Caribe y los Estados Unidos y sentará las bases para un seminario web conjunto durante la Semana de los Océanos 2026. Estas asociaciones ayudan a los jóvenes del Caribe a ganar visibilidad y amplificar sus voces en las conversaciones globales sobre los sistemas alimentarios azules, la innovación y la acción climática.

## Objetivos Futuros de YCA

A medida que el movimiento crece, YCA se compromete a:

- Expandirse a todas las naciones del Caribe, incluidos los territorios de habla española, francesa y neerlandesa.
- Establecer seminarios web trimestrales sobre carreras en acuicultura, emprendimiento e investigación científica.
- Poner en marcha una red de mentores que conecte a los estudiantes con científicos, expertos en políticas y acuicultores de la región.
- Liderar un programa de investigación estudiantil centrado en las algas, la piscicultura tropical y el desarrollo de alimentos sostenibles.
- Abogar por que la acuicultura sea reconocida como una asignatura STEM en las escuelas secundarias y universidades del Caribe.

## Cultivando la Innovación, el Liderazgo y la Esperanza

La iniciativa Youth in Caribbean Aquaculture (YCA) es más que un simple grupo de estudiantes. Es un movimiento que responde a retos urgentes con visión, colaboración y acción. Al formar a jóvenes líderes capacitados, apasionados y preparados para innovar, YCA está sembrando las semillas para un sector acuícola caribeño próspero, justo, sostenible y preparado para el futuro. Invertir en los jóvenes no solo es la solución al envejecimiento de la mano de obra y al estancamiento económico, sino que es la clave para liberar todo el potencial de la economía azul del Caribe.

Puede acceder al artículo original en la revista de la World Aquaculture Society, 2025, Volumen 53, Número 3 o a través del siguiente enlace:

<https://www.was.org/LACC/es/Magazine/2025/03/index.html>



Estudiantes de Biología Marina en la UWI.

# PECES AMAZÓNICOS, PRODUCCIÓN ASIÁTICA: CÓMO CHINA TOMÓ EL LIDERAZGO MUNDIAL EN EL CULTIVO DE CACHAMA

Guilherme Levorato / Brasil247



Cachama. Foto: Fernando Frazão/Agencia Brasil.

Originario de la cuenca amazónica e históricamente asociado con la pesca y la piscicultura brasileña, la cachama ha dejado de ser un simple símbolo regional para convertirse en un producto acuícola global. En las últimas décadas, este pez ha traspasado fronteras, se ha consolidado en sistemas de cultivo intensivo y ahora se produce

a gran escala fuera de su país de origen. Actualmente, China lidera la producción y exportación mundial de cachama, mientras que Brasil, aunque estratégico, ocupa el segundo lugar en términos de volumen.

La planificación industrial, las economías de escala y la integración a las cadenas globales

de proteínas acuáticas han permitido a China asumir un papel de liderazgo en la producción de esta especie, sin que Brasil pierda su relevancia técnica y científica.

## Un pez amazónico con características globales

La cachama (*Colossoma macropomum*) es un pez de agua dulce conocido por su rápido crecimiento, resistencia y excelente conversión alimenticia. Adaptable a las variaciones en los niveles de oxígeno y a los sistemas de cultivo intensivo, alcanza altos pesos comerciales en ciclos relativamente cortos. Su carne blanca y su buen rendimiento industrial refuerzan su atractivo económico.

Estas características han despertado el interés de países con una sólida tradición en acuicultura intensiva. Para China, que busca especies eficientes para abastecer un mercado interno gigantesco y mantener un flujo constante de exportaciones, la cachama se ha adaptado casi a la perfección a su modelo de producción.

## Estrategia china y producción a gran escala

La introducción de la cachama en la matriz acuícola china se produjo mediante programas controlados, adaptación genética y mejora de los sistemas de cultivo. En poco tiempo, la especie comenzó a criarse en estanques excavados, bajo modelos semi-intensivos y sistemas altamente tecnificados.

El país estructuró cadenas de suministro completas que incluyen producción a gran escala, logística integrada, procesamiento industrial de filetes, productos congelados y gran capacidad de exportación continua.

Con esto, superó a Brasil en volumen total de producción e incorporó la cachama a su portafolio global de proteínas acuáticas.

## Brasil mantiene su liderazgo técnico y genético

Aunque no lidera el ranking en cantidad producida, Brasil sigue siendo un referente mundial en el cultivo de cachama. El país alberga los principales bancos genéticos de la especie y domina técnicas fundamentales como la reproducción inducida, la larvicultura y el engorde en climas tropicales.

Las universidades, centros de investigación y empresas brasileñas han sido responsables de avances decisivos en estas áreas, muchos de los cuales fueron adoptados posteriormente en otros países. En la práctica, una parte significativa del conocimiento que se aplica hoy en Asia proviene de la investigación realizada en Brasil.

## Mercado interno fuerte, pero poca estandarización

Otro factor que explica la diferencia en la prominencia reside en el destino de la producción. En Brasil, el consumo de la cachama es mayoritariamente interno, concentrándose principalmente en las regiones Norte, Nordeste y Centro-Oeste. El pescado se vende ampliamente fresco en ferias y mercados regionales, lo que limita la estandarización y los volúmenes exportables.

En China, la cachama se considera un producto global, integrado en las líneas industriales de procesamiento, congelación y distribución internacional. Esta diferencia

en el modelo económico explica por qué el liderazgo chino se ha consolidado en volumen, mientras que Brasil se ha centrado más en el mercado interno.

## Impacto en el comercio pesquero internacional

Con la expansión de la producción china, la cachama comenzó a competir por espacio en el comercio internacional con especies como la tilapia y el panga. Su costo competitivo y perfil nutricional aumentaron su atractivo para los países importadores de proteínas acuáticas, reforzando la tendencia a la globalización de especies que antes se consideraban locales.

Este movimiento pone de manifiesto un cambio estructural en el sector: el origen biológico ya no garantiza el liderazgo productivo. En la acuicultura moderna, prevalecen la escala, la logística, el procesamiento y el acceso a los mercados globales.

## Un retrato de la acuicultura en el siglo XXI

La trayectoria de la cachama ilustra cómo el conocimiento científico, al combinarse con la capacidad industrial, redefine las cadenas de producción. El pez se originó en la Amazonía, su cultivo se mejoró en Brasil y alcanzó una producción masiva en China, integrándose al mercado mundial de piscifactoría.

Si bien China lidera en volumen, Brasil mantiene un rol destacado en genética y tecnología. Se trata de roles distintos, con distintos impactos en la economía acuícola mundial, pero que demuestran cómo la transformación del conocimiento a escala productiva se ha vuelto decisiva en la competencia por el liderazgo del sector.

Puede acceder al artículo original a través del siguiente enlace:

<https://www.brasil247.com/geral/peixe-amazonico-producao-asiatica-como-a-china-assumiui-a-lideranca-global-do-tambaqui>

BOLETÍN MENSUAL

 Sociedad Venezolana de Acuicultura

**BOLETÍN #SVA**

NOTICIAS DEL SECTOR, DIRECTO A TU BANDEJA DE ENTRADA

[www.svacuicultura.org](http://www.svacuicultura.org)

SUSCRÍBETE A NUESTRA LISTA DE DIFUSIÓN

EMAIL

NOMBRES

APELLIDOS

He leído y acepto la Política de Privacidad de la SVA.

SUSCRIBIRSE

Recibe nuestros boletines de manera mensual, información sobre los eventos de la sociedad, webinars y nuestra revista El Acuicultor, directo a tu bandeja de entrada.

EL ACUICULTOR

En alianza con

# TILAPIA DEL NILO: ANOMALÍA EN LA ESTRUCTURA REPRODUCTIVA EXTERNA. CAUSAS E IMPACTOS EN LA PRODUCCIÓN DE ALEVINES

Érika Ramos de Alvarenga, Vinícius Monteiro Bezerra, Carlos Augusto Gomes Leal y Eduardo Maldonado Turra / Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)



Aunque la tilapia se reproduce fácilmente en granjas comerciales, la eficiencia de la producción de alevines puede verse reducida si en el plantel de reproductores hay animales con baja capacidad reproductiva. Estudios recientes realizados por el grupo de

investigación NGTAqua (Nutrición, Genética y Tecnología en Acuicultura), en colaboración con el laboratorio Aquavet (Laboratorio de Enfermedades de Animales Acuáticos), ambos de la Facultad de Veterinaria de la Universidad Federal de Minas Gerais,

identificaron alteraciones anatómicas en la estructura reproductiva externa (papila urogenital) de hembras de tilapia del Nilo, describieron las posibles causas de estas alteraciones (efectos de la temperatura, agentes patógenos y genéticos) y calcularon el impacto de esta anomalía en el desempeño reproductivo de la tilapia del Nilo (Bezerra *et al.*, 2023; Bezerra *et al.*, 2025).

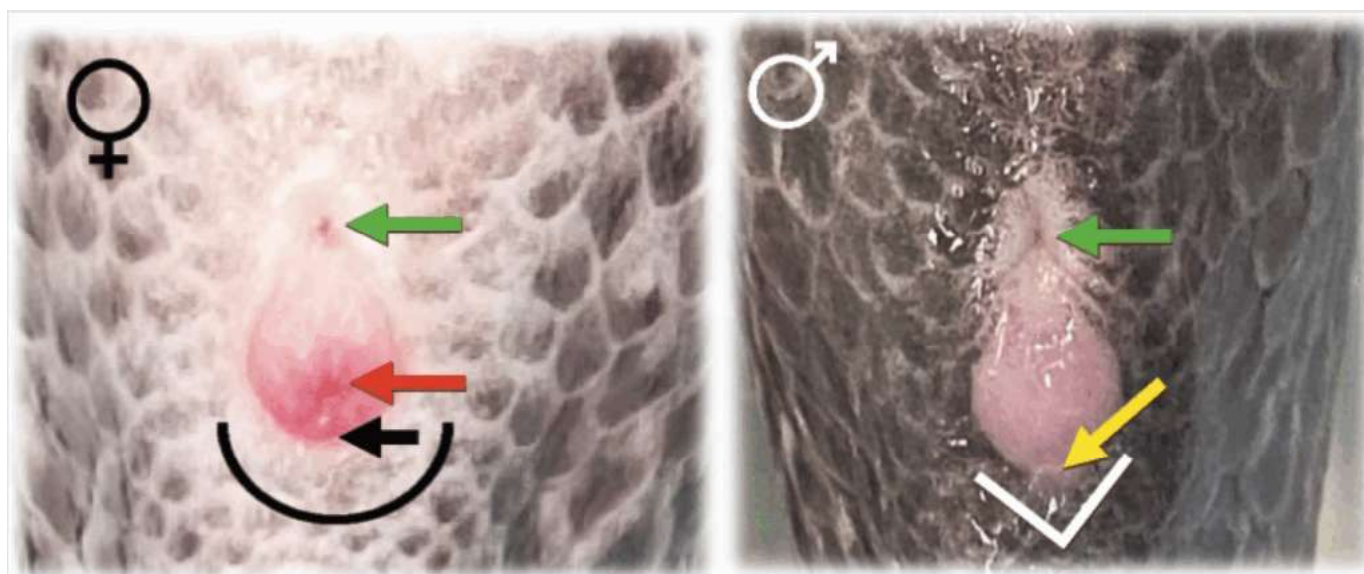
## Estructura reproductiva externa de la tilapia: la papila urogenital

La tilapia del Nilo presenta dimorfismo sexual externo, lo que significa que los machos se pueden distinguir de las hembras simplemente evaluando su estructura reproductiva externa, denominada papila urogenital (El-Sayed, 2019). En los machos adultos, se observa una única abertura en la papila urogenital, que corresponde al

poro genitourinario, mientras que en las hembras se observan dos aberturas: la salida del oviducto, en la parte craneal, y el poro urinario en la parte caudal de la papila urogenital (**Figura 1**). Además, la forma de la papila urogenital difiere entre sexos, siendo más redondeada en las hembras y más alargada en los machos (Baroiller y D'Cotta, 2018). Esta capacidad de distinguir los sexos contribuye en gran medida a la actividad de los reproductores, ya que les permite separar a los machos de las hembras y evitar la reproducción en momentos indeseables.

Además, permite mantener la proporción ideal de machos y hembras en los tanques de cría y facilita el manejo de los reproductores. Por lo tanto, la forma adecuada de la papila urogenital es esencial para el correcto manejo de los reproductores de tilapia.

Se han descrito variaciones en la forma de la papila urogenital en la tilapia del Nilo en experimentos con tratamientos que incluyen



**Figura 1.** Papilas urogenitales normales de la tilapia del Nilo. A la izquierda, se observa una papila urogenital femenina, donde se aprecia la abertura del oviducto (flecha roja) y el poro urinario (flecha negra). El ano se señala con la flecha verde.

Se observa la forma más redondeada de la papila urogenital femenina. A la derecha, se muestra la papila urogenital masculina, donde se aprecia el poro genitourinario (flecha amarilla) y el ano en la punta de la flecha verde. Se observa una estructura más alargada en la papila urogenital masculina. Adaptado de Bezerra *et al.*, 2025.

la aplicación de hormonas sexuales (como en los trabajos de Alcántar-Vázquez et al., 2014 y Alcántar-Vázquez et al., 2015). Desde 2005, se han observado tilapias hembras con papilas urogenitales alteradas en una granja de alevines en Minas Gerais (Prof. Eduardo Maldonado Turra, UFMG, comunicación personal). Más recientemente, el laboratorio Aquavet recibió dos lotes de reproductores (aproximadamente 120 animales por lote) procedentes de granjas en los estados de Minas Gerais y São Paulo, en los que se identificó entre un 8 y un 10 % de hembras reproductoras con alteraciones en la estructura reproductiva externa (Prof. Carlos Augusto Gomes Leal, UFMG, comunicación personal). Además, el grupo NGTAqua observó en sus reproductores cultivados en invernaderos la presencia de hembras con papilas urogenitales alteradas, similares a las de los machos. A partir de estas observaciones, se inició una investigación para determinar las causas de estas alteraciones y sus repercusiones en la eficiencia reproductiva de la tilapia del Nilo.

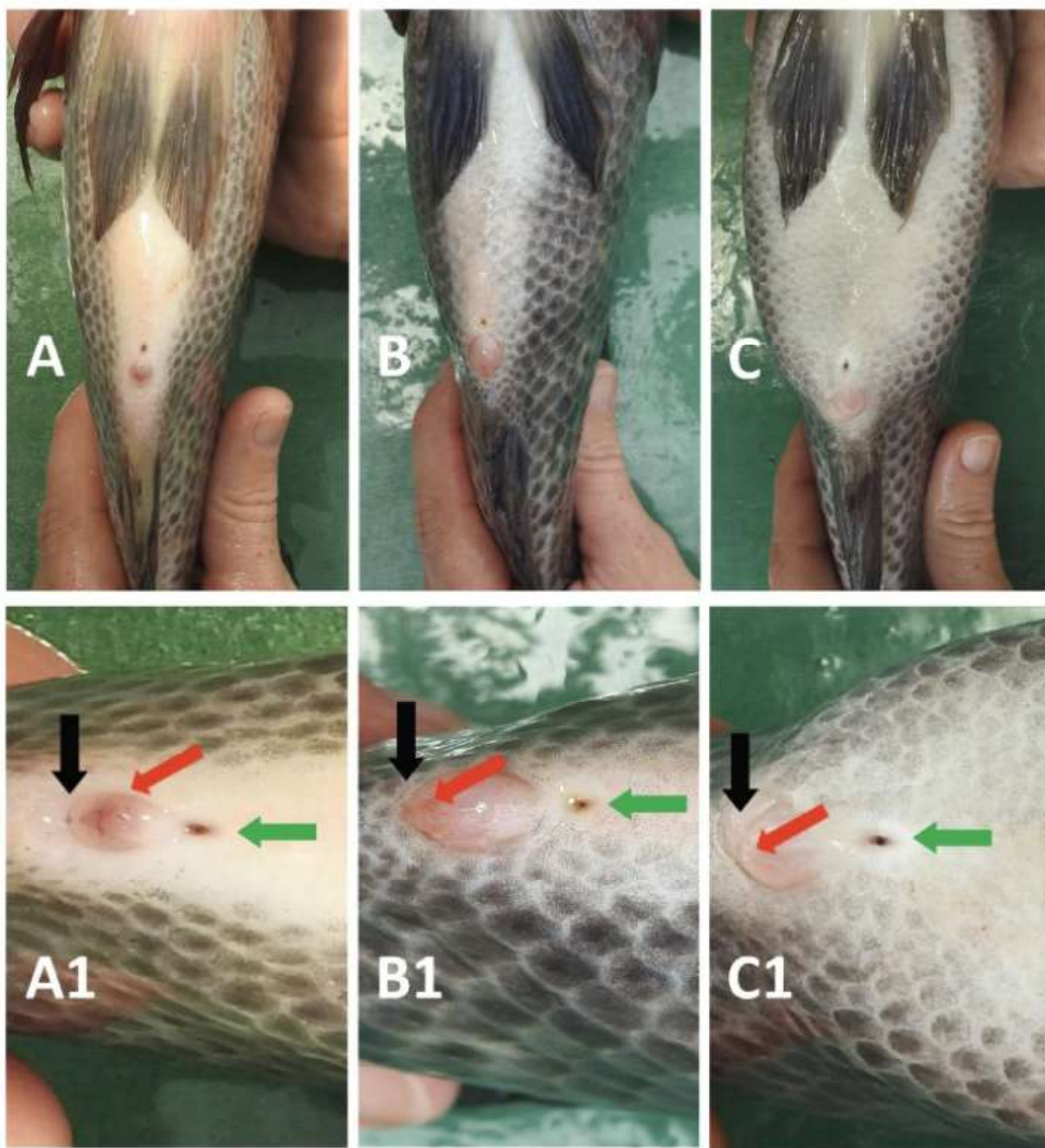
## Anomalía de la papila urogenital

Las hembras con papilas urogenitales alteradas presentan una papila urogenital alargada, similar a la de los machos, y sin una abertura oviductal evidente (**Figura 2**). En estos animales, al ejercer una ligera presión en la cavidad celómica, es posible observar ovocitos atrapados en la abertura oviductal (**Figura 3**). En los casos más graves, la acumulación de ovocitos no desovados provoca una protuberancia en el cuerpo del animal (específicamente en la cavidad celómica). Al evaluar los ovarios de las hembras con anomalías, más del 65 % presentaban algún grado de disfunción ovárica, como aumento de volumen, acumulación de líquido verdoso, gran cantidad de ovocitos atrésicos y la presencia de masas marrones y endurecidas (**Figura 4**),

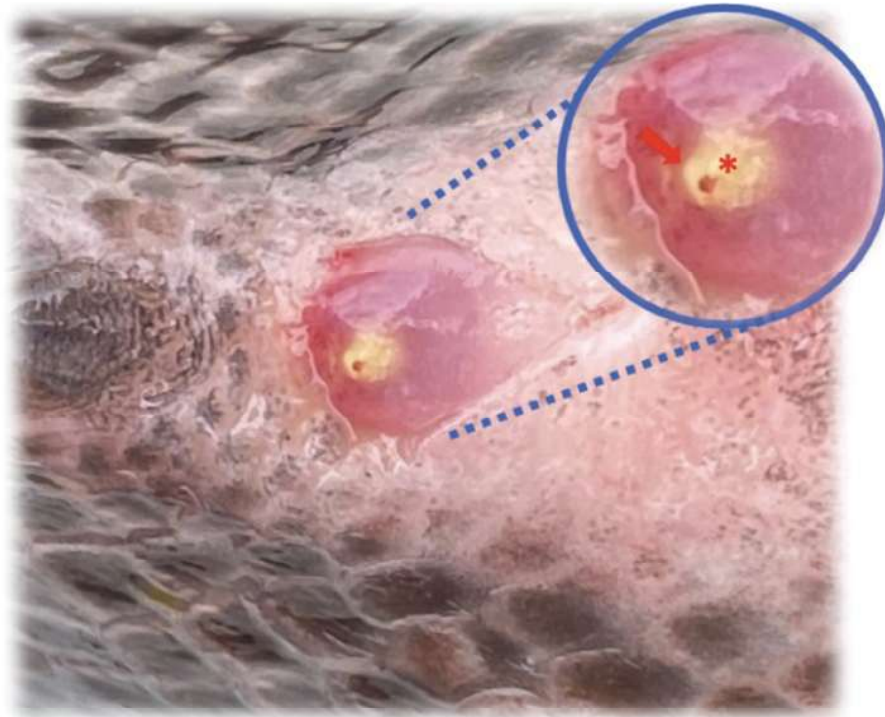
lo que indica que las hembras con papilas urogenitales anormales también pueden presentar disfunción ovárica.

## Impacto de las anomalías de las papilas urogenitales en el desempeño reproductivo

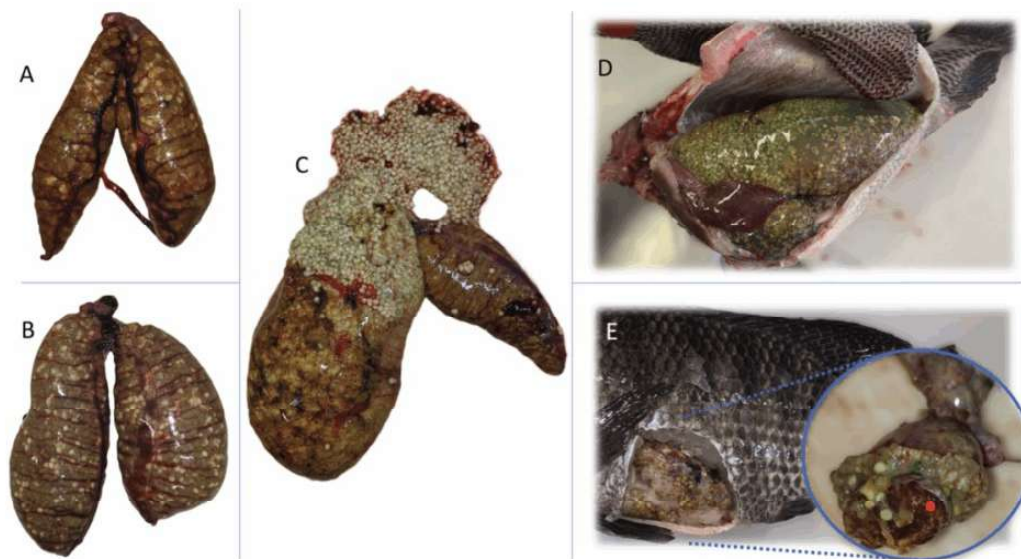
Para evaluar el impacto de las anomalías en las papilas urogenitales sobre el rendimiento reproductivo de la tilapia, los investigadores separaron 96 hembras normales y 96 hembras con papilas urogenitales anormales y realizaron un periodo de reproducción de 9 semanas entre ambos grupos. Cada semana, 32 hembras de cada grupo (normal y anormal) se alojaron con machos normales y se evaluó su producción de larvas. Durante estas 9 semanas de reproducción, los animales se mantuvieron a 28 °C durante 3 semanas, a 26 °C durante 3 semanas y a 24 °C durante las 3 semanas restantes. En este experimento, en promedio, el 33,6, 40,8 y 21,6 % de las hembras normales se reprodujeron a 28, 26 y 24 °C, respectivamente. Por otro lado, la proporción de hembras con anomalías que se reprodujeron fue del 14,3 % a 28 °C, 13,7 % a 26 °C y 2,1 % a 24 °C (**Figura 5**). El análisis estadístico de los datos mostró que la proporción de hembras que se reprodujeron en el grupo normal fue 3,2 veces mayor que la proporción de animales que se reprodujeron en el grupo de hembras con papilas urogenitales anormales a una temperatura de 28 °C, 4,6 veces mayor a una temperatura de 26 °C y 5,5 veces mayor a una temperatura de 24 °C. Por lo tanto, el rendimiento reproductivo de los animales con papilas urogenitales anormales se reduce drásticamente en comparación con el de los animales con estructuras reproductivas externas normales (para más detalles, véase Bezerra et al., 2023).



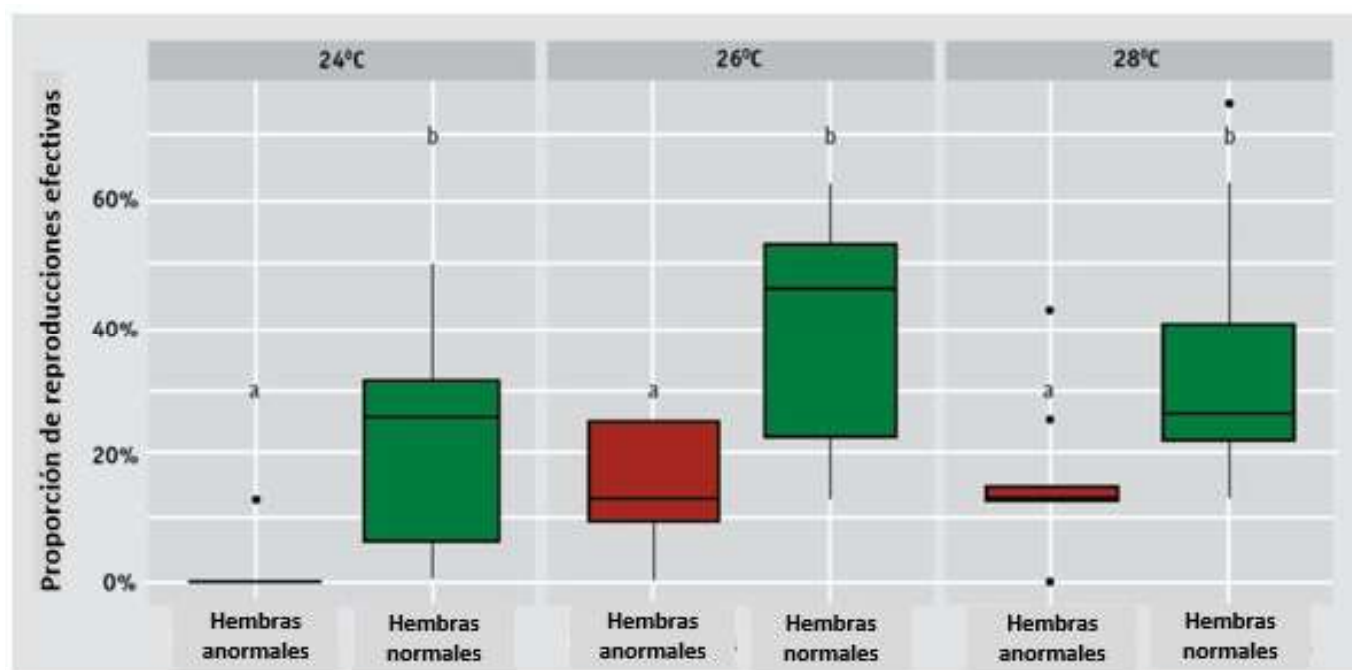
**Figura 2.** Comparación de la papila urogenital de tilapias del Nilo hembras consideradas normales (A, A1) y anormales (B, B1 y C, C1). Las fotos A y A1 muestran los peces y un detalle de una papila urogenital considerada normal, con un oviducto bien definido (flecha roja) y un poro urinario (flecha negra). El ano se identifica con la flecha verde. Las fotos B y B1 muestran hembras clasificadas con una malformación moderada, con una papila urogenital más alargada, similar a la de un macho, y con una cavidad celómica ligeramente distendida. Las fotos C y C1 muestran la papila urogenital clasificada como anormal con una alteración grave, que provoca una gran acumulación de ovocitos y una protrusión severa de la cavidad celómica. Adaptado de Bezerra *et al.*, 2023.



**Figura 3.** Papila urogenital de una tilapia del Nilo hembra con una anomalía. La papila urogenital femenina es similar a la masculina. Una ligera presión sobre la cavidad celómica revela un ovocito (\*), pero este permanece atrapado en la salida del oviducto (→). Adaptado de Bezerra *et al.*, 2025.



**Figura 4.** Ovarios con aspecto normal (A), ligeramente alterados (B) y gravemente comprometidos (C). Los ovarios gravemente comprometidos presentan un gran volumen de ovocitos atrésicos (ovocitos blanquecinos), acumulación de líquido verdoso (D) y, ocasionalmente, masas parduzcas con material endurecido (E), como en el punto rojo resaltado en el círculo azul. Adaptado de Bezerra *et al.*, 2025.



**Figura 5.** Tasa de reproducción efectiva de hembras de tilapia del Nilo con papilas urogenitales normales (verde) y anormales (rojo). Letras diferentes para cada una de las temperaturas a las que se expusieron los animales durante la reproducción indican una diferencia significativa en la tasa de reproducción efectiva según la prueba estadística de Mann-Whitney ( $p < 0,05$ ). Adaptado de Bezerra *et al.*, 2023.

## Factores que influyen en la aparición de anomalías de la papila urogenital

El bajo rendimiento reproductivo de los animales con papilas urogenitales anormales llevó a los investigadores a indagar las posibles causas de esta afección. Una hipótesis inicial planteaba que el bajo rendimiento reproductivo se debía a una infección bacteriana ascendente del oviducto, que provocaba un proceso inflamatorio y necrótico en los ovarios. Para comprobar esta hipótesis, se realizó un estudio para aislar bacterias en los animales con la anomalía. Este análisis bacteriano se llevó a cabo tanto en animales inmediatamente después de la identificación de la anomalía de la papila

(cuando las hembras tenían alrededor de 6 meses de edad) como en animales adultos tras el proceso reproductivo. Sin embargo, todas las pruebas bacteriológicas resultaron negativas, lo que indica que una causa infecciosa es improbable (Bezerra *et al.*, 2023; Bezerra *et al.*, 2025).

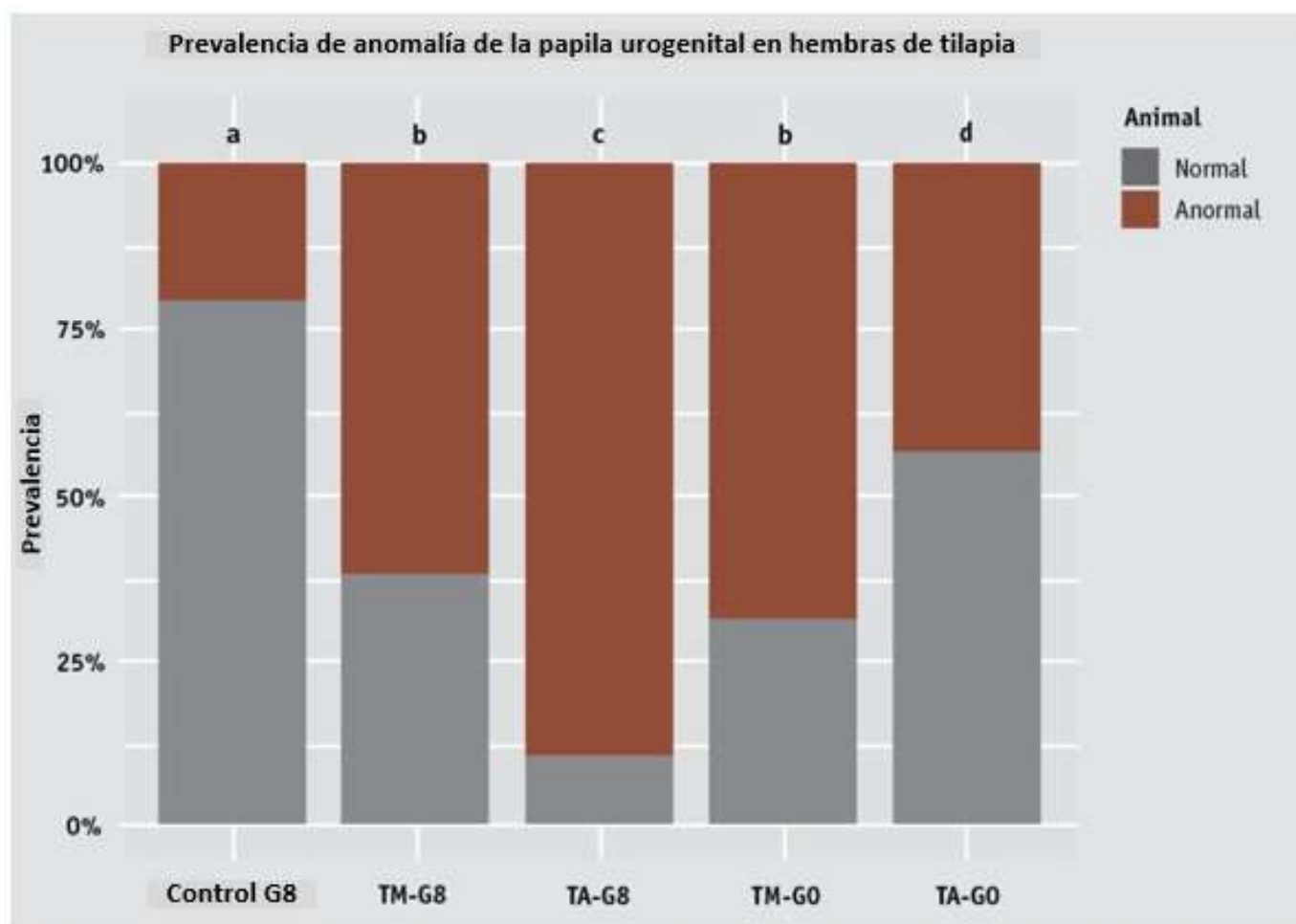
Una segunda hipótesis sugería que las altas temperaturas durante la diferenciación sexual podrían tener un efecto masculinizante en la papila urogenital de las hembras, asemejándola a la de los machos, aunque esta temperatura no sería lo suficientemente alta como para masculinizar los ovarios. La hipótesis del efecto de las altas temperaturas se basaba en el hecho de que la frecuencia de hembras con papilas urogenitales anormales observadas en el Laboratorio de Acuicultura de la UFMG aumentaba tras el cultivo de ejemplares jóvenes en un invernadero durante el verano, cuando

la temperatura del agua puede alcanzar valores entre 30 °C y 33 °C. Para comprobar esta hipótesis, se definieron tres rangos de temperatura: de 25 a 28 °C, considerada temperatura normal de cultivo (control); de 27 a 30 °C, considerada temperatura moderadamente alta (TM); y de 30 a 33 °C, un rango de temperatura alta (TA). Además del efecto de la temperatura, los factores genéticos podrían influir en la prevalencia de anomalías en la papila urogenital. Por lo tanto, se evaluaron dos líneas genéticas de tilapia: una mejorada genéticamente para obtener mayor peso corporal mediante siete generaciones de selección genética (G8) y otra que no fue sometida a este proceso de selección (G0). Debido a limitaciones en los tanques disponibles para el experimento, el grupo de control consistió únicamente en la línea mejorada. Esta decisión se tomó considerando que la línea mejorada tendría mayor uso en la cría de tilapia. Los animales fueron sometidos a estos tres rangos de temperatura durante los primeros 60 días luego de la absorción del saco vitelino. Posteriormente, se cultivaron en tanques convencionales y se les implantó un microchip para poder monitorear individualmente a todos los individuos, independientemente del tratamiento de temperatura, y así determinar la proporción de tilapias hembras con anomalía en la papila urogenital (prevalencia de la anomalía) en cada tratamiento y su capacidad reproductiva.

Los resultados mostraron que el aumento de la temperatura durante la fase de cría larvaria (en los primeros 60 días, justo después de la absorción del saco vitelino) dio como resultado una mayor prevalencia de hembras con papilas urogenitales anormales (**Figura 6**).

El grupo sometido a altas temperaturas del linaje G8 (TA-G8) mostró la mayor prevalencia de anomalías en las papilas urogenitales, con casi el 90 % de las hembras presentando dichas anomalías (este porcentaje fue del 44 % en las hembras G0). Los alevines mantenidos a temperaturas moderadamente altas produjeron animales adultos que mostraron un 62 % de anomalías en las papilas urogenitales en las hembras G8 (TM-G8) y un 68 % de anomalías en las hembras con papilas urogenitales en el grupo G0 (TM-G0). El grupo con la menor prevalencia de anomalías en las papilas urogenitales fue el grupo control (20 % de las hembras). Por lo tanto, la temperatura tiene un efecto principal en la prevalencia de papilas urogenitales anormales, y también es posible identificar efectos de origen genético, ya que los dos linajes mostraron resultados diferentes con respecto a la aparición de esta anomalía. Los animales mejorados mostraron un claro aumento de la anomalía con el incremento de la temperatura, lo que puede estar relacionado con el hecho de que este grupo es más homogéneo debido al proceso de selección genética. Por otro lado, este patrón claro no fue tan evidente en los animales no mejorados, probablemente debido a la mayor variabilidad genética en este grupo.

Al alcanzar la madurez sexual, los animales de los diferentes grupos experimentales fueron sometidos a pruebas de rendimiento reproductivo. El análisis estadístico de los datos muestra que el grupo de hembras expuestas a temperaturas moderadas y altas durante los primeros 60 días posteriores a la absorción del saco vitelino presentó una reducción de aproximadamente el 70 % en el rendimiento reproductivo en comparación con el grupo control. Esta disminución en el rendimiento se relaciona con la mayor proporción de animales con

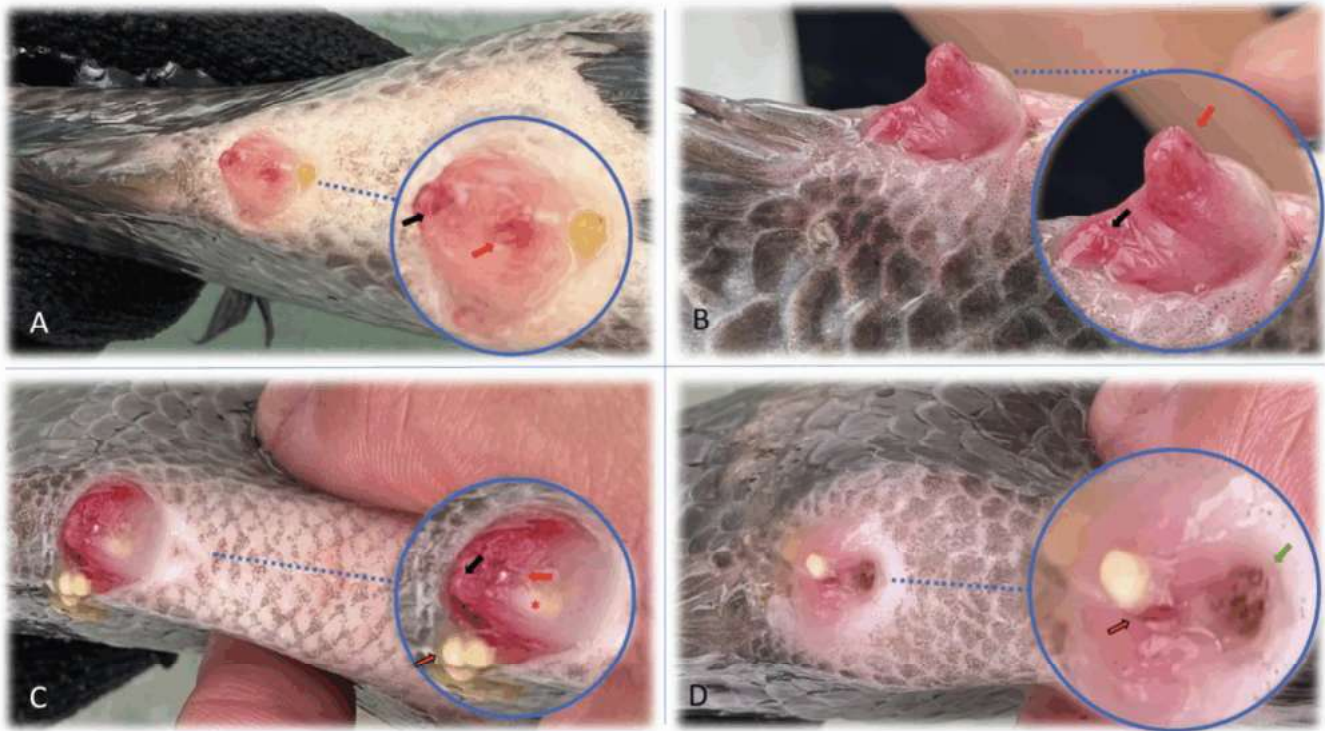


**Figura 6.** Prevalencia de anomalías de la papila urogenital en tilapia del Nilo en una población sometida a siete generaciones de selección genética por peso corporal (G8) y una población no sometida a este proceso (G0) en tres rangos de temperatura durante los primeros 60 días posteriores a la absorción del saco vitelino: temperatura normal entre 25 y 28 °C (control G8), moderadamente alta entre 27 y 30 °C en G8 (TM-G8) y en G0 (TM-G0), y alta entre 30 y 33 °C en G8 (TA-G8) y en G0 (TA-G0). Letras diferentes indican diferencias significativas según la prueba de chi-cuadrado con corrección de Bonferroni ( $p < 0,05$ ). Adaptado de Bezerra *et al.*, 2025.

papilas urogenitales anormales en los grupos expuestos a temperaturas más altas al inicio del desarrollo (para más detalles, véase Bezerra *et al.*, 2025).

En la investigación realizada en la UFMG, todos los animales fueron marcados con microchips y monitoreados durante 15 meses. Este monitoreo permitió observar que algunos animales con papilas urogenitales

anormales desarrollaron nuevas aberturas en regiones inusuales (**Figura 7**). En algunos de estos casos, las hembras recuperan la capacidad de liberar ovocitos, pero aún se desconoce si esta capacidad les permite reproducirse adecuadamente, ya que esta nueva abertura no se asemeja a la estructura de una papila urogenital normal.



**Figura 7.** Hembras con papilas urogenitales anormales que presentan nuevas aberturas del oviducto. En A y B, se observa la formación de una nueva estructura de la papila urogenital, y el animal presenta una papila urogenital duplicada. En C y D, las nuevas aberturas de la papila urogenital se forman en posiciones atípicas. La flecha roja representa la abertura del oviducto; la flecha verde, el ano; la flecha negra, el poro urinario; y el punto rojo en C muestra un ovocito atrapado en la abertura original del oviducto. Adaptado de Bezerra *et al.*, 2025.

## Recomendaciones para productores de alevines

La investigación científica ha demostrado que la temperatura y los factores genéticos desempeñan un papel importante en las anomalías de las papilas urogenitales en las hembras de tilapia, mientras que una causa infecciosa es poco probable. Las temperaturas elevadas durante los dos primeros meses de vida de la tilapia provocaron un aumento significativo de papilas urogenitales anormales, lo que repercute considerablemente en el rendimiento reproductivo de los reproductores. Por lo tanto, se recomienda encarecidamente criar a los futuros reproductores de tilapia en agua a

temperaturas cercanas a los 25 °C durante los primeros 60 días posteriores a la absorción del saco vitelino para evitar la aparición de hembras con papilas urogenitales anormales. Cabe destacar que los rangos de temperatura utilizados en los estudios ilustran cómo el calentamiento global y el cambio climático pueden afectar negativamente la producción de tilapia.

Puede acceder al artículo original en la revista ***Panorama da AQUICULTURA***, 2025, Vol. 33, edición 202, Pág.: 24-33 o a través del siguiente enlace:

<https://panoramadaaquicultura.com.br/tilapias-do-nilo-anomalia-na-estrutura-reprodutiva-externa/>

# TECNOLOGÍA BIOFLOC: OPTIMIZACIÓN DE LA ACUICULTURA A TRAVÉS DE LA INNOVACIÓN MICROBIANA

Cuerpo editorial de El Acuicultor



Crédito: Aquatic.id

## INTRODUCCIÓN

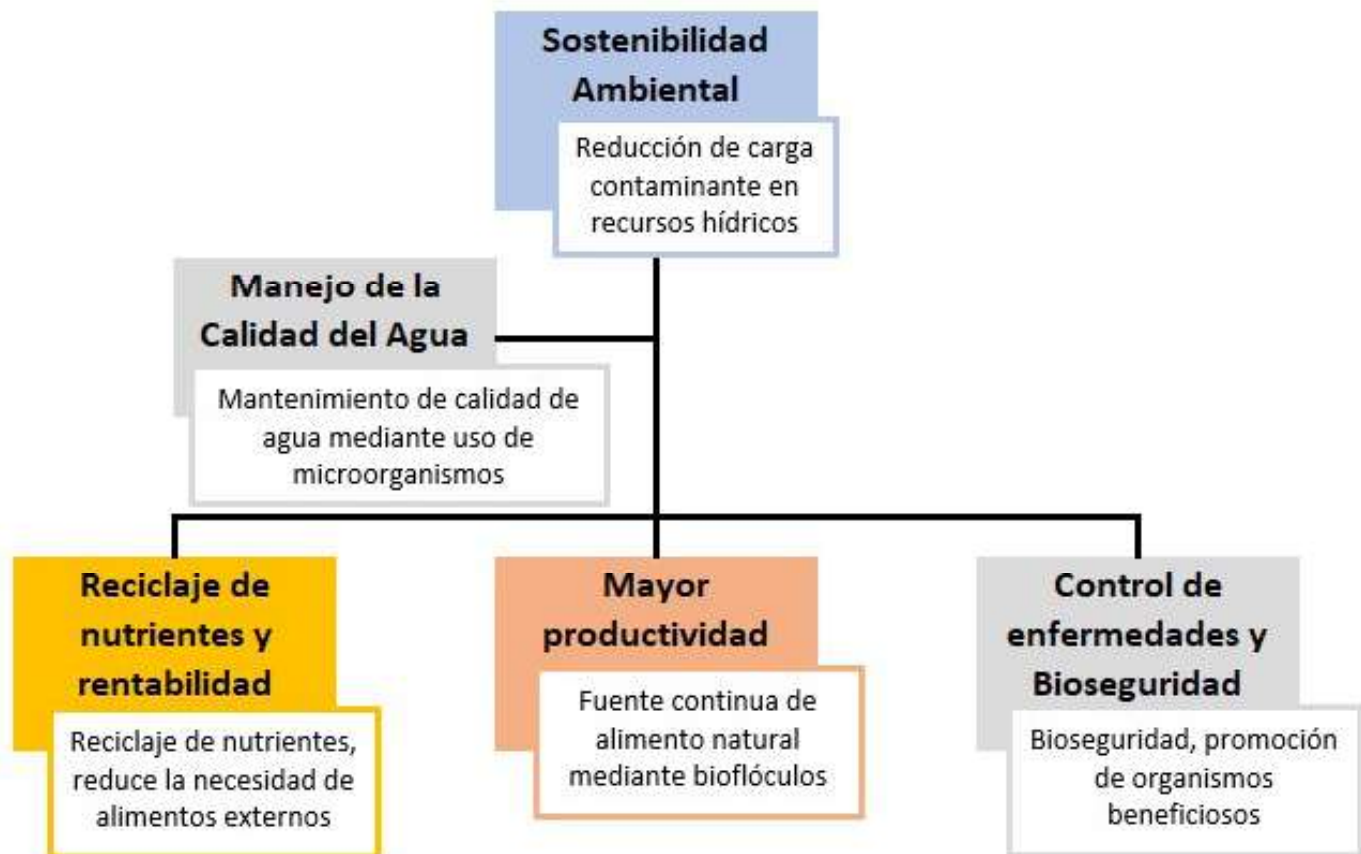
La tecnología biofloc es un método de acuicultura respetuoso con el medio ambiente. El objetivo básico es mantener una mayor proporción de carbono a nitrógeno para estimular el establecimiento de una comunidad microbiana compuesta principalmente por bacterias. Esta comunidad

microbiana juega un papel crucial en la gestión de la calidad del agua y el suministro de sustento para los organismos que se cultivan. La tecnología destaca la importancia de que los microorganismos se unan, formen grupos y optimicen la proporción de carbono a nitrógeno con el fin de promover un sistema sostenible. Los sistemas de biofloc son más efectivos cuando se usan con especies como

la tilapia y camarones, que pueden consumir directamente el flóculo y obtener beneficios de él. La implementación de la tecnología biofloc ha demostrado ser efectiva, lo que resulta en aumentos significativos en la producción y minimiza los efectos negativos sobre el medio ambiente.

La tecnología es esencial para mantener la calidad del agua mediante el uso de la producción microbiana in situ para consumir nutrientes excesivos, materia orgánica y compuestos nitrogenados. La implementación de esta práctica ayuda a mantener la estabilidad de la calidad del agua, minimizando la probabilidad de contaminación y mejorando el bienestar general de los ecosistemas acuáticos. Los

sistemas biofloc promueven el reciclaje de nutrientes, minimizando así la dependencia de insumos de alimento externos. La comunidad microbiana transforma eficazmente las moléculas de nitrógeno en proteína microbiana, lo que resulta en una reducción de los gastos de alimentación, mejores índices de conversión alimenticia y una mayor viabilidad económica de las operaciones acuícolas. La tecnología biofloc también mejora la bioseguridad al estimular la proliferación de microorganismos ventajosos que compiten con patógenos, disminuyendo así la probabilidad de brotes de enfermedades en los sistemas acuícolas (**Figura 1, Tabla 1**).



**Figura 1.** La tecnología de biofloc tiene una importancia significativa en la acuicultura debido a sus numerosos beneficios y contribuciones.

**Tabla 1.** Importancia de la tecnología biofloc en la acuicultura.

Aspecto	Descripción
Valor nutricional	Los bioflóculos son una excelente fuente de alimento natural para camarones y peces debido a su alto contenido de nutrientes, que incluye proteínas y grasas. La composición nutricional puede variar según la comunidad microbiana y las condiciones de cultivo.
Composición	Las partículas macroscópicas como diatomeas, macroalgas, heces, exoesqueletos, bacterias, invertebrados y restos de organismos fallecidos forman los bioflóculos. Las bacterias y los macro agregados son organismos vivos que han colonizado una columna de agua.
Beneficio	Procesa los desechos de la alimentación. Proporciona nutrición a través del consumo de flóculos. Mejora la tasa de crecimiento y la tasa de conversión alimenticia. Recicla los nutrientes de desecho de peces o camarones. Mantiene la calidad del agua.
Aplicación	El ingrediente de alimentos acuícola llamado "harina de biofloc" se utiliza durante el crecimiento de tilapia y camarones marinos, en camarones de agua dulce, desarrollo y madurez de reproductores de peces y camarones, y cultivo de langostinos de agua dulce.
Alimentación	Asegúrese de que el alimento mantenga una relación C/N entre 15 y 25. Ajuste la relación C/N en función de los niveles de TAN y nitrito. Utilice una combinación de alimentos bajos y altos en proteínas con fuentes de carbono añadidas.
Monitoreo	Monitoree métricas cruciales de calidad del agua como niveles de oxígeno, temperatura, niveles de pH, alcalinidad, niveles de amoníaco, niveles de nitrito y niveles de nitrato. Mida el volumen de bioflóculos usando conos Imhoff para evaluar el rendimiento del sistema.

## PRINCIPIOS DE LA FORMACIÓN DE BIOFLOC

### - Dinámica microbiana

La dinámica microbiana de la tecnología Biofloc gira en torno a la manipulación de la relación carbono-nitrógeno (C/N) del medio de cultivo para mejorar el crecimiento de una comunidad microbiana variada. La comunidad en los sistemas Biofloc consiste en bacterias, algas, zooplancton y hongos. Estos organismos tienen funciones importantes en la regulación de los niveles de nitrógeno, la preservación de la calidad del agua y la mejora del bienestar general de las especies acuáticas. Las interacciones microbianas en los sistemas Biofloc se distinguen por los procesos de asimilación,

nitrificación y oxidación. Estas actividades implican la transformación de moléculas de nitrógeno, como el amoníaco y el nitrito, en una forma más duradera, como el nitrato, que puede ser utilizada por organismos acuáticos. Los estudios han demostrado que la disposición y composición de las comunidades microbianas en los sistemas Biofloc varían según las condiciones únicas del sistema, y estas variaciones pueden influir en el funcionamiento general del sistema.

### - Ciclo de nutrientes

El ciclo de nutrientes es crucial en la tecnología Biofloc, ya que es responsable de preservar la calidad del agua y facilitar el crecimiento de organismos acuáticos. El proceso implica la transformación y reutilización de nutrientes dentro del sistema para establecer un ambiente armonioso. La primera etapa del ciclo de nutrientes implica la

absorción de nutrientes por microorganismos que existen dentro del sistema. Esto incluye la absorción de moléculas de nitrógeno como el amoníaco y el nitrito, que luego se transforman en biomasa microbiana. El ciclo del nitrógeno en los sistemas Biofloc incluye actividades esenciales como la fijación de nitrógeno, la mineralización, la nitrificación y la desnitrificación. Estos mecanismos facilitan la conversión de moléculas de nitrógeno en formas más estables, lo que conduce a una disminución de los niveles de nitrógeno en el agua y a la preservación de la calidad del agua. Garantizar la proporción correcta de carbono a nitrógeno es esencial para el ciclo eficiente de los nutrientes en los sistemas Biofloc. Los sistemas Biofloc emplean fuentes de carbono orgánico como glucosa, glicerol y sacarosa para facilitar el ciclo de nutrientes. Las bacterias utilizan con éxito estas fuentes, facilitando la eliminación de amonio y mejorando la actividad microbiana mientras mantienen niveles óptimos de oxígeno disuelto. La descomposición de la materia orgánica dentro del biofloc facilita el reciclaje de nutrientes, lo que disminuye la dependencia de la alimentación externa y minimiza la generación de desechos. El proceso natural de reciclaje contribuye a la preservación de la calidad del agua y a la promoción del crecimiento de organismos acuáticos.

## - Factores que influyen en la formación de bioflóculos

### - Relación carbono/nitrógeno (C/N)

La relación C/N ideal para el crecimiento de biofloc a menudo se encuentra dentro de un rango de 10 a 20:1. Es vital mantener la relación C/N dentro de este rango para fomentar el crecimiento de bacterias heterótrofas y estimular la formación de biofloc. Esto es necesario para gestionar la calidad del agua y apoyar la salud y la productividad de los organismos acuáticos

cultivados. Una relación C/N de 12,5:1 es óptima para establecer un sistema mixto de bioflóculos heterótrofos-autótrofos. Esta relación garantiza un buen equilibrio entre la calidad del agua, la producción de sólidos y el rendimiento de la producción. Estudios han demostrado que las relaciones C/N de 15:1 y 20:1 tienen un efecto significativo en la reducción de los niveles de nitrógeno amoniacal total (TAN) y nitrito-nitrógeno ( $\text{NO}_2\text{-N}$ ) en comparación con una relación C/N más baja de 5:1 o el grupo control sin biofloc.

### - Fuentes de carbono

La introducción de fuentes de carbono orgánico como glucosa, almidón y glicerol puede tener un impacto en la estructura y composición de la comunidad microbiana en el biofloc. Además, puede conducir a una disminución en la presencia de bacterias dañinas como *Vibrio* spp. Las sustancias incluidas son melaza, glicerol, dextrosa, acetato de sodio, carbohidratos complejos y manano oligosacáridos (MOS). La utilización de estas fuentes de carbono es vital para estimular la proliferación de bacterias heterótrofas, que desempeñan un papel fundamental en el desarrollo de los bioflóculos y la eficacia general de la tecnología biofloc en los sistemas acuícolas.

### - Bacterias nitrificantes

Las bacterias nitrificantes son esenciales en los sistemas de acuicultura con tecnología biofloc, ya que facilitan el proceso de nitrificación, convirtiendo el amoníaco dañino en nitrato. El crecimiento de estas bacterias se ve facilitado por la aparición natural de amoníaco y nitrito, así como por la acumulación de materiales floculados en el sistema biofloc. El proceso de nitrificación es crucial para preservar la calidad del agua y facilitar el desarrollo de organismos acuáticos cultivados bajo el sistema. La conversión la llevan a cabo bacterias nitrificantes autótrofas,

específicamente las bacterias oxidantes de amoníaco y las bacterias oxidantes de nitrito. Las bacterias oxidantes de amoníaco, como *Nitrosomonas*, *Nitrosococcus*, *Nitrospira* y *Nitrosolobus*, transforman el amoníaco en nitrito. Por otro lado, las bacterias oxidantes de nitritos, como *Nitrosovibrio*, *Nitrobacter*, *Nitrococcus* y *Nitrospira*, metabolizan el nitrito en nitrato.

#### - Parámetros de calidad del agua

Es necesario monitorear de cerca y mantener factores como temperatura, salinidad, alcalinidad, pH, oxígeno disuelto, partículas en suspensión y ortofosfato dentro de los límites óptimos para garantizar la producción y operación adecuadas del sistema de biofloc. Para mantener los procesos microbianos aeróbicos en el sistema biofloc, es crucial mantener los niveles de OD en aproximadamente 5 ppm. Es crucial mantener el nivel de pH entre 6,5 y 9,0 para proporcionar condiciones óptimas, ya que los cambios en el pH pueden afectar tanto a la creación de biofloc como a los procesos fisiológicos de los organismos que se cultivan. Se requiere suficiente alcalinidad, generalmente a un mínimo de 20 ppm, para contrarrestar las fluctuaciones de pH y mantener un entorno acuático constante. Es esencial mantener estos parámetros de calidad del agua dentro de sus rangos óptimos para garantizar el funcionamiento y el rendimiento efectivos de la tecnología biofloc en la acuicultura.

#### - Composición de la comunidad microbiana

La tecnología de biofloc abarca una amplia gama de microorganismos, incluidas bacterias, algas, zooplancton y hongos, que colectivamente forman la composición de la comunidad microbiana. La composición de estas comunidades microbianas parece verse afectada por la depredación ejercida por el zooplancton y otras especies asociadas, lo que enfatiza la intrincada interacción dentro de los sistemas de biofloc. Además,

la composición de la población microbiana puede diferir según factores como el método específico y la fuente de carbono empleada en la formación de biofloc. En la tecnología biofloc, las microalgas tienen una función vital en la síntesis de compuestos orgánicos relacionados con el nitrógeno, como proteínas, hidrocarburos, lípidos y antioxidantes a través del proceso de fotosíntesis. Los productos químicos producidos por las microalgas pueden mejorar la producción y la calidad de los organismos acuáticos en los sistemas de biofloc.

#### - Aditivos floculantes

La inclusión de floculantes a base de minerales, como los minerales arcillosos, puede afectar la composición próxima de los bioflóculos, lo que resulta en alteraciones en los niveles de proteínas, grasas y cenizas. Las adiciones de floculantes pueden afectar la estructura y el contenido de la población microbiana en el sistema biofloc. Los aditivos floculantes tienen la capacidad de influir en las medidas de calidad del agua, es decir, las cantidades de partículas suspendidas totales. La influencia precisa de las adiciones de floculantes en el rendimiento zootécnico, incluido el crecimiento y la sobrevivencia, de las especies acuáticas cultivadas sigue siendo incierta, ya que varias investigaciones no han demostrado ningún efecto notable.

## COMPONENTES DEL SISTEMA BIOFLOC

#### - Tanques e infraestructura

Los sistemas biofloc eficientes suelen requerir infraestructuras especializadas, como tanques o estanques, sistemas de aireación y equipos adicionales para facilitar la producción y el mantenimiento de biofloc. El flujo ininterrumpido de agua

a través de toda la columna de agua es necesario para estimular el desarrollo de macro agregados, también conocidos como bioflóculos. Los sistemas de aireación son esenciales en los sistemas de biofloc, ya que suministran el oxígeno necesario para la comunidad microbiana y ayudan a mantener los bioflóculos suspendidos en la columna de agua. La infraestructura y el diseño de los sistemas biofloc tienen como objetivo minimizar tanto la inversión inicial como los gastos continuos, al tiempo que se aprovechan plenamente las ventajas que ofrece la tecnología.

### - **Sistemas de aireación**

La tecnología biofloc se basa en la aireación adecuada y la circulación del agua para mantener las partículas de biofloc suspendidas en la columna de agua. Sistemas de aire que utilizan una variedad de difusores, como piedras de aire, tubos o mangueras porosas, junto con compresores de aire, sopladores o bombas. Numerosos sistemas biofloc también utilizan aireadores de superficie. Consideraciones como la profundidad del sistema, el tamaño del sistema y el requisito de una transferencia efectiva de oxígeno y circulación de agua dictan el sistema de aireación que se elige. Para que el sistema Biofloc funcione, es fundamental tener una aireación y mezcla adecuadas para eliminar los gases anóxicos, mantener las partículas de biofloc suspendidas en la columna de agua y mantener los niveles de oxígeno disuelto. Las líneas de aire flotantes y los difusores sumergidos son ejemplos de equipos de aireación que pueden colocarse y diseñarse estratégicamente para afectar la eficiencia del sistema de aireación de la tecnología biofloc.

### - **Gestión de la calidad del agua**

La gestión de la calidad del agua es esencial para el éxito de la acuicultura a largo plazo.

La tecnología biofloc mantiene alta la calidad del agua mediante el uso de la competencia de patógenos, la producción de proteínas microbianas in situ y la reducción de la tasa de conversión alimenticia (TCA). Esta técnica forma bioflóculos, que son fuente de alimento ricos en proteínas y lípidos, a través de interacciones entre materia orgánica, sustratos físicos y microorganismos. Los sistemas BFT minimizan el intercambio de agua, reciclan y reutilizan continuamente los nutrientes, lo que permite una alta producción de peces y camarones en áreas relativamente pequeñas. El uso de sistemas BFT tiene beneficios ambientales y financieros porque usan entre un 30 y un 50 % menos agua que los sistemas tradicionales. El control inadecuado de la calidad del agua, la falta de personal capacitado y los problemas con el diseño del sistema son algunas de las razones que pueden hacer que la implementación de BFT sea difícil y costosa.

## **PROCESO DE PRODUCCIÓN DE BIOFLOC**

### - **Selección de semillas y densidad de población**

La biotecnología biofloc se basa en una cuidadosa selección de semillas y densidades de población para mantener la calidad del agua y lograr un rendimiento óptimo en los sistemas. Por otro lado, la calidad del agua y el rendimiento del crecimiento podrían verse afectados negativamente por mayores densidades de población. La clave para una implementación exitosa de un sistema de biofloc es elegir la especie correcta. Consideraciones como las densidades de siembra de semillas, el volumen del estanque y el tamaño de las semillas son cruciales para optimizar los sistemas BFT con el fin de aumentar la productividad y disminuir los gastos.

## - Estrategias de alimentación

Las técnicas de alimentación de la tecnología biofloc incluyen acciones que fomentan la utilización de nutrientes por parte de los microorganismos y reducen los residuos. Para un crecimiento óptimo de las especies cultivadas seleccione dietas que tengan una cantidad adecuada de proteínas. El biofloc puede satisfacer entre el 20 y el 30 % de las necesidades de crecimiento de la tilapia, lo que significa que se requiere menos alimento suplementario. Se ha demostrado que el valor nutricional del biofloc mejora la tasa de conversión alimenticia (TCA) entre un 42 y un 45 %, lo que también puede aplicarse a los camarones. En los sistemas biofloc, especies como la tilapia pueden tener un efecto en la eficiencia de la utilización del alimento al ajustar la frecuencia de alimentación.

## - Seguimiento y gestión

La vigilancia y administración de un sistema de biofloc abarca varios elementos fundamentales según las fuentes dadas. El monitoreo regular de métricas cruciales de calidad del agua como amoníaco ( $\text{NH}_3$ ), nitrito ( $\text{NO}_2$ ) y nitrato ( $\text{NO}_3$ ) es necesario en los sistemas BFT. Garantizar la calidad ideal del agua es esencial para el desarrollo y el bienestar tanto de las especies cultivadas como de los microorganismos biofloc. Es crucial monitorear el desarrollo y las propiedades del biofloc, incluida su densidad, tamaño y composición, para optimizar el sistema. Los sistemas BFT pueden mejorar la sostenibilidad de las técnicas de acuicultura al minimizar el recambio de agua, reutilizar nutrientes y disminuir la dependencia de insumos químicos. La creación de microorganismos en el mismo lugar en BFT ayuda a preservar la calidad del agua, disminuir las tasas de conversión alimenticia y superar a las enfermedades, estableciendo así un método ecológicamente sostenible.

# BENEFICIOS DE LA TECNOLOGÍA BIOFLOC

## - Mayor eficiencia de producción

Los estudios han demostrado que los sistemas biofloc pueden mejorar el rendimiento de los cultivos, la productividad económica y la eficiencia del uso del agua hasta en un 90 %. Aunque hay beneficios, también existen obstáculos como la necesidad de una gran cantidad de energía, los altos gastos iniciales y el problema de la eliminación de residuos. Sin embargo, estos obstáculos pueden superarse, mejorando así la aceptación generalizada y la viabilidad a largo plazo de BFT como método de acuicultura. La investigación ha demostrado que la implementación de BFT puede mejorar la rentabilidad al optimizar la cantidad de organismos sembrados, la velocidad a la que crecen y acortar la duración de la fase de cultivo. Los profesionales de la acuicultura pueden optimizar las tasas de producción y reducir el impacto ambiental regulando eficazmente la densidad de población. BFT ha demostrado eficacia para mejorar la calidad del agua, disminuir la producción de aguas residuales y servir como fuente alternativa de alimentación para organismos acuáticos. En resumen, BFT proporciona un método de producción acuícola más productivo y respetuoso con el medio ambiente, que puede ayudar a satisfacer la creciente demanda de productos acuícolas al tiempo que reduce los efectos ambientales negativos.

## - Conservación del agua y los recursos

En comparación con los métodos de acuicultura convencionales, BFT tiene el potencial de reducir el uso de agua. Esto es posible gracias al proceso perpetuo de reciclaje y reutilización de agua del sistema.

Como fuente de alimento natural para los organismos acuáticos que se cultivan, BFT produce bioflóculos. Por lo tanto, se descarga menos aguas residuales ricas en nutrientes y se necesitan menos insumos de alimentación externos, lo que lleva a un uso más eficiente de los recursos. Los microorganismos que pueden absorber el nitrógeno del medio y transformarlo en proteína microbiana son la columna vertebral del sistema biofloc; las especies cultivadas posteriormente se alimentan de esta proteína. La eficiencia general del sistema se ve mejorada por este reciclaje de nutrientes de circuito cerrado. Actualmente se están realizando investigaciones para encontrar formas de reducir la demanda de energía de BFT y hacerla más sostenible. Una opción potencial son los sistemas solares, que podrían ayudar con la aireación y la mezcla.

### - Manejo de enfermedades

La tecnología, la prevención y el control de enfermedades en sistemas de biofloc se centran en reforzar el sistema inmunológico de las especies acuáticas para mitigar la aparición de enfermedades comunes y mejorar el bienestar general. La tecnología biofloc mejora los parámetros inmunológicos, aumenta las respuestas inmunes y mitiga la susceptibilidad a enfermedades causadas por microorganismos patógenos en comparación con los sistemas de acuicultura tradicionales. La tecnología biofloc mejora el rendimiento del crecimiento de los camarones y previene enfermedades al fomentar el desarrollo de bioflóculos y utilizar fuentes de carbono de bajo costo. Además, la tecnología biofloc utiliza antibióticos, probióticos y prebióticos para proporcionar un método sostenible y respetuoso con el medio ambiente y prevenir enfermedades en la acuicultura. Esta tecnología de vanguardia no solo reduce el consumo de agua, sino que también mejora la resistencia y el bienestar de las especies acuáticas, promoviendo así la

sostenibilidad a largo plazo del negocio de la acuicultura.

## DESAFÍOS Y SOLUCIONES

### - Consideraciones ambientales

La tecnología biofloc ayuda a reducir el uso del agua y la contaminación al reciclar eficientemente los nutrientes y minimizar la necesidad de intercambio de agua. El sistema biofloc gestiona eficazmente los residuos y minimiza la liberación de contaminantes en comparación con los métodos tradicionales de acuicultura. Los sistemas biofloc pueden combinarse con otras tecnologías, como la hidroponía o acuaponía, para establecer un sistema autónomo que mejore la eficiencia de los recursos y reduzca los residuos. La tecnología biofloc utiliza probióticos y prebióticos para proporcionar un método sostenible y ambientalmente benigno para prevenir enfermedades, minimizando así la dependencia de productos químicos tóxicos. Los sistemas biofloc requieren aireación ininterrumpida y circulación de agua para mantener el flóculo microbiano, que puede ser exigente en términos de energía y gastos, particularmente en regiones con fuentes de energía impredecibles. El manejo inadecuado de los procesos microbianos anaeróbicos en el sistema biofloc puede conducir a la producción de productos químicos extremadamente tóxicos que representan una amenaza para las especies acuáticas cultivadas. Garantizar la proporción adecuada de carbono a nitrógeno y gestionar los factores de calidad del agua, como el oxígeno disuelto, el pH y los compuestos nitrogenados, es esencial, pero puede presentar dificultades técnicas para ciertos productores.

## - Prevención y tratamiento de enfermedades

La tecnología Biofloc se enfoca en reforzar el sistema inmunológico de los organismos acuáticos, incluidos los camarones, y garantizar un ambiente estable y saludable para prevenir y tratar enfermedades. La tecnología biofloc podría disminuir la probabilidad de enfermedades comunes causadas por bacterias dañinas en comparación con los sistemas acuícolas tradicionales al mejorar los parámetros inmunológicos y aumentar las respuestas inmunes. La utilización de fuentes de carbono de liberación lenta, probióticos y el mantenimiento de una proporción adecuada de carbono a nitrógeno son tácticas esenciales para impulsar la activación inmunológica y prevenir enfermedades en especies acuáticas. Además, la tecnología de biofloc estimula el desarrollo de bioflóculos, que son grupos de materia orgánica y microorganismos ricos en proteínas. Estos bioflóculos sirven como fuente natural de alimento para las especies cultivadas, mejorando su crecimiento y bienestar general. La tecnología biofloc utiliza antibióticos, probióticos y prebióticos para prevenir eficazmente enfermedades en la acuicultura. Este enfoque es sostenible y respetuoso con el medio ambiente, ya que reduce la dependencia de productos químicos nocivos y garantiza la viabilidad a largo plazo de la industria.

### - Desafíos genéticos

Los genes de resistencia a los antimicrobianos (ARG) en la tecnología de biofloc han sido objeto de estudio debido a sus implicaciones para la acuicultura y la seguridad ambiental. La investigación indica que los sistemas de acuicultura basados en biofloc pueden albergar una variedad de ARG, lo que

puede afectar el medio ambiente acuático. Los estudios han demostrado que los sistemas biofloc pueden contener genes de resistencia como *adeF*, *OXA-243* y otros, que pueden transmitirse a través de plásmidos y elementos genéticos móviles. También se ha destacado la prevalencia de integrones como portadores de ARG en entornos de biofloc. Comprender la presencia y transmisión de ARG en los sistemas de biofloc es crucial para evaluar la seguridad y el impacto ambiental de este modelo de acuicultura. Biofloc contiene varias sustancias bioactivas que suprimen los patógenos y mejoran la inmunidad de los camarones. Los microorganismos efectivos en biofloc compiten con las bacterias patógenas, limitando su proliferación. Se ha demostrado que Biofloc protege contra enfermedades causadas por bacterias como *Vibrio*, *Aeromonas*, *Edwardsiella* y *Streptococcus*.

### - Desafíos operacionales

Los desafíos operativos en la tecnología biofloc abarcan varios aspectos, como la necesidad de un aporte de energía significativo, gastos iniciales y continuos sustanciales, gestión eficaz de residuos, escasez de personal calificado, diseño inadecuado del sistema, costosos requisitos de aireación, eliminación de sólidos en suspensión, garantizar una calidad adecuada del agua, comprender la dinámica operativa, acuática y microbiana, control de enfermedades y mantener niveles adecuados de alcalinidad. El control efectivo de la relación carbono-nitrógeno es esencial para cultivar comunidades microbianas ventajosas en el sistema biofloc. Las desproporciones en la relación carbono-nitrógeno pueden provocar problemas como el crecimiento excesivo de flóculos e inestabilidad en el sistema. El requisito de temperatura elevada del agua por parte de las bacterias en los

sistemas de biofloc puede proporcionar una limitación, particularmente en regiones con fuentes de energía inestables. La gestión y el monitoreo efectivos son esenciales para mantener el equilibrio ecológico de los sistemas de biofloc, lo que representa un desafío para ciertos productores. Los sistemas Biofloc tienen el potencial de albergar enfermedades y parásitos, que pueden transmitirse a las especies acuáticas cultivadas si no se controlan de manera efectiva. Los sistemas biofloc suelen ser de menor escala en comparación con los sistemas de acuicultura tradicionales, lo que limita su capacidad de producción a gran escala. Hay una escasez de evidencia sobre la función precisa de los bioflóculos para reforzar el sistema inmunológico de las criaturas acuáticas. Para aprovechar al máximo las ventajas de la tecnología biofloc en la acuicultura sostenible, es imperativo abordar estos problemas operativos mediante la investigación y el desarrollo adicionales.

## CONCLUSIÓN

La utilización de la tecnología biofloc proporciona notables beneficios para la implementación de técnicas de acuicultura sostenibles. La tecnología biofloc optimiza las condiciones del agua, promueve el rendimiento de la acuicultura y apoya el logro de los objetivos de desarrollo sostenible al maximizar la producción y minimizar las repercusiones ecológicas. Este novedoso método implica la gestión de la calidad del agua, el equilibrio de los niveles de carbono y nitrógeno, y la utilización de bioflóculos ricos en proteínas para suministrar nutrición a las especies de cultivo como la tilapia y los camarones. Aunque la tecnología biofloc tiene dificultades para mantener la relación carbono-nitrógeno y regular la temperatura del agua, sus ventajas para

disminuir el uso de agua, reutilizar nutrientes y minimizar la contaminación la convierten en un método viable para la acuicultura sostenible. En resumen, la tecnología biofloc es una herramienta vital en la acuicultura que proporciona un equilibrio entre productividad y responsabilidad ambiental.

Esta es una versión resumida, elaborada por el cuerpo editorial de "El Acuicultor", del artículo original "Biofloc Technology: Optimizing Aquaculture through Microbial Innovation" escrito por Lal *et al.* Publicado originalmente en el Journal of Advances in Microbiology, 2024, Vol. 24 (7): 11-24. <https://doi.org/10.9734/jamb/2024/v24i7835>



The graphic is a vertical rectangular banner with a blue background. At the top, there is a horizontal bar with segments of yellow, pink, green, and purple. Below this bar is the SVA logo, which consists of a white circle containing the letters 'SVA' and a stylized white fish. Underneath the logo is the YouTube logo, featuring a red play button icon and the word 'YouTube' in white. Below the YouTube logo is the channel handle '@sociedadvenezolanadacuicultura' in white. The text 'Visita nuestro canal' is written in white, followed by 'Suscríbete' and 'Activa la campanita' in white. At the bottom, there is a red rectangular button with a white play button icon, the word 'SUSCRÍBETE' in white, and a white bell icon. A white hand cursor is pointing at the button. At the very bottom, there is a horizontal bar with segments of yellow, pink, green, and purple, matching the top bar. Below this bar, there are several small, faint images of people and text, which are partially obscured and difficult to read.



Sociedad Venezolana  
de Acuicultura

# POTENCIA ACUÍCOLA

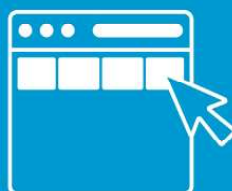
**PROMOCIONA TU IDEA,  
PRODUCTO O SERVICIO  
JUNTO A NOSOTROS Y NUESTRO  
GRUPO DE EXPERTOS**



Ciclo de  
webinar



Revista El Acuicultor  
y Boletín mensual



Página web



Plataformas sociales  
comunidad digital



# VISITANDO BIORMA AQUACULTURE, GRANJA DE CULTIVO DE ALGAS MARINAS EN LA ISLA DE COCHE, NORORIENTE DE VENEZUELA

Equipo Operativo de la SVA

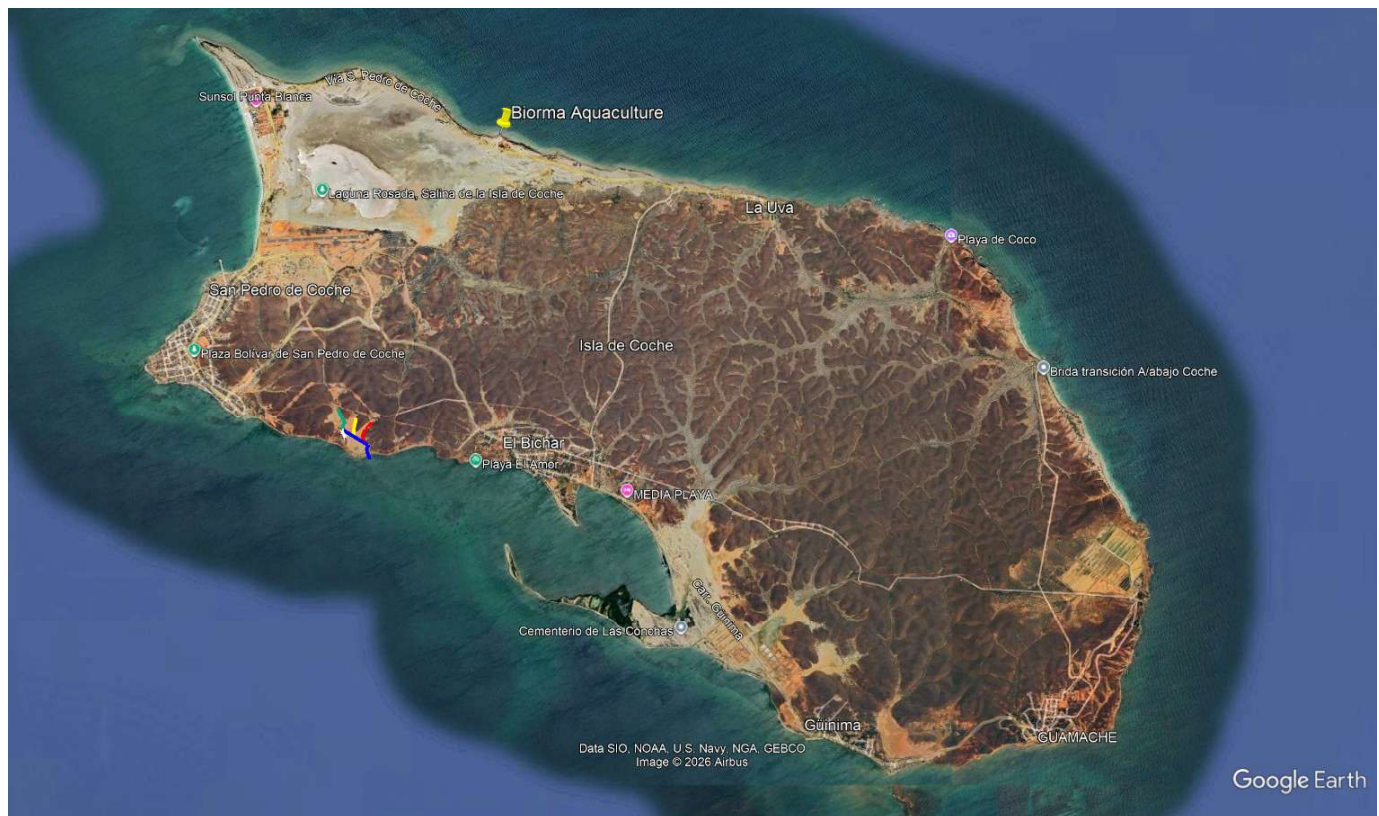


Imagen satelital mostrando la ubicación del campamento de Biorma en la isla de Coche.

En enero pasado pudimos concretar una visita altamente esperada, conocer las instalaciones productivas de la empresa Biorma Aquaculture. Esta organización es pionera en la producción de macroalgas marinas en Venezuela y América Latina.

## Localización

La granja consta de dos parcelas cercanas que totalizan 10 Ha, ubicadas en aguas costeras al noroeste de la isla de Coche, estado Nueva Esparta, en el sector El Oasis, situándose justo al lado de la posada

homónima, en la vía que va de San Pedro a La Uva. Ese emplazamiento se caracteriza por corrientes dinámicas que aseguran una adecuada renovación de nutrientes, con una calidad de agua excepcional, ideal para la maricultura de macroalgas marinas.

## Origen

La granja de BIORMA, activa desde 2023, es producto del esfuerzo de su CEO, Raúl Rincones, tras casi 40 años dedicados al cultivo de macroalgas en diversas granjas, a nivel nacional e internacional. Su vasta experiencia, su completa formación académica, que incluye un doctorado en Biotecnología en la Universidad de Upsala, y trabajos de investigación, lo convierten en el máximo exponente de la ficocultura venezolana, certificado por la FAO como experto en la materia. Otros miembros destacados del equipo son Sabrina Lovera (Gerente General), Alí Rengel (Jefe de Operaciones en Coche) y José Narváez (equipo técnico operativo).



Enramada de Biorma

## Instalaciones

Cuando se recorre la costa norte de Coche se puede pasar junto a la granja sin apenas notarlo. Una pequeña y sencilla enramada, por demás normal en estas regiones orientales, es el centro de operaciones. En



Confección de líneas.



Pesado de líneas previo a la siembra.

la posada vecina, algunos espacios funcionan como almacenes. Pero es que la magnitud de la operación solo se aprecia en el agua. O más precisamente, debajo de ella. Una vastedad de líneas flotantes para el cultivo de la macroalga roja *Kappaphycus alvarezii*.

## Operaciones

Como en otras granjas dedicadas a la maricultura de algas, la rutina operativa diaria de Biorma contempla la preparación de líneas, siembra, cosecha, secado y empacado de macroalgas. Durante nuestra visita pudimos apreciar las primeras tres de estas funciones. Se preparan líneas de 10 m de longitud, las cuales se atan de 5 a 10 para longlines flotantes de 50 o 100 m.

Una particularidad de esta finca es el uso de mallas tubulares de polietileno para contener los talos de algas. La totalidad de la

línea se inserta en la malla, sirviéndose de un segmento de tubería de PVC como molde. La malla plástica, por su flexibilidad, se ajusta al volumen creciente de los talos de macroalgas, sin limitar su aprovechamiento de la luz solar. La inversión adicional implícita, por el costo del material sintético y el incremento de las horas hombre necesarias por cuerda, tiene grandes compensaciones. Se reduce de manera significativa la pérdida de biomasa algal por el desprendimiento asociado a los temporales esporádicos, resultando en una actividad más responsable con el ambiente, así como más productiva.



Operarios con líneas de malla tubular recién preparadas para la siembra.

La actividad de acuicultura es perfectamente compatible con el gentilicio insular, como se aprecia por su bonhomía, por la solvencia con que todos los participantes ejecutan sus labores con destreza, incluyendo un mayoritario componente femenino.



Recolección de líneas de cultivo para cosecha.



Transporte de macroalgas cultivadas.

En las masas de macroalgas cosechadas tuvimos oportunidad de observar variados organismos marinos, en diversas fases de desarrollo. Ello refuerza el valor de los cultivos de macroalgas marinas como zonas de resguardo para la fauna marina y, en consecuencia, potenciales aliados para la protección de la diversidad biológica.



Pez juvenil refugiado en las macroalgas.



Pulpo adulto encontrado entre las frondas.

La percepción que nos llevamos es de una actividad armoniosa con su entorno, con diversos impactos positivos en la protección de la biodiversidad, así como en su huella de carbono. La belleza escénica de lo localidad, aunada a los elementos indicados, le asignan incluso un potencial como atractivo ecoturístico.



Parte del equipo operativo de Biorma Aquaculture. De izquierda a derecha: Pauliannys Requena, Jennifer Rodríguez, Ingrid Vizcaíno, Belkys Patiño, Johnny Rodríguez y José Martínez.

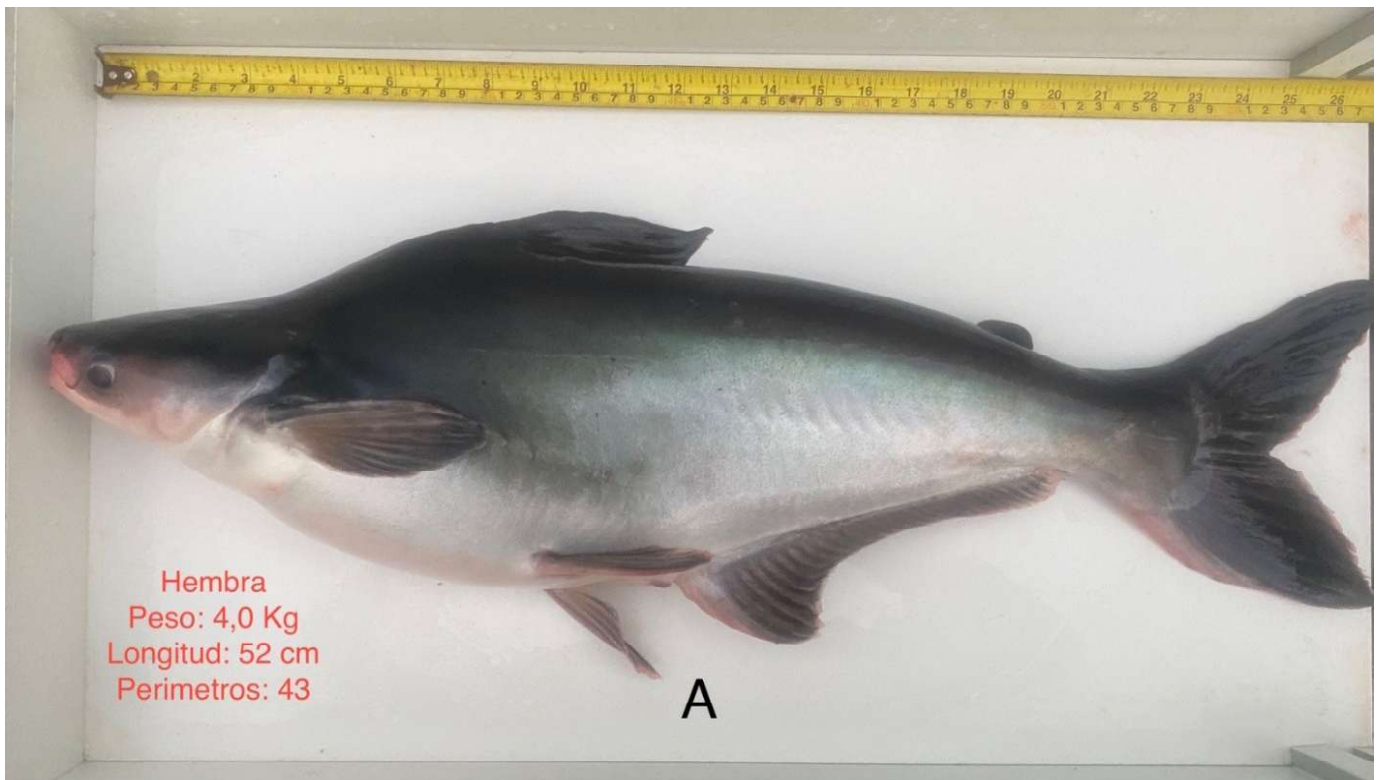
Los desempeños fitotécnicos son satisfactorios, quedando patente la potencialidad para el desarrollo de esta disciplina en las comunidades rurales del estado Nueva Esparta y demás zonas costeras de Venezuela. Pero más allá del plano productivo, los mayores desafíos siguen siendo el normativo, por las necesarias adecuaciones a la legislación, el logístico, por las complicaciones actuales del comercio internacional, y el marketing, por la compleja dinámica de los mercados internacionales, con precios oscilantes y demanda irregular.

Y el abordaje de estos temas trasciende a un actor en particular, obligando a una visión y ejecución compartida del gremio.

Finalmente, quedamos complacidos por la cálida atención y emocionados con el compromiso del equipo humano de BIORMA con su trabajo. Deseamos ver pronto superados todos los retos planteados y más consolidados que nunca en la producción de estos valiosos recursos hidrobiológicos.

# MOVILIZANDO INTERNACIONALMENTE ANIMALES ACUÁTICOS VIVOS: INTRODUCCIÓN DE *PANGASIUS* A PANAMÁ

Equipo Operativo de la SVA



A mediados del año pasado se produjo la primera introducción a Panamá de *Pangasianodon hypophthalmus*, mejor conocido como bagre panga o *Pangasius*. Con esta iniciativa se sirven de la acuicultura para diversificar la economía del país centroamericano. En su momento, les presentamos la noticia, pero ahora les traemos los detalles técnicos de dicha operación, con

miras a conocer las implicaciones logísticas de actividades de ese tipo, también de interés para nuestra comunidad por ser aplicable a otras especies.

La operación fue concebida y supervisada por el colega Giuseppe Martino, en calidad de Asesor Consultor. El origen del despacho fue en las facilidades de la empresa TIL-



### Movilización terrestre de los ejemplares de *Pangasius hypophthalmus*.

GEN, en Chomes, Costa Rica, mientras que la recepción fue en Pacora, al este de Ciudad de Panamá, en instalaciones de la empresa CENTRO PISCÍCOLA EAST ONE.

El objetivo general, establecer un núcleo productivo inicial del bagre *Pangasius* en Panamá, requirió de objetivos específicos, como la selección de peces de diferentes tallas, su movilización controlada, seguimiento del bienestar animal y estabilidad fisiológica, aseguramiento sanitario y eficiencia logística, todo ello por medio de la aplicación de protocolos técnicos.

El diseño logístico contempló un camión de plataforma en el cual se organizaron en dos hileras 20 contenedores IBC o maxi cubos de 1.000 litros de capacidad, llenados al 80%. Se implementó una cobertura con lona, soportada por estructuras metálicas, para aminorar el efecto de la radiación solar.

Cada contenedor disponía de dos difusores de aire. Se mantuvo una aireación constante,

provista por cuatro equipos de 12 voltios.

Los ejemplares seleccionados ayunaron por 48 horas, para minimizar residuos nitrogenados. Fueron capturados en sus tanques de origen por medio de salabardos. Los peces grandes se manejaron individualmente, los medianos en grupos de 3 o 4, y los pequeños en grupos de 10 a 15. Se colocaron en los recintos por clases de talla, a razón de  $\pm 50$  Kg en c/u, según tabla anexa.



Clase de Talla	Peso aproximado	Cantidad/IBC	N° IBC's
Reproductores grandes	5 a 7 kg	20	3
Reproductores medianos	2 a 3 kg	40	2
Reemplazos de Reproductores	0,9 a 1,5 kg	80	2
Reemplazos de Reproductores	0,5 a 0,8 kg	300	5
Juveniles	<0,1 kg	3.700	8



Los contenedores cargados se montaron en el camión por medio de una retroexcavadora. La captura y carga inició a las 06:00 am, concluyendo a las 21:00 horas, resultando en una actividad de 15 horas de duración. Hasta la frontera transcurrieron otras 15 horas, 6 más en el proceso de aduana y otras 6 dentro de Panamá hasta el lugar de destino. En total, la operación demoró 46 horas.

Martino nos cuenta que la movilización resultó muy satisfactoria, con todos los parámetros físico-químicos muy cerca de los escenarios planificados. El oxígeno disuelto se mantuvo entre 4 y 5 mg/L, el pH osciló entre 6,5 y 7,3 y la temperatura entre 23 y 25°C, constituyendo riesgos de bajo a moderados. El amonio fue el único factor fuera de rango óptimo, entre 3 y 4 ppm, pero la robustez

innata del *Pangassius*, y la buena salud del lote en particular, le permite soportar esas condiciones momentáneamente, pero constituyendo un riesgo de moderado a alto.

A la recepción, los animales se mantuvieron en cuarentena. Se dispusieron en 3 tanques circulares con aireación periférica, preparados con agua madurada con fermentos. Por espacio de 15 días se mantuvieron en aislamiento total, sin recambio, con monitoreo sanitario por parte de las autoridades de la Autoridad de Recursos Acuáticos de Panamá (ARAP) y el Ministerio de Desarrollo Agropecuario (MIDA).

En cuanto a incidencias negativas, Un solo recinto evidenció mortalidad, prefiriendo

eliminar ese lote para no poner en riesgo el resto de los animales. La apertura de los contenedores, una boca de 4", hizo difícil la revisión periódica de la condición de los organismos transportados, por lo cual convendría un mejor acceso. Igualmente, los niveles de oxígeno disuelto podrían aumentarse a niveles óptimos, incorporando cilindros de este gas al transporte. Con respecto al amonio, convendría manejar algún bloqueador químico que inhiba su toxicidad. En términos generales, el asesor considera que fue una operación muy exitosa, superando las expectativas conservadoras que se formularon. Por supuesto que hay espacio para mejoras. Agradecemos que se haya compartido con nuestra comunidad esta interesante experiencia.



# PÁGINAS WEB QUE VALE LA PENA REVISAR:

## <https://www.hatch.blue/es>

Equipo Editorial de El Acuicultor



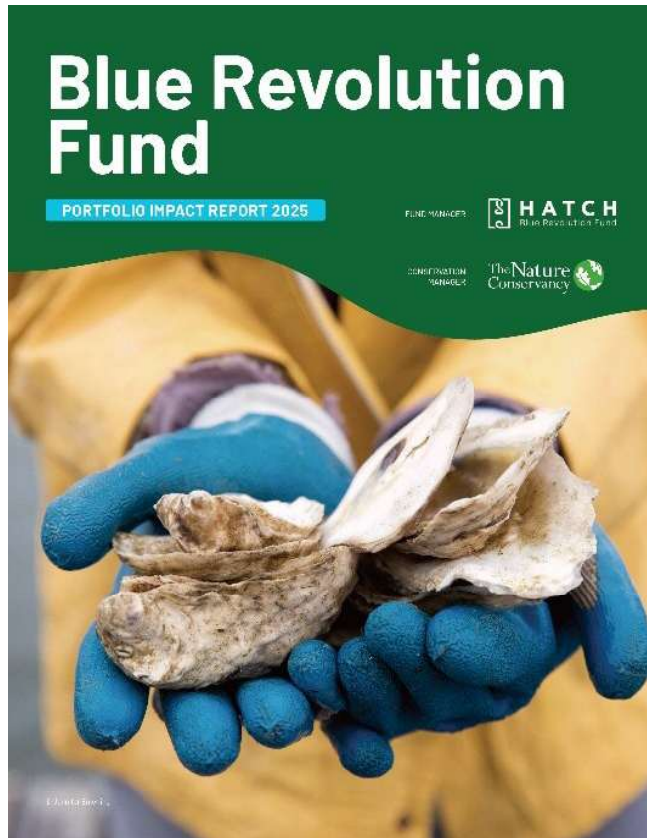
Capital humano de Hatch Blue en pleno.

HATCH BLUE es una organización global enfocada en la generación de iniciativas acuícolas innovadoras y sostenibles. Su universo se compone de cuatro unidades de negocio: Inversiones, Consultoría, Programas y Marketing Digital, abarcando todos los aspectos de la acuicultura y del carbono azul. La idea surgió a finales de 2017, cuando sus fundadores se unieron para brindar apoyo específico a empresas emergentes en la industria acuícola, lanzando la primera aceleradora de acuicultura en Bergen, Noruega, a principios de 2018. La industria acuícola y los gobiernos reconocieron rápidamente el valor de esta aceleradora pionera. Poco después lanzaron un programa en Irlanda y, en 2019, un primer programa

global, con sede en Hawái, completando con éxito seis cohortes de aceleradoras en todo el mundo hasta el momento. En ese mismo año, Hatch Blue adquirió la plataforma de acuicultura en inglés más visitada del mundo, The Fish Site. El enfoque de Hatch Blue es la acuicultura como solución, promoviendo prácticas productivas, responsables e inclusivas. En una palabra, sostenibles. Además de los servicios que ofrece, en su página web hay copiosa información de valor, libremente descargable previo registro, la cual presentamos resumidamente. Estos son solo algunos de los reportes presentes en esta página, pero contiene aún más información valiosa, por lo cual recomendamos su revisión y seguimiento.

## REPORTES

### Informe de Impacto de la Cartera del Fondo Revolución Azul 2025

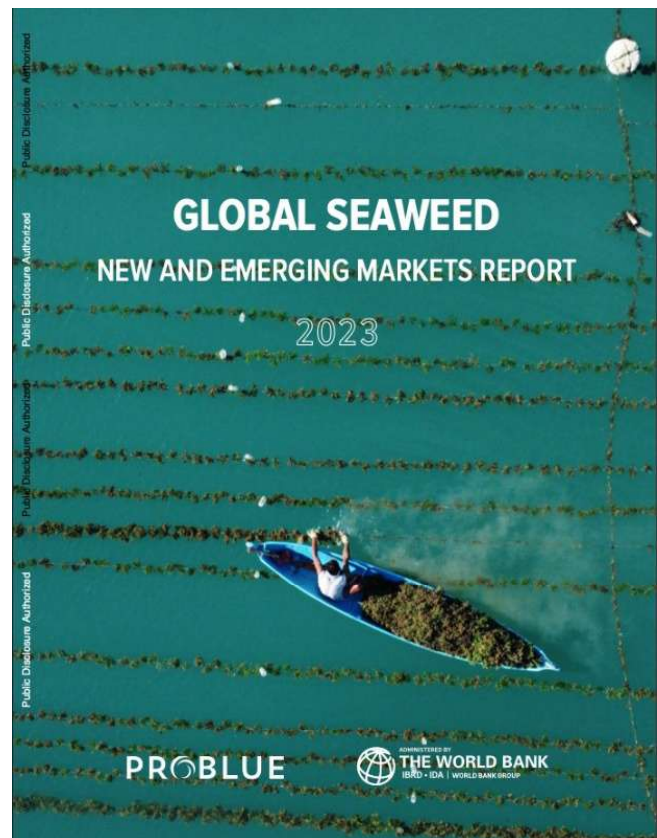


Describe los esfuerzos del BRF para impulsar inversiones en acuicultura sostenible que beneficien la salud de los océanos y las comunidades costeras, al tiempo que evalúa el progreso hacia ambiciosos objetivos de impacto ambiental y social. Destaca el crecimiento de la cartera, los logros iniciales y los planes futuros para ampliar la orientación y las herramientas que atraigan más capital de impacto a la acuicultura regenerativa.

Descargable en:

<https://www.hatch.blue/reports/blue-revolution-fund-portfolio-impact-report-2025>

### Global Seaweed: Reporte de mercados nuevos y emergentes 2023



Identifica diez mercados globales de algas marinas con potencial para impulsar un crecimiento adicional en la producción de algas marinas para 2030, más allá de sus mercados actuales. Incluyen mercados de alto volumen donde los productos de algas marinas podrían reemplazar combustibles fósiles en sectores como textil y plásticos, así como aplicaciones de alto valor donde sus compuestos bioactivos únicos pueden beneficiar la salud del ganado, las mascotas y los seres humanos a través de ingredientes funcionales para piensos, nutracéuticos y productos farmacéuticos.

Descargable en:

<https://www.hatch.blue/reports/global-seaweed---new-and-emerging-markets-report>

## Tecnología Global del Camarón



El objetivo principal del proyecto es ayudar a los actores del sector a comprender de forma rápida y eficiente las complejidades del mercado del camarón, eliminando la necesidad de costosos viajes o servicios de consultoría. Este conocimiento permite a los emprendedores desarrollar mejores productos, servicios y modelos de negocio que mejoran la eficiencia, la productividad y la sostenibilidad de la acuicultura del camarón

Descargable en: <https://www.hatch.blue/reports/global-shrimp-technology>

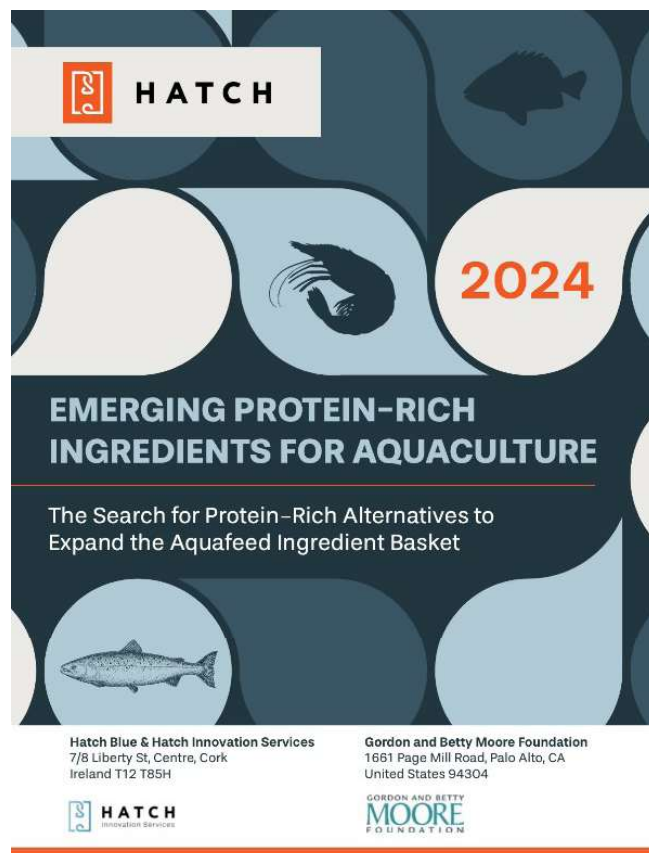
## Ingredientes Emergentes Ricos en Proteínas para la Acuicultura 2024

Identifica cinco ingredientes competitivos con el potencial de generar volúmenes significativos en el mercado de piensos acuícolas durante la próxima década, así como cuatro nuevos ingredientes prometedores que están entrando en producción comercial. Presenta una evaluación detallada de los procesos de producción, el coste, el volumen y el impacto de cada ingrediente, donde hay datos disponibles. Los ingredientes emergentes desempeñan un papel fundamental para

adaptarse al creciente ritmo de la producción acuícola.

Descargable en:

<https://www.hatch.blue/reports/emerging-protein-rich-ingredients-for-aquaculture-report-2024>





Sociedad Venezolana de Acuicultura

UN ESPACIO

DE INTERACCIÓN MUTUA

# CRECE JUNTO A LA SVA

[www.svacuicultura.org](http://www.svacuicultura.org)

**Comprometidos con la acuicultura en Venezuela y América Latina**

**La SVA**

La Sociedad Venezolana de Acuicultura (SVA) fue fundada en 1972, el propósito de nuestra organización es promover y desarrollar la acuicultura en Venezuela y América Latina, a través de la investigación, la transferencia de tecnología, la capacitación y el apoyo a los productores, con el fin de contribuir al desarrollo económico y social del país.

**Misión**

Promover y desarrollar la acuicultura en Venezuela y América Latina, a través de la investigación, la transferencia de tecnología, la capacitación y el apoyo a los productores, con el fin de contribuir al desarrollo económico y social del país.

**Visión**

Contribuir al desarrollo económico y social del país, a través de la acuicultura, promoviendo la investigación, la transferencia de tecnología, la capacitación y el apoyo a los productores.

**Valores**

**Noticias de la Industria y**

USSEC

GACETA OFICIAL

**EL ACUICULTOR**

EL ACUICULTOR



Sociedad Venezolana  
de Acuicultura

IMAGEN DE PORTADA  
Y CONTRAPORTADA  
BANCO DE IMÁGENES  
DE LA SVA



Alguicultores cosechando *Kappaphycus alvarezii* en la granja de Biorma, isla de Coche, Venezuela.

[www.svacuicultura.org](http://www.svacuicultura.org)



 @svacuicultura



Sociedad Venezolana de Acuicultura