



EL ACUICULTOR

UNA REVISTA DE LA SVA

**SISTEMAS DE RECIRCULACIÓN
ACUÍCOLA: UN CAMINO HACIA LA
PISCICULTURA SOSTENIBLE**

PÁGINA 22

**BIENESTAR DE LA TILAPIA Y EL CAMARÓN:
UN LENGUAJE COMÚN PARA GRANJAS,
MERCADOS Y CONSUMIDORES**

PÁGINA 56

**LA INDUSTRIA VENEZOLANA DE ALIMENTO
BALANCEADO SE ADAPTA A LAS EXIGENCIAS DE
SOSTENIBILIDAD: ADOPCIÓN DE CERTIFICACIÓN
ASC DE ALIMENTOS PARA ACUICULTURA**

PÁGINA 75

**DESTRABANDO EL DESARROLLO
ACUÍCOLA VENEZOLANO**

PÁGINA 84

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 Ulrich
Eugenio García
Héctor Rincón

EQUIPO OPERATIVO

DIRECTOR EJECUTIVO
Arnaldo Figueredo
DIRECTOR EDITORIAL
Alex Guevara
DIRECTOR DE MEDIOS
Víctor Cabezuelo
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 / **Email:** sociedadvenezolanadacuicultura@gmail.com



Sociedad Venezolana de Acuicultura

CONTENIDO

JULIO 2026 | VOL. 6 | NÚMERO 3

Pág. / Contenido

- 
- 
- 05.** Editorial: Sigue creciendo la acuicultura global. ¿Y Venezuela?
- 06.** ¿Son los peces lo suficientemente inmunocompetentes para enfrentarse al cambio climático?
- 15.** ¿Podría la tecnología de Biofloc (BFT) facilitar el camino hacia una acuicultura más sostenible en línea con la economía circular?
- 22.** Sistemas de recirculación acuícola: un camino hacia la piscicultura sostenible
- 30.** Uso responsable de la harina de pescado en la acuicultura
- 41.** Acuaponía marina: Retos y oportunidades
- 48.** Evaluación y optimización de tabla de alimentación en sistemas de biofloc para camarón blanco del Pacífico
- 56.** Bienestar de la tilapia y el camarón: Un lenguaje común para granjas, mercados y consumidores
- 62.** De oligotrófico a hipertrófico: una analogía del estado trófico para clasificar los sistemas acuapónicos y biopónicos
- 69.** Más allá del filete: Cómo convertir los subproductos del procesamiento del bagre azul de la bahía de Chesapeake en oportunidades rentables
- 75.** La industria venezolana de alimento balanceado se adapta a las exigencias de sostenibilidad: Adopción de certificación ASC de alimentos para acuicultura
- 81.** Breves notas sobre el cultivo de la paguara, *Chaetodipterus faber*, en el nororiente de Venezuela
- 84.** Destrabando el desarrollo acuícola venezolano

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



TOMOTA

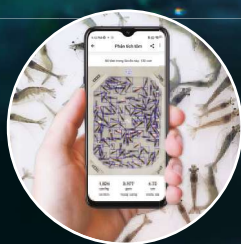
¡Cada camarón cuenta!

**Datos precisos.
Decisiones inteligentes.
Producción más eficiente.**



A3

Gestión óptima
del agua



S3+

Monitoreo del
crecimiento



S3N

Recuento de
nauplios y Artemia



S3T

Evaluación calidad
de postlarvas

Hagamos acuicultura juntos
MEGASUPPLY

Distribuidor Exclusivo – Centroamérica y Venezuela www.megasupply.net orders@megasupply.net

EDITORIAL

SIGUE CRECIENDO LA ACUICULTURA GLOBAL. ¿Y VENEZUELA?

El más reciente informe SOFIA¹, preparado por la FAO, nos ofreció una visión actualizada del sector pesca y acuicultura global. En ese documento quedó patente el mantenimiento de la propensión alcista de la acuicultura, alcanzando niveles sin precedentes. En contra de esa directriz internacional, nuestro contexto nacional no es halagador. Si bien no existen estadísticas oficiales, la percepción altamente generalizada es de una caída abrupta de la producción. El sector productivo nacional se enfrenta a numerosos obstáculos, como mercados cada vez más exigentes, escenarios de precios deprimidos, aranceles elevados, crisis climática, dificultades logísticas y complejidad legal, entre muchos otros. En el artículo "Destrabando el desarrollo acuícola venezolano", encartado en este número, encontrarán una revisión de estos elementos, con reflexiones para su superación.

Completan esta entrega otros interesantes artículos que tienen el mismo objetivo, expandir la visión de nuestra comunidad para adaptarnos y prepararnos para superar las amenazas, inspirándonos en experiencias foráneas. Resumimos a Franke y colaboradores, quienes contrastan la inmunocompetencia de peces para enfrentar la crisis climática. Abordamos la capacidad de la BFT y los sistemas RAS de facilitar una acuicultura más sostenible, revisando los trabajos de Emerenciano et al. y Lal et al.

Apostamos al uso eficiente de recursos, como la harina de pescado, a partir del documento de la FAO, o el alimento, con la revisión de Padilla et al. Ponemos en el tapete la innovación, evaluando la acuaponía marina, por medio del artículo de Hall y Pascual. El escrito de Torchareon y Grimalt nos permitió estudiar el bienestar de la tilapia y el camarón cultivados. Sintetizamos el artículo de Junge donde indaga sobre un enfoque más pertinente para los sistemas acuapónicos. Consideramos la transformación postcosecha del bagre, con base en el escrito de Feng y colaboradores. Comentamos la adaptación de la industria ABA venezolana al nuevo estándar ASC. Finalmente, recordamos paquetes tecnológicos desarrollados en el país, gracias a la reseña de Rosas sobre la paguara. Esperamos que disfruten este nuevo número; pero, sobre todo, que sirva para que se produzca la discusión necesaria para ese impulso definitivo que la acuicultura necesita.



Eduardo Castillo
Presidente de la SVA

¹Consulte la nota preparada al respecto en <https://svacuicultura.org/noticia/sofia-2026-ya-esta-disponible-la-fao-lanzo-su-actualizacion-del-estado-mundial-de-la-pesca-y-la-acuicultura/>

¿SON LOS PECES LO SUFICIENTEMENTE INMUNOCOMPETENTES PARA ENFRENTARSE AL CAMBIO CLIMÁTICO?

Cuerpo editorial de El Acuicultor



¿Cambio climático, cambio en la inmunidad de los peces?

Con el cambio climático, se espera que los océanos enfrenten condiciones extremas, como aumento de temperaturas, acidificación y disminución de oxígeno, lo que ha provocado un incremento en los brotes de enfermedades en peces. Sin embargo, se sabe poco sobre cómo estos factores afectan el sistema inmunológico de los peces y su resistencia a enfermedades.

Los peces tienen un rango de tolerancia a estos factores que varía por especie y población, y pueden experimentar condiciones óptimas, subóptimas y críticas. En condiciones óptimas, los peces prosperan, pero en condiciones subóptimas, el estrés aumenta y su rendimiento disminuye, limitando su sobrevivencia en condiciones críticas. La aclimatación y adaptación pueden modificar sus rangos de tolerancia, cambiando su respuesta al estrés y su rango óptimo a diversos factores ambientales.

El sistema inmunitario de los peces se compone de dos tipos de inmunidad: innata y adaptativa, incluyendo diversos componentes celulares y humorales (**Figura 1**). Durante las primeras etapas de vida, los peces dependen únicamente

de la inmunidad innata y de las moléculas inmunitarias maternas, hasta que desarrollan células inmunitarias adaptativas. Los tejidos linfoides asociados a la mucosa (MALT, por sus siglas en inglés) se encuentran en diferentes partes del cuerpo, incluyendo la piel y las branquias, y trabajan juntos para proteger contra patógenos.

Los órganos linfoides centrales, como el timo y el bazo, son clave en este sistema. La inmunidad innata incluye células fagocíticas y citotóxicas que reconocen patrones moleculares de patógenos mediante receptores específicos. La activación de estas células lleva a la producción de citocinas que regulan diversas funciones celulares.

Por otro lado, la inmunidad adaptativa, aunque más lenta, es muy específica y

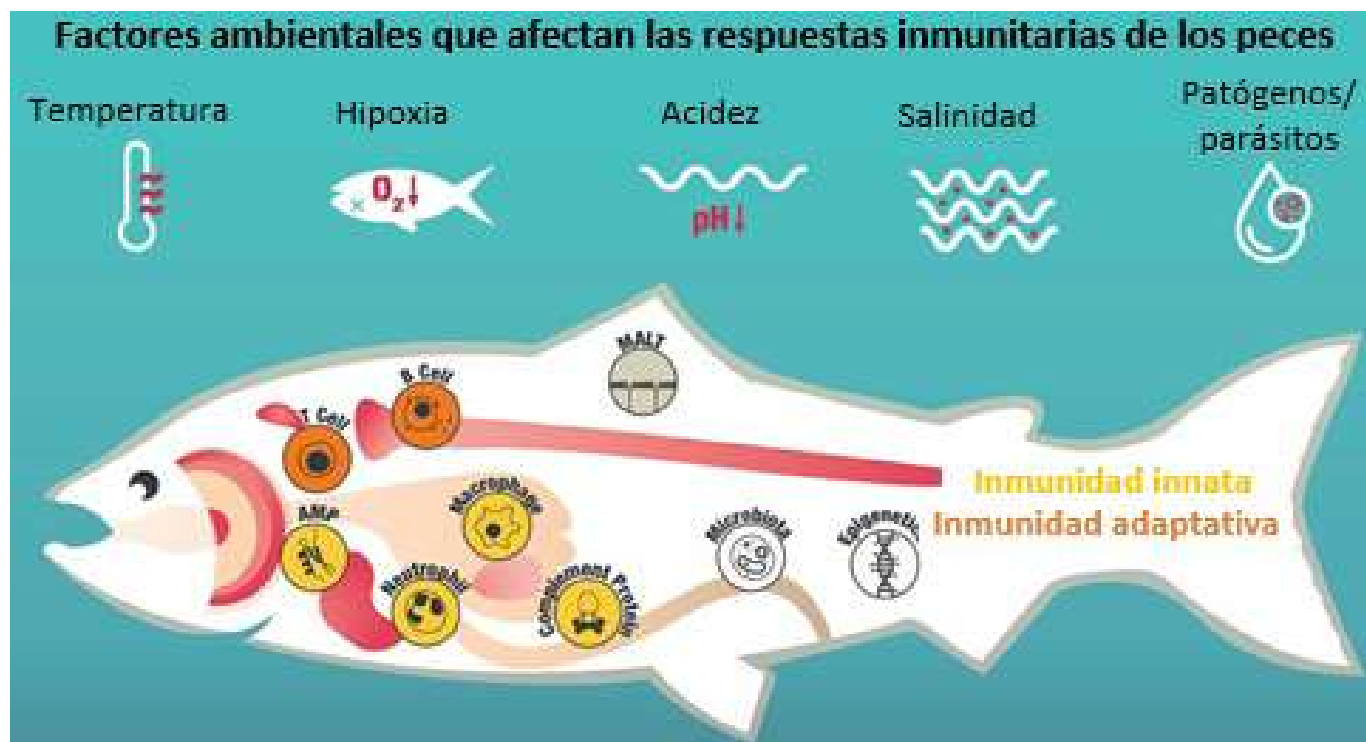


Figura 1. El sistema inmunitario de los peces abarca inmunidad innata y adaptativa.

La inmunidad innata se representa aquí por péptidos antimicrobianos (AMP), proteínas de complemento, neutrófilos y macrófagos. Las células T y B, forman el sistema inmune adaptativo. Factores de estrés ambiental como el calentamiento, hipoxia, acidificación, cambios de salinidad y patógenos afectan la respuesta inmunitaria en los peces. Los componentes epigenéticos están implicados en la regulación de la inmunocompetencia de los peces.

permite la memoria inmunológica. Los linfocitos T y B son esenciales en esta respuesta, eliminando células infectadas y produciendo anticuerpos.

Factores de estrés ambiental

Los cambios ambientales afectan la fisiología de los vertebrados, generando estrés fisiológico cuando las condiciones se tornan desfavorables. Los investigadores dividen la respuesta de los peces en tres etapas: primaria, secundaria y terciaria. La respuesta primaria implica una regulación positiva del sistema inmunitario innato, la respuesta secundaria ajusta el sistema para restaurar la homeostasis, mientras que la respuesta terciaria lleva a la inmunosupresión, al desviar energía hacia funciones vitales esenciales para la sobrevivencia.

(a) Temperatura

La temperatura es un factor determinante para el sistema inmune de los peces. Su impacto real varía según la duración del cambio térmico, el nivel de estrés, el tipo de patógeno y las características biológicas del pez (como su especie, edad o sexo). Al ser animales ectotermos, las temperaturas bajas limitan sus células inmunes (T y B), obligándolos a depender de su inmunidad innata. Por el contrario, las aguas cálidas de primavera y verano potencian sus defensas, impulsando a algunas especies a migrar hacia zonas templadas para mejorar su capacidad de combatir enfermedades.

El calentamiento del agua por el cambio climático mejora la inmunidad de los peces si se mantiene en su rango óptimo, pero las temperaturas subóptimas prolongadas les causan estrés crónico y deterioran su salud. Ante esto, los peces migran a zonas más frías mediante termorregulación conductual,

un movimiento que los expone a nuevos patógenos y eleva el riesgo de enfermedades. Además, el calor altera negativamente el microbioma vital para su sistema inmunitario en etapas tempranas, provocando un crecimiento bacteriano excesivo y una pérdida de diversidad microbiana que compromete su supervivencia.

El calentamiento global también ha sido vinculado a un aumento en la replicación de bacterias patógenas, como los brotes de *Vibrio*, que plantean un problema mayor en acuicultura, donde la densidad poblacional favorece la propagación de enfermedades.

Las etapas tempranas de vida de los peces son las más sensibles a los cambios térmicos, especialmente las larvas, que dependen únicamente de su inmunidad innata mientras desarrollan su sistema adaptativo. Las temperaturas fuera del rango óptimo debilitan las defensas de los peces de forma directa o indirecta mediante el estrés y la alteración de su microbioma, provocando trastornos inmunológicos y una mayor susceptibilidad a infecciones.

El impacto del cambio climático en la inmunocompetencia de los peces no está suficientemente estudiado, dificultando las predicciones necesarias para gestionar las especies silvestres y de acuicultura. Se recomienda que futuras investigaciones se concentren en el estrés térmico a corto y largo plazo, especialmente en las etapas más vulnerables y sus interacciones con patógenos, además de estudios sobre la adaptación transgeneracional de los peces al aumento de temperatura.

(b) Hipoxia

El calentamiento global está provocando una disminución en los niveles de oxígeno disuelto (OD) en los ecosistemas acuáticos, lo que conlleva a una desoxigenación a gran escala y a un aumento en la frecuencia de

eventos hipóxicos, afectando gravemente la salud y sobrevivencia de los peces. Las condiciones de hipoxia, ya sean agudas o crónicas, deterioran el sistema inmunitario de los peces, aumentando su susceptibilidad a infecciones y el riesgo de brotes de enfermedades.

Estudios han demostrado que la exposición a niveles subletales de OD causa respuestas al estrés, lo que lleva a una mayor mortalidad debido a infecciones bacterianas. La hipoxia crónica y cíclica puede reducir o retrasar la expresión genética relacionada con la inmunidad, afectando la capacidad de respuesta frente a patógenos. Asimismo, a niveles bajos de OD, se han reportado disminuciones significativas en la actividad de enzimas antioxidantes y lisozimas en peces, aumentando el riesgo de daño celular.

La hipoxia compromete tanto la inmunidad innata como la adaptativa, resultando en capacidades inmunitarias reducidas y, por lo tanto, en una mayor susceptibilidad a enfermedades y mortalidades. Con el cambio climático, es previsible que la hipoxia se agrave, especialmente en aguas costeras poco profundas; esto acompañará un aumento en la virulencia de los patógenos.

(c) Acidificación

El cambio climático proyecta una disminución del pH en la superficie del océano. Pocos estudios han explorado el efecto del pH en la respuesta inmunitaria de animales acuáticos, y es crucial distinguir entre estrés agudo y crónico al evaluar su impacto. Los peces en entornos como estuarios experimentan cambios rápidos de pH que pueden actuar como factores de estrés.

El conocimiento sobre la eco inmunología relacionada con la acidificación de los océanos es aún limitado, y se necesitan más estudios sobre la interacción entre inmunidad y patógenos en ambientes hipercápnicos.

Además, la exposición al CO₂ puede alterar la microbiota intestinal, lo que impacta el sistema inmunitario, aunque los efectos directos sobre este parecen ser limitados.

(d) Salinidad

El cambio climático alterará la salinidad de los océanos, aumentando la salinidad en zonas de alta evaporación y disminuyéndola en áreas lluviosas, mediante cambios drásticos a corto plazo y transformaciones a largo plazo. A pesar de que la mayoría de las investigaciones se han limitado a la acuicultura y han ignorado los ecosistemas naturales, se sabe que superar los límites fisiológicos de salinidad en peces de agua dulce deteriora su respuesta inmunitaria y reduce drásticamente su supervivencia frente a infecciones.

Los efectos de la hipo salinidad también se han investigado, principalmente en especies eurihalinas. Una reducción drástica en salinidad compromete la resistencia inmunitaria, en detrimento de la respuesta a patógenos.

Desentrañar los mecanismos subyacentes: regulaciones epigenéticas de las respuestas inmunitarias

Varios estudios indican que los peces pueden aclimatarsen y adaptarse al cambio climático para mantener su inmunocompetencia. Esta aclimatación rápida a entornos cambiantes se puede facilitar mediante mecanismos epigenéticos, como la metilación del ADN, modificaciones de histonas y pequeños ARN.

(a) Metilación del ADN

La metilación del ADN, que implica la adición reversible de un grupo metilo a las citosinas en dinucleótidos CpG, es un mecanismo clave de regulación epigenética que afecta la expresión génica y se hereda a través de generaciones. Cambios en la metilación pueden ser inducidos rápidamente por

diversos factores ambientales, permitiendo a los organismos realizar ajustes rápidos en la expresión génica y facilitando las respuestas inmunológicas. En animales acuáticos, la metilación del ADN se ve afectada por factores como la temperatura, la hipoxia, la acidificación, la salinidad y la acidificación (**Figura 2**).

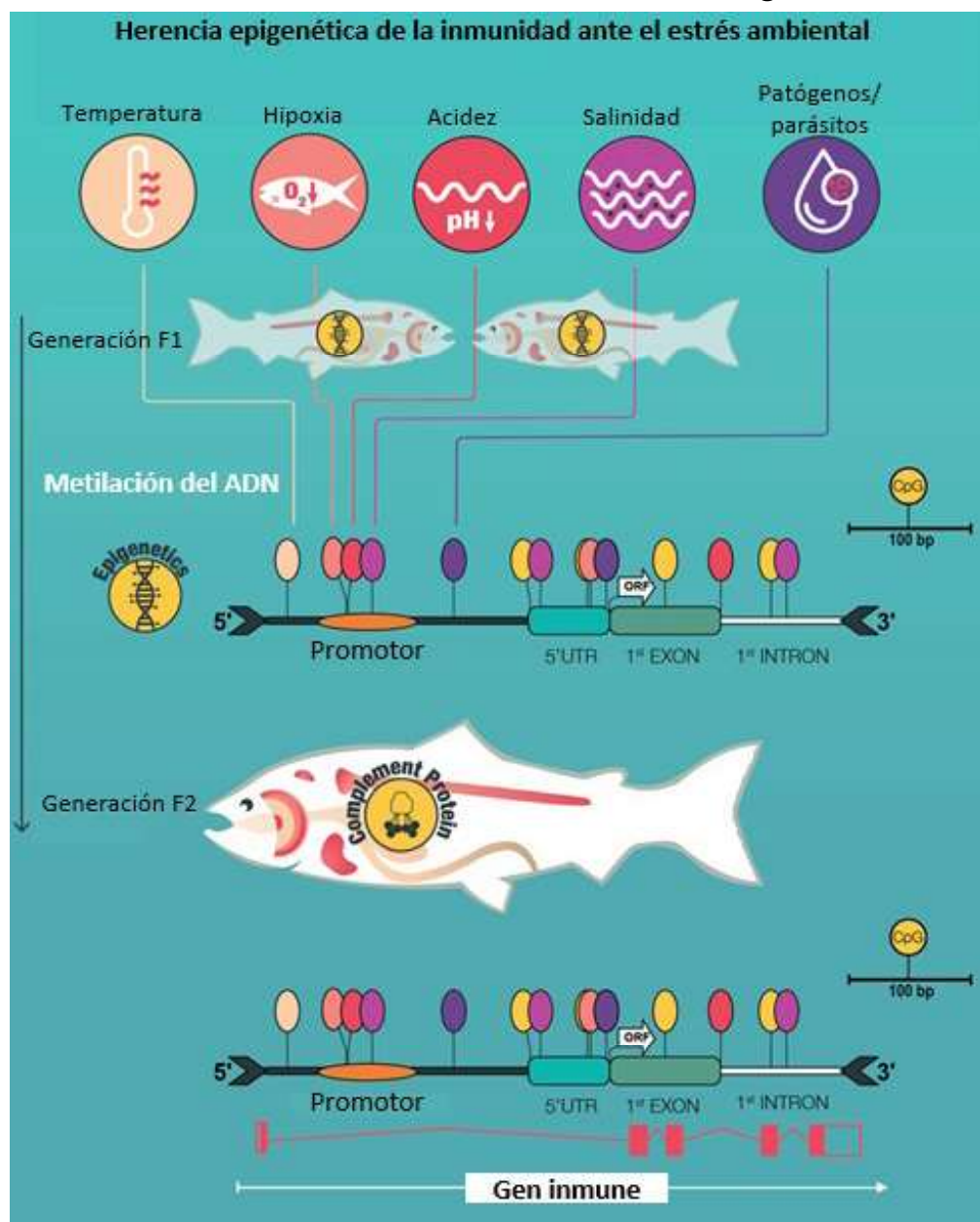


Figura 2. Ilustración esquemática de cambios epigenéticos. Se representan los cambios de metilación de CpG (marcas epigenéticas) inducidos por factores ambientales alterados por el cambio climático (calentamiento, hipoxia, acidificación, salinidad, patógenos/parásitos).

(b) ARN no codificante

Las respuestas transcripcionales en los organismos pueden regularse mediante pequeños ARN no codificantes (ncARNs), como los microARN (miARNs), los cuales son clave en la regulación de procesos relacionados con la temperatura. Se ha demostrado que los miARNs contribuyen a la respuesta inmunitaria en los peces teleósteos. Los miARNs juegan un papel crucial en la regulación de la muerte celular programada y la supervivencia celular. Así, es probable que los ncARNs estén también implicados en la regulación de las respuestas inmunitarias, similar a lo observado en estudios con mamíferos.

(c) Memoria epigenética y cebado inmunitario transgeneracional

Las modificaciones epigenéticas inducidas por el ambiente, conocidas como marcas epigenéticas, son esenciales para regular la expresión génica inmunitaria y pueden influir en la inmunocompetencia durante la aclimatación a lo largo de la vida de los peces. Estas marcas, que pueden transmitirse de la generación F1 a la F2, permiten que la segunda generación responda de manera más eficiente a los desafíos ambientales experimentados por la primera, facilitando un proceso llamado “cebado transgeneracional (inmune)” (TG(I)P).

Los factores de estrés ambientales relacionados con el cambio climático pueden inducir patrones de metilación de CpG en los genes inmunitarios de la F1 que se transmiten a la F2, mejorando su inmunocompetencia. Esto sugiere que las marcas epigenéticas no solo transmiten la experiencia inmunológica de los padres a la siguiente generación, sino que también permiten que

los peces aclimaten su fenotipo a futuros hábitats acuáticos a lo largo de múltiples generaciones. Las marcas epigenéticas podrían actuar como un colchón epigenético que facilite adaptaciones genéticas a nivel poblacional.

¿Podrán los peces adaptarse para mantener la inmunocompetencia?

La capacidad de las especies de peces para sobrevivir en futuros ambientes acuáticos dependerá de su potencial de adaptación, que varía entre poblaciones y eco tipos. Estudios han mostrado que algunos peces, pueden adaptarse al aumento de temperaturas en múltiples generaciones. Sin embargo, el potencial de adaptación se ve limitado por factores como el tiempo de generación y las presiones externas, como la sobrepesca.

Peces adaptados a ambientes estables tienen una menor plasticidad fenotípica y son menos efectivos para gestionar cambios térmicos en comparación con los que habitan en entornos variables. Estos peces también han mostrado una evolución lenta hacia límites térmicos superiores, lo que puede restringir su capacidad para adaptarse a temperaturas más altas.

La plasticidad transgeneracional (TGP) y la transferencia de inmunidad parental (TGIP) son mecanismos que permiten a los peces responder a cambios ambientales rápidos. Sin embargo, el entendimiento de su potencial adaptativo y las condiciones que promueven estos fenómenos es aún limitado.

Perspectiva: ¿cómo podemos estimar mejor los efectos del cambio climático sobre la inmunidad de los peces?

Las respuestas inmunitarias de los peces están interconectadas con sus niveles de estrés y dependen de factores ambientales bióticos y abióticos, así como de características específicas de cada especie, su etapa de vida, sexo y la naturaleza e intensidad de los estresores, entre otros. La duración de la exposición a estos factores, que puede ser corta, aguda o crónica, también influye, al igual que los patógenos presentes. Debido a esta complejidad, resulta difícil comparar y analizar cómo el cambio climático afecta la inmunocompetencia de los peces.

Diversidad de especies: Los factores ambientales afectan la respuesta inmunitaria de los peces de manera específica según la especie. Por lo tanto, es crucial utilizar un conjunto diverso de especies modelo adaptadas a diferentes entornos para entender los mecanismos involucrados. Se requieren experimentos con especies de diferentes curvas de tolerancia (eurítermas y estenotermas) y variados tiempos de generación para predecir mejor los efectos del cambio climático en la pesca y la acuicultura. Es fundamental incluir especies clave tanto marinas como de agua dulce.

Importancia de la etapa de vida: Las primeras etapas de vida de los peces presentan un sistema inmunitario inmaduro, lo que los hace vulnerables a infecciones y más sensibles a cambios ambientales. La respuesta inmunitaria innata es funcional

desde el principio, pero el sistema adaptativo se desarrolla con el tiempo, lo que significa que los efectos del cambio climático sobre la inmunidad variarán según la etapa de vida. El periodo de maduración del sistema inmunitario es específico de cada especie y depende de la temperatura. Sin embargo, poco se ha investigado sobre la inmunidad de las larvas en contextos de cambio climático.

El sexo importa: El dimorfismo sexual en la defensa inmunitaria de los peces es un aspecto bien documentado, pero a menudo se pasa por alto en los estudios sobre cambio climático. Es fundamental incluir proporciones iguales de hembras y machos en los estudios con peces maduros y considerar el sexo como una variable en los modelos estadísticos.

Diversidad de órganos: Los diferentes órganos inmunitarios tienen funciones específicas, lo que dificulta la comparación de parámetros inmunitarios entre muestras de tejido. Para comprender mejor la respuesta inmunitaria ante el estrés ambiental, es útil examinar los órganos inmunitarios clave, como el riñón, órgano linfoide, bazo, así como la sangre.

Estudios a largo plazo: Para evaluar los efectos a medio y largo plazo de eventos climáticos extremos, es fundamental monitorear a los peces durante periodos prolongados tras el estrés por calor o frío. Se requieren más experimentos a largo plazo, preferentemente transgeneracionales, para estudiar los efectos crónicos del cambio climático y el potencial de adaptación de las distintas especies de peces.

Experimentos con múltiples estresores: Existe una comprensión limitada de cómo la exposición simultánea a múltiples factores estresantes afecta la inmunidad y la resistencia a enfermedades en los peces. Dado que se espera un aumento en la gravedad y duración de estos estresores

ambientales, es crucial simular escenarios de múltiples factores de estrés que reflejen condiciones actuales y futuras.

Desarrollo de nuevos biomarcadores epigenéticos inmunológicos para predecir los resultados futuros de enfermedades:

Las marcas epigenéticas, como los cambios en la metilación de CpG, son sensibles a factores ambientales y pueden funcionar como biomarcadores epigenéticos (EB) si están asociadas con rasgos fenotípicos como la respuesta inmunitaria y la resistencia a enfermedades.

Estos biomarcadores podrían ayudar a identificar exposiciones tempranas a patógenos, el inicio de infecciones y realizar predicciones sobre el resultado y supervivencia de enfermedades. La implementación de EB para la salud de los peces podría reducir el riesgo de brotes y mortalidad masiva en acuicultura.

Conclusión

La temperatura fuera del óptimo térmico y la hipoxia pueden suprimir la respuesta inmunitaria, ya sea directamente o a través de un aumento en la respuesta al estrés y alteraciones en el microbioma. Estos cambios pueden resultar en trastornos inmunológicos y mayor susceptibilidad a infecciones, lo que, combinado con un aumento en la infectividad y virulencia de los patógenos, podría aumentar las tasas de mortalidad en los peces (**Figura 3**).

Respecto a la acidificación y cambios en la salinidad, la información disponible es limitada y variable, dificultando la extracción de conclusiones firmes sobre su impacto en la inmunidad de los peces. Dado que el cambio climático afecta a múltiples factores ambientales simultáneamente, es crucial realizar experimentos que simulen estas

condiciones futuras. Actualmente, no se puede determinar el efecto combinado de estos estresores sobre la inmunocompetencia de los peces, aunque los estudios demuestran que los factores individuales, como la temperatura y la hipoxia, ya afectan negativamente la inmunidad. Por lo tanto, se espera que los efectos interactivos de múltiples estresores sean aún más perjudiciales.

Para entender el potencial de aclimatación de los peces ante patógenos en entornos cambiantes, es crucial investigar los mecanismos de regulación molecular, especialmente los cambios epigenéticos que modulan las respuestas inmunológicas. La memoria epigenética puede facilitar adaptaciones genéticas a nivel poblacional, pero hay una falta de estudios sobre modificaciones epigenéticas de la inmunidad en el contexto del cambio climático.

El impacto ambiental en la salud de los peces varía según la especie, su estrategia de tolerancia, etapa de vida, patógenos y tipo de escenario climático. Los peces de ambientes estables, especialmente en trópicos, pueden tener una inmunocompetencia limitada debido a la necesidad de redistribuir energía para la homeostasis.

Por último, predecir las funciones inmunitarias de los peces es complicado debido a la escasez de estudios que consideren múltiples factores de estrés. Es necesario realizar investigaciones que simulen escenarios futuros e incluyan todas las variables que afectan la salud de los peces. Los experimentos transgeneracionales son clave para entender cómo los peces pueden aclimatarsen y adaptarse. Desarrollar modelos predictivos y biomarcadores epigenéticos es esencial para evaluar la inmunocompetencia de los peces frente al cambio climático.

Esta es una versión resumida, elaborada por el cuerpo editorial de "El Acuicultor", del

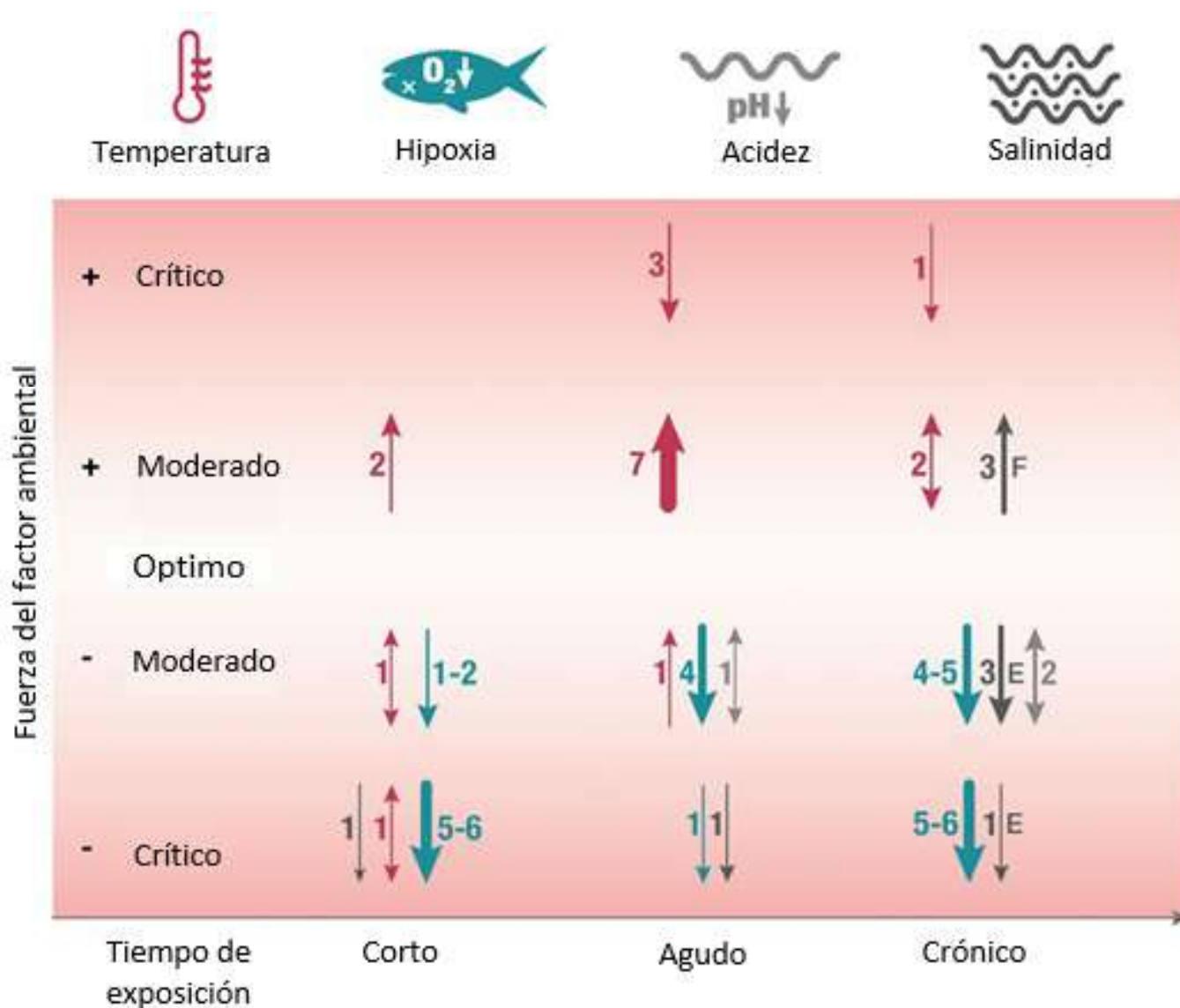


Figura 3. Ilustración esquemática de los efectos estimados del cambio climático sobre la inmunidad de los peces, destacando la dirección y fiabilidad de los efectos observados. Los factores ambientales son temperatura = rojo, hipoxia = verde, acidificación = gris claro, salinidad = gris oscuro. La intensidad de los factores se generaliza como moderada y crítica. El tiempo de exposición se resume en breve (menos de 48 horas), agudo (48 horas a dos semanas) y crónico (más de dos semanas). Las flechas hacia arriba representan un aumento general de inmunidad. Las flechas hacia abajo indican una disminución general de la inmunidad (ambas medidas como supervivencia a la enfermedad, factores inmunitarios mejorados o disminuidos). + y - indican la dirección de desviación del óptimo. Para estudios de salinidad: E = eurilina, F = peces de agua dulce. El grosor y los números de flechas representan el número de publicaciones incluidas (citadas en esta revisión).

artículo original ". Are fish immunocompetent enough to face climate change?" escrito por Franke, A., Beemelmans, A., y Miest, J. J.

2024. Biol Lett 1; 20 (2): 20230346.

<https://doi.org/10.1098/rsbl.2023.0346>

¿PODRÍA LA TECNOLOGÍA DE BIOFLOC (BFT) FACILITAR EL CAMINO HACIA UNA ACUICULTURA MÁS SOSTENIBLE EN LÍNEA CON LA ECONOMÍA CIRCULAR?

Cuerpo editorial de El Acuicultor



Introducción

El crecimiento exponencial de la población mundial plantea serios desafíos para la producción de alimentos, especialmente en la acuicultura, que es crucial para satisfacer la demanda de proteínas. A pesar de su

rápido crecimiento, la acuicultura enfrenta obstáculos como la escasez de alimentos adecuados, la disminución de recursos hídricos, la contaminación y la falta de técnicas genéticas mejoradas. Para avanzar hacia una producción acuícola sostenible, se deben establecer objetivos como el uso de poblaciones genéticamente mejoradas,

la expansión sin aumentar significativamente el uso de recursos naturales, el desarrollo de sistemas sostenibles y el apoyo a las comunidades locales.

Las tecnologías como la técnica de biofloc (BFT) y los sistemas de recirculación acuícola (RAS) son esenciales para estos objetivos. BFT permite una alimentación optimizada y la gestión de residuos, contribuyendo a la salud del ecosistema acuático. Esta técnica forma parte de una economía circular, que busca desacoplar la producción y el consumo de la presión ambiental, promoviendo la reducción, reutilización y reciclaje de recursos.

El artículo enfatiza la adopción de una "bioeconomía acuícola circular", la cual, si se implementa correctamente, podría mejorar la sostenibilidad, reducir el impacto ambiental y generar mayores beneficios económicos. Además, se sugiere que el análisis de BFT podría facilitar la comprensión de la transición hacia este nuevo modelo económico en acuicultura, impulsando prácticas más eficientes y responsables.

La Economía Circular (EC) y su importancia para la industria acuícola

La economía circular (EC) se define como un sistema económico diseñado para ser regenerativo y restaurador, promoviendo la eliminación de residuos y contaminación, la reutilización de productos y materiales, y la restauración de sistemas naturales. En contraste con el modelo lineal actual, la EC busca un crecimiento económico sostenible que minimice residuos y genere beneficios sociales.

Existen diversos marcos de aplicación de la EC en diferentes industrias. Uno de ellos incluye un enfoque que se centra en rechazar, reducir, renovar, reutilizar, reparar,

remanufacturar, reciclar y recuperar. Otros sugieren un enfoque agroecológico que priorice la protección de ecosistemas y la reutilización de biomasa en la producción alimentaria.

La acuicultura, criticada por su impacto ambiental y social, presenta oportunidades para adoptar prácticas de EC, como la gestión adecuada de residuos y la utilización sostenida de subproductos. Esto incluye la valorización de desechos acuícolas y el uso de ingredientes más sostenibles en la alimentación de los cultivos.

Es crucial involucrar el ecodiseño desde las etapas de desarrollo para asegurar que las instalaciones acuícolas minimicen sus impactos. La implementación de sistemas como biofloc, acuicultura multitrófica integrada y acuaponía son ejemplos de cómo la industria puede avanzar hacia la circularidad, mejorando la sostenibilidad y potencialmente generando mayores beneficios económicos. En resumen, la adopción de una bioeconomía circular en acuicultura puede transformar el sector, haciendo más eficiente el uso de recursos y mejorando su huella ecológica.

Algunos desafíos actuales de la acuicultura. Una breve perspectiva

Escasez de agua y vertidos de efluentes

El agua es esencial para la producción de energía, alimentos y el desarrollo económico, pero el 40 % de la población mundial sufre escasez de agua y el 80 % de las aguas residuales se vierten sin tratamiento. Para 2050, se estima que el 70 % de la población enfrentará escasez de agua, lo que representa un desafío significativo para la acuicultura. Los sistemas acuícolas convencionales requieren más de 20.000

litros de agua para producir 1 kg de peces, mientras que métodos más sostenibles como RAS, acuaponía y BFT necesitan menos de 200 litros por kilogramo.

Los sistemas acuícolas generan contaminación a partir de desechos, donde aproximadamente el 30 % de los nutrientes se convierten en producto y el resto se elimina como efluentes. Los principales tipos de residuos incluyen heces, restos de alimentos y productos químicos. Esto puede resultar en contaminación cruzada entre granjas cercanas, afectando el medio ambiente con nutrientes como nitrógeno y fósforo, que provienen principalmente de alimentos no consumidos y desechos.

Se estima que hasta el 70 % del alimento suministrado termina como materia particulada, que se clasifica en sólidos suspendidos, difíciles de recolectar, y sólidos sedimentables, que son más fáciles de eliminar. La gestión efectiva de estos residuos es crucial para minimizar el impacto ambiental de la acuicultura.

Conflictos sociales

Los antibióticos se utilizan ampliamente en la acuicultura. Su uso depende de la disponibilidad y del tipo de infección a tratar, pero su aplicación constante genera resistencia bacteriana y altera la flora bacteriana natural. Esto puede afectar negativamente el proceso de descomposición de la materia orgánica y el ciclo biogeoquímico de los nutrientes.

El uso excesivo de los antibióticos introduce contaminantes que alteran el equilibrio de los ecosistemas acuáticos. Los efectos negativos incluyen cambios en la población de bacterias ambientales, en la microflora digestiva de los animales de cultivo, y en su respuesta al estrés.

Además, la persistencia de antibióticos en las especies cultivadas puede provocar infecciones bacterianas en humanos,

debilitar el sistema inmunológico, alterar la microbiota y el equilibrio ecológico en el medio ambiente, entre otras.

Sustitución de harina de pescado

Un gran porcentaje de la producción pesquera mundial se destina al consumo humano directo, mientras que otro se utiliza para fines no alimentarios, principalmente en la producción de harina y aceite de pescado.

Se han logrado avances significativos en la sustitución de proteínas de pescado en los alimentos acuícolas. Inicialmente, los desafíos incluían el contenido de aminoácidos esenciales y la digestibilidad de las fuentes alternativas. Sin embargo, investigaciones recientes muestran que subproductos del procesamiento animal, como la harina de desechos avícolas, y la harina de insectos ofrecen perfiles de aminoácidos y digestibilidad adecuados. Otras fuentes prometedoras incluyen biomasa de fermentación de bioetanol, proteína microbiana, harinas de cereales y leguminosas. Estas alternativas pueden incorporarse a las dietas de especies como camarones y tilapias sin afectar su rendimiento productivo.

BFT: Origen y concepto básico

Investigaciones recientes se centran en optimizar la BFT en áreas como gestión del crecimiento, nutrición y ecología microbiana. La clave para un funcionamiento efectivo incluye ajustar la relación carbono-nitrógeno, limitar el intercambio de agua y emplear sistemas de aireación adecuados. Estos aspectos permiten utilizar la población bacteriana de manera eficiente, manteniendo la calidad del agua y controlando compuestos nitrogenados tóxicos.

Las funciones principales de la BFT son mantener la calidad del agua al transformar

compuestos de nitrógeno, servir como un alimento complementario natural que reduce costos y mejorar la salud y el sistema inmunológico de los organismos cultivados. Además, se ha observado una menor necesidad de hormonas durante la masculinización de tilapias y la posibilidad de coproducir diversas especies de alto valor en sistemas de cultivo integrados.

BFT y la EC abordan los desafíos de la acuicultura

La **Figura 1** resalta los enfoques circulares del BFT y su conexión con la EC, enfatizando la prevención del desperdicio y la creación de valor in situ. Desde una perspectiva nutricional (recuadros amarillos), se destacan aspectos como el ahorro de recursos, la recuperación de nutrientes y la reducción de la huella de carbono. Ejemplos de circularidad incluyen la mejora en la eficiencia alimentaria,

el uso de bioflóculos como fuente natural de alimento, y la inclusión de ingredientes alternativos en las dietas.

En cuanto a nuevas modalidades de sistemas como la acuicultura multitrófica integrada (IMTA) y la acuaponía (recuadros azules), se observan mejoras en la recuperación de nutrientes y optimización de recursos. Además, se mencionan la optimización del agua y el suelo, la posición de las granjas cerca del mercado, las oportunidades para fuentes de energía renovables, y la mejora de la salud y el rendimiento animal (recuadros verdes) como elementos que refuerzan la circularidad del BFT.

La **Figura 2** desglosa los principios clave de la bioeconomía circular y ayuda a comprender las conexiones con dos enfoques establecidos.

Tecnología de biofloc en línea con la economía circular

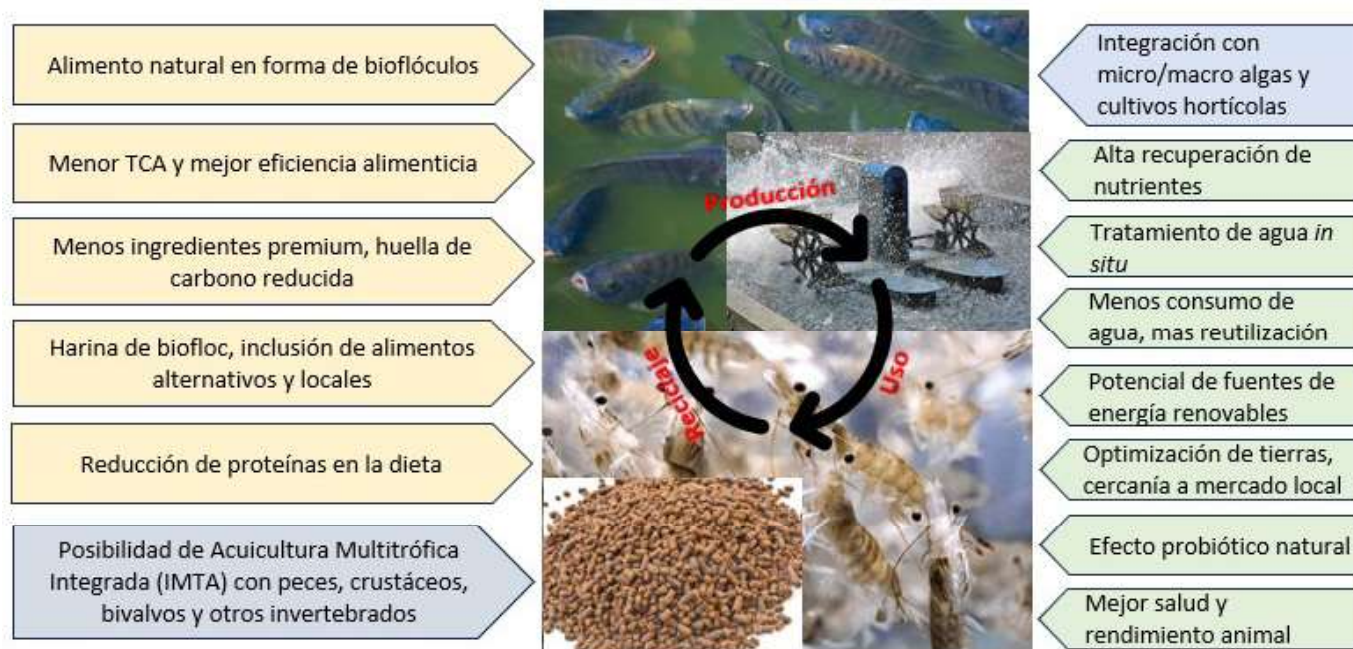


Figura 1. Ilustración que destaca enfoques "circulares" clave de BFT en línea con la creación de valor in situ de la EC. Cuadros de texto amarillos aportan una perspectiva nutricional, cuadros de texto grises una perspectiva integrada de "coproducción" multisistémica, y cuadros de texto verdes aportan una perspectiva de salud, rendimiento y optimización del sistema.

BFT para reducir efluentes, tierra y agua

Los sistemas convencionales acuícolas tienen una capacidad de producción mucho menor que sistemas de BFT. Esto muestra ventajas en la optimización del uso de la tierra y la posibilidad de producir productos premium cercanos al mercado.

Sin embargo, los sistemas BFT requieren mayor aireación y consumen más energía que los métodos convencionales, lo que también provoca una mayor evaporación del agua. A pesar de estos desafíos, el BFT permite una reducción eficiente de las concentraciones de amonio, siendo un 30 % más económico que los biofiltros convencionales.

En términos de uso de agua, el BFT minimiza su consumo, requiriendo solo entre 98 y 169 litros de agua salada por kilogramo de camarón producido, en comparación

con los 16,9 m³ de agua dulce utilizados en acuicultura tradicional. También se ha documentado la reutilización de agua, mostrando beneficios en la sobrevivencia, el crecimiento y la conversión alimenticia de las especies cultivadas, como *P. vannamei* y tilapia, al utilizar agua rica en biofloc. Esto sugiere que el BFT no solo reduce el uso de recursos, sino que también mejora la productividad y salud de los organismos acuáticos.

Biofloc como fuente de alimento in situ e ingrediente en alimentos acuícolas

El BFT funciona como una fuente continua de alimento, proporcionando nutrientes complementarios para las especies acuáticas. Los estudios indican que especies como camarones, tilapias y bivalvos pueden beneficiarse de los bioflóculos, lo que resulta en una disminución en el índice de



Figura 2. Ilustración que destaca los enfoques circulares clave de la tecnología de biofloc. Verde: enfoques adoptados actualmente por la BFT; Marron: enfoques en fase de adopción inicial.

conversión alimenticia (TCA) y mejoras en las tasas de crecimiento.

Por ejemplo, en *P. vannamei*, más del 29% de su dieta puede ser reemplazada por bioflóculos, lo que reduce la TCA de 1,39 a 1,03 y aumenta la tasa de crecimiento. Además, los sistemas de biofloc pueden disminuir la necesidad de proteína en la dieta, permitiendo que especies como la tilapia utilicen proteínas microbianas en lugar de proteínas de alimentos convencionales. En algunos casos, los bioflóculos pueden contribuir hasta un 50% de los requerimientos proteicos de los peces.

El BFT también favorece la inclusión de ingredientes alternativos en las formulaciones dietéticas, mejorando la circularidad y reduciendo la huella de carbono. La producción de “harina de biofloc” ha emergido como una opción sostenible, que puede producirse en unidades diseñadas específicamente, con el potencial de reemplazar harina de pescado en dietas acuícolas sin afectar negativamente el rendimiento. En resumen, el biofloc representa una alternativa nutritiva y sostenible para la acuicultura, aunque su implementación óptima todavía se encuentra en desarrollo.

BFT: Fuente natural de probióticos y eliminación del uso de antibióticos

La industria acuícola enfrenta serios problemas por brotes de enfermedades, empeorados por el uso intensivo y la regulación de antibióticos. Aunque se han desarrollado vacunas, estas no son una solución universal ni rentable para todas las granjas.

En este contexto, el uso de biofloc se presenta como una estrategia eficaz para el manejo de enfermedades. La presencia de bacterias beneficiosas en el biofloc actúa como un “probiótico natural”, compitiendo con patógenos y mejorando la inmunidad de las especies cultivadas. Estas bacterias

benefician significativamente la inmunidad no específica de los animales.

Además, se pueden añadir mezclas microbianas externas para potenciar la función del biofloc. Los estudios muestran que estos probióticos reducen la actividad de patógenos, mejoran la inmunidad y aumentan la tasa de sobrevivencia de los organismos acuáticos. Sin embargo, el uso de antibióticos en sistemas de biofloc puede alterar la biota microbiana natural y afectar negativamente la calidad del agua.

BFT como sistema de alto rendimiento para impulsar la productividad y la coproducción

Los productores de la industria acuícola están enfocados en reducir costos de producción, mejorar rendimientos y aumentar la rentabilidad, siendo los precios del mercado un factor decisivo en las estrategias elegidas. Los costos de producción dependen de la tasa de crecimiento, sobrevivencia, y tasa de conversión alimenticia (TCA), además de factores como electricidad y mano de obra. La implementación de nuevas tecnologías, como el sistema de biofloc (BFT), ha demostrado ser beneficiosa para muchas especies de cultivo.

Los bioflóculos mejoran la digestión, pueden aumentar el crecimiento del organismo de cultivo y reducir la TCA, lo que disminuye el ciclo productivo y los costos asociados. Aunque los costos de bombeo pueden ser más bajos en BFT debido a menores tasas de recambio, la necesidad de aireación puede incrementar los costos de producción.

El BFT, combinado con otras especies, puede mejorar la producción y la circularidad en acuicultura. Ejemplos exitosos incluyen la integración de BFT con acuicultura multitrófica integrada (IMTA) y acuaponía (FLOCponics), donde se observaron incrementos en la eficiencia de asimilación de nutrientes. El futuro de la acuicultura apunta a la adopción de BFT junto con otras

técnicas para optimizar nutrientes y mejorar la eficiencia en operaciones a gran escala.

Principales desafíos del BFT

A pesar de las ventajas del BFT, su expansión enfrenta varios obstáculos. La tecnología es compleja y requiere conocimientos avanzados en microbiología y calidad del agua, similar a otras tecnologías como RAS e IMTA. Dentro de los principales desafíos podemos señalar:

- Altos costos de implementación: Inversiones necesarias para estanques, invernaderos y equipos de aireación.
- Problemas de oxígeno disuelto: La alta demanda de oxígeno puede resultar en agotamiento rápido.
- Costos de monitoreo y suplementos: Necesidad de supervisar la calidad del agua y añadir nutrientes.
- Sólidos suspendidos: Exceso de sólidos que requieren tratamiento adecuado.
- Mala gestión del agua: Alta concentración de compuestos nitrogenados tóxicos que pueden afectar la salud y rendimiento de los organismos.

Aunque el BFT permite la reutilización de agua, existe el riesgo de propagar enfermedades o acumular toxinas. Para superar estos desafíos, se sugiere controlar las poblaciones microbianas, optimizar el diseño de los sistemas a una escala comercial y desarrollar prácticas de gestión de residuos.

Perspectivas y conclusiones futuras

El BFT y otros sistemas de producción acuícola necesitan un enfoque circular y sostenible para cumplir los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y abordar desafíos como el crecimiento poblacional, la producción alimentaria, y el cambio climático.

La Economía Circular (EC) y modelos de negocio relacionados pueden facilitar esta transición hacia una acuicultura circular.

Es fundamental desarrollar e implementar indicadores de transición circular (ITC) y sostenibilidad, utilizando herramientas como el Análisis del Ciclo de Vida (ACV) y la síntesis de energía. Además de las métricas de producción tradicionales, estas herramientas ayudan a crear una evaluación más holística y a optimizar recursos, beneficiando tanto a acuicultores como a consumidores al fomentar prácticas sostenibles y mejorar la transparencia en la industria.

El BFT ha demostrado la capacidad de aumentar la rentabilidad en operaciones comerciales y de convertir desechos acuícolas en productos útiles. La circularidad reduce el consumo de recursos y emisiones, y su integración con otras estrategias, como la acuaponía y sistemas IMTA, puede optimizar aún más la sostenibilidad.

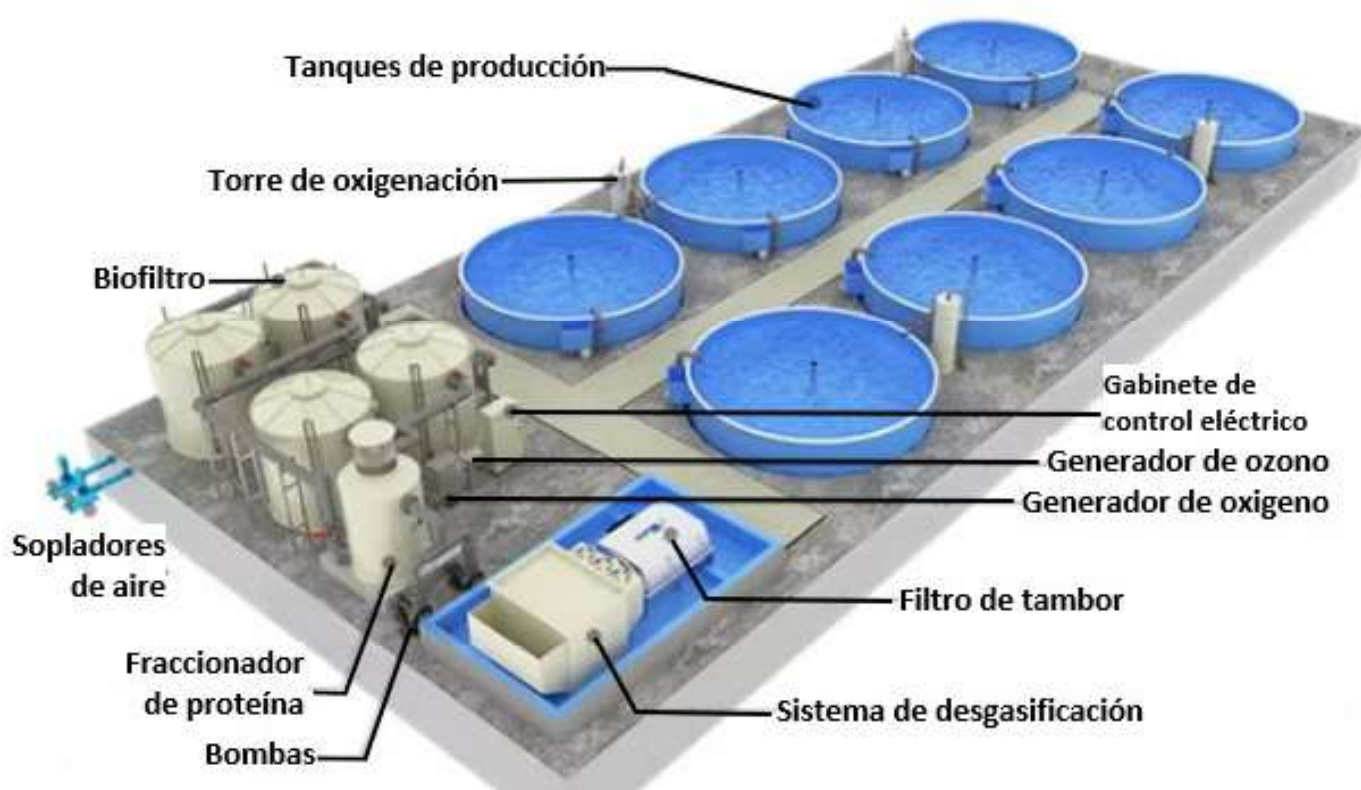
La adaptación de marcos personalizados para cada técnica de producción acuícola es clave para implementar efectivamente la bioeconomía circular. Los futuros enfoques deben proponer estrategias para superar los desafíos en la acuicultura y permitir que el BFT desempeñe un papel crucial en la transición hacia un sector más sostenible.

Esta es una versión resumida, elaborada por el cuerpo editorial de "El Acuicultor", del artículo original "Could Biofloc Technology (BFT) Pave the Way Toward a More Sustainable Aquaculture in Line With the Circular Economy?" escrito por Emerenciano, M. G. C., Khanjani, M. H., Sharifinia, M. y Miranda-Baeza, A. 2025. Aquaculture Research, 23 pág.

<https://doi.org/10.1155/are/1020045>

SISTEMAS DE RECIRCULACIÓN ACUÍCOLA: UN CAMINO HACIA LA PISCICULTURA SOSTENIBLE

Cuerpo editorial de El Acuicultor



Introducción

Los Sistemas de Recirculación Acuícola (RAS) son tecnologías intensivas y autosuficientes que permiten la reutilización del agua, filtrándola y purificándola. A diferencia de los métodos tradicionales, que crían peces en estanques al aire libre, los RAS operan en entornos controlados, generalmente en recintos cerrados. Estos sistemas eliminan residuos tóxicos y saturan el agua con oxígeno antes de devolverla a los tanques

de producción; son capaces de cultivar diversas especies de peces a alta densidad, y su tecnología se basa en filtros mecánicos y biológicos, siendo aplicable a cualquier especie acuícola.

Los Sistemas RAS son fundamentales para la acuicultura sostenible, ofreciendo múltiples ventajas sobre los métodos tradicionales de aguas abiertas. Al reciclar y tratar el agua, los RAS reducen significativamente el consumo de este recurso y minimizan el impacto

ambiental, protegiendo la calidad del agua y los ecosistemas. Pueden implementarse en cualquier ubicación, incluidas áreas urbanas, lo que disminuye costos de transporte y emisiones de carbono. Además, mantienen altos estándares de calidad del agua y eliminan el riesgo de transmisión de enfermedades entre peces de granja y poblaciones silvestres.

Los RAS permiten una conversión de alimentos más eficiente, aumentando la productividad y rentabilidad. Su establecimiento en comunidades locales puede generar empleo y favorecer la producción local. Funcionando en entornos controlados, los RAS son también una respuesta viable al cambio climático que afecta a la acuicultura tradicional. Además, minimizan el uso de antibióticos y productos químicos dañinos. La integración de la acuaponía en estos sistemas, donde los desechos de los peces nutren cultivos de hortalizas, mejora aún más su sostenibilidad y rentabilidad. En resumen, los RAS representan un enfoque más eficiente y sostenible para la producción acuícola, abordando desafíos ambientales y promoviendo el desarrollo local.

Componentes del sistema

- Tratamiento y filtración del agua

Filtración mecánica

La filtración mecánica es esencial en los sistemas RAS para mantener la calidad del agua al eliminar residuos sólidos. El filtro de tambor es el más común, donde el agua es filtrada a través de elementos en el tambor. Estos filtros, disponibles en diferentes tamaños, están hechos de acero inoxidable y utilizan mallas filtrantes de 20 a 100 μm . La filtración mecánica es la única solución práctica para eliminar materia orgánica en

suspensión del agua de los tanques de producción, contribuyendo a la calidad del agua al eliminar residuos excretados por los peces.

Filtración biológica

Los filtros biológicos son esenciales en los sistemas RAS para mantener la calidad del agua y reducir residuos. Los biofiltros eliminan amoníaco, nitritos y sólidos orgánicos disueltos, además de añadir oxígeno, eliminar nitrógeno y dióxido de carbono en exceso. Existen varios tipos de biofiltros, como los contactores biológicos giratorios, filtros de goteo y filtros de lecho fluidizado, que contienen medios sólidos donde se asientan microorganismos. Estos incluyen bacterias heterótrofas y quimio tróficas, que utilizan materiales orgánicos y nitrógeno como fuentes de alimento, respectivamente.

La eficacia de los biofiltros se mide por su capacidad de nitrificación, que debe mantener los niveles de nitrógeno amoniacal total (TAN) por debajo de 1,0 mg/L para un rendimiento óptimo. El rendimiento puede verse afectado por factores como caudales de agua, temperatura, pH y competencia microbiana. Para garantizar la salud de los biofiltros, se recomiendan estrategias como el recubrimiento previo con cultivos bacterianos nitrificantes y limpiezas periódicas suaves.

Filtración química

Los filtros químicos son esenciales en los sistemas RAS para mantener la calidad del agua. Su función principal es eliminar sólidos disueltos, partículas suspendidas y otros contaminantes, garantizando un ambiente óptimo para el crecimiento y salud de los peces. En el RAS se utilizan diversos tipos de filtros químicos, cada uno diseñado para eliminar contaminantes específicos, con sus propias ventajas y limitaciones.

La elección del tipo de filtro depende de factores como la calidad del agua, la especie de peces y el tamaño del sistema. La eficiencia de los filtros se mide por su capacidad para eliminar sólidos y materia orgánica, y puede mejorarse mediante la optimización de condiciones operativas y un mantenimiento regular. Estos filtros son cruciales en RAS, especialmente debido a las altas densidades de peces y la necesidad de reducir el intercambio de agua y residuos generados.

Esterilización UV

La esterilización UV es una tecnología clave en los sistemas RAS que complementa la filtración biológica y mecánica para garantizar la calidad del agua y la salud de los peces (**Figura 1**). Se utiliza en piscifactorías y criaderos para prevenir brotes de enfermedades al inactivar microorganismos como bacterias, virus, hongos, levaduras y algas, manteniendo el agua libre de patógenos dañinos. Este método es seguro, eliminando riesgos asociados a productos químicos peligrosos y reduciendo el impacto ambiental de la desinfección. Además, ayuda a conservar la composición física y química del agua, creando condiciones óptimas para el crecimiento de los peces. Los sistemas UV son capaces de manejar altos caudales

y contar con un control de monitorización, haciéndolos rentables y sostenibles para las instalaciones RAS.

- Oxigenación y aireación

Los dispositivos de aireación desempeñan un papel vital en los sistemas RAS al garantizar niveles adecuados de oxígeno para la salud de los peces y la eficiencia del sistema. El método de aireación consiste en suministrar aire de baja presión desde un soplador a difusores en el fondo de los tanques de cultivo, donde se generan pequeñas burbujas de aire que transfieren oxígeno al agua de manera eficiente. Aunque existen dispositivos como aireadores de paletas y bombas de elevación vertical que ayudan a mejorar la transferencia de oxígeno, pueden causar turbulencias excesivas, lo que hace que la aireación difusa sea una opción más común. Los sistemas tradicionales, como las piedras difusoras y tuberías de aire, son efectivos, pero pueden no proporcionar suficiente oxígeno en condiciones de alta densidad de peces, lo que lleva a preferir métodos más eficientes como la aireación difusa o generadores de oxígeno. Mantener niveles adecuados de oxígeno disuelto es esencial para la salud y el crecimiento de los peces, y en los sistemas RAS, donde el agua se recicla continuamente, la eficiencia en la



Figura 1. El proceso de desinfección por radiación ultravioleta se utiliza para el tratamiento y la filtración del agua.

aireación es crucial para asegurar la calidad del agua y la productividad.

Eficiencia y consideraciones

Los sistemas de aireación difusa pueden transferir oxígeno a una tasa promedio de 1,3 kg de oxígeno/kWh, aunque esta eficiencia varía según la concentración de oxígeno disuelto, la temperatura del agua y las necesidades de las especies de peces. Un ajuste adecuado de los dispositivos de aireación es fundamental para satisfacer las demandas de oxígeno tanto de los peces como de los biofiltros. Además, la tasa de consumo de oxígeno depende de factores como la frecuencia de alimentación, la eficiencia en la eliminación de residuos y la densidad de peces, lo que requiere una consideración cuidadosa en el diseño del sistema.

- Control de temperatura

El manejo de la temperatura en los sistemas RAS es crucial para las distintas especies de cultivo, asegurando tasas óptimas de crecimiento y reduciendo el consumo energético. El uso de tecnologías como intercambiadores de calor y bombas de calor permite un control eficiente de la temperatura, creando un entorno estable que promueve la salud y el crecimiento de los peces.

La implementación de estos sistemas ofrece ventajas como eficiencia energética, regulación precisa de la temperatura y adaptación a condiciones ambientales cambiantes. Al optimizar el uso de energía y reducir costos operativos, los RAS garantizan el bienestar de las especies acuáticas. En general, el manejo de la temperatura en sistemas RAS destaca la importancia de la tecnología e innovación para fomentar prácticas acuícolas sostenibles y eficientes, contribuyendo también a la sostenibilidad ambiental al minimizar el consumo de agua y energía.

Monitoreo de la calidad del agua

Una visión integral del monitoreo de la calidad del agua en sistemas acuícolas RAS implica varios parámetros clave, incluyendo pH, amoníaco, nitrito, nitrato y otros indicadores esenciales.

El pH y alcalinidad es un parámetro crítico. En el RAS, los niveles de pH suelen oscilar entre 6,5 y 8,5, con el agua de mar generalmente entre 8,0 y 8,5 y los sistemas de agua dulce entre 6,5 y 9,0. La alcalinidad es un parámetro importante que ayuda a mantener la estabilidad del pH. Se mide en términos de carbonato de calcio (CaCO_3) y normalmente oscila entre 50 y 150 mg/L. La alcalinidad ayuda a neutralizar compuestos ácidos y a mantener un pH estable.

El amoníaco (NH_3) es altamente soluble en agua y existe en dos formas: NH_3 no ionizado y NH_4^+ ionizado. La proporción relativa de estas formas depende del pH y la temperatura. El amoníaco es tóxico para los peces y debe convertirse en formas menos tóxicas mediante nitrificación. El nitrito (NO_2^-) también es altamente tóxico para los peces y debe convertirse en nitrato. Los niveles de nitritos se mitigan añadiendo sal (cloruros) y disminuyendo el pH. El nitrato (NO_3^-) es el menos tóxico de los tres y no tóxico en sistemas de agua dulce. Sin embargo, niveles altos de nitrato pueden causar problemas si no se gestionan adecuadamente.

El manejo de la calidad del agua es crucial en RAS. Los sistemas de monitorización automática, ayudan a detectar de forma inmediata los niveles dañinos de nitritos y nitratos, permitiendo medidas rápidas para proteger a los animales de cultivo. Un manejo eficaz implica un seguimiento regular de los parámetros de calidad del agua. Esto ayuda a garantizar que la calidad del agua se mantenga dentro de los límites aceptables para los peces que se cultivan.

Manejo de residuos

La eliminación de residuos sólidos es crucial en los sistemas RAS para mantener la calidad del agua y la salud de los peces, siendo el alimento no consumido y las heces de peces las principales fuentes de estos residuos. Se utilizan métodos de sedimentación y filtros para eliminar partículas grandes de más de 100 micras, permitiendo que estas se asienten en un tanque sumidero. Sin embargo, este proceso no es suficiente si se busca eliminar partículas de 50 a 75 micras, para lo cual se emplean filtros de medios granulares y micro pantallas.

El RAS tiene la capacidad de remover entre el 85 y el 98 % de la materia orgánica y los sólidos en suspensión, así como del 65-96 % del fósforo. No obstante, la descomposición del material fecal y el alimento no consumido en partículas más pequeñas complica la eliminación efectiva. Además, algunos RAS implementan la tecnología Biofloc (BFT), la cual promueve el crecimiento de bacterias heterotróficas que consumen amoníaco y sirven como fuente adicional de alimento para los peces.

Adecuación de especies

Criterios para la selección de especies

La selección de especies de peces para sistemas de recirculación acuícola implica

varios criterios clave para garantizar un rendimiento óptimo y sostenibilidad, entre ellos están: especies robustas y de rápido crecimiento que toleran el hacinamiento y el estrés, especies con requisitos de cultivo bien conocidos, alta demanda y viabilidad económica, disponibilidad de alevines todo el año, especies resistentes a enfermedades y especies que pueden crecer rápidamente hasta un tamaño comercializable, entre otras. Las especies de peces más comúnmente cultivadas en sistemas RAS son: tilapia, bagres, barramundi, lubina rayada híbrida, carpa, salmón y la trucha, entre otras.

Diseño y disposición del sistema

El principio del RAS es filtrar y reciclar el agua dentro de un sistema cerrado para minimizar el consumo y el impacto ambiental (Figura 2).

A continuación, una breve descripción de algunos componentes del sistema:

- 1. Reciclaje de agua: El agua de cultivo se purifica y reutiliza de forma continua, sustituyéndose diariamente solo un pequeño porcentaje para compensar la evaporación y eliminación de residuos.
- 2. Filtración mecánica: Los residuos sólidos, como las heces de los peces y alimento no consumido, se eliminan mediante filtros

Tabla 1. Componentes RAS y su mantenimiento.

Componentes	Descripción	Mantenimiento	Costo (US\$)
Biofiltro	Unidad de filtración biológica	Mensual	500
Filtro mecánico	Elimina residuos sólidos y particulados	Semanal	300
Esterilizador UV	Desinfecta el agua matando patógenos	Trimestral	400
Generador de Oxígeno	Suministra oxígeno al agua	Mensual	800
Bomba de agua	Circula agua por todo el sistema	Bimensual	600
Controlador de temp.	Mantiene la temperatura óptima del agua	Mensual	200



Figura 2. Principios básicos del diseño RAS en acuicultura.

mecánicos como filtros de tambor o tanques de sedimentación.

3. Filtración biológica: El amoníaco producido por los peces se convierte en nitratos menos tóxicos mediante bacterias nitrificantes en biofiltros.

4. Oxigenación: El agua purificada se satura de oxígeno antes de ser devuelta a los tanques de producción.

5. Entorno Controlado: El RAS permite

un control preciso sobre parámetros de calidad del agua como la temperatura, el pH y el oxígeno disuelto para optimizar el crecimiento y la salud de los peces. Al recircular y tratar el agua, el RAS puede lograr ahorros de agua de hasta un 90 % en comparación con los sistemas tradicionales de acuicultura de flujo directo. Esto hace que el RAS sea especialmente adecuado para áreas con recursos hídricos limitados o donde las normativas medioambientales exigen un vertido mínimo de aguas residuales.

Aspectos operativos

La estrategia de alimentación es fundamental para el éxito de los sistemas RAS, ya que la selección adecuada de alimentos impacta directamente en la salud de los peces y el rendimiento financiero. Los alimentos deben cumplir con los requisitos nutricionales mínimos para las especies cultivadas, dado que en estos sistemas hay poca o ninguna producción natural. Es importante que los alimentos sean de baja contaminación para reducir la carga de nutrientes en el sistema.

El manejo del alimento es clave para optimizar su utilización y minimizar el desperdicio. Factores como la tasa de alimentación, frecuencia y contenido de proteínas influyen en el nitrógeno total amoniacal (TAN) en el sistema, lo que afecta el tamaño y costo de los componentes de filtración.

Se están desarrollando métodos automáticos de control de alimentación que incorporan visión por ordenador y redes neuronales para optimizar la alimentación en tanques densamente poblados. Junto con condiciones ambientales adecuadas y métodos de desinfección, estas prácticas de alimentación son críticas para asegurar un funcionamiento eficiente y estable de los RAS, siendo la selección de alimentos y métodos adecuados fundamentales para el crecimiento de los peces en sistemas interiores.

Gestión de la salud y las enfermedades

La gestión de la salud y las enfermedades en los sistemas RAS es crucial para mantener poblaciones de peces sanas en instalaciones acuícolas. Un adecuado manejo es fundamental para prevenir brotes de enfermedades y asegurar el bienestar de los peces. Esto implica entender la biología y necesidades de las especies, así como la nutrición, calidad del agua, y aplicar protocolos de cuarentena, saneamiento y

desinfección antes de introducir nuevos peces.

El cumplimiento de procedimientos operativos estándar, el mantenimiento de parámetros adecuados de calidad del agua y una gestión rigurosa de registros son esenciales para el éxito de la gestión sanitaria. Además, los sistemas deben estar diseñados para manejar brotes inesperados, con mecanismos para aislar y tratar a los peces afectados. La resolución eficaz de brotes de enfermedades requiere un análisis exhaustivo de registros, evaluación del sistema, diagnóstico y colaboración con especialistas.

Las medidas de bioseguridad en sistemas acuícolas de recirculación (Figura 3) son cruciales para prevenir la introducción y propagación de enfermedades infecciosas. Estas medidas buscan minimizar el riesgo de que patógenos entren y se propaguen en las instalaciones acuícolas. Los componentes clave de la bioseguridad en el RAS incluyen la obtención de stocks saludables, el manejo de patógenos y la educación del personal y visitantes.

Es fundamental el manejo animal, obtener poblaciones saludables y optimizar su salud mediante buenas prácticas de cría; el manejo de patógenos, prevenir, reducir o eliminar patógenos para minimizar los riesgos de enfermedades y el manejo de personal: educación y gestión del personal y visitantes para garantizar el cumplimiento de los protocolos de bioseguridad.

Consideraciones Económicas

La viabilidad y rentabilidad económica del RAS varían globalmente según factores como el tipo de pez que se cultiva, las condiciones del mercado local y la eficiencia del sistema. Para sistemas tradicionales, los costos por hectárea son mucho menores que para RAS.

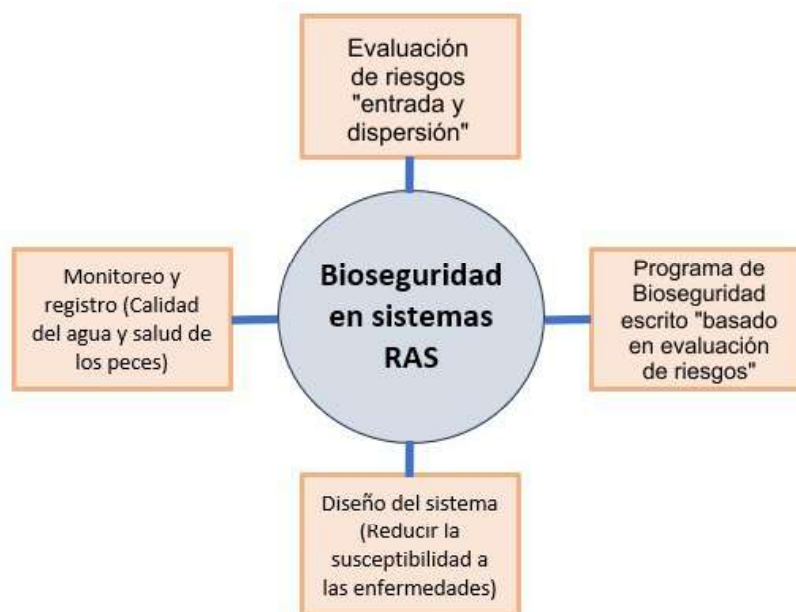


Figura 3. Prácticas de bioseguridad en sistemas de recirculación acuícola.

Los costos operativos de los sistemas RAS varían según varios factores, como el tipo de pez que se cría, el tamaño de la operación y la ubicación. El alimento es el mayor gasto operativo en RAS, representando entre el 84 y el 85 % del costo variable total.

Conclusión

Los sistemas RAS son importantes para el futuro de la acuicultura debido a sus numerosas ventajas. El RAS permite reducir los requerimientos de agua, minimizar las necesidades de suelo, flexibilizar la selección del sitio, disminuir el volumen de efluentes de aguas residuales, mejorar la bioseguridad y controlar el medio ambiente eficientemente. También permite altas densidades de población de peces, un seguimiento cercano de las condiciones ambientales y la independencia frente a las fluctuaciones meteorológicas. Sin embargo, la implementación de RAS requiere una inversión inicial considerable, altos costos operativos principalmente debido al alimento y electricidad, además de la necesidad de personal calificado.

El RAS tiene mayores emisiones de gases de efecto invernadero en comparación con la acuicultura tradicional. Tipos especiales de RAS incluyen la acuaponía, que combina peces y plantas en un sistema de circuito cerrado, y recintos para exhibición de animales con calidad controlada del agua. En general, los sistemas RAS presentan un enfoque prometedor para la piscicultura sostenible e intensiva, con una cuidadosa consideración de sus beneficios y desafíos. Debatir los retos y oportunidades para un desarrollo futuro del RAS, incluye tomar en cuenta cuestiones relacionadas con el manejo, las carencias de conocimiento, los altos costos de inversión y la necesidad de innovaciones como los reactores de desnitrificación y la gestión de lodos.

Esta es una versión resumida, elaborada por el cuerpo editorial de "El Acuicultor", del artículo original "Re-Circulatory Aquaculture Systems: A Pathway to Sustainable Fish Farming" escrito por Lal J., Vaishnav A., Deb S., Kashyap S., Debbarma P, Devati, Gautam P, Pavankalyan M., Kumari K. & Verma D.K. 2024. Arch. Curr. Res. Int. Vol. 24, 799-810. <https://doi.org/10.9734/acri/2024/v24i5756>

USO RESPONSABLE DE LA HARINA DE PESCADO EN LA ACUICULTURA

Cuerpo editorial de El Acuicultor

El papel de la harina de pescado en la acuicultura

El crecimiento de la acuicultura en las últimas décadas se ha visto respaldado por innovaciones en las prácticas acuícolas, incluidas las tecnologías de los alimentos y alimentación acuática. Los avances en la formulación, procesamiento y fabricación de alimentos, así como el uso de aditivos específicos (por ejemplo, enzimas y probióticos), han llevado a mejoras en la tasa de conversión alimenticia. El desarrollo de alimentos acuícolas se ha convertido en pieza fundamental para el avance de la acuicultura, permitiendo el mejor uso de las materias primas para la producción de alimentos y optimizando la eficiencia de procesos productivos.

Una cuestión crítica sobre la sostenibilidad del crecimiento acuícola es si está impulsando un aumento correspondiente en la demanda de harina y aceite de pescado como ingredientes clave para el alimento, añadiendo así presión a las pesquerías asociadas. Aunque la harina de pescado y el aceite de pescado son excelentes ingredientes para promover la salud y el crecimiento de algunas especies acuícolas, factores como las variaciones en la oferta y

el precio, la demanda en competencia y la percepción negativa de su uso son factores importantes para considerar sus tasas de inclusión en los alimentos acuícolas.

La FAO siempre ha estado activa en ofrecer orientación sobre cómo adoptar prácticas sostenibles en la acuicultura, incluyendo la elección de ingredientes más sostenibles para la alimentación acuícola. Para comprender mejor la dinámica del uso de harina de pescado en la acuicultura, este documento explica cómo el sector ha avanzado y mejorado su uso basándose en los avances científicos y tecnológicos. Aunque esta publicación proporciona datos sobre el uso tanto de harina de pescado como de aceite de pescado, las cuestiones relacionadas con la harina de pescado y su papel nutricional en el alimento acuático difieren de las relacionadas con el aceite de pescado. Por ello, el enfoque de este documento está en la harina de pescado y su uso en la acuicultura alimentada.

- Datos y cifras claves

- El consumo mundial de alimentos acuáticos ha aumentado al doble de la tasa anual de crecimiento poblacional desde los años 60, y se prevé que siga aumentando, en gran parte debido al crecimiento de la acuicultura.
- La producción acuícola de animales

acuáticos ha aumentado de 4,7 millones de toneladas en 1980 a 94,4 millones de toneladas en 2022.

- La harina de pescado y el aceite de pescado se utilizan como ingredientes en la acuicultura. La cría de salmónidos y camarones son los principales usuarios de harina de pescado.

- La proporción de harina de pescado utilizada en los alimentos acuáticos ha disminuido del 19 % en 2000 al 9 % en 2020.

- La harina de pescado y el aceite de pescado provienen principalmente de la pesca de especies pelágicas pequeñas y medianas. Se ha producido un cambio del uso de pescado salvaje hacia el uso de subproductos como harina de pescado y aceite de pescado.

- El volumen de las pesquerías de captura utilizadas para la reducción en harina de pescado y aceite de pescado ha disminuido de un récord de 30,1 millones de toneladas en 1994 a 17,2 millones de toneladas en 2022.

- La proporción de harina de pescado obtenida de subproductos (por ejemplo, recortes de pescado) ha aumentado del 25

por ciento en 2010 a un estimado del 34 por ciento de la producción mundial de harina de pescado en 2022. Se espera que esta tendencia continúe en el futuro.

¿Qué es la harina de pescado y cómo la utilizamos?

La harina de pescado se elabora cocinando, secando y moliendo pescado y partes de este. Puede derivarse del procesamiento de pescado entero, así como de subproductos de plantas procesadoras de pescado (vísceras y recortes), derivados tanto de productos pesqueros como acuícolas. A pesar del nombre, la harina de pescado también puede elaborarse a partir de crustáceos, moluscos y otros invertebrados acuáticos.

Aunque la harina de pescado y el aceite de pescado tradicionalmente se obtenían de pescado salvaje entero, un porcentaje creciente se obtiene de subproductos de procesamiento de pescado (**Figura 1**). Un volumen creciente proviene de los productos acuícolas, una tendencia que se espera continúe en el futuro, apoyando los principios de circularidad en la futura expansión de la acuicultura sostenible.

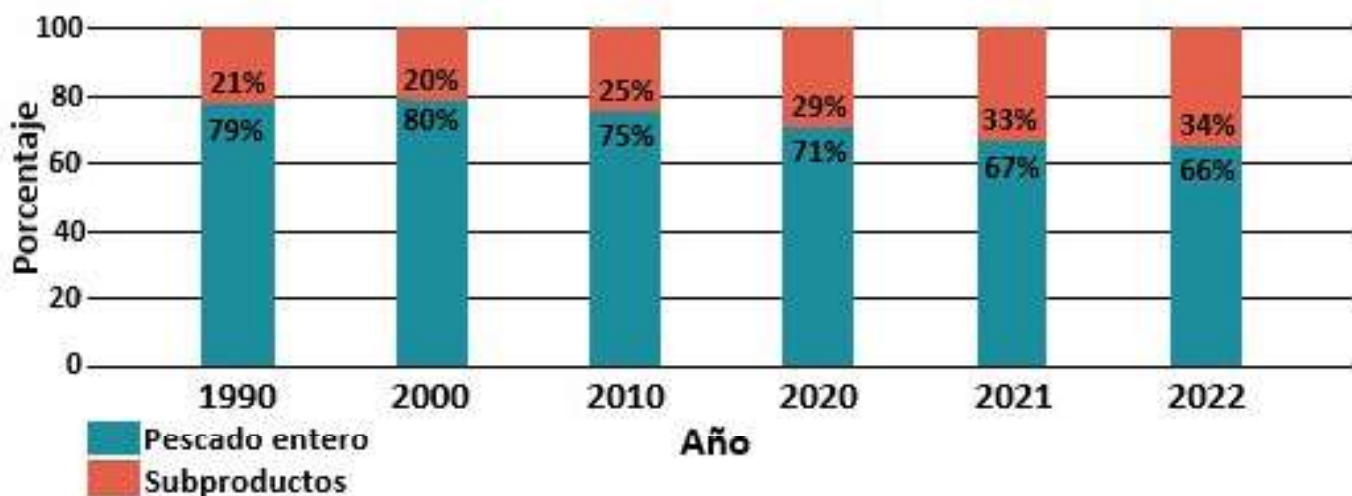


Figura 1. Cuota de producción de harina de pescado a partir de pescado entero y subproductos, 1990–2022. Fuente: IFFO. 2024. By-product. <https://www.iffco.com/product>.

Históricamente, los peces de bajo valor y sus subproductos se alimentaban directamente a los animales (incluidos ganado, pollos, mascotas, peces y camarones), ya fuera crudos o con un procesamiento mínimo. Esta práctica tradicional está disminuyendo en la mayoría (pero no en todas) las partes del mundo. Una serie de preocupaciones relacionadas con esta práctica impulsaron el desarrollo tecnológico, permitiendo procesar y ofrecer productos de pescado de bajo valor y su oferta en una forma más estable y segura como harina de pescado.

El desarrollo de la harina de pescado revolucionó el sector de la alimentación animal, ofreciendo un ingrediente con alto valor nutricional, mejor estabilidad del producto y mayor utilidad, creando así una materia prima con un precio y demanda elevados. Así, la harina de pescado empezó a utilizarse como ingrediente en alimentos formulados más complejos mediante pellets o extrusión. Además, la palatabilidad de la harina de pescado permite que su uso

complemente otros productos menos agradables, como la soja y otras harinas vegetales, aumentando la eficiencia de su uso.

Desde la década de 1990, la FAO ha comentado sobre el uso, los riesgos y los beneficios del uso de pescado entero, harina de pescado y aceite de pescado como insumos en el alimento acuícola, incluyendo documentos y directrices para promover la adopción de prácticas más sostenibles.

El papel de la harina de pescado en la acuicultura

La harina de pescado desempeña un papel importante en la nutrición animal debido a su alto contenido proteico, aminoácidos esenciales, ácidos grasos esenciales, energía digerible, minerales y vitaminas, así como a su buena digestibilidad y alta palatabilidad. Por estas razones, casi toda la producción mundial de harina de pescado se utiliza en la producción de alimentos para animales.



En 2021, el sector acuícola fue el principal consumidor de harina de pescado y aceite de pescado producidos globalmente (Figura 2). El resto de la producción se utiliza para la ganadería, cerdos, aves de corral, y otros sectores, como el mercado de alimentos para mascotas. La popularidad de la harina de pescado como alimento para animales genera un alto valor de mercado.

El sector acuícola ha estado logrando avances sustanciales en la reducción de la cantidad de harina de pescado en el alimento acuático y en la mejora de la diversidad de ingredientes utilizados, en parte como respuesta a su alto precio y oferta limitada.

Aunque la producción acuícola ha aumentado drásticamente en las últimas décadas, el volumen de pesquerías de

captura utilizadas para la reducción en harina de pescado ha disminuido (**Figura 3**), lo que sugiere que el crecimiento acuícola no ha impulsado un aumento en las pesquerías de captura utilizadas para reducir la harina de pescado.

La inclusión de harina de pescado en los alimentos acuáticos varía según la especie producida, la calidad, disponibilidad, costo del ingrediente, y la etapa vital de la especie cultivada (normalmente, las primeras etapas requieren niveles más altos). Sin embargo, la cantidad exacta de harina de pescado y aceite de pescado utilizada por tonelada de alimento es difícil de evaluar, ya que a menudo es información confidencial. Existen diferentes formas de evaluar la contribución de los peces salvajes en el alimento acuático,

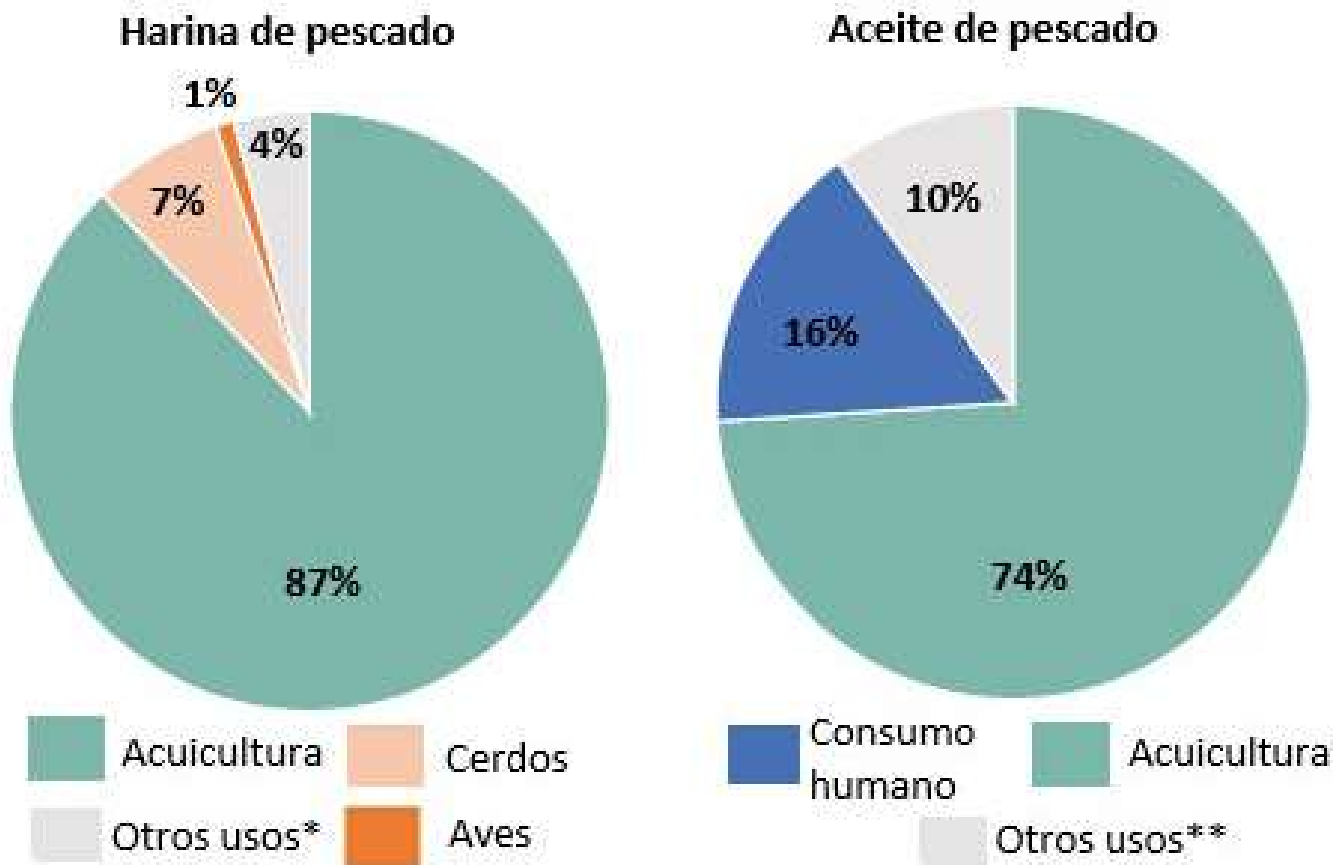


Figura 2. Principal uso de la harina y aceite de pescado, 2021. *Comida para mascotas. ** Comida para mascotas, biocombustible y aceite para cocinar.

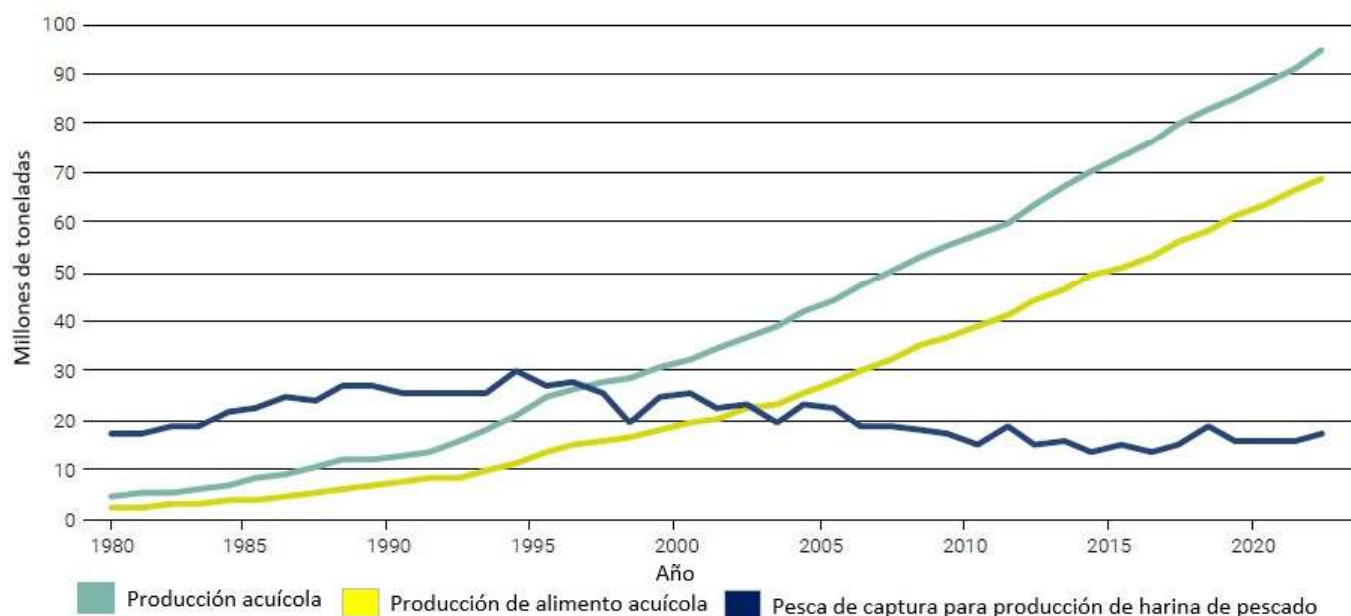


Figura 3. Producción y consumo de alimento acuícola comparado con pesca de captura para la elaboración de harina de pescado, 1980–2022.

siendo la proporción peces dentro : peces fuera (FI:FO) una de las más citadas. Esta proporción estima la cantidad de peces salvajes necesaria para producir 1 kg de peces de acuicultura. Sin embargo, la metodología para su estimación está constantemente en revisión por parte de la comunidad científica. La literatura contiene información indicativa sobre la cantidad media de harina de pescado en el alimento, pero no indica si proviene de pescado salvaje o de subproductos de procesamiento de pescado:

- Para los camarones, la proporción de harina de pescado en el alimento formulado ha disminuido del >25 % en los años 90 al 12 % en la última década.
- En el caso de los salmónidos, la tasa media de inclusión se ha reducido del 28,8 % al 14,0 % en los últimos 10–15 años.

La inclusión de harina de pescado en los alimentos de agua dulce (especialmente para tilapia y carpa) ha sido casi eliminada, salvo por volúmenes insignificantes en los alimentos iniciales.

Esfuerzos del sector camarón de Ecuador para reducir el consumo de harina de pescado

Ecuador es uno de los principales productores mundiales de camarones de cultivo. Los avances recientes en la tecnología de alimentos, incluyendo la introducción de alimentos extruidos y el cambio de alimentación manual a mecánica, han permitido al sector de la camaronicultura aumentar la productividad y reducir la cantidad de harina de pescado en el alimento.

Los alimentos para la fase de crecimiento son bajos en harina de pescado (<5 %), con niveles moderados de subproductos animales (<10 %) y altos en proteínas vegetales. En un alimento de crecimiento, la suma de todos los ingredientes vegetales puede superar el 75 %, siendo la harina de soja el ingrediente vegetal más comúnmente utilizado. Esto está en línea con algunos estudios de alimentos para juveniles de *Penaeus vannamei*. Según



algunos de estos estudios, la harina de soja puede reemplazar completamente la harina de pescado, con una densidad de repoblación de 35 camarones/m² o menos, con o sin el uso de proteínas de animales terrestres. Esto reduce la dependencia de la harina de pescado como nutriente dietético, mientras que las deficiencias funcionales se abordan mediante la suplementación de aminoácidos, minerales, atrayentes y aditivos funcionales para alimentos.

Aunque algunos de los ingredientes del alimento se producen localmente, la mayoría de los ingredientes usados en el alimento de camarones son importados, incluyendo harina de soja, gluten y concentrado de maíz, harina de trigo y harinas de carne y hueso, harina de calamar, harina de krill y lecitina de soja.

Además, Ecuador ha pasado de alimentar manualmente a los camarones dos veces al día a ciclos de alimentación de 24 horas usando alimentadores mecánicos, con mejoras asociadas en el rendimiento del crecimiento. Ecuador también ha adoptado comederos controlados acústicamente que determinan automáticamente cuándo, cantidad y por cuánto tiempo alimentar, monitorizando la actividad de alimentación de los camarones mediante un hidrófono colocado en el estanque. Esto permite monitorizar en tiempo real las respuestas de alimentación, junto con mediciones continuas de oxígeno y temperatura disueltos. La aplicación de estas tecnologías ha supuesto un cambio radical, permitiendo un mayor control sobre los insumos de alimento, reduciendo los costos de desperdicio, mano de obra, y optimizando las tasas de crecimiento de los camarones y la tasa de conversión de alimentos.

Innovación que apoya el uso responsable de la harina de pescado en la acuicultura

Existen cuatro estrategias fundamentales para reducir el uso de harina de pescado en la acuicultura:

1.- Uso selectivo de harina de pescado.

La harina de pescado se ha incluido selectivamente en etapas específicas de la producción acuícola. En el desarrollo inicial, en la fase final del crecimiento y en el caso del reproductores, los niveles de inclusión de harina de pescado son más altos, suministrando proporciones de proteínas más altas. Durante la fase de crecimiento, que es la más larga, la inclusión de harina de pescado es menor o completamente reemplazada por otras fuentes de proteína. Esto reduce significativamente el uso de harina de pescado durante todo el ciclo de producción.

2.- Mejorar el alimento y la eficiencia de la alimentación. Los alimentos comerciales y las prácticas de alimentación han experimentado avances tecnológicos significativos. Los alimentos que ofrecen cantidades específicas de aminoácidos y micronutrientes con formulaciones precisas mejoran la salud, sobrevivencia y tasas de crecimiento animal. En los últimos 45 años, la tasa típica de conversión de alimentos para diversas especies acuícolas ha disminuido de un rango de 1,8 - 3,0 a un rango de 1,2 - 1,8, demostrando claras mejoras en el alimento y la eficiencia de la alimentación.

3.- Apoyando el aumento de la acuicultura no alimentada. Producir alimentos acuáticos a partir de producción acuícola no alimentada resulta en una menor demanda de harina de pescado y aceite de

pescado. Las especies de bajo nivel trófico son aquellas que se alimentan en la parte baja de la cadena alimentaria (por ejemplo, omnívoros y planctívoros). Las Directrices para la Acuicultura Sostenible sugieren que los interesados deben "promover especies de acuicultura de bajo nivel trófico como peces filtradores, algas y moluscos bivalvos, que se gestionen adecuadamente para proporcionar servicios ecosistémicos y reducir los impactos negativos en los ecosistemas circundantes".

4.- Identificar ingredientes alternativos para sustituir la harina de pescado.

Para reducir la inclusión de harina de pescado, es necesario identificar ingredientes potenciales que puedan sustituirla sin suponer efectos adversos importantes en el rendimiento y la salud de los animales acuáticos de granja y que sean accesibles desde el punto de vista de la disponibilidad y los costos de producción. El aumento de precios y el suministro limitado de harina de pescado, combinados con presiones de la opinión pública, han obligado al sector acuícola a buscar ingredientes sustitutos.

-Selección de sustitutos de harina de pescado



Los reemplazos existentes y potenciales de la harina de pescado para el alimento acuícola incluyen los siguientes ingredientes:

•**Subproductos animales terrestres.** Estos provienen principalmente de subproductos de procesamiento animal, incluyendo subproductos avícolas, carne y hueso, harina de sangre y harina de plumas hidrolizadas. Los desafíos para una adopción más amplia incluyen la calidad del procesamiento, que resulta en una menor digestibilidad y palatabilidad de algunos productos, y deficiencias en aminoácidos esenciales que requieren suplementación.

•**Ingredientes de origen vegetal.** Estos provienen principalmente de subproductos oleaginosos, como la soja, la semilla de algodón, el girasol y la semilla de sésamo. Generalmente se utilizan como harinas, tortas o concentrados de proteínas. Otras fuentes de proteína vegetal pueden incluir copra, macadamia, cacao, palma, maíz, arroz, guisantes, trigo y gluten de maíz. Actualmente, la harina de soja es el sustituto más popular de la harina de pescado debido a su disponibilidad, precio razonable y buen perfil nutricional. Aunque su uso en alimentos acuáticos está creciendo, representa menos del 8 % de toda la soja procesada para uso animal.

El rendimiento de crecimiento obtenido de alimentos acuícolas ricos en proteínas vegetales suele ser inferior al de las dietas basadas en harina de pescado, principalmente debido a la presencia de factores anti nutricionales (ANFs) en algunos ingredientes de origen vegetal, lo que limita la disponibilidad de nutrientes. Un procesamiento adecuado de estas fuentes y la suplementación con aminoácidos esenciales deficientes y ciertos aditivos (como proteasas y fitasas) puede mejorar su calidad, aumentando así sus niveles de inclusión para estos alimentos.

•**Ingredientes proteicos no convencionales.** Estos incluyen ingredientes como bacterias, biofloc, lombrices de tierra, Artemia, krill, insectos, levaduras, macro y microalgas, proteínas unicelulares y ensilado de pescado. Los ingredientes proteicos no convencionales deben cumplir criterios y superar desafíos que pueden limitar su uso en la alimentación acuícola.

La mayoría de los estudios sobre sustitutos de harina de pescado han utilizado una combinación de fuentes de proteína, lo que destaca la importancia de suplementos equilibrados de aminoácidos esenciales, ácidos grasos, energía, atrayentes y aditivos para alimentos. Adoptar un enfoque complementario entre ingredientes es una estrategia fundamental de cara al futuro.

Limitaciones a la sustitución de la harina de pescado en alimentos acuícolas

Los siguientes factores deben considerarse al buscar ingredientes para sustituir la harina de pescado en alimentos acuícolas:

- **Valor nutricional.** Encontrar ingredientes sustitutos que se ajusten al perfil nutricional de la harina de pescado es un gran desafío. Algunos sustitutos pueden tener el perfil nutricional deseado, pero carecen de la fácil digestibilidad de la harina de pescado y podrían comprometer la salud animal. La palatabilidad, que garantiza que los animales se sientan atraídos por el alimento, mejora la eficiencia de la producción y evita los desechos del alimento, también es difícil de replicar.

- **Disponibilidad y costo.** Los ingredientes que puedan sustituir la harina de pescado en el alimento acuícola deben ser asequibles, producirse y estar disponibles en volúmenes

suficientes y fiables para garantizar un suministro constante y adecuado. Los ingredientes alternativos no deben introducir nuevos riesgos, como problemas de cadena de suministro o de bioseguridad.

- **Impacto medioambiental.** Los productores de harina de pescado deben utilizar materias primas procedentes de recursos gestionados de forma sostenible, pero en algunas regiones se han planteado prácticas insostenibles. En la era del cambio climático, la huella de carbono de la producción de harina de pescado en comparación con sus sustitutos es importante, ya que requiere más datos sobre el análisis del ciclo de vida de los diferentes ingredientes. Promover el uso de ingredientes de origen sostenible en formulaciones de alimentos y mejorar la gestión de la alimentación puede minimizar los residuos y disminuir los impactos ambientales de la acuicultura.

- **Impacto social.** Cada vez existen más sistemas de certificación y trazabilidad para garantizar que las materias primas no procedan de especies también demandadas para consumo humano. Además, la producción de harina de pescado puede proporcionar empleo y beneficios en algunas poblaciones.

- **Competencia.** La competencia por los ingredientes, por ejemplo, entre el consumo humano directo y el uso en la industria de alimentos para animales, puede provocar una escasez de su disponibilidad. Esto puede provocar un fuerte aumento de los precios de estos ingredientes y, por tanto, el costo de los alimentos procesados.

- **Cambio climático.** El cambio climático supone una grave amenaza para los sistemas alimentarios globales, causando incertidumbre en el suministro de ingredientes de diferentes cultivos para el alimento animal. La posible aparición de nuevos patógenos y enfermedades vegetales

y animales puede agravar la disponibilidad y el costo de los ingredientes para alimentos acuícolas.

Impactos socioeconómicos de la producción de harina y aceite de pescado en África Occidental

África Occidental ha experimentado un aumento significativo en la producción de harina y aceite de pescado en los últimos años. Aunque antes la industria dependía de residuos y subproductos de procesamiento de pescado, así como de especies capturadas accidentalmente, la industria, a diferencia de las tendencias globales, ahora también incluye pescados capturados en estado salvaje.

En Gambia, Mauritania y Senegal, la harina de pescado se produce ahora principalmente a partir de pequeñas especies pelágicas de peces, como *Ethmalosa fimbriata*, *Sardinella maderensis* y *Sardinella aurita*. Esto ha generado preocupación sobre el impacto de esta práctica en las comunidades que dependen de este pez para su sustento y nutrición.

La industria de la harina y aceite de pescado en la región también ofrece algunas oportunidades económicas, incluyendo empleo a lo largo de la cadena de valor, entrada de divisas extranjeras y el desembarco de peces pelágicos pequeños, así como ingresos por impuestos, regalías y licencias de pesca pagadas a los gobiernos. Sin embargo, los beneficios sociales siguen siendo limitados si afectan a los medios de vida, la seguridad alimentaria, la nutrición, y el bienestar de las comunidades locales.



No hay datos suficientes para estimar los efectos netos locales, pero las encuestas nacionales indican que los empleos y medios de vida de los trabajadores probablemente se ven afectados por esta práctica en algunos lugares. Además, parece que la contribución de la producción africana de harina de pescado a los sectores regionales de la acuicultura y ganadería sigue siendo baja, ya que la producción se exporta en gran medida.

En diciembre de 2023, la FAO organizó un taller en Ghana para debatir cómo optimizar la seguridad alimentaria, nutricional y los beneficios para los medios de vida de la producción de pequeñas especies pelágicas en África Occidental. El taller concluyó que el contexto sociocultural en los distintos países de África Occidental debe considerarse al evaluar el equilibrio entre peces para consumo humano y peces para alimento animal.

Las Directrices Voluntarias para Asegurar Pesquerías Sostenibles a Pequeña Escala en el Contexto de la Seguridad Alimentaria y la Erradicación de la Pobreza (Directrices SSF) ofrecen recomendaciones importantes sobre la necesidad de implicar a actores pesqueros a pequeña escala en la toma de decisiones relevantes para sus medios de vida.

Tendencias y direcciones futuras

- La acuicultura seguirá creciendo en las próximas décadas, reforzando su papel como un sector importante de la economía global y un contribuyente a largo plazo a la seguridad alimentaria global.
- La evidencia sugiere que el crecimiento continuo de la producción acuícola no es necesariamente probable que impulse una mayor demanda de harina de pescado o aceite de pescado.

- Los avances científicos y tecnológicos actuales han demostrado que es posible producir alimento acuícola con poca o ninguna harina de pescado. La investigación debería seguir identificando sustitutos de la harina de pescado y mejores estrategias de uso de harina de pescado.
- Los avances en las tecnologías de procesamiento han permitido producir harina de pescado y aceite de pescado de alta calidad a partir de subproductos derivados de la acuicultura y la pesca de captura, y la proporción de estos subproductos que contribuyen al suministro de harina de pescado seguirá aumentando.
- Los formuladores de alimentos, impulsados por las necesidades de productores y consumidores, deben esforzarse por producir alimentos con ingredientes disponibles y de bajo costo, que tengan bajo impacto

ambiental y social y que satisfagan los requerimientos nutricionales de las especies acuícolas, para garantizar una intensificación y expansión sostenible de la acuicultura global.

- Mejorar la trazabilidad de las fuentes de harina de pescado y de todos los ingredientes actuales y potenciales en los alimentos acuáticos es fundamental para garantizar que tampoco comprometan la seguridad alimentaria o nutricional de los consumidores

Referencia al artículo original: FAO. 2025. Responsible use of fishmeal in aquaculture. FAO Innovation for Blue Transformation. Rome. Fisheries and Aquaculture Division - Natural Resources and Sustainable Production. <https://www.fao.org/fishery/en/bluetransformation>

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

SVA Sociedad Venezolana de Acuicultura

ACUAPONÍA MARINA: RETOS Y OPORTUNIDADES

Steven G. Hall y Christopher Pascual

Ingeniería Biológica y Agrícola, Universidad Estatal de Carolina del Norte, Raleigh, Carolina del Norte, EE. UU.

La acuaponía es el cultivo de animales acuáticos (p. ej., la acuicultura) y el uso de los nutrientes de sus aguas residuales es el medio para el crecimiento hidropónico de plantas, de ahí el nombre de acuaponía. Los sistemas comunes utilizan agua dulce con especies de peces resistentes (p. ej., la tilapia) y especies de plantas de rápido crecimiento, como la lechuga y la albahaca. Los sistemas a pequeña escala son muy comunes como también sistemas comerciales más grandes.

La acuaponía tiene algunos retos propios: los peces suelen requerir un pH ligeramente más alto (a menudo entre 7 y 8), mientras que las plantas pueden preferir condiciones más ácidas (entre 6 y 7). Una respuesta a este reto es separar los componentes de los peces y las plantas, lo que permite manipular la calidad del agua para optimizarla para cada especie. También se podría argumentar que la aplicación terrestre de los residuos de la acuicultura es una forma primitiva de acuaponía y funciona bien como agua de riego suplementaria y nutrientes para las plantas. Pero hay que recordar que se trata de agua dulce, mientras que el agua salada añade más retos.

La acuicultura marina se refiere al agua salada o salobre y puede incluir sistemas de recirculación acuícolas (RAS), sistemas de aguas abiertas, como represas y canales, todos centrados en el cultivo de productos acuícolas, peces o crustáceos, de agua

salada o salobre. La aplicación de agua salada puede ser sumamente perjudicial para la mayoría de las plantas. Sin embargo, la acuicultura marina está creciendo porque, aunque el agua dulce es limitada en muchos lugares, el cultivo de peces, crustáceos, moluscos u otras especies puede realizarse en una variedad de salinidades. En algunos casos se trata de sistemas de jaulas abiertas, en los que los alimentos que no se consumen pueden perderse o añadir nutrientes a la zona, con la posibilidad de eutrofización. Otros sistemas son cerrados (como las represas y los sistemas RAS) y, por lo tanto, la gestión de los nutrientes puede ser más fácil. La acuaponía marina se refiere al uso de agua salada y rica en nutrientes para cultivar plantas tolerantes a la sal o que la necesitan.

Aunque existen retos, también hay oportunidades. La gran mayoría del agua de nuestro planeta se encuentra en los océanos, por lo que utilizar esta agua para cultivar peces y plantas puede ser eficaz. La competencia por el agua es limitada, a diferencia de las múltiples necesidades de agua dulce en tierra, tanto para el consumo humano como para la agricultura. Por lo tanto, el uso de agua marina para el cultivo de peces y para el cultivo de especies vegetales adicionales podría ser beneficioso para todos, si se hace de manera eficaz (**Figura 1**). La mayoría de los países costeros tienen áreas sustanciales para la acuicultura marina



Figura 1. (Izq.) Ejemplo de plantas de los sistemas de acuaponía marina. (Der.) Sistema empleado para evaluar la respuesta de las plantas a diversas salinidades. Crédito: S. Hall.

y la acuaponía, mientras que algunos otros países tienen desafíos con la salinización de la tierra, donde se pueden aplicar principios similares.

Desafíos y oportunidades de los Sistemas de Recirculación Acuícola / RAS

Los sistemas de recirculación suelen utilizar sedimentación o filtración para eliminar los sólidos y pueden tener biofiltros para convertir el amoníaco en nitrito y nitrato, formas que las plantas pueden utilizar. Los sistemas RAS marinos utilizan agua de fuentes oceánicas, la cual es filtrada y tratada antes de ser utilizada para el cultivo. Es deseable capturar los nutrientes presentes en el sistema con plantas, ya que puede reducir

la eutrofización. Sin embargo, se necesitan plantas tolerantes a la sal o que la necesiten para sus funciones. Algunas especies pueden tolerar niveles bajos a moderados de sal. Se ha documentado que algunas variedades de col y otros vegetales de hojas verdes pueden crecer en salinidades de hasta aproximadamente 10 ppt (alrededor de 1/3 de la salinidad del océano). Estudios recientes de la Universidad Estatal de Carolina del Norte han demostrado que la col rusa crece bien hasta unos 8-10 ppt y puede seguir creciendo, aunque a un ritmo reducido, hasta 15 ppt (**Figuras 2 y 3**).

Sin embargo, estudios paralelos sobre fresas revelaron que incluso 2,5 ppt pueden causar impactos negativos en éstas y muchas otras plantas comestibles. Se demostró que las fresas responden bien a niveles bajos de salinidad intermitentes (2,5 y 4,5 ppt de salinidad, seguidos de agua dulce, **Figura 4**). Un resultado interesante fue que las

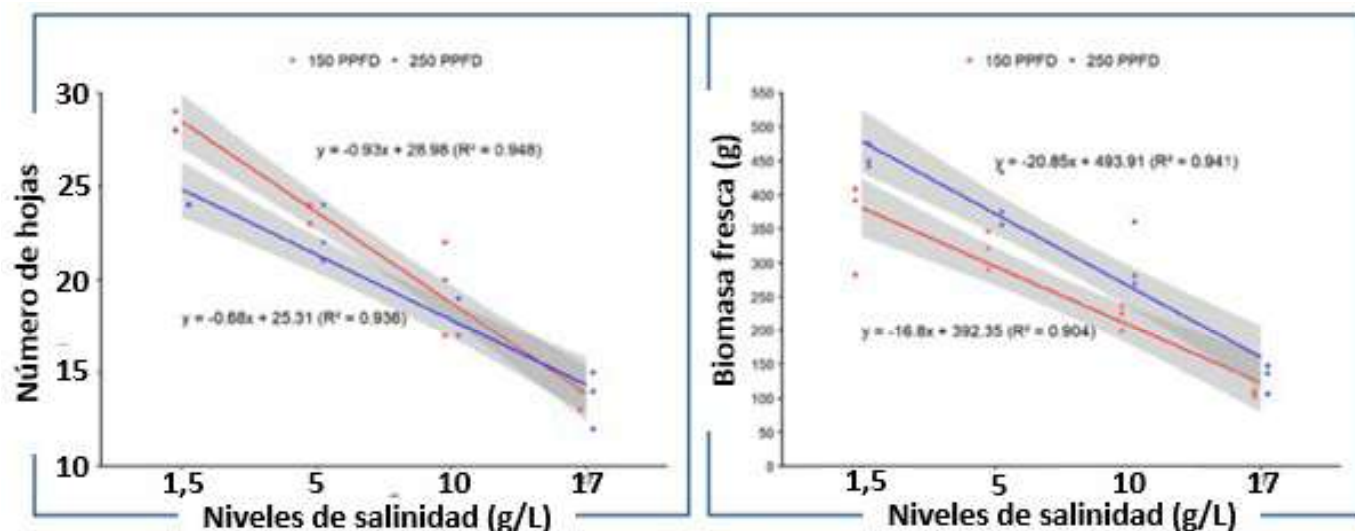


Figura 2. Crecimiento de col cultivada en diferentes salinidades. (Izq.) Número de hojas. (Der.) Biomasa.



Figura 3. (Izq.) Col cultivada en diferentes salinidades, buen crecimiento hasta aproximadamente 8 ppt y crecimiento más lento hasta 17 ppt. (Der.) La intensidad de luz también afecta el crecimiento (Crédito: C. Pascual)

fresas cultivadas en salinidad moderada eran notablemente más dulces.

En general, la acuaponía marina puede parecer acuaponía "tradicional", pero con agua algo salada. Esta agua salina también debe tenerse en cuenta al diseñar los sistemas, ya que los materiales pueden oxidarse en estos entornos marinos. El RAS tiene la ventaja, como se ha señalado, de controlar el agua y puede utilizarse en

un sistema acuapónico desconectado o dividido, en el que el agua de los peces se acondiciona antes de aplicarse a las plantas. Esto permite optimizar el pH (probablemente reduciendo el pH para las plantas); mezclar agua salada y dulce si está disponible y es apropiado; añadir los nutrientes necesarios para las plantas, como hierro u otros nutrientes, y optimizar el nitrógeno (p. ej., maximizando el nitrato, generalmente preferido por las plantas).



Figura 4. (Izq.) Fresas cultivadas en salinidades intermitentes (hasta 4.5 ppt). (Der.) Fresas regadas con agua dulce, crecimiento aceptable y frutas más dulces (Crédito: C. Pascual).

Desafíos y oportunidades de las represas abiertas

Los camarones y otras especies pueden criarse en represas cercanas a la costa. Estas represas, en teoría, son algo “cerradas” y, por lo tanto, pueden ser adecuadas para algunos principios de acuaponía, posiblemente para el cultivo de plantas tolerantes a la sal o que la necesitan (halófitas). Sin embargo, como se ha señalado anteriormente, puede ser preferible disponer de una represa separada que ayude a tratar las aguas residuales antes de verse para reducir los nutrientes. Un enfoque sería utilizar halófitas como la *Salicornia* o las judías marinas. Se trata de

una especie comestible que puede crecer en 10-30 ppt. Se utilizan fresas como vegetal o guarnición ligeramente saladas y rica en nutrientes, y pueden secarse para producir “sal verde”, un sustituto natural de la sal, con menos sal y alto contenido en nutrientes (**Figura 5**). Se ha descubierto que algunas especies de lenteja de agua (*Lemna*) toleran salinidades moderadas de hasta unos 10 ppt, y también pueden servir de alimento para animales, ya que algunas especies tienen un alto contenido en proteínas. Son muy eficaces en la absorción tanto de productos nitrogenados (nitritos, nitratos) como de fósforo, lo que minimiza los problemas de eutrofización.



Figura 5. (Izq.) La *Salicornia*, halófito auténtica, prefiere salinidades de 10-30 ppt. (Der.) La lenteja de agua puede duplicar su biomasa en 3-4 días, tolera las aguas salobres y puede ser eficaz en la absorción de fósforo (Crédito: S. Hall, C. Pascual).

Retos y oportunidades de los sistemas de canal y de aguas abiertas

Los sistemas de canal implican un flujo continuo, lo que a menudo significa que el agua que sale tiene un mayor contenido de nutrientes. En los sistemas de jaulas y otros sistemas marinos abiertos, los nutrientes pueden liberarse directamente en el medio ambiente. En estos casos, puede ser difícil tratar el exceso de nutrientes, pero los enfoques multitrofos que incluyen algas o filtradores pueden ser una solución. Otro reto de las aguas abiertas es la percepción del público. En muchos casos, los vecinos se han quejado de que se deteriora el medio ambiente. Éste y otros retos “sociales” pueden requerir educación y

divulgación, pero también pueden mitigarse en parte minimizando el impacto de las instalaciones en el paisaje, alejándolas más de la costa y minimizando la visibilidad de los componentes en la superficie. Es posible que añadir un componente “verde” al sistema ayude a mejorar la percepción del público.

Cuando se puede captar el agua antes de su liberación, los humedales artificiales que utilizan especies de plantas marinas costeras (p. ej., *Juncus* sp., *Spartina alterniflora*, *Distichus spicata*, **Figura 6**) pueden ayudar a reducir los nutrientes y a cultivar plantas con valor para la restauración costera. Sistemas como este pueden ampliarse a humedales artificiales a gran escala, lo que permite el tratamiento de los efluentes de los canales marinos. Las combinaciones de plantas pueden resultar eficaces para la absorción general de nutrientes. En sistemas



Figura 6. Tres mezclas de plantas costeras, entre las que se incluyen *Juncus* sp. y *Spartina alterniflora*, fueron capaces de absorber más del 90 % del nitrógeno, pero solo alrededor del 30 % del fósforo (Crédito: S. Hall).

más abiertos, se pueden cultivar filtradores como las ostras por su valiosa proteína, pero también pueden ayudar a proporcionar hábitat, filtrar y mejorar la calidad del agua. Si se cultivan en combinación con algas o plantas costeras, pueden ayudar a minimizar los impactos de la acuicultura marina abierta y, en algunos casos, proporcionar beneficios tanto ecológicos como económicos.

Conclusiones: retos actuales y oportunidades crecientes de la acuaponía marina

La acuicultura marina está creciendo. La acuaponía marina permite encontrar formas de evitar la liberación de nutrientes y aumentar el valor mediante plantas y otras especies. Entre los retos únicos que plantea se encuentra el impacto de la



Figura 7. En algunos casos, se puede fomentar el cultivo de ostras como protección costera, filtración y por sus servicios ecosistémicos (Crédito: C. Malveaux).

sal en las plantas. Sin embargo, cada vez se utiliza una mayor variedad de plantas halófilas, tolerantes a la sal o que la necesitan. Entre ellas se incluyen especies destinadas a la alimentación humana, la restauración costera, la alimentación animal y los biocombustibles. Es necesario seguir investigando para optimizar y ampliar estas opciones para los productores comerciales, pero son muy prometedoras. Las ventajas económicas y ecológicas, así como los alimentos y los biocombustibles, pueden ser resultados útiles de la acuaponía marina. Los servicios ecosistémicos en sistemas abiertos pueden incluir la mejora del hábitat, así como la captura de nutrientes y carbono.

La acuicultura marina está creciendo rápidamente (**Figura 7**). La expansión de este sector requerirá diversos métodos para recuperar el valor nutricional, incluyendo la acuaponía marina, lo que debería mejorar aún más la productividad económica y la sustentabilidad ecológica (**Figura 8**).

Puede acceder al artículo original en la revista World Aquaculture. 2025. Vol. 56, Núm. 2. Pág. 39-43



Figura 8. Sistema utilizado para evaluar la captura de carbono del cultivo de lubina rayada a través de la halófito *Salicornia*, que se muestra prometedora tanto como producto alimenticio como posible mecanismo de absorción de nutrientes y carbono con efluentes de la acuicultura marina. (Crédito: C. Pascual).



Sociedad Venezolana
de Acuicultura

Boletín #SVA

NOTICIAS DEL SECTOR, DIRECTO A
TU BANDEJA DE ENTRADA

www.svacuicultura.org

BOLETÍN MENSUAL



EVALUACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE TABLA DE ALIMENTACIÓN EN SISTEMAS DE BIOFLOC PARA CAMARÓN BLANCO DEL PACÍFICO

Cuerpo editorial de El Acuicultor

Introducción

El camarón blanco del Pacífico (*Penaeus vannamei*) es una de las especies de camarón más cultivadas. Su rapidez en el crecimiento, adaptabilidad y calidad nutritiva han hecho de esta especie la preferida en la acuicultura global. Gracias a avances tecnológicos y mejores prácticas de manejo, la cría de camarones se ha intensificado, aumentando la productividad y eficiencia de los cultivos. La acuicultura intensificada es un enfoque sostenible que maximiza la eficiencia alimentaria y asegura la salud del entorno, centrándose en la optimización del uso del alimento mediante el control de la calidad del agua y un suministro adecuado de nutrientes.

La tecnología de Biofloc se diferencia de los sistemas acuícolas tradicionales al centrarse en la creación y manipulación de bioflóculos, que son comunidades de microorganismos en suspensión en el agua. Esta tecnología recicla nutrientes eficientemente, reduciendo la necesidad de recambios frecuentes de agua y mejorando su calidad, lo que minimiza el impacto ambiental. Además, los bioflóculos pueden servir como fuente natural de alimento, reduciendo la dependencia de

alimentos comerciales y haciéndolo más sostenible y económico.

Un manejo adecuado de la alimentación es crucial durante la fase de precría del camarón blanco del Pacífico, ya que influye en el desarrollo y crecimiento de los juveniles, estableciendo las bases para un ciclo productivo exitoso. Durante esta etapa, los camarones experimentan un rápido crecimiento y alta actividad metabólica, por lo que una alimentación eficiente es esencial para optimizar la sobrevivencia, maximizar el aumento de peso y reducir el tiempo necesario para alcanzar los estándares de cultivo.

La formulación del alimento para camarones debe ser equilibrada en proteínas, lípidos, carbohidratos, vitaminas y minerales para asegurar un desarrollo adecuado. Además, la frecuencia y volumen de alimentación deben adaptarse al crecimiento de los camarones y las condiciones del sistema de cultivo. El manejo de la alimentación en la fase de precría también incluye el control de la calidad del agua, temperatura e iluminación, que afectan la tasa metabólica y el comportamiento alimenticio de los camarones. Un ajuste adecuado de la tasa de

alimentación es crucial para el crecimiento y la sobrevivencia en esta etapa inicial. La tabla de alimentación de Van Wyk (1999) es una herramienta útil para determinar las raciones óptimas, considerando factores como tamaño, temperatura y tasa de crecimiento. En este contexto, se realizó un experimento de 45 días para optimizar las tasas de alimentación en sistemas biofloc para camarones blancos del Pacífico, ajustando las tablas estándar de alimentación.

Materiales y Métodos

Se utilizaron postlarvas de *P. vannamei* de la línea Speedline, del laboratorio comercial, Aquatec Aquacultura LTDA, Canguaretama, Rio Grande do Norte, Brasil. Una vez en las instalaciones del Laboratorio de Camarones Marinos (LCM) del Departamento de Acuicultura de la Universidad Federal de Santa Catarina en Florianópolis, Santa Catarina, Brasil, las postlarvas se mantuvieron en un tanque de fibra de vidrio de 50 m³, a una densidad de 10.000 larvas/L, salinidad de 33 g/L y sistema de biofloc hasta alcanzar la etapa de postlarva 20 (PL 20); luego, las postlarvas se trasladaron a las unidades experimentales, que consistían en 16 tanques rectangulares de plástico con un volumen útil de 48 L cada uno y sistema de biofloc sin renovación de agua, equipados con aireación y calentadores para proporcionar temperatura constante.

Diseño experimental y unidades experimentales

El diseño experimental fue completamente aleatorio. Se utilizaron cuatro tratamientos con cuatro réplicas cada uno: tratamiento máximo (Máx.), Tratamiento mínimo (Mín.), Máximo +10 % (Máx+10%) y Mínimo -10 % (Mín-10%). Los valores máximos y mínimos se basaron en los valores establecidos en la tabla de alimentación de Van Wyk (1999). El tratamiento Máx+10% consistía en un 10

% más que el valor máximo en la tabla de alimentación de Van Wyk, mientras que el tratamiento Mín-10% consistía en un 10 % menos que el valor mínimo en la tabla de alimentación de Van Wyk (**Tabla 1**).

Tabla 1. Tasa de alimentación: máxima (máx), mínima (mín), máxima +10 % (máx+10%) y mínima -10 % (mín-10%) según la tabla de Van Wyk (1999) modificada para el experimento.

Peso promedio (g)	Tasa de alimentación Van Wyk (1999) (% de biomasa/día)		Tasa de alimentación ajustada (% de biomasa/día)	
	Máx	Mín	Máx+10%	Mín-10%
< 1	35,0	25,0	38,5	22,5
0,1 - 0,24	25,0	20,0	27,5	18,0
0,25 - 0,49	20,0	15,0	22,0	13,5
0,5 - 0,9	15,0	11,0	16,5	9,9
1,0 - 1,9	11,0	8,0	12,1	7,2

Cada una de las 16 unidades experimentales fue abastecida con 96 postlarvas, PL 20, de 0,08 g, y el cultivo se llevó a cabo durante seis semanas hasta que los animales alcanzaron aproximadamente 1 g. Un día antes de la siembra, se transfirieron a cada unidad experimental con 12 L de agua de inóculo, extraídas del tanque matriz, maduro, con cultivo de biofloc, y el volumen restante se llenó con 36 L de agua de mar.

Las postlarvas fueron alimentadas con un alimento comercial de 40 % de proteína cruda (Aqua Guabitec), formulado específicamente para postlarvas. Cada semana, una muestra de 30 postlarvas se pesaba para monitorizar el crecimiento y hacer ajustes al alimento calculando la cantidad adecuada según la tasa de alimentación de la tabla experimental. El alimento se suministraba seis veces al día (8, 10, 12, 14, 16 y 18 horas) a todas las unidades experimentales, según las cantidades de cada grupo.

Durante todo el experimento se monitorizaron las variables de calidad del

agua. La temperatura y el oxígeno disueltos dos veces al día. El pH, la salinidad, los sólidos suspendidos totales (SST), los sólidos sedimentables (SS), la alcalinidad, nitrógeno amoniacal total (TAN) y nitrito (NO_2^-) dos veces por semana. El nitrato (NO_3^-) se monitoreó al principio, mitad y final del experimento.

Se añadió hidróxido de calcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$ para mantener la alcalinidad por encima de 150 mg/L. Los SST se mantuvieron en concentraciones entre aproximadamente 400 y 600 mg/L. El agua no se renovó durante el cultivo; solo se utilizaba agua de mar para reemplazar las pérdidas por evaporación.

Al final del experimento, se pesaron todos los juveniles y se calcularon las siguientes variables de rendimiento de crecimiento: sobrevivencia (%), tasa de conversión alimenticia (TCA), rendimiento (kg/m^3), tasa específica de crecimiento (SGR) ($\%/ \text{día}$), peso

promedio final (g) y ganancia de biomasa (g). También se recogieron muestras de aproximadamente 100 g de camarones de cada unidad experimental para determinar el contenido de nitrógeno (N) y fósforo (P) de los animales.

RESULTADOS

Variables de calidad del agua

Los resultados del experimento no revelaron diferencias significativas en los niveles de oxígeno disuelto medidos en horas de la tarde (17 h), temperatura o salinidad. Sin embargo, se observaron diferencias significativas en las mediciones de oxígeno disuelto tomadas por la mañana, con valores más bajos registrados en el tratamiento Máx+10% (**Tabla 2**).

El amoníaco total medido mostró diferencias estadísticas entre tratamientos con valores

Tabla 2. Media y desviación estándar de parámetros de calidad del agua durante los 45 días de cultivo con diferentes estrategias de alimentación, máximo (Máx), mínimo (Mín), máximo +10 % (Máx+10%) y mínimo -10 % (Mín-10%) de gestión alimentaria según la tabla de Van Wyk. Diferentes letras en la misma fila indican diferencias significativas entre tratamientos según la prueba de Tukey al nivel de significación de 0,05. DO: oxígeno disuelto; SST: sólidos suspendidos totales; TAN: nitrógeno amoniacal total; SS: sólidos sedimentables.

Variables	Tratamiento				valor p
	Mín-10%	Mín	Máx	Máx+10%	
Oxígeno Disuelto a.m.	$6,52 \pm 0,18^a$	$6,50 \pm 0,02^{ab}$	$6,46 \pm 0,03^{ab}$	$6,44 \pm 0,02^b$	0,016
Oxígeno Disuelto p.m.	$6,38 \pm 0,02$	$6,35 \pm 0,06$	$6,27 \pm 0,06$	$6,30 \pm 0,03$	0,086
Temperatura a.m. ($^{\circ}\text{C}$)	$28,2 \pm 0,1$	$28,3 \pm 0,1$	$28,3 \pm 0,2$	$28,3 \pm 0,1$	0,767
Temperatura p.m. ($^{\circ}\text{C}$)	$28,4 \pm 0,0$	$28,4 \pm 0,1$	$28,5 \pm 0,1$	$28,4 \pm 0,0$	0,166
TAN (mg/L^{-1})	$0,16 \pm 0,01^a$	$0,18 \pm 0,02^a$	$0,38 \pm 0,03^b$	$0,45 \pm 0,09^b$	< 0,001
Nitrito (mg/L)	$0,20 \pm 0,00^a$	$0,22 \pm 0,01^a$	$0,32 \pm 0,03^b$	$0,36 \pm 0,04^b$	0,005
Nitrato (mg/L)	$2,70 \pm 0,28^a$	$2,69 \pm 0,38^a$	$3,11 \pm 0,26^{ab}$	$3,82 \pm 0,33^b$	0,022
Alcalinidad ($\text{mg CaCO}_3/\text{L}$)	$175 \pm 5,0^{ab}$	$165 \pm 2,0^a$	$182 \pm 12,0^b$	$188 \pm 3,0^b$	0,008
pH	$8,28 \pm 0,00^a$	$8,26 \pm 0,01^{ab}$	$8,24 \pm 0,00^b$	$8,24 \pm 0,01^b$	0,001
Salinidad (g/L)	$33,3 \pm 0,2$	$33,5 \pm 0,2$	$33,4 \pm 0,1$	$33,3 \pm 0,1$	0,451
SST (mg/L)	582 ± 15^a	596 ± 18^a	681 ± 34^b	685 ± 17^b	< 0,001
SS (mL/L)	$13,4 \pm 1,1^{ab}$	$14,2 \pm 2,1^{ab}$	$19,3 \pm 4,1^{bc}$	$25,0 \pm 4,5^c$	< 0,001

más altos para los tratamientos Máx y Máx+10% (**Tabla 2, Figura 1**). Los valores de nitrato siguieron la misma tendencia que los del amoníaco, con diferencias estadísticas entre los tratamientos Máx y Máx +10 % en comparación con los tratamientos Mín y Mín-10% (**Tabla 2, Figura 2**). El nitrato medido en el tratamiento Máx +10% mostró un valor más alto, que difiere estadísticamente de los tratamientos Mín y Mín-10% (**Tabla 2, Figura 3**). Los valores de alcalinidad diferían entre tratamientos. El tratamiento Mín tuvo el valor más bajo medido, y los tratamientos Máx y Máx+10% tuvieron los valores más altos. El tratamiento Mín-10% presentó un valor intermedio, estadísticamente igual al de los otros tratamientos (**Tabla 2**).

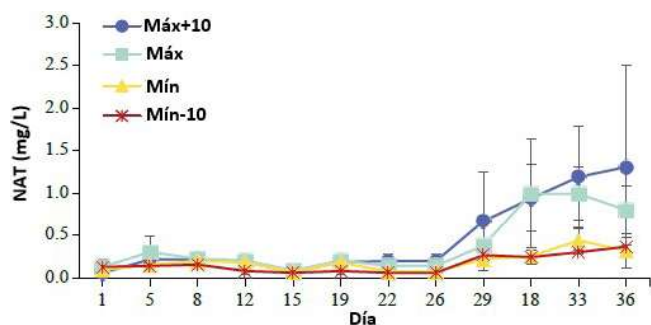


Figura 1. Nitrógeno Amoniacal Total (TAN) durante los días de cultivo.

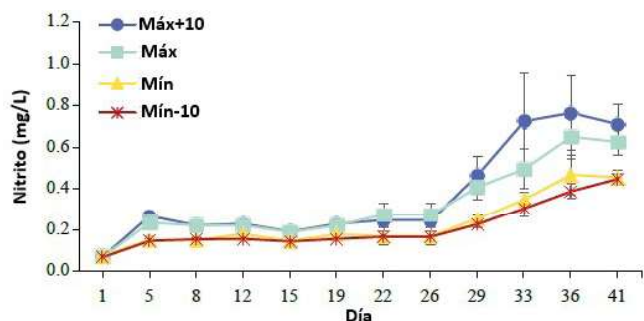


Figura 2. Valores de nitrato medidos durante los 45 días de cultivo.

Los valores de pH medidos mostraron diferencias estadísticas entre tratamientos, pero con valores similares (**Tabla 2**). La salinidad no difirió significativamente entre tratamientos, manteniendo valores cercanos a 33 g/L (**Tabla 2**). Para las

variables SST y SS, los valores medidos difirieron estadísticamente entre tratamientos siguiendo la misma tendencia, pero con mayor acumulación en los tratamientos Máx y Máx+10% (**Tabla 2, Figuras 4 y 5**). Los tratamientos con mayores tasas de alimentación presentaron los valores más altos de SS y compuestos nitrogenados, mientras que los tratamientos con tasas de alimentación más bajas mostraron los valores más altos de oxígeno disuelto por la mañana y pH.

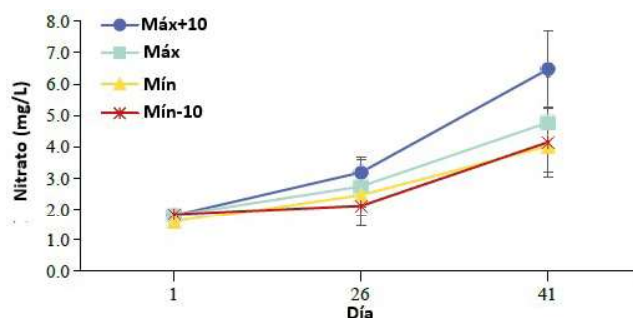


Figura 3. Valores de nitrato medidos durante los 45 días de cultivo.

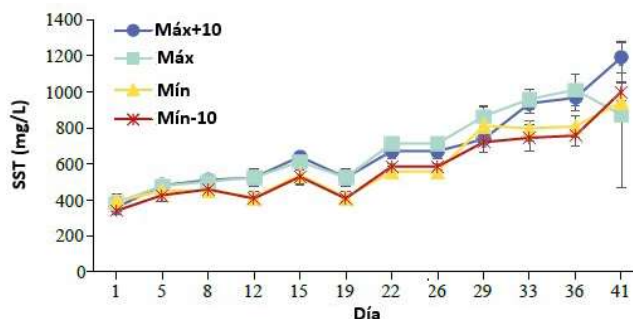


Figura 4. Valores de sólidos suspendidos totales durante los 45 días de cultivo.

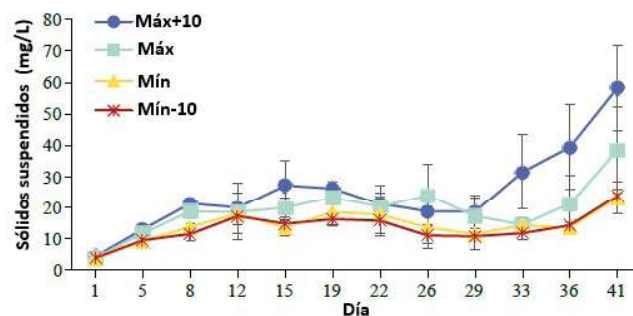


Figura 5. Valores de sólidos sedimentables durante los 45 días de cultivo.

Rendimiento de crecimiento

Solo se observaron diferencias significativas en el rendimiento zootécnico para la tasa de conversión de alimento, que mostró que los tratamientos con las tasas mínimas resultaron en los valores de conversión más bajos (Tabla 3).

Contenido de nitrógeno y fósforo

El contenido de nitrógeno y fósforo de los juveniles no mostró diferencias significativas entre tratamientos, como se muestra en las Figuras 6 y 7.

Tabla 3. Variables zootécnicas de producción durante los 45 días de cultivo. FCR: Tasa de conversión alimenticia; SGR: tasa específica de crecimiento. Diferentes letras en la misma línea indican diferencias significativas entre tratamientos.

Variables	Tratamientos				valor p
	Mín-10%	Mín	Máx	Max+10%	
Peso promedio inicial (g)	0,08 ± 0,00	0,08 ± 0,00	0,08 ± 0,00	0,08 ± 0,00	-
Peso promedio final (g)	1,46 ± 0,10	1,55 ± 0,09	1,39 ± 0,20	1,46 ± 0,17	0,637
Rendimiento (kg/m³)	2,26 ± 0,09	2,50 ± 0,07	2,27 ± 0,27	2,31 ± 0,13	0,069
TCA	1,63 ± 0,09 ^a	1,66 ± 0,05 ^a	2,57 ± 0,11 ^b	2,77 ± 0,13 ^b	< 0,001
SGR (%/día)	20,76 ± 0,53	20,76 ± 0,42	20,35 ± 1,01	20,76 ± 0,84	0,602
Ganancia de biomasa (g)	108,70 ± 4,57	120,20 ± 3,43	109,13 ± 13,38	111,00 ± 6,43	0,069
Biomasa final (g)	116,38 ± 4,57	127,88 ± 3,43	116,81 ± 13,38	118,68 ± 6,43	0,069
Sobrevivencia (%)	82,81 ± 4,62	85,68 ± 4,76	87,50 ± 5,31	85,16 ± 7,81	0,723
Alimento (g)	177,63 ± 3,47 ^a	200,52 ± 4,90 ^a	279,88 ± 29,97 ^b	307,47 ± 6,15 ^b	< 0,001

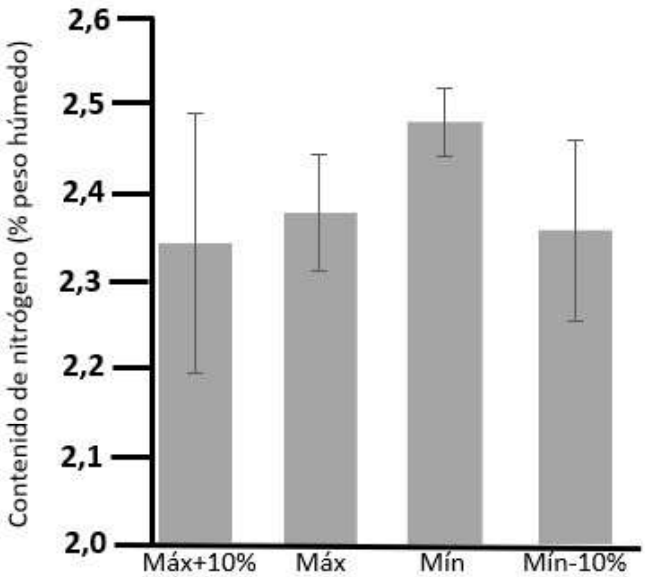


Figura 6. Contenido de nitrógeno de *Penaeus vannamei* con diferentes estrategias de alimentación: máximo (Máx), mínimo (Mín), máximo +10 % (Máx+10%) y mínimo -10 % (Mín-10%).

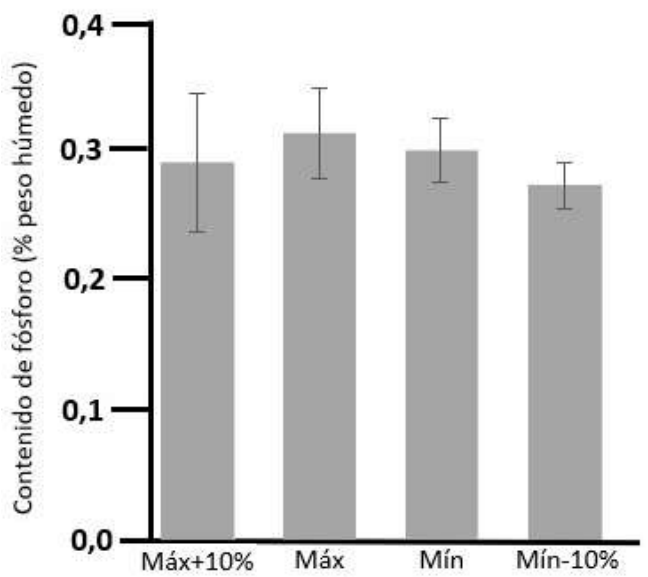


Figura 7. Contenido de fósforo de *Penaeus vannamei* con diferentes estrategias de alimentación: máximo (Máx), mínimo (Mín), máximo +10 % (Máx+10%) y mínimo -10 % (Mín-10%).

DISCUSIÓN

La tecnología Biofloc es una técnica avanzada que utiliza una comunidad diversa de microorganismos, formando agregados biológicos conocidos como bioflóculos, que actúan como fuente de alimento natural. Esto se debe a su composición equilibrada derivada de los microorganismos que componen los flóculos microbianos. Estos contienen proteínas crudas, ácidos grasos, aminoácidos esenciales y minerales en niveles satisfactorios para los organismos de cultivo.

Al final del periodo experimental, se confirmó que las variables de calidad del agua se mantuvieron según los rangos ideales para precría de *P. vannamei*. Esto posiblemente se debe al uso del inóculo de biofloc maduro al inicio del experimento. Esta comunidad microbiana es esencial para establecer un ecosistema estable y funcional, ya que promueve la transformación de residuos orgánicos en partículas sólidas y sirven como fuente natural de alimento para los organismos de cultivo.

En tratamientos con menor cantidad de alimento, es decir, tratamientos Mín y Mín-10%, encontramos que la concentración de sólidos era estadísticamente menor en comparación con otros tratamientos, es decir, Máx y Máx+10%. Este resultado es prometedor y tiene alcances significativos, ya que implica eliminar menos sólidos y tener un impacto ambiental reducido de los efluentes.

La cantidad de hidróxido de calcio añadida diariamente fue responsable de mantener el pH por encima de 8,2. Los niveles de alcalinidad en todas las unidades experimentales se mantuvieron por encima de 120 mg de CaCO_3 /L mediante la suplementación con cal hidratada al 20 % del peso del alimento proporcionado diariamente al inicio del experimento y ajustado durante todo el periodo de

cultivo. El metabolismo tanto de bacterias heterotróficas como nitrificantes da lugar al consumo de alcalinidad en ambientes acuícolas y para contrarrestar esto, se aplica hidróxido de calcio en una proporción del 20 % del alimento ofrecido diariamente en los tanques de cría.

Las mayores tasas de conversión alimenticia observadas coinciden con las mayores tasas de alimentación; y esto puede atribuirse a: la menor utilización de bioflóculos como fuente de alimento debido a una mayor disponibilidad de alimento. La **Tabla 3** muestra que menos suministro de alimento resultó en pesos promedios sin una diferencia significativa en comparación con tratamientos con mayores suministros de alimento, junto con una conversión aceptable de 1,63. Esto enfatiza la importancia de optimizar tanto la tasa de alimentación como el número de raciones diarias bajo diversas condiciones de manejo.

En el presente estudio, el peso final de las postlarvas no difirió significativamente entre los tratamientos, demostrando que el rendimiento de crecimiento de los animales no se vio afectado por las menores tasas de alimentación.

Los tratamientos con tasas de alimentación más bajas resultaron en un buen rendimiento de crecimiento, junto con conversiones favorables de alimentación, para el cultivo de camarones después de la fase de precría. La menor TCA, coincidente con el rendimiento de crecimiento que no difirió del de las tasas máximas, indica que las cantidades utilizadas en la tasa de alimentación y el alimento no causaron desnutrición. Esto resalta la posibilidad de reducir la cantidad de alimento en la fase de precría en sistemas de BFT sin afectar el rendimiento productivo. Teniendo en cuenta que los costos de los alimentos pueden representar > 60 % de los costos totales en las operaciones superintensivas de camarones, esto supondría un avance

importante. Una reducción del consumo de alimentos no solo mejoraría la eficiencia de las operaciones acuícolas, sino que también reduciría los impactos medioambientales relacionados con la fabricación de alimentos acuícolas en forma de reducción de harina de pescado y aceite de pescado, disminuyendo así, por ejemplo, la presión sobre las poblaciones de peces salvajes.

Los sistemas biofloc superintensivos pueden reciclar nutrientes y transformar residuos orgánicos en una fuente natural de alimento para los camarones. En este contexto, los ajustes a las tablas de alimentación pueden ser más conservadores, ya que los camarones pueden cubrir parte de sus necesidades nutricionales mediante bioflóculos presentes en el sistema. Esto permite reducir la dependencia de los alimentos comerciales, lo que resulta en ahorros de costos y un menor impacto ambiental.

Observamos un rendimiento consistente en todos los tratamientos. Cabe destacar que la reducción en el suministro de alimento no afectó significativamente la productividad, lo que sugiere la robustez del sistema para mantener rendimientos consistentes bajo condiciones de alimentación más bajas. Esta observación tiene implicaciones prácticas para optimizar las estrategias del manejo de alimentos, demostrando el potencial para mantener la productividad y, al mismo tiempo, reducir potencialmente los costos de los alimentos. Es importante destacar que nuestros hallazgos coinciden con los niveles de productividad reportados en diversos estudios científicos, reforzando la fiabilidad de las tendencias observadas.

En la acuicultura en general, y en la cría de camarones en particular, el manejo de la alimentación puede influir en la composición corporal general de los animales. Factores como la formulación de la dieta, la frecuencia de alimentación y la disponibilidad de nutrientes pueden influir directamente en la

absorción de los nutrientes. Nuestro estudio subraya la importancia de investigar prácticas de alimentación para la cría sostenible de camarones con el fin de promover una mayor eficiencia en el crecimiento y una reducción del impacto ambiental. En particular, nuestros resultados no indican diferencias significativas en el contenido de nitrógeno y fósforo de los camarones entre las distintas tasas de alimentación. Esto sugiere que las diferentes estrategias no influyeron en la acumulación de nutrientes en los camarones. Este hallazgo invita a examinar más de cerca la utilización de nutrientes durante la fase de precría, un campo de investigación que podría ofrecer valiosas perspectivas para optimizar las prácticas de cultivo basadas en biofloc de manera sostenible.

CONCLUSIÓN

Una tasa de alimentación ajustada un 10 % menos que el valor mínimo proporcionado en la tabla de Van Wyk (1999) no afectó estadísticamente el peso promedio final, la productividad o la sobrevivencia de los camarones, permitiendo un valor significativamente menor de TCA en comparación con el de los grupos Máx y Máx+10%. Además, el tratamiento Mín-10% resultó en un menor deterioro de la calidad del agua debido a valores significativamente más bajos de compuestos nitrogenados y SS en comparación con los tratamientos Máx y Máx + 10 %.

Esta es una versión resumida, elaborada por el cuerpo editorial de "El Acuicultor", del artículo original "Evaluation of feeding table optimizations in Pacific white shrimp nursery biofloc systems" escrito por Padilla, A.M., Martins, M.A., Carneiro, R.F.S., Franch, F.C.L., De Lorenzo, M.A. y Vieira, F.N. 2024. Boletín do Instituto de Pesca, Vol. 50. <https://doi.org/10.20950/1678-2305/bip.2024.50.e895>

UN ALIADO PARA EL CRECIMIENTO



**La Sociedad Venezolana de Acuicultura y
TRICAL DE VENEZUELA C.A.**

**Juntos por una acuicultura venezolana
más fuerte y tecnificada**



BIENESTAR DE LA TILAPIA Y EL CAMARÓN: UN LENGUAJE COMÚN PARA GRANJAS, MERCADOS Y CONSUMIDORES

Napatsorn Torchareon^{1,2} y Pau Badia Grimalt^{1,2}

¹Creative Labs Asia, ²Representantes de FAI Farms



En la acuicultura, hablamos todos los días sobre la calidad del agua, la tasa de supervivencia, el costo del alimento y los precios a puerta de granja. Sin embargo, hay otra palabra que está entrando cada vez más en estas conversaciones: "bienestar de los animales acuáticos", el cual no es para nada un concepto nuevo o lejano para los

productores. La Organización Mundial de Sanidad Animal (OMSA) define el bienestar animal como un estado en el que: "Un animal tiene un buen nivel de bienestar si está sano, cómodo, bien alimentado, seguro, es capaz de expresar su comportamiento innato y no sufre estados desagradables como el dolor, el miedo o la angustia".

En pocas palabras para los productores, los animales con un buen bienestar tienen buena salud, viven cómodamente, reciben suficiente alimento, se sienten seguros, pueden expresar su comportamiento natural y no sufren de dolor, miedo o angustia.

Si ha estado cultivando tilapia o camarón blanco durante muchos años, esta definición le resultará familiar: es exactamente lo que ha estado intentando lograr todo el tiempo. La única diferencia es que, hasta ahora, es posible que no hayamos agrupado todos estos esfuerzos bajo el término formal de "bienestar animal".

Los principios de bienestar ayudan a organizar lo que las granjas ya hacen

A nivel de granja, el bienestar de los animales acuáticos no se trata de añadir otra lista de verificación que complique la vida de los productores sin motivo alguno. En cambio, ayuda a organizar las cosas que usted ya monitorea al preguntar cuáles son las necesidades naturales básicas de los peces y camarones, y qué tan bien satisfacemos esas necesidades en los sistemas de cultivo intensivo.

Los ejemplos comunes que la mayoría de los productores conocen bien incluyen:

- Cuando los peces boquean en la superficie, esto indica que el oxígeno disuelto es bajo, los animales están estresados, el consumo de alimento disminuye, el crecimiento se ralentiza y el factor de conversión alimenticia (FCA) empeorará.
- Cuando solo algunos grupos de peces suben a alimentarse en ciertas esquinas o la alimentación toma demasiado tiempo y los pellets no consumidos permanecen flotando,

esto a menudo señala estrés o problemas emergentes en la calidad del agua.

- Cuando los camarones cosechados muestran antenas rotas, manchas negras en el cuerpo o puntas de la cola enrojecidas, esto indica estrés antes y durante la cosecha, lo que puede provocar una menor calidad del producto y mayores tasas de rechazo en el procesamiento.

De hecho, todo esto es parte del "lenguaje del bienestar" que las granjas ya utilizan en la práctica diaria. Hoy en día, científicos y organizaciones como la Food Animal Initiative (FAI) están ayudando a estructurar este lenguaje en indicadores prácticos para la tilapia y el camarón blanco, abarcando áreas como los rangos adecuados de calidad del agua, patrones de nado y cardumen que señalan anomalías, lesiones o heridas visibles, el tamaño de partícula de alimento apropiado para el tamaño del animal y qué tan lejos se debe distribuir el alimento en la superficie del estanque.

FAI ha traducido las necesidades naturales de las especies en herramientas que permiten a las granjas evaluar si los animales en el estanque viven en condiciones que se ajustan estrechamente a sus requerimientos naturales. Cuando la respuesta es "sí", sabemos que el manejo de la granja va por buen camino; cuando es un "todavía no", esto se convierte en un punto de partida para una mejora gradual, en lugar de depender únicamente del hábito o del ensayo y error.

Bienestar = buena salud = producción sostenible

Al revisar la definición de la OMSA, el bienestar animal no es un ideal abstracto, sino que está directamente conectado con lo que los productores ya valoran: la salud, el crecimiento, la supervivencia y el factor de conversión alimenticia. Los especialistas

en acuicultura suelen decir que un buen bienestar respalda una buena salud, y una buena salud es la base de una producción estable y eficiente.

En Brasil, las granjas de tilapia que trabajan con FAI Farms han demostrado que introducir indicadores de bienestar en las rutinas de la granja y en la selección de los peces puede reducir la proporción de animales dañados que llegan a las plantas de procesamiento, mejorar la calidad del filete y disminuir las pérdidas por recorte, reduciendo así el costo total del sistema en lugar de aumentarlo. Estas experiencias desafían el temor común de que el bienestar es solo un costo adicional sin retornos económicos.

La brecha de concienciación entre las granjas y los consumidores

Aunque el bienestar de los animales acuáticos es ahora un término familiar en los círculos académicos y en las normas internacionales, muchos compradores de supermercado e incluso participantes de conferencias todavía dicen que nunca han escuchado las palabras "bienestar de la tilapia" o "bienestar del camarón". Esto coincide con las encuestas de concienciación realizadas en ferias comerciales de ganadería y acuicultura en Bangkok en marzo de 2026, donde varios consumidores generales no estaban familiarizados con el término, pero se interesaron más en los productos de granjas enfocadas en el bienestar una vez que se les explicó el concepto.

Curiosamente, al preguntarles si sería más probable que compraran productos claramente etiquetados como provenientes de animales criados con buenos estándares de bienestar, la mayoría de los consumidores respondió afirmativamente. Sin embargo, al

hacer la pregunta de seguimiento sobre si aún considerarían la compra si el precio fuera más alto, muchos cambiaron a "tendría que pensarlo" o "no estoy seguro todavía".

Esto refleja la investigación internacional que demuestra que los consumidores se preocupan genuinamente por el bienestar, pero su disposición a pagar depende tanto del nivel del aumento de precio como de si confían en que las granjas realmente están haciendo lo que afirma la etiqueta.

Para los productores y administradores de granjas, esta brecha presenta una oportunidad en lugar de un problema. Significa que el mercado aún tiene espacio para que aclaremos, demostremos y mostremos a los compradores y consumidores cómo el "bienestar animal" se vincula con la inocuidad alimentaria, la calidad de la carne y la credibilidad de toda la cadena de suministro.

Desde el cuidado en el estanque hasta un lenguaje global compartido

Al volver a la definición de la OMSA, el bienestar de los animales acuáticos no exige que cada granja se convierta instantáneamente en un modelo ideal o cambie por completo su sistema de producción. En cambio, nos invita a plantear nuevas preguntas sobre nuestro trabajo diario:

- ¿Qué tan bien están viviendo realmente nuestras tilapias o camarones, desde su propio punto de vista y no solo desde el del productor?
- ¿Qué tan cerca está lo que consideramos normal en la granja de los requerimientos naturales de los animales?

- ¿En qué aspectos podrían los pequeños ajustes de manejo mejorar tanto el bienestar animal como la estabilidad de la producción a largo plazo?

Los cursos en línea de FAI Academy, junto con herramientas como la Tilapia Welfare App, las evaluaciones de bienestar de camarones de la HydroNeo App y las insignias de bienestar de FAI, funcionan como traductores entre la experiencia en el terreno de los productores y el lenguaje científico o de las normas internacionales.

FAI ya ha realizado el trabajo de fondo de reunir lo que la tilapia y el camarón necesitan en la naturaleza y muestra cómo los productores pueden proporcionar estas condiciones en sistemas de producción reales, transformándolas en indicadores claros y medibles dentro de la granja. Cuando las granjas utilizan estos indicadores, no están simplemente marcando casillas: están verificando si los animales realmente

viven en las condiciones que necesitan, corrigiendo problemas y logrando demostrar este cuidado al mercado.

Bajo este enfoque, las insignias de bienestar no son algo que simplemente se "recibe" por registrarse; cada insignia marca un nivel específico de aprendizaje e implementación. A través de los Shrimp and Tilapia Hubs (Centros de Camarón y Tilapia), las granjas y empresas pueden obtener primero una insignia de "capacitado en bienestar" (welfare trained badge) al completar el curso fundamental y desarrollar habilidades básicas en la evaluación del bienestar. Luego, progresan hacia una insignia de "bienestar evaluado" (welfare assessed badge) al realizar evaluaciones periódicas de bienestar, recopilar datos y mostrar una mejora verificable en los resultados de la granja. Por lo tanto, las insignias ayudan a que las prácticas existentes sean más visibles y sistemáticas, y brindan a los compradores



Camarón de HydroNeo R&D en Tailandia. En colaboración con FAI Academy, HydroNeo cuenta con un curso en línea sobre indicadores de bienestar del camarón, un paso hacia la camaronicultura sostenible que se alinea con los mercados de nivel premium que enfatizan el bienestar animal y el respeto al medio ambiente.

Shrimp Hub ช่วยให้บริษัทกุ้งทำเรื่องสวัสดิภาพได้ไวขึ้น เป็นส่วนหนึ่งของ FAI Academy ซึ่งเป็นแพลตฟอร์มการเรียนรู้ระดับโลก

การลงทุนในสวัสดิภาพนำไปสู่กุ้งที่มีสุขภาพดีขึ้น ประสิทธิภาพการผลิตที่ดีขึ้น และธุรกิจที่ปรับตัวได้ดีขึ้น

→ [คลิกเพื่อดูข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับโครงการสวัสดิภาพกุ้ง](#)



SHRIMP WELFARE
TRAINED
fai



SHRIMP WELFARE
ASSESSED
fai



Los productores pueden aprender estos fundamentos de forma gratuita a través de los centros en línea de FAI o mediante otras organizaciones, y luego utilizar las insignias de bienestar y herramientas similares para demostrar que han aplicado este conocimiento en la práctica.

y consumidores una prueba independiente de que el bienestar se toma en serio en el manejo diario, y no se utiliza únicamente como un término de marketing.

Al mismo tiempo, estos cursos e insignias se construyen sobre los mismos principios subyacentes que otros programas de capacitación en bienestar animal, a saber, la definición de bienestar animal de la OMSA y su enfoque en la salud, la nutrición, el entorno y el comportamiento natural. Los productores pueden aprender estos fundamentos de forma gratuita a través de los centros en línea de FAI o mediante otras organizaciones, y luego utilizar las insignias de bienestar y herramientas similares para demostrar que han aplicado este conocimiento en la práctica.

A medida que las organizaciones de certificación global, como el Aquaculture Stewardship Council (ASC), introducen requisitos sobre el bienestar de los peces y camarones, estos pasos también ayudan a las granjas a prepararse para demostrar una

producción responsable y un rendimiento en salud y bienestar animal durante el proceso de certificación.

“Esto es esencial en un momento en que el mundo se preocupa tanto por la calidad de los alimentos como por la calidad de vida de los animales que están detrás de esos alimentos”.

En muchas cadenas de suministro, los compradores ya están pidiendo a los productores que demuestren que cultivan de manera responsable. Por lo tanto, vincular las insignias e indicadores de bienestar con el ASC y otras normas internacionales está comenzando a convertir el mejor bienestar en una ventaja económica y de mercadeo concreta, y no solo en un costo.

En última instancia, el bienestar de los animales acuáticos no es una palabra de moda ni un elemento más en una larga lista de normas. Es una forma de organizar el cuidado que los productores ya practican con sus animales para transformarlo en una fortaleza

clara para el negocio. Esto es esencial en un momento en que el mundo se preocupa tanto por la calidad de los alimentos como por la calidad de vida de los animales que están detrás de esos alimentos.

Los productores pueden aprender estos fundamentos de forma gratuita a través de los centros en línea de FAI o mediante otras organizaciones, y luego utilizar las insignias de bienestar y herramientas similares para demostrar que han aplicado este conocimiento en la práctica.

Cómo empezar si usted forma parte de la cadena de suministro

Para las granjas de tilapia y camarón blanco, plantas de procesamiento, investigadores y todos los integrantes de la cadena de suministro de productos del mar que deseen ir más allá de los eslóganes y comprender verdaderamente el bienestar de los animales

acuáticos, sugerimos lo siguiente:

- Descubra el Shrimp Welfare Hub (Centro de Bienestar del Camarón) en FAI Academy, el cual ofrece de forma gratuita principios, indicadores dentro de la granja y cursos en línea accesibles en varios idiomas locales. Estos mismos recursos también están disponibles a través del Tilapia Welfare Hub (Centro de Bienestar de la Tilapia).
- Explore los conceptos de bienestar de FAI Farms y su aplicación práctica en granjas, plantas de procesamiento o proyectos de investigación. Invitamos a pequeños productores, administradores de grandes granjas, personal de plantas de procesamiento y equipos técnicos a poner a prueba estas ideas en sus propias operaciones.

Puede acceder al artículo original en la revista Aqua Culture Asia Pacific. May/June 2026, Volume 22, Number 3, pp. 49-51, o a través del siguiente enlace: <https://issues.aquaasiapac.com/may-june-2026/>

Prilabsa

Soluciones nutricionales de alta calidad, desde 1992.

www.prilabsa.com | f in @

Logos de socios: BASF, AQUALABO, OAKION, DSM, PACER, W&ZVIL, CHEMetrics, API, NIEC, LAMOTTE, HORIBA, GAST, INTERMAS, VAN GUARD, OXYGUARD, VEE GEE, DHAUS, JINCA DE CONGELADOS, THOSCO, ZEIGLER, KEETON, HUBBARD, y otros.

ESCANÉAME

DE OLIGOTRÓFICO A HIPERTRÓFICO: UNA ANALOGÍA DEL ESTADO TRÓFICO PARA CLASIFICAR LOS SISTEMAS ACUAPONÍCOS Y BIOPÓNICOS

Cuerpo editorial de El Acuicultor



La acuaponía como ecosistema

La acuaponía a menudo se describe como un “sistema simbiótico”, lo cual es comercialmente atractivo, pero biológicamente inexacto, ya que la simbiosis implica que ambos organismos se benefician

directamente. La conexión en acuaponía se produce a través de procesos microbianos que convierten los excrementos de los peces y el alimento no consumido en nutrientes para las plantas. Aunque las plantas extraen estos nutrientes del agua, su acción mejora indirectamente la calidad del agua sin beneficiar directamente a los peces.

Existen interacciones adicionales, como la liberación de bioestimulantes por las plantas, que podrían mejorar la salud de los peces, así como la capacidad de algunos extractos vegetales para aumentar la resistencia a patógenos. Sin embargo, estas interacciones no constituyen una verdadera simbiosis, ya que los organismos en acuaponía no comparten una historia evolutiva común. En resumen, aunque las plantas ayudan a mantener la calidad del agua, esto es un beneficio emergente del diseño del sistema y no un intercambio mutualista. La noción de “simbiosis” puede, por lo tanto, desvirtuar las relaciones funcionales reales en la acuaponía.

La acuaponía se puede entender más adecuadamente como un ecosistema, donde varios compartimentos (peces, comunidades microbianas, plantas y agua) están interconectados a través de la circulación de materia y energía. En este sistema, los peces convierten el alimento en biomasa y desechos, los microbios transforman esos desechos en nutrientes asimilables, y las plantas absorben los nutrientes y generan biomasa. La clave no es la cantidad de nutrientes que provienen de los peces, sino el equilibrio entre la oferta y la demanda de nutrientes.

Si el aporte de nutrientes de la acuicultura es insuficiente, las plantas con altas demandas (como tomates o pepinos) enfrentarán problemas. Por otro lado, un exceso de nutrientes puede llevar a la acumulación de desechos y deterioro de la calidad del agua. La estabilidad del sistema se logra cuando los compartimentos están alineados en su capacidad para suministrar, transformar y utilizar nutrientes.

La relación entre los efluentes de la acuicultura y las demandas de nutrientes en la producción de plantas es limitada, lo que hace inapropiado evaluar los sistemas solo por el porcentaje de nutrientes

que provienen de los peces. El enfoque correcto es determinar si hay un equilibrio entre la oferta y la demanda de nutrientes. Los desechos acuícolas generalmente contienen nutrientes en concentraciones y proporciones que no coincide con las soluciones hidropónicas, lo que puede llevar a deficiencias que necesitan suplementación específica. A pesar de que la mineralización microbiana libera nutrientes adicionales de la materia orgánica, la estabilidad del sistema depende del equilibrio entre la capacidad de los compartimentos para suministrar, transformar y utilizar nutrientes.

Considerar la acuaponía como un ecosistema destaca sus ventajas y limitaciones, explicando por qué los sistemas pequeños con baja densidad de peces son adecuados solo para hortalizas y hierbas, y no para cultivos frutales de alto rendimiento. Además, resalta la importancia de la diversidad y la actividad microbiana, esenciales para las transformaciones de nutrientes. Esta perspectiva ecosistémica centra la atención en la funcionalidad biogeoquímica en lugar de en categorías de hardware o metáforas de marketing, ofreciendo un marco conceptual más sólido.

Una analogía de estado trófico para la clasificación

Los sistemas acuapónicos son frecuentemente descritos en términos de diseño y aportes de nutrientes, lo que no refleja adecuadamente su dinámica funcional. En limnología, los ecosistemas se analizan a través de estados tróficos que relacionan la disponibilidad de nutrientes con la productividad, donde los límites son fluidos y dependen de la reacción del sistema al enriquecimiento de nutrientes. De manera similar, los sistemas acuapónicos muestran variabilidad en las concentraciones de

nutrientes y el rendimiento de las plantas, afectados por el diseño, la gestión y la demanda de los cultivos.

Por lo tanto, un marco basado en el ecosistema, que asocie la disponibilidad de nutrientes con la respuesta de los cultivos, puede ofrecer una clasificación más significativa que los umbrales de concentración fijos. Traducir esta perspectiva desde la limnología permite clasificar los sistemas acuapónicos como oligotróficos (bajo aporte de nutrientes y rendimiento), mesotróficos (suministro equilibrado y productividad moderada) y eutróficos (alto flujo de nutrientes capaz de sustentar cultivos frutales). Esta analogía puede correlacionarse con diferentes categorías de cultivos según sus demandas de nutrientes, como se resume a continuación y se ilustra en la **Figura 1**.

Estado trófico

- Oligotrófico

Aporte de nutrientes muy bajo por parte de los peces; suplementación mínima o nula; nutrientes principalmente residuales y mineralizados continuamente por procesos microbianos.

Los rangos típicos de nutrientes son: N ~20-80 mg/L, P ~1-10 mg/L, K ~0-80 mg/L y Fe ≤ 1 mg/L.

Son, por lo general, cultivos de muy baja demanda, tales como rábano, mostaza y brotes de guisantes.

Los ciclos cortos permiten aprovechar los nutrientes residuales, pero la productividad sigue siendo limitada si se agotan el fósforo y el potasio; el riesgo de deficiencia aumenta en ciclos más largos.

- Mesotrófico

Densidad moderada de peces (~20 kg/m³) y recirculación estable; suplementación específica limitada; ciclo activo de nutrientes microbianos.

Se observan valores de nutrientes entre: ~100-180 mg/L para N, ~15-25 mg/L para P, K ~40-160 mg/L y Fe ~1-2 mg/L.

Son cultivos de demanda moderada, por ejemplo: lechuga, albahaca, espinacas, acelgas y col rizada.

Los sistemas son equilibrados; una suplementación mínima mantiene los cultivos sanos; el Fe/K suele ser la limitante.

- Eutrófico

Alto aporte de nutrientes mediante el aumento de la biomasa de peces (hasta ~100 kg/m³) y/o la suplementación específica; ciclos adicionales (por ejemplo, digestión de lodos) pueden mejorar la disponibilidad de nutrientes.

Se consiguen valores promedios de nutrientes tales como: N ~150-300 mg/L, P ~20-50 mg/L, K ~150-300 mg/L y Fe ~2-3 mg/L.

Son cultivos de alta demanda, por ejemplo: tomate, pepino, pimiento y berenjena.

Es factible cultivar plantas frutales; la demanda de nutrientes aumenta durante las etapas de floración y fructificación; la suplementación (a menudo con K, Ca y Mg) es fundamental.

- Hipertrófico

El aporte de nutrientes está dominado por fertilizantes externos; la contribución de los peces es marginal. La fertilización externa predomina (más allá de la definición de acuaponía) y es apto para cualquier tipo de cultivo.

Los rangos de nutrientes en los sistemas acuapónicos se basan en condiciones operativas funcionales en lugar de en objetivos hidropónicos ideales. Estos rangos son amplios y superpuestos para reflejar la variabilidad del sistema y se derivan de estudios experimentales sobre la dinámica

de nutrientes y el rendimiento de cultivos. Las categorías tróficas, que van de oligotróficas a hipertróficas, representan arquetipos en un continuo, no clases discretas. Las concentraciones de nutrientes varían en función del diseño del sistema, la densidad de siembra, la actividad microbiana, la especie de cultivo y la etapa de crecimiento. En particular, los rangos de potasio son inciertos y a menudo se subestiman en la literatura acerca de acuaponía.

El marco propuesto para la acuaponía no es un sistema ortogonal basado en variables independientes, sino un conjunto de arquetipos funcionales que integran características interdependientes. En la

práctica, el estado trófico (concentración de nutrientes), el origen de los nutrientes (aportes internos versus externos), el diseño del sistema y la demanda de nutrientes de los cultivos están interrelacionados y coevolucionan. Las categorías presentadas son constructos heurísticos que describen configuraciones operativas típicas, en lugar de clases discretas.

Los sistemas hipertróficos, donde el suministro de nutrientes es dominado por aportes externos, se asemejan a la producción hidropónica y deben verse como un caso límite entre acuaponía e hidroponía. Aunque una clasificación más formal basada en ejes independientes es una línea de

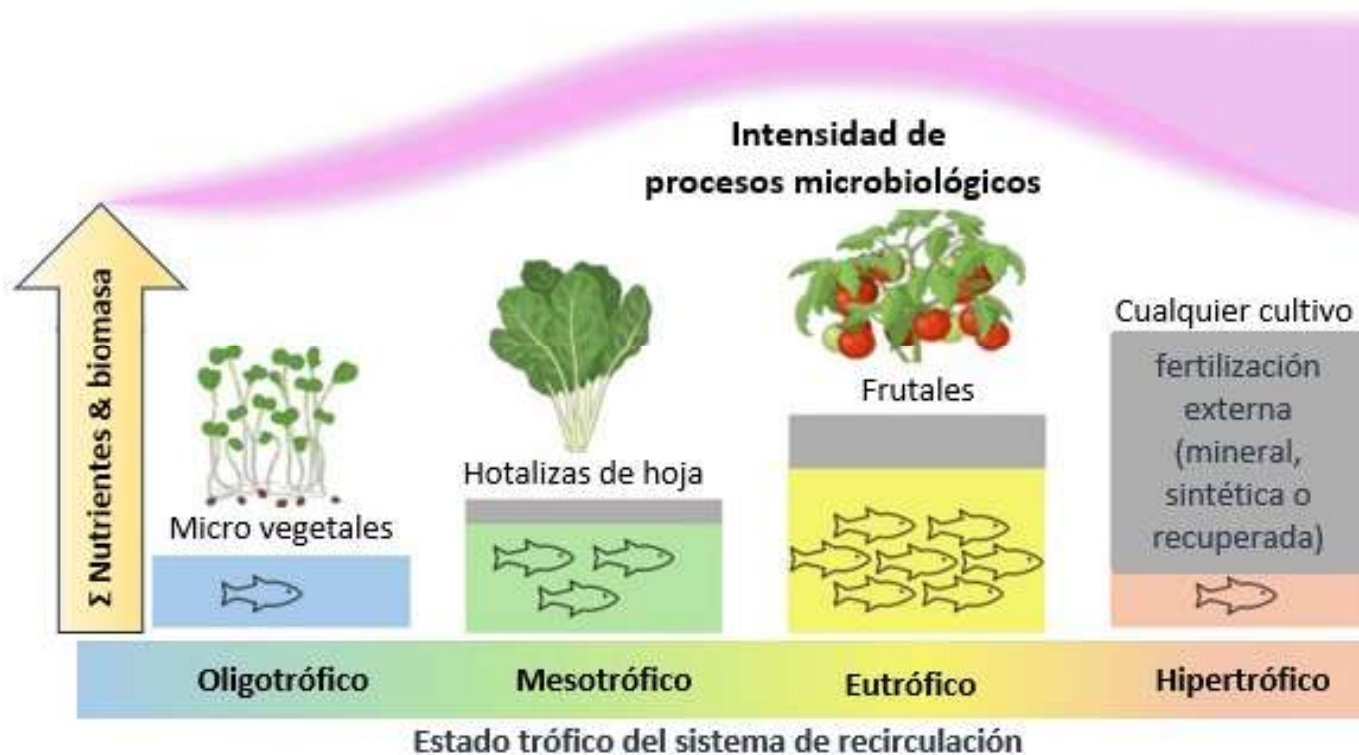


Figura 1. Analogía del estado trófico aplicada a la acuaponía y la bioaponía. Los sistemas con muy bajo aporte de nutrientes (oligotróficos) sustentan únicamente cultivos de baja demanda, como los micro vegetales; los sistemas mesotróficos sustentan hortalizas de hoja; y los sistemas eutróficos permiten el cultivo de frutos. El eje vertical representa la disponibilidad de nutrientes y el potencial de biomasa, mientras que el gradiente superior indica la creciente intensidad de los procesos microbianos necesarios para sustentar estados tróficos superiores. Las categorías deben interpretarse como arquetipos de sistemas funcionales a lo largo de un continuo, en lugar de clases discretas definidas por umbrales fijos.

investigación futura, no se aborda en esta contribución. Se utiliza la terminología de oligotróficos, mesotróficos, eutróficos e hipertróficos, tomada de la limnología, para describir la relación entre la disponibilidad de nutrientes y la productividad biológica, con los estados eutróficos o hipertróficos a menudo considerados indeseables.

En los sistemas acuapónicos y biopónicos, la disponibilidad de nutrientes y la productividad son gestionadas activamente para cumplir objetivos de producción. Por lo tanto, la terminología trófica utilizada es funcional y se refiere al suministro de nutrientes y la productividad resultante, sin implicar degradación innata.

La idoneidad de un estado trófico depende del contexto de producción: condiciones oligotróficas (bajo contenido de nutrientes) son adecuadas para cultivos de baja demanda, mientras que una mayor disponibilidad de nutrientes favorece a cultivos más exigentes. Esto significa que estados considerados problemáticos en ecosistemas naturales pueden ser operativos y productivos en sistemas artificiales.

Los sistemas se pueden clasificar a lo largo de un gradiente de suministro de nutrientes. Los sistemas oligotróficos tienen niveles mínimos de nutrientes y son adecuados para micro vegetales. Los sistemas mesotróficos mantienen un equilibrio donde los aportes de acuicultura satisfacen la mayoría de las necesidades de las plantas. Los sistemas eutróficos se caracterizan por alta densidad de peces y el uso de digestores para liberar nutrientes, lo que permite cubrir las necesidades de cultivos frutales. Finalmente, los sistemas hipertróficos son funcionalmente similares a los sistemas hidropónicos o biopónicos, donde la dinámica de nutrientes proviene principalmente de fertilizantes externos, y la contribución de la acuicultura es mínima.

Aunque las concentraciones de nitrógeno

son frecuentemente reportadas en sistemas acuapónicos, otros nutrientes esenciales como el fósforo y el potasio se cuantifican con menos frecuencia, lo que puede limitar la definición de estados tróficos. Mientras que los rangos de concentración de nutrientes están bien establecidos en sistemas hidropónicos optimizados para el rendimiento, estos valores no son directamente aplicables a sistemas acuapónicos, donde la disponibilidad de nutrientes depende de procesos biológicos y equilibrios del sistema.

Los estados tróficos deben interpretarse como guías aproximadas en lugar de umbrales estrictos, reflejando la variabilidad inherente de los sistemas acuapónicos. Esta analogía ayuda a capturar el comportamiento funcional del sistema: un sistema acuapónico con baja densidad de peces no puede sustentar cultivos de alta demanda nutricional, como los tomates, al igual que un lago oligotrófico no puede mantener floraciones de algas por su baja concentración de nutrientes. Por otro lado, los sistemas hipertróficos suelen acumular nutrientes en exceso, lo que puede llevar a que se considere que su etiquetado como "acuapónico" sea más una estrategia de marketing. En resumen, al situar los sistemas integrados sin suelo en un espectro de estados tróficos, se pone énfasis en la importancia del origen, la transformación y el equilibrio de los nutrientes, que son cruciales para el rendimiento del sistema.

El marco propuesto permite clasificar cualitativamente sistemas acuapónicos a lo largo del gradiente trófico. Por ejemplo, los sistemas que dependen exclusivamente de nutrientes de peces sin suplementación, aunque cultiven cosechas frutales, se consideran mesotróficos debido a limitaciones de nutrientes, como el potasio. Experimentaciones con diferentes niveles de suplementación muestran que, sin adición de nutrientes, los cultivos son limitados,

mientras que la incorporación de micro y macronutrientes mejora la productividad, reflejando un cambio hacia condiciones eutróficas.

Los sistemas intensivamente gestionados con adición dirigida de nutrientes se clasifican como eutróficos. Se destaca que la disponibilidad de nutrientes resulta de complejas interacciones dentro del sistema, no solo de relaciones simples de entrada y salida. Las configuraciones verdaderamente oligotróficas, que presentan aportes de nutrientes muy bajos, son menos documentadas, pero se observan en sistemas experimentales.

El marco conceptual también facilita la selección de cultivos y el diseño del sistema. Los sistemas oligotróficos, con bajo aporte de nutrientes, son limitados a micro vegetales. En contraste, los sistemas eutróficos pueden soportar cultivos de alta demanda, como tomates y pepinos, pero requieren ajustes en el aporte de nutrientes, incluyendo mayor densidad de peces, mejoras en la biofiltración y, a menudo, la incorporación de digestores para movilizar nutrientes del lodo.

A continuación, una guía operativa para sistemas acuapónicos y biopónicos en diferentes estados tróficos, que vincula la gestión del sistema ("Qué hacer/Qué no hacer") con la dinámica característica de los nutrientes y las demandas de los cultivos.

Estado del sistema

- Oligotrófico

Que hacer: Mantenga la población de peces muy baja; elija cultivos de ciclo corto y baja demanda (micro vegetales, hierbas aromáticas). Confíe en la mineralización microbiana para una liberación constante pero mínima de nutrientes.

Que no hacer: Se espera que los cultivos frutales prosperen. Si se aumenta la biomasa de peces sin un ajuste paralelo de la

biofiltración y la capacidad de las plantas, el procesamiento y la absorción de nutrientes no podrán seguir el ritmo, lo que provocará un desequilibrio en el sistema.

- Mesotrófico

Que hacer: Repoblar con peces a una densidad moderada; cultivar hortalizas de hoja verde y hierbas aromáticas. Complementar con Fe, K y Mg según sea necesario; las pequeñas limitaciones de micronutrientes a menudo definen el límite superior de productividad en sistemas que, por lo demás, están equilibrados.

Que no hacer: Suponga que el equilibrio de nutrientes es permanente; pequeños cambios en la densidad de población animal o en la alimentación pueden desestabilizar el sistema.

- Eutrófico

Que hacer: Aumentar el aporte de nutrientes (por ejemplo, mediante una mayor densidad de peces o la mineralización de lodos) y mejorar la capacidad de biofiltración. Cultivar plantas frutales que requieren muchos nutrientes (tomate, pepino, pimiento). Proporcionar suplementación específica (K, Ca, Mg) durante la floración y la fructificación.

Que no hacer: Cabe esperar estabilidad sin necesidad de actualizar el sistema; los sistemas con alta carga de entrada requieren una gestión activa.

- Hipertrófico

Que hacer: Reconocer que el comportamiento del sistema está impulsado principalmente por los aportes externos de nutrientes. Gestionar como un sistema hidropónico fertilizado, utilizando la acuicultura como fuente secundaria de nutrientes.

Que no hacer: Se asume que existen beneficios ecológicos significativos cuando

la contribución de los peces al suministro de nutrientes es marginal.

La descripción de estados tróficos presentada anteriormente puede ser considerada como una herramienta heurística para apoyar el diseño del sistema y la toma de decisiones, más que como un conjunto de reglas prescriptivas. En los distintos estados tróficos, las principales limitaciones cambian: de la disponibilidad de nutrientes a la capacidad de procesamiento del sistema y la intensidad de la gestión.

La transición de un estado trófico a otro requiere una cuidadosa consideración. Las transiciones entre estados tróficos no son lineales: aumentar la biomasa de peces o la densidad de plantas sin los ajustes correspondientes del sistema genera desequilibrios. Por lo tanto, el diseño de sistemas para cultivos con mayores requerimientos nutricionales exige cambios coordinados en el suministro de nutrientes (mediante la repoblación con peces o la suplementación), la capacidad de procesamiento microbiano y la configuración del sistema.

Conclusiones e implicaciones

Con demasiada frecuencia, la acuaponía se presenta de maneras que desvían la atención de su esencia. Describirla como "simbiótica" simplifica en exceso las relaciones entre peces, plantas y microbios, mientras que las clasificaciones basadas en el diseño de las tuberías o umbrales arbitrarios de nutrientes no captan su verdadero significado. La perspectiva ecosistémica es más apropiada: la acuaponía es un ecosistema gestionado donde la estabilidad depende del equilibrio funcional de los compartimentos.

El uso de la analogía del estado trófico ofrece una forma sencilla y comprensible de describir estos sistemas. Al distinguir las formas oligotróficas, mesotróficas, eutróficas e hipertróficas de la acuaponía y la bioponía, se centra la atención en los factores clave del rendimiento del sistema: el origen, el ciclo y el equilibrio de los nutrientes. Este enfoque no solo clarifica el debate conceptual, sino que también proporciona una herramienta para investigadores, profesionales y responsables políticos. Para los investigadores ofrece un marco con fundamentos biológicos. Para los responsables políticos y los posibles financiadores ayuda a evaluar cuándo un sistema es verdaderamente acuapónico y cuándo se ha desviado hacia la hidroponía con peces ornamentales. Para los profesionales deja claro por qué la elección de cultivos debe coincidir con el estado nutricional (por ejemplo, no se deben cultivar tomates en sistemas oligotróficos).

En resumen, la acuaponía no es simbiosis ni simplemente un sistema de tuberías; es bioponía: un ecosistema de múltiples interacciones y flujos de nutrientes. Reconocerla y describirla como tal ayudará a que el sector supere las disputas semánticas y avance hacia una comprensión más clara de su lugar dentro de la producción circular de alimentos.

Esta es una versión resumida, elaborada por el cuerpo editorial de "El Acuicultor", del artículo original "From Oligotrophic to Hypertrophic: A Trophic-State Analogy for Classifying Aquaponic and Bioponic Systems." Escrito por Junge, R. 2026. Reviews in Aquaculture 18, no. 3: e70172, <https://doi.org/10.1111/raq.70172>.

MÁS ALLÁ DEL FILETE: CÓMO CONVERTIR LOS SUBPRODUCTOS DEL PROCESAMIENTO DEL BAGRE AZUL DE LA BAHÍA DE CHESAPEAKE EN OPORTUNIDADES RENTABLES

Yiming Feng¹; Haibo Huang²; Jonathan van Senten³ y Michael Schwarz⁴

¹Assistant Professor and Extension Specialist, Biological Systems Engineering, Virginia Tech. ²Associate Professor, Food Science and Technology, Virginia Tech.

³Director, Virginia Seafood Agricultural Research and Extension Center, Virginia Tech.

⁴Associate Director, Virginia Seafood Agricultural Research and Extension Center, Virginia Tech



El bagre azul invasor (*Ictalurus furcatus*) se ha convertido en uno de los desafíos ecológicos más importantes para la cuenca de la bahía de Chesapeake. Introducido originalmente en los ríos de Virginia en las décadas de 1970 y 1980 como pez de pesca deportiva, su

población se ha disparado y ahora representa una seria amenaza para los ecosistemas acuáticos nativos. Estimaciones recientes indican que la biomasa total de bagre azul en los afluentes de la bahía de Chesapeake ha alcanzado aproximadamente 500 millones

de libras, lo que lo convierte en una de las especies de peces más abundantes de la región (Virginia Marine Products Board, 2024).

A medida que aumenta la pesca comercial del bagre azul para controlar la población invasora, surge una creciente oportunidad para agregar valor a lo que tradicionalmente se ha desechado. Según los interesados, solo alrededor del 25 % del pez entero se convierte en un filete comercializable. El 75 % restante, que consiste en espinas (la estructura esquelética que queda después del fileteado), cabezas, piel, vísceras y recortes, generalmente se desecha con un valor mínimo (por ejemplo, \$0,10/lb para procesadores de alimentos para mascotas, según los interesados). Esta publicación examina la composición y el potencial económico de estos subproductos y presenta estrategias de procesamiento basadas en la investigación desarrolladas en el Centro de Investigación y Extensión Agrícola de Productos del Mar de Virginia en Virginia Tech.

El desafío del bagre azul en la bahía de Chesapeake

El bagre azul es un depredador oportunista que consume prácticamente cualquier especie que encuentra. Se ha adaptado a la mayor salinidad de la bahía de Chesapeake, lo que le permite expandirse mucho más allá de sus hábitats fluviales originales. El bagre azul afecta negativamente al ecosistema de la bahía al consumir lubina rayada, cangrejo azul, sábalo, arenque, esturión del Atlántico, almejas, mejillones y otras especies nativas (Schmitt *et al.*, 2017). Los análisis del contenido estomacal han confirmado la presencia de almejas juveniles y otros moluscos en el bagre azul, evidencia directa de su impacto en especies de importancia

comercial y ecológica.

Los datos de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA) muestran que las capturas de bagre azul en la región del Atlántico Medio han aumentado drásticamente, pasando de aproximadamente 1,6 millones de libras en 2013 a más de 6 millones de libras en 2022 (NOAA Fisheries, 2026). Este crecimiento en la pesca comercial, si bien es beneficioso para la gestión del ecosistema, genera un aumento correspondiente en los subproductos del procesamiento que requieren estrategias de utilización económicamente viables.

Composición de los subproductos del procesamiento del bagre azul

El procesamiento estándar del bagre azul incluye descamación, lavado, descabezado, evisceración, desollado y fileteado. Los subproductos resultantes, que representan aproximadamente el 75 % del peso total del pescado, se pueden separar en distintas fracciones: espinazo y cabezas, piel, vísceras y carne picada residual. Cada una de estas fracciones tiene un perfil nutricional único que determina su idoneidad para diferentes aplicaciones de valor añadido.

La **Tabla 1** resume la composición nutricional de los subproductos del bagre de canal e híbrido, según la literatura publicada (Bechtel *et al.*, 2017), lo que proporciona una base útil para la comparación. La **Tabla 2** presenta la composición nutricional de las fracciones de subproductos del bagre azul de la Bahía de Chesapeake analizadas en Virginia Tech en base al peso seco (Feng *et al.*, 2025). Estos análisis de laboratorio, que miden el contenido de humedad, proteína, grasa y cenizas, proporcionan información

esencial para determinar la mejor manera de utilizar cada subproducto. Cabe destacar que la piel contiene aproximadamente un 49 % de colágeno, lo que la convierte en una materia prima particularmente valiosa para la extracción de colágeno.

Transformando subproductos en productos valiosos

Espinazo y cabezas de pescado: Proteínas y minerales

El espinazo y la cabeza se procesa mediante un tratamiento enzimático controlado que descompone las proteínas en componentes

más pequeños y útiles. Este proceso, conocido como hidrólisis enzimática, se lleva a cabo en condiciones suaves (pH casi neutro y temperaturas moderadas entre 49 y 60 °C). En estudios de optimización realizados en Virginia Tech, se analizaron cómo factores como el tiempo de procesamiento, la concentración de enzimas y la temperatura afectan el rendimiento del producto. En condiciones optimizadas, el proceso produce una proteína con una pureza del 70 al 75 %, un rendimiento superior al 40 % y una recuperación superior al 60 % en base seca. Los productos proteicos resultantes tienen un valor de mercado estimado de 5 a 10 \$/kg, y son aptos para su uso en piensos para animales, suplementos alimenticios para

Tabla 1. Composición proximal de los subproductos del bagre de canal e híbrido (en base al peso húmedo). Fuente: Datos de Bechtel *et al.*, 2017.

Componente	Espinazo	Cabeza	Piel	Vísceras
Humedad (%)	59,50	68,30	65,70	67,80
Ceniza (%)	5,10	6,70	0,60	1,00
Lípidos (%)	20,00	9,70	13,60	17,70
Proteína (%)	16,40	15,80	22,80	13,40

Tabla 2. Composición aproximada de las fracciones de subproductos del bagre azul de la bahía de Chesapeake (en base al peso seco). Fuente: Virginia Tech, análisis de Virginia Seafood AREC.

Componente	Hígado	Piel	Desechos de pescado
Humedad (%)	78,8 ± 2,7	69,5 ± 1,2	74,2 ± 5,6
Lípidos (% peso seco)	11,3 ± 0,4	23,5 ± 1,3	15,6 ± 2,0
Proteína (% peso seco)	66,9 ± 1,5	60,4 ± 0,1	56,4 ± 0,8
Cenizas (% peso seco)	7,5 ± 0,1	0,4 ± 0,04	18,3 ± 0,5

acuicultura o como ingredientes alimentarios.

El material óseo restante del proceso se trata con un lavado ácido suave a temperatura ambiente para recuperar los minerales de calcio y fosfato, que tienen un valor de mercado estimado de 3 a 5 \$/kg como suplementos minerales o insumos para fertilizantes.

Vísceras: Aceite de pescado purificado

Las vísceras se procesan mediante la extracción de grasa con etanol de grado alimenticio, seguida de centrifugación y filtración para obtener aceite de pescado purificado. Dado el favorable perfil de ácidos grasos omega-3 del bagre azul, el aceite de pescado resultante tiene un valor de mercado estimado de entre 8 y 15 \$/kg, según su pureza y grado de refinamiento. Sus aplicaciones incluyen suplementos dietéticos, nutrición animal y formulaciones de piensos para acuicultura.

Piel: Colágeno

La piel del bagre azul, que contiene aproximadamente un 49 % de colágeno (medido mediante química húmeda en Virginia Tech), es el subproducto de mayor valor. La piel se desengrasa primero con etanol de grado alimenticio, seguido de la extracción de colágeno mediante una solución ácida suave y un tratamiento con enzimas naturales. El colágeno derivado del pescado alcanza precios elevados

de entre 20 y 30 \$/kg al por mayor para los mercados cosmético, nutracéutico y biomédico. El colágeno de grado farmacéutico altamente purificado puede alcanzar precios significativamente más altos, ya que constituye una alternativa al colágeno derivado de mamíferos con menos restricciones religiosas y dietéticas.

La **Tabla 3** ofrece un resumen de los flujos de subproductos y sus valores de mercado estimados.

Evaluación del impacto económico

Análisis del valor por kilogramo

Partiendo de residuos valorados en aproximadamente 0,20 \$/kg (0,10 \$/lb), cada kilogramo de subproducto produce aproximadamente 0,3 kg de sólidos recuperables. La **Tabla 4** presenta el desglose teórico del valor de mercado estimado a partir de 1 kg de residuos. Estas cifras representan los valores estimados de mercado mayorista de los productos recuperados, no los beneficios netos. Al tener en cuenta los rendimientos del procesamiento, la mano de obra, la energía y los costos de los equipos, se puede alcanzar un valor de mercado realista por kilogramo de entre 0,60 \$ y 1,00 \$/kg (0,30 \$ y 0,50 \$/lb) para lo que de otro modo se consideraría residuo.

Tabla 3. Resumen de los flujos de subproductos y valores de mercado estimados. Fuente: Virginia Tech, estimaciones de Virginia Seafood AREC basadas en datos del mercado mayorista.

Subproductos	Producto	Valor estimado (\$/kg)	Aplicación
Espinazo y cabeza	Proteína hidrolizada	5-10	Piensos, ingredientes alimentarios
Residuo óseo	Calcio y fosfato	3-5	Suplementos, fertilizantes
Vísceras	Aceite de pescado	8-15	Nutraceuticos, piensos
Piel	Colágeno	20-30	Cosméticos, productos

Tabla 4. Desglose teórico del valor de mercado estimado de 1 kg de subproducto de bagre azul.

Componente	Cantidad recuperable (por kg de residuos húmedos)	Valor estimado
Proteína	0,17 kg	\$0,80-\$1,70
Lípidos	0,05 kg	\$0,40-\$0,80
Colágeno derivado de la piel	0,015 kg	\$0,30-\$0,40
material mineral	0,06 kg	\$0,20-\$0,30
Total teórico	~0,30 kg	\$1,70-\$3,20/kg

Nota: Los valores de mercado de los productos citados anteriormente se obtuvieron de plataformas de venta mayorista en línea y publicaciones especializadas del sector en 2025. Estos precios están sujetos a fluctuaciones según las condiciones del mercado, la calidad, la pureza, el volumen y la región geográfica del producto. Los autores no garantizan la exactitud de estos precios al momento de la lectura y no se responsabilizan de las decisiones financieras que se tomen con base en estas estimaciones. Se recomienda a los lectores realizar su propia investigación de mercado y consultar con compradores del sector antes de tomar decisiones de inversión.

Implicaciones para la industria pesquera de Virginia

El procesamiento de subproductos del bagre azul para la obtención de valor añadido representa una convergencia entre la gestión ecológica y la oportunidad económica. Al crear mercados rentables para estos subproductos, se incentiva a los procesadores a aumentar los volúmenes de captura, lo que contribuye directamente a los

objetivos de gestión de especies invasoras en la bahía de Chesapeake. Este enfoque se alinea con los principios de la bioeconomía circular: minimizar los residuos y maximizar la extracción de valor de los recursos biológicos.

Las principales implicaciones para las partes interesadas incluyen las siguientes:

Pescadores comerciales: Aumenta la demanda de bagre azul entero, ya que las empresas procesadoras buscan subproductos como materia prima, lo que podría mejorar los precios en el muelle y los incentivos para la pesca.

Procesadores: Nuevas fuentes de ingresos procedentes de la venta de subproductos que pueden mejorar significativamente la rentabilidad general y reducir los costos de eliminación de residuos.

Gestores ambientales: La presión de la pesca impulsada por el mercado sobre las poblaciones invasoras de bagre azul como complemento a las estrategias de gestión regulatoria.

Consumidores: Acceso a productos del mar nutritivos y de origen sostenible, así como a ingredientes derivados de especies abundantes en la zona.

Empresas proveedoras de ingredientes: Oportunidades para obtener productos de proteína de pescado, colágeno, aceite de pescado e ingredientes minerales de producción nacional para su uso en formulaciones de alimentos, piensos, nutraceuticos y productos cosméticos.

Desafíos y consideraciones

Si bien el procesamiento de subproductos para la obtención de valor agregado ofrece un importante potencial económico, es necesario considerar varios desafíos. La logística de la cadena de suministro representa una preocupación primordial: los volúmenes de captura de bagre azul son estacionales y se encuentran dispersos geográficamente en múltiples afluentes, lo que puede dificultar el aseguramiento de un suministro constante de materia prima para operaciones de procesamiento continuas. La gestión de la cadena de frío desde la captura hasta la planta procesadora añade complejidad y costo.

Además, las estimaciones económicas presentadas en esta publicación reflejan los valores de mercado estimados de los productos finales, basados en precios mayoristas, no en beneficios netos. Un análisis completo de viabilidad económica debería considerar los gastos de capital (construcción o renovación de instalaciones, equipos), los costos operativos (mano de obra, energía, agua, tratamiento y eliminación de aguas residuales, embalaje), el cumplimiento normativo, los impuestos y la depreciación de los equipos. Estos factores no se incluyen en el presente análisis y variarán significativamente según la escala, la ubicación y la infraestructura existente.

Los posibles inversores y procesadores

deben realizar un análisis exhaustivo de costes y beneficios antes de comprometerse con las operaciones de procesamiento de subproductos.

Conclusión

El bagre azul de la bahía de Chesapeake, si bien representa una amenaza ecológica, ofrece un considerable valor económico sin explotar sus subproductos de procesamiento. Investigaciones realizadas en el Centro de Investigación y Extensión Agrícola de Productos del Mar de Virginia demuestran que un enfoque de bioprocesamiento integrado puede transformar los desechos de pescado, actualmente valorados en \$0,20/kg (\$0,10/lb), en productos proteicos, aceite de pescado purificado, colágeno y productos minerales con un valor real combinado de \$0,60-\$1,00/kg (\$0,30-\$0,50/lb). Para una empresa procesadora que maneja 1 millón de libras de subproductos anualmente, esto podría representar cientos de miles de dólares en ingresos adicionales, al tiempo que contribuye a la salud ecológica de la bahía de Chesapeake.

Referencias

Puede acceder a las mismas a través del artículo original o a través del cuerpo editorial de la Sociedad Venezolana de Acuicultura.

Artículo original: Feng, Y.; Huang, H; van Senten, J y Schwarz, M. 2026. Beyond the Fillet: Turning Chesapeake Bay Blue Catfish Processing Byproducts into Profitable Opportunities. Virginia Cooperative Extension publication. BSE-387P

<https://www.pubs.ext.vt.edu/BSE/bse-387.html>

LA INDUSTRIA VENEZOLANA DE ALIMENTO BALANCEADO SE ADAPTA A LAS EXIGENCIAS DE SOSTENIBILIDAD: ADOPCIÓN DE CERTIFICACIÓN ASC DE ALIMENTOS PARA ACUICULTURA

Cuerpo editorial de El Acuicultor

Las certificaciones están despertando cada vez más interés por su orientación al desarrollo de actividades productivas sostenibles, basándose en la responsabilidad ambiental y social. AQUACULTURE STEWARDSHIP COUNCIL (ASC) es la organización creadora del esquema de certificación en acuicultura más prestigioso a nivel internacional.

El Estándar de Alimento para Acuicultura de ASC es uno de los programas más llamativos y novedosos en la actualidad, sobre todo en el ámbito venezolano. Fue lanzado en enero de 2023, permitiendo que durante ese año y el siguiente la industria acuícola y del balanceado se informara y adaptara, para comenzar a exigirlo en octubre de 2025 como mandatorio para las granjas certificadas ASC. El estándar se basa en cinco principios:

1) Debido cumplimiento del marco legal por parte de la empresa, en lo relativo a requisitos laborales, exigencias ambientales y responsabilidades sociales.



2) Código de conducta aplicado a profundidad a fuentes de suministro de ingredientes, insumos y servicios.

3) Procesos de Producción compatibles con el esquema ASC.

4) Requerimientos de ingredientes de origen marino.

5) Mínimo impacto en deforestación y conversión de suelos.

A pesar del escaso tiempo transcurrido desde su lanzamiento, ya ha sido adoptado por 135 organizaciones a nivel mundial. En nuestro país, ya hay tres plantas certificadas con este novel estándar, todas en su versión 1.01 y con balance de masas como modelo de producción. Hay una cuarta en proceso, pero ya con la versión 1.2 del estándar y contemplando ambos modelos de producción (balance de masas y segregación).

La primera en obtener la certificación fue AGROPECUARIA NIVAR, C.A. (AGRONIVAR), el 9 de marzo de 2026, con el código ASC02989. La auditoría requerida inició el 04-11-2025 y culminó el 16-12-2025.

Casi de inmediato, el 17 de marzo de 2026, la planta ABA de PRODUCTORA OCCIDENTAL PORCINA, C.A. (PROPORCA) obtuvo su certificación, bajo el código ASC02987, siendo auditada entre el 11 y el 18 de noviembre de 2025.

Más recientemente, el 22 de junio de 2026, AGROPECUARIA LOS POTREROS C.A. (ABA POTREROS) logró su certificación, correspondiéndoles el código ASC03050. Las instalaciones fueron auditadas entre el 18 de febrero y el 23 de marzo de 2026.

Y en proceso de ser certificados, se encuentra BALANCEADOS LAMAR, C.A. (BALAMAR). Aunque aún se encuentra en la fase de auditoría inicial, ya está registrada con el código ASC03109. La visita de inspección está pautada para noviembre de 2026.

Celebramos que la industria ABA venezolana se adecúe a estos exigentes esquemas de certificación, como una muestra del compromiso por la sostenibilidad de la actividad acuícola y el mantenimiento de la excelencia en la producción camaronera.

Agradecemos a Marcos Moya, Gerente Global de Relaciones con Productores y Desarrollo de Mercado de ASC, haber compartido algunos datos para la elaboración de esta nota. Les recomendamos revisar la página web de ASC, <https://asc-aqua.org/find-feed-mill/>.

AGRONIVAR

José Miguel Ormo, Gerente de Comercialización, y Marielba Salcedo, Gerente de Sistema de Gestión de Calidad de AGRONIVAR, nos ofrecieron información a este respecto.

“El Grupo Nivar cuenta con más de 50 años de tradición productiva en el sector avícola. Lo que inició como un emprendimiento familiar y humilde, impulsado por la capitalización de experiencias previas en organizaciones exitosas, consolidó en los años 80 su planta de alimentos balanceados como una iniciativa lógica de integración vertical y manejo estratégico. La incursión del grupo en la camaronicultura comenzó en 2017 como un mecanismo clave de diversificación productiva. Aunque las analogías operativas con la avicultura facilitaron la comprensión rápida del negocio, estructurando y organizando la nueva división, los directivos coinciden en que fue una etapa desafiante y compleja que se superó con éxito. Entendimos que la certificación ASC significaba inicialmente un diferencial en el mercado, para luego convertirse en exigencia comercial imprescindible. Bajo esta premisa, la granja **Aquacultivos Nivar C.A. (AQUANIVAR)** alcanzó su certificación en junio de 2024. Mantener este estatus global exigía, además, que la planta de alimento balanceado adoptara el nuevo estándar de la misma organización (ASC Feed Mill Standard). Este nuevo esquema técnico supera considerablemente la complejidad de las certificaciones de granjas, ya que su cumplimiento está sujeto a múltiples factores externos y dinámicas de la cadena



Planta ABA de AGRONIVAR.

de suministro global, que se tornan aún más intrincadas bajo el contexto geopolítico. El esfuerzo del equipo humano, coordinado por Salcedo, permitió obtener esta certificación antes que el resto de las empresas del circuito nacional que perseguían el mismo objetivo. Uno de los mayores desafíos, y consecuentemente uno de los logros más significativos para AGRONIVAR, fue demostrarles a los auditores internacionales que en Venezuela existe el conocimiento técnico y la aptitud para adoptar normativas de vanguardia, posicionando a la empresa como un referente que abre el camino para el resto de la industria local. Otros desafíos importantes fueron la evaluación profunda de los proveedores, para asegurar el nivel de cumplimiento que exige el estándar, sin dejar de lado los aspectos logísticos y de seguridad que las circunstancias del momento imponían. Fueron 16 meses de implementación del estándar, de interacciones con ASC y el Organismo Auditor, Control Union, para concretar la certificación.

Sumado al respaldo de la certificación ASC, la empresa cuenta desde enero de 2026 con el sello **HACCP otorgado por FONDONORMA**, reafirmando su filosofía de que la normalización es el mecanismo idóneo para la optimización de la eficiencia operativa.

De cara al futuro, el engranaje entre ambas divisiones sigue marchando. Grupo Nivar avanza en proyectos que incluyen adecuaciones de infraestructura en la granja **AQUANIVAR** para alinearse a las nuevas exigencias, y la instalación de una línea de peletizado exclusiva para camarón en la planta de Alimentos Balanceados para Animales (ABA). Actualmente, la producción se ubica en torno a las 600 toneladas métricas (tm), con una proyección orientada a alcanzar las 1,000 tm mensuales. Si bien la granja **AQUANIVAR** es el destino prioritario del alimento fabricado, la planta también abastece a otros actores del circuito camaronero nacional, consolidando un factor diferenciador clave basado en la economía circular y la autonomía productiva.



José Miguel Ormo.
Gerente de Comercialización.

Vemos con mucho optimismo el panorama productivo venezolano, lo que nos permite proyectar un crecimiento importante en el futuro inmediato. A pesar de los desafíos, los estamos superando y existe un notable interés internacional sobre lo que estamos logrando en Venezuela. Tenemos ventajas comparativas, como la elevada integración de las diferentes fases productivas por parte de los grupos principales, que nos permiten asegurar una calidad de nuestros productos reconocida internacionalmente. Los valores de sostenibilidad han permeado la cultura organizacional, lo cual nos lleva a tener un interacción ambientalmente respetuosa y alta responsabilidad social. Estamos mostrando otra cara del país, más positiva que el grueso de las noticias presenta."

PROPORCA

Leomerys Zambrano, Gerente Administrativo de Operaciones de PROPORCA, nos dio detalles de lo que significó este proceso:

"Como empresa fabricante de alimento balanceado en Venezuela, asumimos el reto de transformar nuestros procesos para



Marielba Salcedo Villasmil.
Gerente de Sistema de Gestión de Calidad.

obtener la exigente certificación ASC. Este logro no fue un camino sencillo; significó una revisión profunda y rigurosa de cada aspecto de nuestra operación, obligándonos a redefinir flujos de trabajo e implementar métricas de control mucho más estrictas. Con esto, demostramos que la industria nacional está a la altura de los estándares globales y lista para abastecer con insumos certificados a las empresas productoras de camarón del país que también comparten este sello.

Este hito es el resultado directo del esfuerzo, la disciplina y la resiliencia de nuestro personal completo. Expresamos nuestro más profundo agradecimiento a cada uno de los trabajadores y equipos que formaron parte de este proceso, manteniendo el compromiso en los momentos de mayor presión. Su capacidad para adoptar nuevas prácticas con entusiasmo y rigurosidad fue el verdadero motor que nos llevó a la meta, demostrando el valor y la capacidad técnica de nuestra gente.

Lejos de ser el final del camino, la certificación ASC es el inicio de una nueva forma de



Planta ABA de PROPORCA.

operar que ratifica nuestro compromiso con la calidad, la sostenibilidad ambiental, el bienestar laboral y la responsabilidad social. Este sello respalda que trabajamos de la mano con un trato justo y digno hacia nuestro personal y nuestras comunidades vecinas. Así, reafirmamos que en Venezuela se produce con estándares de clase mundial, demostrando que la rentabilidad económica y la responsabilidad socioambiental avanzan juntas.

BALAMAR

María Laura Andrade, Coordinadora en Sistemas Integrados de Gestión de Certificaciones y Permisología, nos ofreció algunos comentarios:

“El camino hacia la certificación ASC Feed para la producción de alimentos balanceados de camarón en Venezuela representa un desafío estructural de madurez

y adaptación técnica. Nuestra visión al asumir la implementación de este estándar dentro de la organización trasciende la obtención de un sello de cumplimiento; se trata de una transformación integral diseñada para redefinir nuestro modelo de gestión, homologando nuestras operaciones con las mejores prácticas de empresas de clase mundial.

El verdadero valor del estándar ASC radica en el rigor de sus pilares. En nuestra experiencia, el foco principal ha sido consolidar sistemas robustos de trazabilidad y segregación absoluta para el Suministro Responsable de Materias Primas, asegurando el control técnico de los ingredientes marinos y terrestres. Asimismo, la integración de los Criterios de Desempeño Ambiental y Responsabilidad Social nos ha permitido elevar los estándares de bienestar laboral y eficiencia energética. El éxito de estos indicadores no se queda en el papel; radica



Planta ABA de BALAMAR.

en nuestra capacidad de enlazarlos con las regulaciones nacionales y otros estándares internacionales, convirtiendo el sistema de gestión en un núcleo estratégico.

Por ello, hemos estructurado y capacitado a un equipo multidisciplinario de alto rendimiento ya que lograr un nivel de excelencia operativa es inviable desde un departamento aislado, por lo que también nos hemos enfocado en lograr que el compromiso con la norma involucre de forma transversal a toda la estructura de la planta: desde la alta dirección hasta el personal operativo.

Liderar este proceso nos demuestra que la robustez técnica se traduce directamente en prestigio internacional, apertura de mercados y una evidente eficiencia económica, Posicionando a nuestro sector con el más alto prestigio ante los mercados internacionales."



**María Laura Andrade.
Coordinadora en Sistemas Integrados
de Gestión de Certificaciones y
Permisología.**

BREVES NOTAS SOBRE EL CULTIVO DE LA PAGUARA, *CHAETODIPTERUS FABER*, EN EL NORORIENTE DE VENEZUELA

Jesús Alberto Rosas Cabrera / chucubagua@gmail.com

Instituto de Investigaciones Científicas. Universidad de Oriente, Núcleo de Nueva Esparta, Boca de Río, isla de Margarita, Venezuela.

Chaetodipterus faber (Broussonet, 1782) es un pez marino perteneciente a la familia Ephipiidae, del orden Acanthuriformes, muy común en todo el Atlántico occidental, desde Massachusetts (EE. UU.) hasta Rio Grande do Sul (Brasil). Suele habitar en aguas costeras, en ambientes de manglares, playas arenosas, arrecifes coralinos o sustratos variados hasta 45 m de profundidad, alimentándose de plancton e invertebrados bénticos (crustáceos, moluscos, anélidos, cnidarios, etc.). En Venezuela se le conoce como paguara, mientras que en otras naciones se le refiere como paguala, isabelita, chabela, luna, mochila, paru, angelfish, butterflyfish, Atlantic spadefish, ocean cobbler, moonfish, threetailed porgy, meriketas, entre otros (Foese & Pauly 2024). Debido a la calidad de su carne, es apreciado como un manjar, adquiriendo notoriedad en diversas regiones de su distribución.

A partir de 1983, la paguara constituyó el elemento central de una visión para el desarrollo de la piscicultura marina venezolana. En esa oportunidad, el Prof.

Alfredo Gómez, a la sazón Director del Centro de Investigaciones Científicas de la Universidad de Oriente (UDO-CIC), en su campus de Boca del Río, empezó a coordinar y ejecutar diversos proyectos de investigación con el propósito de crear el paquete tecnológico de este efípido. Primeramente, se realizó su desarrollo embrionario y larval, sirviéndose de distintos alimentos, como el rotífero *Brachionus plicatilis* y diferentes microalgas, destacando las especies *Tetraselmis chuii*, *Nannochloris oculata*, *Isochrysis galbana* y *Chaetoceros gracilis*. Paralelamente, probaron diferentes dosis de la hormona gonadotropina coriónica humana (GCH), para establecer un protocolo satisfactorio para la inducción al desove (Gómez, 1984). Por otra parte, ensayaron el crecimiento de juveniles en jaulas flotantes durante un ciclo de cultivo de un año (Gómez & Lárez, 1984). Posteriormente, alcanzaron la masificación en la producción de juveniles (Gómez, 1992). Más adelante, evaluaron el efecto de la disminución de la salinidad en el desempeño de *Chaetodipterus faber* en eclosión larval y engorde (Gómez Gaspar &



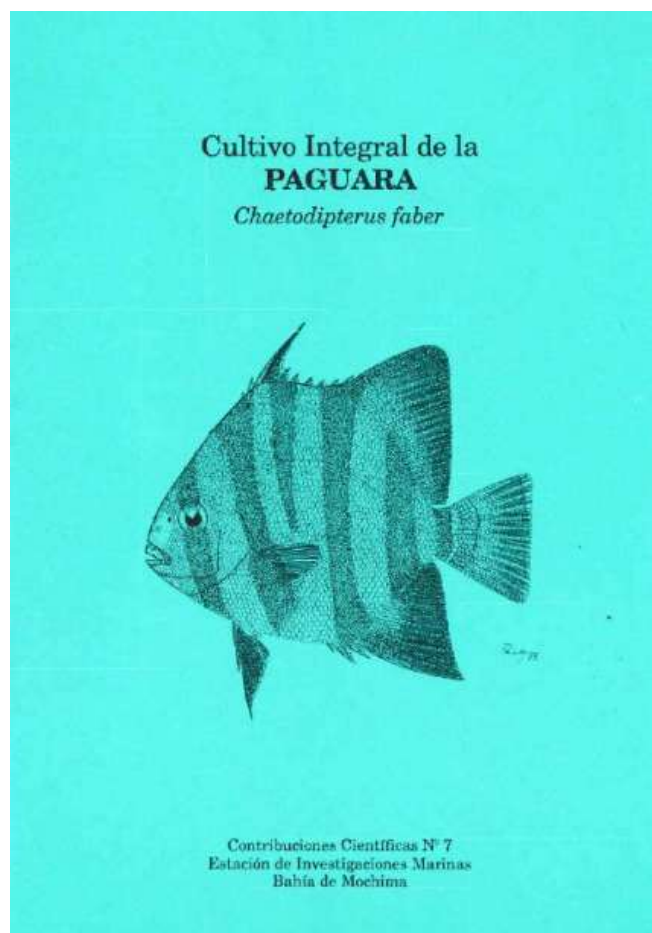
Ejemplar de paguara, *Chaetodipterus faber*. Imagen de Brian Gratwicke (www.flickr.com).

Contreras Herrera, 1996). Los valiosos datos generados en estos trabajos fortalecieron las perspectivas de la paguara como una de las especies más prometedoras para la piscicultura marina tropical americana (Gómez Gaspar & Cervigón, 1987, Gómez, 2002).

El Biól. Ramón Manrique lideró otro equipo de trabajo, con base en la Fundación José Gregorio Hernández o Fundaciencia en la bahía de Mochima, Sucre. Experimentaron todas las áreas del cultivo, afinando las técnicas ya establecidas. Para la inducción a la ovulación y el desove, trabajaron con LHRH, en dosis comprendidas entre 10 y 50 ng/g, logrando hasta 40,7% de fertilización. Con relación al levantamiento, diversificaron la dieta, incluyendo nauplios de *Artemia* y el mysidáceo *Mysidium gracile*, alcanzando

sobrevivencias hasta de 44,5%, con ciclos entre 23 y 25 días (Manrique, 1990).

En 1992 trabajamos probando dietas en base a harina o propiamente balanceado para camarones (*Penaeus vannamei*), pollos (*Gallus gallus*), así como sardina (*Sardinella aurita*). Los resultados de conversión alimenticia fueron 3,88 usando alimento para camarones, 7,52 al emplear pollarina y 4,76 al usar la mezcla arenque/camaronarina. Este enfoque no era ideal, obviamente, debido a los diferentes hábitos alimenticios y requerimientos nutricionales entre las especies involucradas, pero era lo más accesible de usar en esa época. En el caso de la paguara, su alimentación consiste en gusanos (anélidos), esponjas, ascidias, briozoarios, macroalgas, estrellas de mar, pepinos, anémonas, crustáceos y cténoforos.



La paguara es una especie con bajo rendimiento en carne, un 41,18 %, lo cual es poco atractivo para impulsar operaciones de engorde, aunque su demanda podría justificarlo, pero debe estudiarse.

Para impulsar la paguara como especie emblemática de la piscicultura marina en Venezuela es necesario comenzar con un pie de cría genéticamente diverso, idealmente conformado de individuos procedentes de diferentes zonas del mar Caribe. Unas localidades recomendadas para obtener animales serían Guayacancito (isla de Margarita), Charagato (isla de Cubagua) y Los Frailes. Cada grupo de peces debería marcarse diferencialmente, a nivel del opérculo. En cuanto a infraestructura, conviene disponer de jaulas, corrales y tanques especiales. Su cultivo se viene proponiendo sin tomar en consideración estudios de demanda en mercados nacionales e internacionales, opciones de valor agregado, existencia de un alimento óptimo para fase inicial y de engorde, ni producción masiva de larvas. Aunado a todos estos elementos, se carece de un equipo multidisciplinario dedicado a este tópico actualmente. Muchos detalles que abordar, pero resolubles si existe voluntad y recursos.

Referencias disponibles a solicitud al correo del autor.



Extracción de filetes de paguara.

DESTABANDO EL DESARROLLO ACUÍCOLA VENEZOLANO

Equipo Editorial de la SVA

El potencial acuícola de Venezuela es ampliamente reconocido como inmenso. Bondad climática. Diversidad de recursos hídricos y biológicos. Capital humano. Sin embargo, siempre es eso, un potencial que no se termina de materializar. Los avances han sido importantes, pero igualmente los retrocesos. A diferencia del contexto internacional, donde es claro el avance constante. A pesar de ser pioneros en muchos rubros, nuestro papel se ha venido desluciendo. El desarrollo de la acuicultura nacional exige la ejecución sin demora de iniciativas sólidas, algunas propias al sector productor y otras desde las más altas instancias del estado. A continuación, esbozaremos algunas de ellas, surgidas de la interacción con diversos actores de nuestro circuito productivo.

Agremiación

El sector camaronero, agrupado en torno a ASOPROCO, ha logrado sortear difíciles obstáculos y posicionarse como una actividad económica vital para el país. Muchos de los logros de este sector probablemente deben atribuirse a este ente y su acertada dirección, que ha significado unidad de criterios y objetivos, fortaleza y representatividad. Sin embargo, el resto de la acuicultura venezolana no muestra signos de reconocimiento entre pares y mucho menos la constitución de un ente que los represente.



Ponencias en Foro Pesquero y Acuícola organizado por ASOPROCO en 2022.

Esa tarea es imprescindible y debe ser abordada por cada rubro, llegando incluso a considerar constituir una cámara acuícola.

Organizaciones como la Cámara Nacional de Acuicultura del Ecuador (CNA), la Federación Colombiana de Acuicultores (FEDEACUA) o la Asociación Empresarial de Acuicultura Española (APROMAR) ilustran muy bien lo que la agremiación puede lograr por el desarrollo acuícola de sus respectivos países.

Mercado

En Venezuela solemos enfocarnos en los



Campaña de promoción del consumo de camarón por Global Shrimp Council, en Venice Beach, California, EEUU.

aspectos técnicos del cultivo, en como producir más o cómo ser más eficientes. Pero con frecuencia descuidamos la dinámica del mercado. Lo que haremos con esa producción, o si será siempre bien recibida por el mercado no está siempre claro. Los consumidores son cada vez más exigentes y los precios tienden a la baja a nivel internacional. Es imperativo abordar activamente el tema del mercado, desde el primer momento, incluso desde la escogencia del rubro a producir, la talla o el formato de presentación (valor agregado).

La promoción del consumo es una iniciativa que se está asumiendo cada vez más, con grandes resultados, apalancándonos en los excelentes perfiles nutricionales de los productos acuícolas y en su competitividad con otras proteínas.

Simplificación de la permisería

Tenemos décadas hablando de la reducción de trámites administrativos para facilitar la operatividad de las unidades acuícolas. No obstante, lejos de disminuir, éstos se han incrementado, como los complejos trámites para acceso a combustible o la reciente guía de movilización exigida para alimentos balanceados. Y si sumamos la lentitud burocrática, el escenario se torna desmotivador, frustrante para el emprendedor en acuicultura. Mientras que en otros países de la región se pueden cumplir todos los pasos administrativos en meses, en Venezuela se habla de años. Urge simplificar ese esquema, cumpliendo pautas técnicas lógicas por supuesto, pero dando respuestas oportunas a los administrados.



Imagen generada por IA.

Eliminación del IVA

Las actividades primarias de la economía venezolana están exentas del pago de IVA, como una medida para reconocer su importancia fundamental. La excepción la constituye, tristemente, la acuicultura, donde se mantiene el cobro del arancel. Esta carga impositiva constituye un enorme obstáculo, que reduce la rentabilidad de las prácticas acuícolas, su competitividad en escenarios internacionales y sobre todo el acceso de nuestra población a los productos acuícolas a precios accesibles.

Si bien esta figura impositiva es relativamente común en otros países, con niveles variables, aquellos países que la han eliminado han experimentado auges importantes de su producción, siendo Ecuador el mejor ejemplo, habiendo triplicado su producción en los últimos 5 años.

Exoneración tributaria para importaciones

El sector acuícola tiene un importante requerimiento de elementos tecnológicos,

como equipos, insumos, aditivos, etc. los cuales no son producidos nacionalmente. Ellos son imprescindibles y no es factible que nuestra industria los provea de manera perentoria (aunque debe canalizarse). Facilitar la importación de los insumos necesarios significará un impulso inmediato a la producción nacional.

Fortalecimiento académico

Las instituciones educativas y de investigación venezolanas se encuentran en un estado de debilidad extrema, lo cual les impide cumplir efectivamente con todas sus funciones. Desde hace mucho tiempo, existía escasa vinculación entre la academia y la industria, pero ahora es prácticamente nula la interacción. Es imperativo su fortalecimiento, incluyendo, más allá de mejores salarios al recurso humano y dotación, imprimirles un enfoque innovador, anclado a una vinculación real al sector productivo. Precisamente en las naciones que vemos liderar la producción acuícola, se evidencia una infraestructura académica robusta, volcada hacia la formación de recursos humanos, pero también activos en el mejoramiento productivo y el desarrollo de tecnologías novedosas. Lo anterior es muy patente en Ecuador, Chile, Brasil, España y México, por citar sólo casos hispanoamericanos. Es mucho el trabajo que debemos hacer para alcanzar ese estatus en nuestro país.

Establecimiento de las concesiones acuáticas

Las actividades de maricultura (algas, mejillones, etc) se han venido desarrollando bajo el amparo de permisos especiales de un año de duración. Eso implica esfuerzos constantes en la sola revisión y renovación



Unidades de tilapicultura en embalse de Betania, Colombia. Las concesiones otorgadas allí, más de 50, reúnen unas 1.700 jaulas y generan alrededor del 70% de la tilapia producida en el país.

de permisería, drenando energías y recursos que estarían mejor orientados en la gestión de proyectos, desarrollo de innovaciones o generación de alianzas, entre otras iniciativas. Adicionalmente, la ausencia de una figura jurídica de largo plazo para la actividad acuícola en espacios acuáticos limita también el acceso a opciones de financiamiento.

En muchos países existe esa figura o similares, resultando muy ilustrativo su aporte al desarrollo acuícola en Colombia y Chile. Existiendo concesiones en la legislación venezolana para otras actividades productivas, como la petrolera, no tiene sentido que privemos a nuestro sector de esta herramienta indispensable.

Fortalecimiento de la seguridad jurídica

En diversas ocasiones se han ejecutado ocupaciones forzosas de instalaciones acuícolas, apoyadas o protagonizadas por el ente rector. Citando algunos casos, ocurrió con el Grupo Dao y Agrimar en 2008. Éstas

fueron devueltas a sus legítimos propietarios años después, siempre significando pérdida de capacidad operativa, deterioro de instalaciones, reducción de producción y oportunidades de negocios, así como un desasosiego general por el ambiente de inestabilidad. En aquella oportunidad, la producción nacional disminuyó en más de un 30%, demorando 5 años en retomar la senda del crecimiento. A finales de 2024 hubo otra intervención, ahora dirigida al Grupo Lamar. Ello ha causado efectos deletéreos para la camaronicultura venezolana en modo superlativo. Se estima que la producción se ha reducido en más del 40% desde entonces. Sería una gran señal para el sector productivo que dichas instalaciones productivas sean íntegramente retornadas a sus dueños y que esas prácticas intervencionistas y expropiatorias queden por fin en el pasado.

Reflexiones finales

Ahora, más que nunca, se requiere la toma de decisiones correctas para darle el impulso necesario a nuestra acuicultura y vernos realmente en el camino del desarrollo de todo nuestro potencial. Pasar de las declaraciones de apoyo al sector a la resolución activa de conflictos y obstáculos. Todas las iniciativas acá referidas son implementadas por nuestros vecinos, permitiéndoles dejarnos atrás en crecimiento y beneficios derivados de la acuicultura. El incremento en las rentas petroleras, tanto por recuperación del precio del crudo, como por el incremento de los volúmenes de producción y exportación, configura un escenario favorable para ensayar estas iniciativas. El tiempo juzgará si se obró de manera apropiada.



Sociedad Venezolana
de Acuicultura

IMAGEN DE PORTADA
Y CONTRAPORTADA
Flavio González Scarso



Cultivo intensivo de
tilapia en Ecoacuicultura,
Flor Amarillo, Valencia.

www.svacuicultura.org



 @svacuicultura



Sociedad Venezolana de Acuicultura