

# COMPILADO AGOSTO – DICIEMBRE 2024

# AVANCES EN SANIDAD ANIMAL Y SOSTENIBILIDAD EN ACUICULTURA

Boletín de divulgación científica para el  
Consejo del Salmón

**CENTER FOR ANTIMICROBIAL  
STEWARSHIP IN  
AQUACULTURE (CASA)**

Centro Colaborador de la  
Organización Mundial de Sanidad Animal





**AGOSTO 2024**

# **AVANCES EN SANIDAD ANIMAL Y SOSTENIBILIDAD EN ACUICULTURA**

Boletín de divulgación científica para el  
Consejo del Salmón

**CENTER FOR ANTIMICROBIAL  
STEWARDSHIP IN  
AQUACULTURE (CASA)**

Centro Colaborador de la  
Organización Mundial de Sanidad Animal



## VISIÓN DEL CENTER FOR ANTIMICROBIAL STEWARDSHIP IN AQUACULTURE (CASA)



Somos un equipo multidisciplinario de profesionales e investigadores de la Universidad de Chile, con líneas de investigación en el uso prudente de antimicrobianos y resistencia antimicrobiana en acuicultura, específicamente en la producción de Salmón.

Como Centro Colaborador de la Organización Mundial de Sanidad Animal (OMSA) nuestro objetivo es contribuir al desarrollo de capacidades a los Servicios de Veterinarios de animales acuáticos de la Región de las Américas, proveerles de conocimiento científico y brindar asesoría en el campo de nuestra competencia, especialmente en el uso prudente de antimicrobianos en la acuicultura acorde a las normas del Código Acuático de la Estrategia OMSA.

### Equipo colaborador

**Laboratorio de Farmacología Veterinaria** Fac. de Cs. Veterinarias y Pecuarias

Dra. Javiera Cornejo (Directora ejecutiva), Dr. Aldo Maddaleno, Dra. Ekaterina Pokrant

**Center for Research and Innovation in Aquaculture** Interfacultades

Dr. José Manuel Yáñez, Dr. Jurij Wacyk, Dr. Rodrigo Pulgar, Dr. Mario Caruffo

**Laboratorio de Inocuidad de los Alimentos** Fac. de Cs. Veterinarias y Pecuarias

Dra. Lissette Lapierre, Ricardo Riquelme

**Asesores Senior**

Alicia Gallardo, José Miguel Burgos, Marcela Lara



El presente informe ha sido elaborado por el Center for Antimicrobial Stewardship in Aquaculture (CASA) de la Universidad de Chile para el Consejo del Salmón, en el marco del convenio de colaboración. Su objetivo es promover nuevas estrategias y estándares en la industria salmonera, en base a un actualizado estado del arte de la investigación en la gestión de antimicrobianos, sanidad y bienestar animal en la acuicultura y participaciones del CASA en diversas actividades ligadas a su mandato como centro colaborador de la OMSA. Compila los artículos científicos más pertinentes de los últimos tiempos, consolidando una variedad de investigaciones a nivel mundial, proporcionando un resumen y acceso directo a las publicaciones.



# Indice

## Capítulo I: Estrategias e Innovaciones Tecnológicas para el Bienestar Animal en la Acuicultura.....5

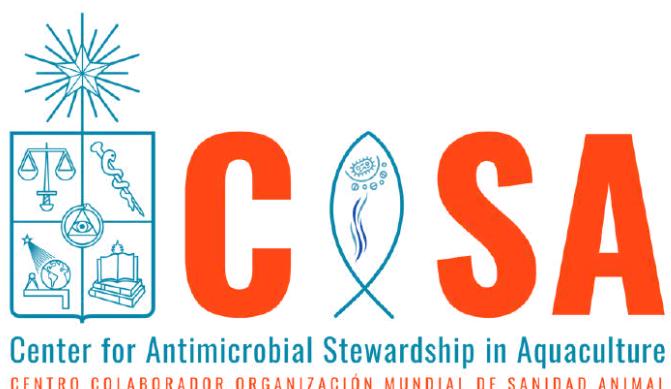
1. Detección rápida de larvas de piojo del salmón en agua de mar basada en aprendizaje automático.....5
2. Bajo el mar: cómo utilizar el ritmo cardíaco y los acelerómetros para evaluar a distancia el bienestar de los peces en la acuicultura del salmón.....5
3. Seguimiento de los indicadores de bienestar de la trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) en una granja ecológica comercial: Efectos de una dieta innovadora y de la implantación de un acelerómetro.....6
4. Sistema de control inteligente y económico para piscifactorías.....6
5. Inteligencia Artificial en Acuicultura: Bases, aplicaciones y perspectivas del futuro.....7
6. Detección de enfermedades de peces en acuicultura mediante técnicas de aprendizaje automático basadas en imágenes.....7
7. Uso del razonamiento múltiple basado en niveles en un sistema inteligente basado en web para el diagnóstico de enfermedades de peces de piscifactoría...8
8. Identificación de perdedores: Identificación automática de salmones con retraso del crecimiento en acuicultura mediante visión por ordenador.....8
9. SalmonScan: un nuevo conjunto de datos de imágenes para el aprendizaje automático y el análisis de aprendizaje profundo en la detección de enfermedades de los peces en la acuicultura.....9

## Capítulo II: Indicadores para el Bienestar Animal en la Salmonicultura.....9

1. Salmón atlántico en turbulencia crónica: Efectos sobre el crecimiento, el comportamiento, el bienestar y el estrés.....9
2. El ayuno y sus implicaciones para el bienestar de los peces en la acuicultura del salmón del Atlántico.....10
3. Evaluación de una escala de intensidad de hacinamiento y de indicadores de bienestar para el salmón atlántico en jaulas marinas.....10



4. La pigmentación puede influir en el bienestar de los peces de acuicultura.....	11
5. Evaluación cualitativa del comportamiento como indicador del bienestar del salmón atlántico de piscifactoría ( <i>Salmo salar</i> ) en respuesta a un desafío estresante.....	11
6. Comportamientos sociales como indicadores de bienestar en peces teleósteos..	12
7. Efectos interactivos de múltiples factores de estrés con una exposición significativa a la altura de las olas sobre el bienestar del salmón atlántico de piscifactoría ( <i>Salmo salar</i> ) a lo largo de un gradiente costa mar adentro.....	13
8. Tiempo de muestreo para diferentes matrices en la evaluación del estrés del salmón atlántico de piscifactoría post-smolt.....	13
9. Hoja Fishscore: Una herramienta de control del bienestar para investigadores piscícolas.....	14
10. Evaluación del bienestar de la tilapia ( <i>Oreochromis spp.</i> ) en los sistemas de cultivo semiintensivo e intensivo en Tailandia.....	14
<b>Capítulo III: Estándares, normas y certificaciones de Bienestar animal en la Salmonicultura.....</b>	<b>15</b>
1. OMSA y Bienestar animal.....	15
2. Código Sanitario para los Animales Acuáticos.....	16
3. Actualización de las normativas nacionales.....	17
4. Programas Sanitarios.....	18





## Capítulo I: Estrategias e Innovaciones para el Bienestar Animal en la Acuicultura

En este capítulo se exploran las innovaciones tecnológicas recientes que están transformando el manejo del bienestar animal en la acuicultura. Estas tecnologías abarcan desde sistemas de monitoreo avanzado hasta inteligencia artificial, proporcionando herramientas para optimizar la salud y el bienestar de los peces.

### 1. Detección rápida de larvas de piojo del salmón en agua de mar basada en aprendizaje automático.

#### ***Rapid Detection of Salmon Louse Larvae in Seawater Based on Machine Learning.***

El artículo aborda el problema de la proliferación de piojos de mar en la acuicultura del salmón Atlántico, proponiendo un método rápido y eficiente para detectar larvas de piojo de mar en el agua marina utilizando aprendizaje automático. Los autores desarrollaron una plataforma de adquisición de datos que permite la captura de imágenes de alta resolución de las larvas de piojo de mar en agua de mar. Se creó un conjunto de datos con más de 8000 imágenes, y se entrenaron y probaron 16 modelos de detección de objetos, incluyendo modelos basados en redes neuronales convolucionales (CNN) y modelos basados en transformadores. Los modelos mostraron altos niveles de precisión y recuperación, con RT-DETR logrando una precisión del 97.2% y un recall del 97.8%. Los modelos de la serie YOLO destacaron por su velocidad de inferencia, superando los 150 cuadros por segundo. Este estudio es el primero en aplicar el aprendizaje automático para la detección rápida de larvas de piojo de mar en diferentes etapas de desarrollo en muestras de agua de mar, demostrando su potencial para mejorar la gestión y el monitoreo del bienestar del salmón.

Zhang, C., Bracke, M., da Silva Torres, R., & Gansel, L. C. (2024). Rapid detection of salmon louse larvae in seawater based on machine learning. *Aquaculture*, 592, 741252. [#8203](https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2024.741252)

### 2. Bajo el mar: cómo utilizar el ritmo cardíaco y los acelerómetros para evaluar a distancia el bienestar de los peces en la acuicultura del salmón.

#### ***Under the Sea: How Can We Use Heart Rate and Accelerometers to Remotely Assess Fish Welfare in Salmon Aquaculture.***

El estudio examina el uso de bioregistradores para medir parámetros fisiológicos como la frecuencia cardíaca y la aceleración en salmones Atlánticos (*Salmo salar*) para evaluar su bienestar de forma remota. Se implantaron bioregistradores y catéteres intravasculares para registrar datos durante un protocolo de natación y un protocolo de estrés. Los resultados revelaron que la aceleración es un buen indicador de la actividad de natación y se correlaciona con la frecuencia de los latidos de la cola. Además, la frecuencia cardíaca, la aceleración y la varianza de la aceleración pueden predecir la tasa metabólica y están relacionadas con la presión parcial de oxígeno venoso, el lactato sanguíneo y la concentración de cortisol en plasma.

Estos hallazgos subrayan el potencial de los biosensores para monitorear el bienestar de los peces.

Morgenroth, D., Kvaestad, B., Økland, F., Finstad, B., Olsen, R.-E., Svendsen, E., Rosten, C., Axelsson, M., Bloecher, N., Føre, M., & Gråns, A. (2024). Under the sea: How can we use heart rate and accelerometers to remotely assess fish welfare in salmon aquaculture, *Aquaculture*, 579, 740144. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.740144>

### **3. Seguimiento de los indicadores de bienestar de la trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) en una granja ecológica comercial: Efectos de una dieta innovadora y de la implantación de un acelerómetro**

#### ***Monitoring Welfare Indicators of Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) in a Commercial Organic Farm: Effects of an Innovative Diet and Accelerometer Tag Implantation.***

El estudio investigó el impacto de una dieta innovadora y la implantación de acelerómetros en el bienestar de la trucha arcoíris en una granja orgánica. La dieta, que reemplaza el 64.3% de la harina de pescado tradicional con un concentrado proteico de recortes de pescado, fue evaluada durante dos meses. Se consideraron indicadores de bienestar como el crecimiento, daños morfológicos, actividad de natación (como proxy del gasto energético), y salud en sangre e hígado. Los resultados mostraron que los acelerómetros no afectaron significativamente el bienestar, aunque redujeron la tasa de crecimiento específico en un 18.6% comparado con peces sin acelerómetros. La dieta innovadora no afectó negativamente los indicadores de salud ni causó anomalías morfológicas, pero aumentó el gasto energético. Se sugiere que la dieta podría reducir la liberación de fósforo soluble al medio ambiente, manteniendo estándares de crecimiento y bienestar, aunque se recomienda investigar las consecuencias a largo plazo.

Toomey, L., Gesto, M., Alfonso, S., Lund, I., Jokumsen, A., Lembo, G., & Carbonara, P. (2024). Monitoring welfare indicators of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) in a commercial organic farm: Effects of an innovative diet and accelerometer tag implantation. *Aquaculture*, 582, 740549. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2024.740549>

### **4. Sistema de control inteligente y económico para piscifactorías.**

#### ***Smart Low-Cost Control System for Fish Farm Facilities.***

El estudio desarrollado presenta un sistema de control inteligente y económico diseñado para mejorar la gestión de las instalaciones de piscicultura. Este sistema utiliza una red de sensores inalámbricos y algoritmos avanzados para monitorear factores críticos que afectan el bienestar de los peces y la eficiencia de la producción. Los investigadores identificaron 86 factores relevantes, seleccionando 17 y 32 para sistemas de jaulas en el mar y sistemas de recirculación acuícola (RAS), respectivamente. Los algoritmos propuestos optimizan el manejo de la piscicultura, reduciendo la turbidez del agua en un 87.5% y el consumo de energía del sistema de aireación en un 35%. Esta innovación promete mejorar la sostenibilidad y la rentabilidad de la acuicultura a nivel global, proporcionando una solución accesible para los piscicultores.

Parra, L., Sendra, S., García, L., & Lloret, J. (2024). Smart low-cost control system for fish farm facilities. *Applied Sciences*, 14(6244). <https://doi.org/10.3390/app14146244>

## 5. Inteligencia Artificial en Acuicultura: Bases, aplicaciones y perspectivas del futuro.

### ***Artificial Intelligence in Aquaculture: Basis, Applications, and Future Perspectives.***

La investigación aborda cómo la IA, el aprendizaje automático y el aprendizaje profundo están siendo utilizados para optimizar la producción acuícola, mejorar el diagnóstico de enfermedades, predecir parámetros de calidad del agua y evaluar el impacto ambiental. Además, se destacan las técnicas y herramientas empleadas, como redes neuronales, algoritmos de aprendizaje automático y sistemas de visión por computadora, entre otros. El estudio también examina las áreas futuras de investigación, incluyendo la reducción de costos de producción mediante la optimización de la alimentación y la mejora de la sostenibilidad. En general, la adopción de tecnologías de IA en la acuicultura está mostrando resultados prometedores para resolver problemas complejos y mejorar la eficiencia de las operaciones acuícolas.

Vásquez-Quispesivana, W., Inga, M., & Betalleluz-Pallardel, I. (2023). Artificial intelligence in aquaculture: Basis, applications, and future perspectives. *Scientia Agropecuaria*, 13(1), 79-96. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2022.008>

## 6. Detección de enfermedades de peces en acuicultura mediante técnicas de aprendizaje automático basadas en imágenes.

### ***Fish Disease Detection Using Image-Based Machine Learning Technique in Aquaculture.***

El artículo aborda el problema de la detección de enfermedades en peces mediante el uso de técnicas de aprendizaje automático basadas en imágenes. El estudio se enfoca en el salmón, una de las especies más cultivadas a nivel mundial, y propone un sistema de visión artificial para identificar peces infectados utilizando el algoritmo de Máquina de Vectores de Soporte (SVM). La metodología incluye la preprocesamiento de imágenes para reducir el ruido, segmentación de imágenes para resaltar características relevantes, y la clasificación de enfermedades utilizando SVM con funciones kernel. Los resultados muestran una precisión de hasta el 94.12% con imágenes aumentadas y del 91.42% sin aumento, demostrando la efectividad del modelo propuesto para la detección temprana de enfermedades en acuicultura, lo cual es crucial para prevenir la propagación de enfermedades, aumentar el bienestar animal y reducir las pérdidas económicas.

Ahmed, M. S., Aurpa, T. T., & Azad, M. A. K. (2023). Fish disease detection using image-based machine learning technique in aquaculture. *Journal of King Saud University – Computer and Information Sciences*, 34(5), 5170-5182. <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2021.05.003>



## 7. Uso del razonamiento múltiple basado en niveles en un sistema inteligente basado en web para el diagnóstico de enfermedades de peces de piscifactoría.

### ***Using Level-Based Multiple Reasoning in a Web-Based Intelligent System for the Diagnosis of Farmed Fish Diseases.***

El artículo presenta un sistema inteligente basado en la web para el diagnóstico de enfermedades en peces de cultivo. El sistema utiliza múltiples métodos de representación y razonamiento del conocimiento, incluidos enfoques basados en reglas, casos, pesos y votación. El proceso diagnóstico se lleva a cabo en dos etapas: una general y una especializada. En la etapa general, se realiza un diagnóstico basado en niveles, examinando sucesivamente parámetros ambientales, signos externos e internos para identificar las tres enfermedades más probables. En la etapa especializada, opcional, se utilizan sistemas expertos especializados para cada enfermedad resultante, considerando parámetros adicionales de pruebas de laboratorio. La evaluación del proceso diagnóstico de la etapa general mostró una precisión del 78.79% en casos de prueba de expertos y del 94% en un conjunto de datos artificial. Este sistema promete mejorar la precisión y eficiencia en la detección de enfermedades en acuicultura.

Kovas, K., Hatzilygeroudis, I., Dimitropoulos, K., Spiliopoulos, G., Poulos, K., Abatzidou, E., Aravanis, T., Ilias, A., Kanlis, G., & Theodorou, J. A. (2023). Using level-based multiple reasoning in a web-based intelligent system for the diagnosis of farmed fish diseases. *Applied Sciences*, 13(13059). <https://doi.org/10.3390/app132413059>

## 8. Identificación de perdedores: Identificación automática de salmones con retraso del crecimiento en acuicultura mediante visión por ordenador.

### ***Identifying Losers: Automatic Identification of Growth-Stunted Salmon in Aquaculture Using Computer Vision.***

El estudio investiga la identificación automática de salmones con crecimiento retardado, también conocidos como "loser fish", utilizando sistemas de visión por computadora. Los autores compararon dos enfoques end-to-end (YoloV5 y YoloV7) y un enfoque de dos etapas basado en transferencia de aprendizaje y un conjunto de clasificadores (perceptrón lineal, Adaline, SVC, KNN y MLP). Los resultados mostraron que YoloV7 tuvo el mejor rendimiento con una precisión del 86.3%, un recall del 71.75% y una puntuación F1 del 78.35%. Estos sistemas permitirán a los agricultores y investigadores monitorear la abundancia de "loser fish" durante el periodo de producción, proporcionando una herramienta eficiente y menos subjetiva que la clasificación manual.

Banno, K., Gonçalves, F. M. F., Sauphar, C., Anichini, M., Hazelaar, A., Sperre, L. H., Stolz, C., Aas, G. H., Gansel, L. C., & da Silva Torres, R. (2024). Identifying losers: Automatic identification of growth-stunted salmon in aquaculture using computer vision. *Machine Learning with Applications*, 16, 100562. <https://doi.org/10.1016/j.mlwa.2024.100562>

## 9. SalmonScan: un nuevo conjunto de datos de imágenes para el aprendizaje automático y el análisis de aprendizaje profundo en la detección de enfermedades de los peces en la acuicultura.

### ***SalmonScan: A Novel Image Dataset for Machine Learning and Deep Learning Analysis in Fish Disease Detection in Aquaculture.***

El artículo presenta el conjunto de datos SalmonScan, diseñado para mejorar la detección de enfermedades en peces mediante técnicas de aprendizaje automático y profundo. Este conjunto de datos incluye 1208 imágenes etiquetadas de salmones, con 456 imágenes de peces sanos y 752 de peces infectados. Las imágenes fueron recopiladas de fuentes en línea y granjas de acuicultura de salmón, y se procesaron mediante técnicas de aumento de datos como rotación, recorte y ajuste de contraste para aumentar su diversidad y calidad. El objetivo del conjunto de datos es facilitar el desarrollo y evaluación de modelos de visión por computadora para la identificación y clasificación de enfermedades en salmones. Los autores destacan la importancia de este recurso para fomentar la cooperación entre científicos de la computación y especialistas en acuicultura, así como para mejorar las estrategias de gestión en la industria acuícola.

Ahmed, M. S., & Jeba, S. M. (2024). SalmonScan: A novel image dataset for machine learning and deep learning analysis in fish disease detection in aquaculture. *Data in Brief*, 54, 110388. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2024.110388>



## **Capítulo II: Indicadores para el Bienestar Animal en la Acuicultura**

### **1 Salmón atlántico en turbulencia crónica: Efectos sobre el crecimiento, el comportamiento, el bienestar y el estrés.**

### **Atlantic Salmon in Chronic Turbulence: Effects on Growth, Behaviour, Welfare, and Stress.**

El estudio examina cómo la turbulencia inducida por olas afecta el crecimiento, comportamiento, bienestar y estrés del salmón Atlántico (*Salmo salar*) en condiciones de acuicultura en alta mar. Durante 8 semanas, se expuso a salmones post-smolt a un entorno de turbulencia continua utilizando equipos de generación de olas. Los resultados mostraron que, aunque ambos grupos (control y turbulencia) duplicaron su peso, el grupo de turbulencia exhibió una reducción del 5% en el tamaño. En las primeras tres semanas, se observó una disminución del apetito y un comportamiento desviado en el grupo de turbulencia, que se normalizaron en la segunda mitad del experimento, sugiriendo que los peces se aclimataron. Los puntajes de bienestar, parámetros hematológicos, velocidades críticas de natación y la prevalencia de deformidades vertebrales fueron similares en ambos grupos, indicando que la turbulencia crónica no tuvo un impacto significativo en el bienestar físico o fisiológico de los peces.

Los hallazgos sugieren que el salmón Atlántico es una especie robusta capaz de adaptarse a entornos más caóticos sin sufrir reducciones sustanciales en el bienestar o el rendimiento de producción a largo plazo.

Barbier, E., Oppedal, F., & Hvas, M. (2024). Atlantic salmon in chronic turbulence: Effects on growth, behaviour, welfare, and stress. *Aquaculture*, 582, 740550. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2024.740550>

## **2. El ayuno y sus implicaciones para el bienestar de los peces en la acuicultura del salmón del Atlántico.**

### ***Fasting and its Implications for Fish Welfare in Atlantic Salmon Aquaculture.***

El artículo revisa los períodos de ayuno en la acuicultura del salmón Atlántico y sus implicaciones para el bienestar de los peces. El ayuno puede ser voluntario, como respuesta a condiciones ambientales subóptimas o problemas de salud, o involuntario, impuesto por los agricultores antes de operaciones como el transporte y tratamientos de parásitos. Mientras que los salmones juveniles son altamente sensibles a la privación de alimento, los post-smolts y los adultos pueden soportar períodos prolongados de ayuno sin comprometer su funcionalidad o salud. La revisión discute las respuestas biológicas y los límites de tolerancia al ayuno en el salmón Atlántico, destacando que los períodos cortos de retiro de alimento no deberían representar una preocupación significativa para el bienestar. Sin embargo, el ayuno voluntario prolongado puede ser problemático, especialmente cuando se debe a condiciones ambientales extremas o enfermedades. El artículo concluye que es crucial evitar situaciones que excedan los límites de apetito y sugieren directrices para prácticas de ayuno apropiadas basadas en consideraciones de bienestar de los peces.

Hvas, M., Kolarevic, J., Noble, C., Oppedal, F., & Stien, L. H. (2024). Fasting and its implications for fish welfare in Atlantic salmon aquaculture. *Reviews in Aquaculture*, 16(3), 1308-1332. <https://doi.org/10.1111/raq.12898>

## **3. Evaluación de una escala de intensidad de hacinamiento y de indicadores de bienestar para el salmón atlántico en jaulas marinas.**

### ***Evaluating a crowding intensity scale and welfare indicators for Atlantic salmon in sea cages.***

El artículo aborda la viabilidad de utilizar una escala de intensidad de hacinamiento para dirigir y auditar el hacinamiento de salmones del Atlántico en jaulas marinas, basándose en observaciones de superficie. La investigación prueba los efectos de diferentes niveles de hacinamiento sobre el bienestar de los peces y la idoneidad de un conjunto de posibles indicadores de bienestar operacional (OWIs) y de laboratorio (LABWIs) para incluirlos en herramientas para monitorear y evaluar el bienestar de los peces en relación con el hacinamiento en jaulas marinas. La escala de hacinamiento probada permitió crear tres niveles distintos de hacinamiento, y aunque se observaron evidencias de mayor estrés y daño epidérmico con el aumento de la intensidad del hacinamiento, no hubo indicios claros de efectos perjudiciales a largo plazo en el bienestar de los peces.

El estudio concluye que una caja de herramientas OWI para el hacinamiento debe incluir tanto observaciones de superficie como submarinas, monitoreo de las condiciones de oxígeno y datos de lesiones morfológicas. Además, la evaluación cualitativa del comportamiento de los peces, el cortisol plasmático y la histología de la piel pueden incluirse en una caja de herramientas LABWI si se desea obtener información más detallada sobre los efectos del hacinamiento.

Stien, L. H., Nilsson, J., Noble, C., Izquierdo-Gomez, D., Ytteborg, E., Timmerhaus, G., & Madaro, A. (2024). Evaluating a crowding intensity scale and welfare indicators for Atlantic salmon in sea cages. *Aquaculture Reports*, 37, 102211. Hvas, M., Kolarevic, J., Noble, C., Oppedal, F., & Stien, L. H. (2024). Fasting and its implications for fish welfare in Atlantic salmon aquaculture. *Reviews in Aquaculture*, 16(3), 1308-1332. <https://doi.org/10.1111/raq.12898>

#### **4. La pigmentación puede influir en el bienestar de los peces de acuicultura.**

##### ***Pigmentation potentially influences fish welfare in aquaculture.***

El artículo explora cómo la pigmentación puede afectar el bienestar de los peces en la acuicultura. La investigación se centra en cómo las variaciones en la coloración de los peces influyen en su comportamiento social, agresividad, reproducción, resistencia al estrés y salud general. Los fenotipos pigmentados de manera extrema, como los albinos y los melanísticos, presentan diferencias significativas en comparación con los fenotipos típicos, afectando su capacidad para comunicarse socialmente y su bienestar.

El estudio señala que los fenotipos con mayor pigmentación suelen ser más agresivos, activos reproductivamente y resistentes al estrés. Sin embargo, esta agresividad puede reducir el bienestar de los fenotipos menos pigmentados si se mantienen juntos. Por otro lado, los individuos albinos son más sensibles al estrés, menos agresivos y más propensos a sufrir daños fisiológicos debido a su incapacidad para defender recursos eficazmente. La investigación concluye que la cría y propagación de fenotipos albinos y melanísticos es generalmente poco ética y debe evitarse en la acuicultura a menos que se realice bajo condiciones específicas y separadas de los fenotipos típicos.

Svitačová, K., Slavík, O., & Horký, P. (2023). Pigmentation potentially influences fish welfare in aquaculture. *Applied Animal Behaviour Science*, 262, 105903. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2023.105903>

#### **5. Evaluación cualitativa del comportamiento como indicador del bienestar del salmón atlántico de piscifactoría (*Salmo salar*) en respuesta a un desafío estresante.**

##### ***Qualitative Behavioural Assessment as a Welfare Indicator for Farmed Atlantic Salmon (*Salmo salar*) in Response to a Stressful Challenge.***

El artículo examina la viabilidad de la Evaluación Cualitativa del Comportamiento (QBA) como un indicador del bienestar para el salmón Atlántico (*Salmo salar*) en situaciones de estrés. La QBA se centra en la forma en que los animales ejecutan sus comportamientos, describiendo y cuantificando su manera expresiva, lo que puede proporcionar información sobre sus experiencias subjetivas sin comprometer el rigor científico.

En este estudio, se utilizaron nueve tanques de salmones juveniles que fueron grabados durante siete días, incluyendo un evento estresante (muestreo intrusivo). Doce profesionales del sector salmonero generaron 16 descriptores cualitativos para evaluar los comportamientos, que fueron calificados por cinco observadores utilizando una escala analógica visual. El análisis de componentes principales identificó cuatro dimensiones que explicaron el 74.5% de la variación entre los clips de video. El estudio encontró una diferencia significativa en los puntajes de QBA antes y después del evento estresante, sugiriendo que los salmones parecían más estresados después del muestreo. Estos resultados demuestran la sensibilidad de la QBA para detectar cambios en las características expresivas de los salmones, mostrando su potencial como un indicador de bienestar en la acuicultura.

Wiese, T. R., Rey Planellas, S., Betancor, M., Haskell, M., Jarvis, S., Davie, A., Wemelsfelder, F., & Turnbull, J. F. (2023). Qualitative behavioural assessment as a welfare indicator for farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*) in response to a stressful challenge. *Frontiers in Veterinary Science*, 10, 1260090. <https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1260090>

## 6. Comportamientos sociales como indicadores de bienestar en peces teleósteos.

### ***Social Behaviors as Welfare Indicators in Teleost Fish.***

El artículo revisa la importancia de los comportamientos sociales como indicadores del bienestar en peces teleósteos. Los autores destacan cómo el comportamiento social, influenciado por hormonas como el cortisol y los esteroides sexuales, puede servir como un indicador no invasivo del estado interno y el bienestar de los peces. Se examinan especies específicas como cíclidos, caraciformes y cipriniformes, destacando sus diversas estructuras sociales y estrategias reproductivas. Los cíclidos, por ejemplo, presentan comportamientos de jerarquía social y cuidado parental que pueden ser utilizados para evaluar su bienestar. Además, se discuten las implicaciones del enriquecimiento ambiental y la densidad de población en el comportamiento social y el estrés. La revisión subraya la necesidad de entender los mecanismos fisiológicos subyacentes al comportamiento social para mejorar las prácticas de manejo y asegurar el bienestar de los peces en la acuicultura y otras actividades humanas.

Cavallino, L., Rincón, L., & Scaia, M. F. (2023). Social behaviors as welfare indicators in teleost fish. *Frontiers in Veterinary Science*, 10, 1050510. <https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1050510>



## 7. Efectos interactivos de múltiples factores de estrés con una exposición significativa a la altura de las olas sobre el bienestar del salmón atlántico de piscifactoría (*Salmo salar*) a lo largo de un gradiente costa mar adentro.

### ***Interactive Effects of Multiple Stressors with Significant Wave Height Exposure on Farmed Atlantic Salmon (*Salmo salar*) Welfare Along an Inshore-Offshore Gradient***

El artículo examina los efectos de múltiples estresores en la salud y el bienestar del salmón Atlántico cultivado, particularmente en relación con la exposición a alturas de olas significativas. Utilizando datos de salud y bienestar recolectados durante 20 meses de ocho granjas marinas de salmón en Escocia, los autores evaluaron las interacciones entre variables ambientales y tratamientos de manejo. Los resultados mostraron una alta variabilidad en las tasas de mortalidad y las infecciones por piojos de mar entre las granjas. Mediante modelos bayesianos multinivel, se encontró que la exposición a olas modulaba principalmente los efectos de otras variables, con granjas de mayor exposición mostrando incrementos más pronunciados en la mortalidad y las infecciones a lo largo del tiempo y con temperaturas extremas. Los tratamientos contra parásitos fueron más frecuentes en granjas con menor exposición a olas, lo que sugiere un impacto acumulativo de estresores crónicos y agudos en las granjas ubicadas en entornos más energéticos. Este estudio subraya la necesidad de adaptar las prácticas de manejo para minimizar los impactos negativos en la salud del salmón en granjas offshore.

Szewczyk, T. M., Morro, B., Díaz-Gil, C., Gillibrand, P. A., Hardwick, J. P., Davidson, K., Aleynik, D., & Rey Planellas, S. (2024). Interactive effects of multiple stressors with significant wave height exposure on farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*) welfare along an inshore-offshore gradient. *Aquaculture*, 579, 740184. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.740184>

## 8. Tiempo de muestreo para diferentes matrices en la evaluación del estrés del salmón atlántico de piscifactoría post-smolt.

### ***Sampling Time for Different Matrices in Stress Assessment of Farmed Atlantic Salmon Post-Smolt.***

El estudio investiga la dinámica temporal de cortisol y sus metabolitos en diferentes matrices (plasma, mucus de la piel, bilis y heces) en salmones Atlánticos post-smolt tras un evento de estrés agudo. Utilizando un total de 90 salmones, se evaluaron las concentraciones de cortisol y cinco de sus metabolitos (5 $\beta$ -THF, cortisona, 5 $\beta$ -DHE, 5 $\beta$ -THE,  $\beta$ -cortolona) durante un período de 72 horas después del estrés. Los resultados mostraron que los niveles más altos de cortisol en plasma se alcanzaron a las 4 horas post-estrés, mientras que en el mucus de la piel el pico fue a las 12 horas y en bilis y heces a las 24 horas. Estos hallazgos sugieren que estos tiempos son óptimos para el muestreo en estudios de estrés agudo en salmones Atlánticos post-smolt. Además, el estudio confirmó que el mucus de la piel y las heces son matrices menos invasivas para la evaluación del estrés en peces, proporcionando una base para desarrollar herramientas de monitoreo del bienestar de los salmones de cultivo.

Fanjara, E., Aas, G. K. F. H., Cao, Y., Kristinova, V., Sæbø, A., & Stene, A. (2024). Sampling time for different matrices in stress assessment of farmed Atlantic salmon post-smolt. *Journal of Steroid Biochemistry and Molecular Biology*, 242, 106542. <https://doi.org/10.1016/j.jsbmb.2024.106542>

## 9. Hoja Fishscore: Una herramienta de control del bienestar para investigadores piscícolas.

### ***Fishscore Sheet: A Welfare Monitoring Tool for Fish Researchers.***

El artículo presenta una hoja de puntuación adaptable y fácil de usar para monitorear el bienestar de peces en investigaciones experimentales. Esta herramienta fue desarrollada en respuesta a la creciente utilización de peces en experimentación y la necesidad de evaluaciones de bienestar más refinadas y estandarizadas. La hoja de puntuación incluye parámetros observables no invasivos, que han sido validados mediante una revisión de la literatura y entrevistas con expertos, y evaluados por un patólogo de peces. El objetivo de esta herramienta es empoderar a los investigadores para incluir evaluaciones de bienestar en sus rutinas, fomentar discusiones sobre parámetros de bienestar entre científicos, facilitar interacciones con comités de ética, y, lo más importante, permitir la refinación de los experimentos con peces. La hoja de puntuación permite evaluar tanto a individuos como a grupos, calcula puntuaciones resumen y visualiza tendencias. El artículo proporciona ejemplos de uso y guías para la adaptación y uso de la hoja de puntuación.

Flueck, M., Schmidt-Posthaus, H., Bergadano, A., & Adrian-Kalchhauser, I. (2024). Fishscore sheet: A welfare monitoring tool for fish researchers. *bioRxiv*. <https://doi.org/10.1101/2023.07.19.549642>

## 10. Evaluación del bienestar de la tilapia (*Oreochromis spp.*) en los sistemas de cultivo semiintensivo e intensivo en Tailandia.

### ***Assessment of Tilapia (*Oreochromis spp.*) Welfare in the Semi-Intensive and Intensive Culture Systems in Thailand.***

Este estudio evalúa el bienestar de la tilapia (*Oreochromis spp.*) en sistemas de cultivo semi-intensivo e intensivo en Tailandia, centrándose en cuatro categorías de indicadores de bienestar: salud, medio ambiente, comportamiento y nutrición. Se realizaron evaluaciones en ocho granjas de tilapia, cinco con estanques de tierra y tres con sistemas de jaulas. Los resultados mostraron diferencias significativas en la salud de los peces, especialmente en una granja afectada por un brote de enfermedades. Las evaluaciones ambientales revelaron diferencias en la transparencia del agua entre los dos sistemas de cultivo. Durante el proceso de captura, se observaron prácticas deficientes de bienestar en todas las granjas. No se encontraron diferencias estadísticamente significativas en los puntajes generales de bienestar entre los dos sistemas de cultivo. Las correlaciones entre los indicadores nutricionales, ambientales y de salud proporcionaron información sobre los puntos críticos de bienestar en la acuicultura de tilapia. El estudio destaca la necesidad de mejorar las prácticas de manejo en las granjas para producir peces más saludables y mejorar la calidad del suministro a los consumidores.

Lertwanakarn, T., Purimayata, T., Luengyosluechakul, T., Grimalt, P. B., Pedrazzani, A. S., Quintiliano, M. H., & Surachetpong, W. (2023). Assessment of Tilapia (*Oreochromis spp.*) Welfare in the Semi-Intensive and Intensive Culture Systems in Thailand. *Animals*, 13(2498). <https://doi.org/10.3390/ani13152498>



## Capítulo III: Estándares, normas y certificaciones de Bienestar animal en la Salmonicultura

### 1.OMSA y Bienestar Animal

La Organización Mundial de Sanidad Animal (OMSA) desempeña un papel fundamental en la elaboración de normas sobre bienestar animal y en la difusión de información al respecto. En este contexto, la OMSA desarrolló una estrategia el año 2017, basada en cuatro pilares clave:

#### DESARROLLO DE NORMAS DE BIENESTAR ANIMAL

- Elabora normas de bienestar animal con la participación de expertos internacionales a partir de la investigación científica pertinente y teniendo en cuenta las consideraciones éticas asociadas al igual que la experiencia práctica.
- Coopera con organizaciones gubernamentales y no gubernamentales regionales e internacionales en este ámbito en la elaboración de normas reconocidas mutuamente y evitar así duplicación de esfuerzos.



#### REFUERZO DE COMPETENCIAS Y EDUCACIÓN



La OIE ofrece orientaciones a los Países Miembros, incluyendo a través de las herramientas del Proceso PVS.

- Apoya actividades de formación para los delegados y puntos focales nacionales de bienestar animal.
- Desarrolla y divulga materiales para la formación sobre bienestar animal y el refuerzo de competencias dirigidos a quienes cuidan de los animales.
- Respalda la inclusión del bienestar animal en el plan de estudios de veterinarios.

#### COMUNICACIÓN CON GOBIERNOS, ORGANIZACIONES Y EL PÚBLICO.

- Desarrolla programas de comunicación con el fin de proporcionar información precisa, accesible y oportuna sobre el bienestar animal.
- Comunica con gobiernos, organizaciones no gubernamentales regionales e internacionales y el sector privado para promover sus normas de bienestar animal.
- Pone información a disposición del público en general



#### IMPLEMENTACIÓN DE NORMAS Y POLÍTICAS DE BIENESTAR ANIMAL

- Apoya a los Países Miembros en el desarrollo de políticas de bienestar animal por medio de formación, asesoramiento, investigación y análisis de políticas.
- Brinda recomendaciones a los Países Miembros sobre la inclusión del bienestar animal en la legislación nacional y sobre la implementación de las normas de bienestar animal.
- Trabaja con organizaciones internacionales y regionales pertinentes.

## 2. Código Sanitario para los Animales Acuáticos:

La OMSA ha establecido normas internacionales recogidas en el Código Sanitario para los Animales Acuáticos, específicamente en su Capítulo 7, que se centra en el bienestar de los peces de cultivo. Este capítulo ofrece recomendaciones para asegurar el **bienestar de los peces** durante el **transporte, sacrificio y destrucción con fines sanitarios**. Resalta la responsabilidad ética de garantizar el bienestar de los peces, la necesidad de utilizar métodos de manipulación adecuados y la adaptación del entorno a sus necesidades. Además, se enfatiza que mejorar las condiciones de vida de los peces no solo promueve su bienestar, sino que también incrementa la productividad y los beneficios económicos.

### **Bienestar de los peces de cultivo durante el transporte**

- Se establecen recomendaciones para **minimizar los efectos adversos del transporte** en el bienestar de los peces de cultivo. Se cubren las responsabilidades de las autoridades competentes, propietarios, administradores y transportistas en asegurar condiciones óptimas de bienestar. Incluye la planificación del transporte, diseño y mantenimiento de vehículos, preparación de los peces, y planes de emergencia. Además, detalla las competencias necesarias para el personal involucrado en el transporte y las especificaciones documentales. Asimismo se incluyen procedimientos específicos para la carga y descarga de los peces, la realización de inspecciones periódicas durante el transporte, y la implementación de planes de emergencia. También se mencionan las actividades post-transporte y el tratamiento compasivo de peces enfermos o lesionados.



### **Bienestar en el aturdimiento y la matanza de peces de cultivo**

- Abarca recomendaciones aplicables a estas operaciones, incluyendo el transporte y la estabulación previa. Su objetivo principal es **garantizar la pérdida de conciencia inmediata e irreversible de los peces antes de su matanza**, y en caso contrario, eliminarlos antes de que recobren la conciencia. Se enfatiza la importancia de contar con personal capacitado y experimentado en la manipulación de peces, así como en salud ocupacional y seguridad. Las instalaciones deben estar específicamente diseñadas para minimizar el riesgo de heridas y mantener una calidad adecuada del agua. Se describen métodos de aturdimiento y matanza, incluyendo métodos mecánicos (aturdimiento por percusión, clavija perforadora, disparo con bala libre) y eléctricos, descartando métodos que comprometen el bienestar de los peces, como el enfriamiento con hielo y la asfixia.



### 3. Actualización de las normativas nacionales

Tanto Escocia (CoGP, [RSPCA](#)) como Noruega ([Fishwell](#)) y Chile ([UACH](#), [Pincoy](#), [Welfcert](#)), han trabajado para establecer estándares, normas y certificaciones de bienestar animal específicamente en la salmonicultura. Ahora se suma este año la norma [Certified Humane](#) especialmente para la salmonicultura nacional. Esta norma cuenta con capítulos sobre alimento, salud, ambiente, gestión, manejos, transporte y cosecha, en todas las fases de producción. La norma también toma en cuenta la competencia de los equipos involucrados con el manejo y cuidado animal, tanto personal interno de la empresa como también los terceros (proveedores) tan comunes para ciertos manejos como, por ejemplo, equipos de vacunación o transporte.

Asimismo RSPCA establece estándares actualizados este año ([RSPCA, 2024](#)) para la cría, manejo, transporte y sacrificio de salmón Atlántico (*Salmo salar*).

**Basado en las "Cinco Libertades" definidas por el FAWC:**

- **Libertad de hambre y sed:** Acceso a agua fresca y dieta adecuada.
- **Libertad de incomodidad:** Entorno apropiado, incluyendo refugio y áreas de descanso.
- **Libertad de dolor, lesión o enfermedad:** Prevención, diagnóstico rápido y tratamiento.
- **Libertad para expresar comportamiento natural:** Espacio suficiente y compañía de su especie.
- **Libertad de miedo y angustia:** Condiciones y cuidados que eviten el sufrimiento mental



#### **Los aspectos más destacados de las nuevas normas incluyen:**

- Introducción de normas de **tratamiento no medicinal** para los piojos de mar y las enfermedades de las branquias.
- **Evaluaciones periódicas obligatorias** de resultados de bienestar tanto en sitios de agua dulce como de agua de mar.
- **Mejoras** en los procesos de **aturdimiento y sacrificio**, incluida la introducción del requisito de cobertura de CCTV para todo el proceso de sacrificio.
- Aclarar el requisito de realizar **controles diarios para detectar peces enfermos** o moribundos en todos los tanques y recintos, y de tomar medidas inmediatas ante cualquier problema identificado.
- **Planes** de producción formales escritos para **evitar el sacrificio innecesario** de peces de agua dulce.
- **Directrices actualizadas** para el **uso responsable de antibióticos**, que incluyen la exigencia de revisiones anuales y planes de acción escritos para reducir el uso de antibióticos cuando sea necesario.
- Se ha mejorado la **supervisión y los protocolos** para el **traslado y descarga** de salmones jóvenes para minimizar el estrés y los riesgos de escape.
- Implementación de más de **80 nuevas normas destinadas a mejorar el bienestar de los peces limpiadores**.

## 4. Programas Sanitarios

El Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura (SERNAPESCA) ha implementado diversos Programas Sanitarios. Estos programas se centran en la vigilancia, prevención, control de enfermedades, transporte y sacrificio de los animales, garantizando condiciones óptimas de salud y mejorando el bienestar para los peces de cultivo. Las iniciativas incluyen monitoreos regulares, establecimiento de protocolos de bioseguridad, y medidas de manejo sanitario que minimizan el estrés y las lesiones en los animales. Además, se fomenta la capacitación continua del personal en buenas prácticas de manejo y la adopción de tecnologías avanzadas para mejorar las condiciones de bienestar de los peces.

### **Programas sanitarios generales:**

- Programa Sanitario General ante Sospecha de Enfermedades de Alto Riesgo Lista 1 y de Etiología Desconocida (PSGSO).
- Programa Sanitario General de Vigilancia de Susceptibilidad a Antimicrobianos en la Salmonicultura.
- Programa Sanitario General de Procedimientos de Transporte (PSGT).
- Programa Sanitario General de cosecha (PSGC).
- Programa Sanitario General de Manejo de Enfermedades.

### **Programas sanitarios específicos:**

- Vigilancia activa de enfermedades de alto riesgo (PSEVA-EAR).
- Vigilancia y control de la anemia infecciosa del salmón (PSEVC-ISA).
- Vigilancia y control de piscirickettsiosis (PSEVC-SRS) y de caligidosis (PSEVC-CALIGIDOSIS), respectivamente.



**SEPTIEMBRE 2024**

# AVANCES EN SANIDAD ANIMAL Y SOSTENIBILIDAD EN ACUICULTURA

Boletín de divulgación científica para el  
Consejo del Salmón

**CENTER FOR ANTIMICROBIAL  
STEWARDSHIP IN  
AQUACULTURE (CASA)**

Centro Colaborador de la  
Organización Mundial de Sanidad Animal



## VISIÓN DEL CENTER FOR ANTIMICROBIAL STEWARDSHIP IN AQUACULTURE (CASA)



Somos un equipo multidisciplinario de profesionales e investigadores de la Universidad de Chile, con líneas de investigación en el uso prudente de antimicrobianos y resistencia antimicrobiana en acuicultura, específicamente en la producción de Salmón.

Como Centro Colaborador de la Organización Mundial de Sanidad Animal (OMSA) nuestro objetivo es contribuir al desarrollo de capacidades a los Servicios de Veterinarios de animales acuáticos de la Región de las Américas, proveerles de conocimiento científico y brindar asesoría en el campo de nuestra competencia, especialmente en el uso prudente de antimicrobianos en la acuicultura acorde a las normas del Código Acuático de la Estrategia OMSA.

### Equipo colaborador

**Laboratorio de Farmacología Veterinaria** Fac. de Cs. Veterinarias y Pecuarias

Dra. Javiera Cornejo (Directora ejecutiva), Dr. Aldo Maddaleno, Dra. Ekaterina Pokrant

**Center for Research and Innovation in Aquaculture** Interfacultades

Dr. José Manuel Yáñez, Dr. Jurij Wacyk, Dr. Rodrigo Pulgar, Dr. Mario Caruffo

**Laboratorio de Inocuidad de los Alimentos** Fac. de Cs. Veterinarias y Pecuarias

Dra. Lissette Lapierre, Ricardo Riquelme

**Asesores Senior**

Alicia Gallardo, José Miguel Burgos, Marcela Lara



El presente informe ha sido elaborado por el Center for Antimicrobial Stewardship in Aquaculture (CASA) de la Universidad de Chile para el Consejo del Salmón, en el marco del convenio de colaboración. Su objetivo es promover nuevas estrategias y estándares en la industria salmonera, en base a un actualizado estado del arte de la investigación en la gestión de antimicrobianos, sanidad y bienestar animal en la acuicultura y participaciones del CASA en diversas actividades ligadas a su mandato como centro colaborador de la OMSA. Compila los artículos científicos más pertinentes de los últimos tiempos, consolidando una variedad de investigaciones a nivel mundial, proporcionando un resumen y acceso directo a las publicaciones.



# Indice

## Sostenibilidad en la Acuicultura: Desafíos y Perspectivas para un Futuro Responsable.....4

1. Gobernanza de la acuicultura: cinco áreas de compromiso para la transformación hacia la sostenibilidad.....	4
2. Hacia una huella de carbono reducida: Estado actual y perspectivas para la acuicultura.....	5
3. Enfermedades bacterianas de la lubina asiática ( <i>Lates calcarifer</i> ): Una revisión para estrategias de manejo sanitario y sostenibilidad futura de la acuicultura.....	6
4. Socioecología de las fugas de salmón cultivado: 'Comunes' y desprivatización del salmón escapado para una mejor gestión de una especie potencialmente invasora.....	7
5. Explorando alternativas sostenibles en la alimentación acuícola: El papel de los insectos.....	8
6. Federación de "Acuicultura 4.0" para la sostenibilidad social y ambiental impulsada por datos.....	9
7. La intención de los consumidores europeos de comprar productos de acuicultura sostenible: Un estudio exploratorio.....	10
8. Expansión oceánica: La huella global de la acuicultura de moluscos y algas y sus implicaciones para la producción, el impacto ambiental y la bioseguridad.....	11
9. Sostenibilidad y nutrición: Actitud de los consumidores hacia las innovaciones en productos de acuicultura.....	12
10. Evaluación del ciclo de vida de la acuicultura integrada multitrófica: Una revisión sobre la metodología y los desafíos para su evaluación de sostenibilidad.....	13
11. La sostenibilidad de la acuicultura del camarón: Un estudio de caso basado en emergencia en el Golfo de Guayaquil treinta años después.....	14
12. Sostenibilidad ambiental, económica y social en la acuicultura: Indicadores de rendimiento acuícola.....	15



# Sostenibilidad en la Acuicultura: Desafíos y Perspectivas para un Futuro Responsable

La acuicultura ha emergido como una de las principales fuentes de proteína animal a nivel global, superando a la pesca en términos de producción total. Con la demanda mundial de productos acuáticos en constante crecimiento, la acuicultura se ha vuelto esencial para satisfacer las necesidades alimentarias de una población en aumento. Sin embargo, la expansión rápida del sector ha generado preocupaciones sobre su sostenibilidad ambiental, social y económica. Este capítulo explora los desafíos y estrategias clave para promover una acuicultura sostenible, desde la gobernanza y la innovación tecnológica hasta la mitigación de impactos ambientales y el aprovechamiento de prácticas ecológicas.

## 1. Gobernanza de la acuicultura: cinco áreas de compromiso para la transformación hacia la sostenibilidad.

### *Aquaculture governance: five engagement arenas for sustainability transformation.*

Este artículo profundiza en la necesidad urgente de reformar la gobernanza en la acuicultura para enfrentar los crecientes desafíos ambientales y sociales, y promover una transformación hacia la sostenibilidad. Los autores argumentan que los enfoques fragmentados y centrados exclusivamente en la intensificación de la producción acuícola no abordan los problemas interconectados de sostenibilidad, como los impactos ambientales y sociales. En su lugar, proponen un enfoque basado en sistemas que integre múltiples actores y sectores.

A través de un proceso de revisión exhaustiva y consulta con expertos en acuicultura y gobernanza, los autores identifican cinco áreas clave, o "arenas de participación", que son esenciales para impulsar una gobernanza transformadora en el sector acuícola. Estas arenas incluyen:

1. **Establecimiento de objetivos de transformación sostenible.**
2. **Vinculación intersectorial.**
3. **Conectividad tierra-agua-mar.**
4. **Conocimiento e innovación.**
5. **Cadenas de valor.**

El artículo concluye que para lograr una transformación efectiva de la acuicultura hacia la sostenibilidad, es necesario que los investigadores, legisladores y actores clave trabajen de manera coordinada en estas cinco áreas. Solo a través de una gobernanza transformadora que aborde los aspectos sociales, económicos y ecológicos, será posible asegurar el papel de la acuicultura en la seguridad alimentaria global de manera sostenible.

Partelow, S., Asif, F., Béné, C., Bush, S., Manlosa, A. O., Nagel, B., Schlüter, A., Chadag, V. M., Choudhury, A., Cole, S. M., Cottrell, R. S., Gelcich, S., Gentry, R., Gephart, J. A., Glaser, M., Johnson, T. R., Jonell, M., Krause, G., Kunzmann, A., ... Turchini, G. M. (2023).. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2023.101379>



## 2. Hacia una huella de carbono reducida: Estado actual y perspectivas para la acuicultura.

### ***Towards a low-carbon footprint: Current status and prospects for aquaculture.***

Este artículo revisa las estrategias actuales y futuras para reducir la huella de carbono en la acuicultura, destacando su creciente importancia en la producción de alimentos de origen acuático y su menor impacto climático comparado con la ganadería. Sin embargo, a medida que la acuicultura sigue expandiéndose, existe el riesgo de que las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) aumenten si no se adoptan medidas de mitigación adecuadas. Los autores abordan la necesidad urgente de mejorar la sostenibilidad ambiental de la acuicultura para minimizar sus efectos negativos sobre el cambio climático.

El estudio subraya la importancia de mejorar la eficiencia alimentaria en los sistemas acuícolas, promoviendo el uso de ingredientes más sostenibles y reduciendo la dependencia de fuentes de alto impacto ambiental. Además, la selección de especies con menor impacto, como los moluscos y ciertos peces herbívoros, se identifica como una opción clave para disminuir las emisiones y aumentar la captura de carbono en los ecosistemas acuáticos. Estas especies no solo son más eficientes desde el punto de vista energético, sino que también ofrecen beneficios ambientales adicionales al actuar como filtradores naturales y mejorar la calidad del agua.

Por último, el artículo analiza el potencial de las tecnologías emergentes, como los sistemas de recirculación de agua (RAS), que permiten un mayor control en la producción acuícola, pero cuyo consumo energético plantea desafíos. Los autores sugieren que la integración de energías renovables en estos sistemas podría reducir significativamente la huella de carbono de la acuicultura intensiva. Concluyen que es crucial seguir investigando y desarrollando políticas públicas que apoyen la adopción de prácticas sostenibles en la industria acuícola para garantizar su crecimiento sin comprometer el medio ambiente.

Ziegler, F., Pelletier, N., Tyedmers, P., & Parker, R. (2024). Towards a low-carbon footprint: Current status and prospects for aquaculture. *Water Biology and Security*, 3, 100290. <https://doi.org/10.1016/j.watbs.2024.100290>



### 3. Enfermedades bacterianas de la lubina asiática (*Lates calcarifer*): Una revisión para estrategias de manejo sanitario y sostenibilidad futura de la acuicultura.

#### ***Bacterial diseases of Asian sea bass (*Lates calcarifer*): A review for health management strategies and future aquaculture sustainability.***

Este artículo ofrece una revisión detallada sobre las enfermedades bacterianas que afectan al róbalo asiático (*Lates calcarifer*), una especie de gran importancia en la acuicultura. La expansión de la acuicultura ha impulsado la producción de esta especie, pero también ha provocado la aparición de nuevas enfermedades que afectan tanto a poblaciones silvestres como cultivadas. Entre las infecciones bacterianas más comunes se encuentran la estreptococosis, la vibrosis y la nocardiosis, que causan altas tasas de mortalidad y pérdidas económicas significativas.

El estudio explora las enfermedades emergentes y no emergentes, subrayando la falta de tratamientos probados y vacunas efectivas para muchas de estas infecciones. También se destacan las estrategias de manejo actuales, como la vacunación y el uso de tecnologías emergentes, como los nanopartículas y biosensores, que pueden mejorar la detección temprana y el control de las enfermedades bacterianas. Además, se abordan las implicaciones del cambio climático en la expansión de las enfermedades en la acuicultura del róbalo asiático.

Finalmente, el artículo hace un llamado a la necesidad de investigación continua para desarrollar mejores métodos de manejo de la salud y de sostenibilidad en la acuicultura. La integración de nuevas tecnologías, junto con enfoques de manejo preventivo, es crucial para garantizar la viabilidad a largo plazo de la acuicultura del róbalo asiático y mejorar su sostenibilidad frente a los desafíos ambientales y sanitarios.

La revisión también considera la creciente amenaza de enfermedades emergentes debido al cambio climático y la intensificación de la acuicultura, así como las posibles soluciones para mitigar el impacto de estas enfermedades en la sostenibilidad futura del cultivo de lubina asiática. Finalmente, se sugieren estrategias innovadoras para mejorar la gestión sanitaria en la acuicultura mediante la integración de prebióticos, probióticos y tecnologías avanzadas en la prevención y tratamiento de enfermedades bacterianas en este sector acuícola.

Islam, S. I., Mahfuj, S., Baqar, Z., Asadujjaman, M., Islam, M. J., Alsiwiehri, N., Almehmadi, M., Sanjida, S., & Ahammad, F. (2024). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e29793>



#### 4. Socioecología de las fugas de salmón cultivado: 'Comunes' y desprivatización del salmón escapado para una mejor gestión de una especie potencialmente invasora.

##### ***Socioecology of farmed salmon escapes: 'Commons' and de-privatization of escaped salmon for better management of a potentially invasive species.***

Este artículo explora los impactos socioecológicos de las fugas de salmón cultivado en el sur de Chile, donde estas fugas representan una creciente preocupación ambiental. El estudio se enfoca en la perspectiva de los pescadores artesanales en la región del Seno de Reloncaví, quienes han experimentado de primera mano los efectos de la industria del salmón, incluyendo la competencia con especies nativas, la contaminación del agua y la degradación del hábitat. El artículo utiliza un enfoque basado en entrevistas cualitativas para analizar cómo los pescadores locales perciben el impacto de las fugas de salmón en los ecosistemas locales y en su subsistencia.

El estudio revela que, a pesar de los beneficios económicos que la industria del salmón ha traído a la región, como la generación de empleos, los pescadores artesanales sienten que han sido desplazados de sus áreas tradicionales de pesca debido a la expansión de las granjas de salmón. Además, las fugas de salmón son vistas como una amenaza directa a la biodiversidad marina, ya que los peces escapados se convierten en depredadores competitivos que afectan negativamente a las especies locales. Este fenómeno se asocia con la reducción de recursos marinos disponibles para la pesca artesanal, lo que genera tensiones sociales y ambientales.

El artículo también analiza las limitaciones de la legislación chilena actual sobre la propiedad de los salmones fugados. Según las leyes vigentes, el salmón fugado sigue siendo propiedad de la empresa que lo cría, lo que restringe las capacidades de los pescadores artesanales para capturar y comercializar estos peces, a pesar del daño ambiental que causan. Esta situación ha dado lugar a una "tragedia de los comunes", donde los recursos compartidos, como el océano y sus especies, están siendo mal gestionados debido a la falta de mecanismos de gobernanza efectivos que integren a los actores locales en la toma de decisiones.

Finalmente, el artículo propone un marco de gobernanza que reconozca al salmón fugado como un bien común y permita la colaboración entre la industria salmonera y las comunidades pesqueras locales para gestionar mejor estos eventos. Este modelo implicaría cambios en la regulación para permitir que los pescadores artesanales participen en la recaptura de salmones fugados y reciban compensaciones justas por su trabajo, lo que podría reducir el impacto ambiental y mejorar las relaciones entre la industria y las comunidades locales.



## 5. Explorando alternativas sostenibles en la alimentación acuícola: El papel de los insectos.

### ***Exploring sustainable alternatives in aquaculture feeding: The role of insects.***

Este artículo examina el uso de insectos como una alternativa sostenible para la alimentación acuícola, destacando su potencial para reemplazar la harina de pescado, cuyo uso ha sido tradicional en el sector. La sobreexplotación de las poblaciones de peces silvestres y el aumento de los costos relacionados con la producción de harina de pescado han impulsado la búsqueda de fuentes alternativas de proteínas que sean más amigables con el medio ambiente. Los insectos, como *Hermetia illucens* y *Tenebrio molitor*, han demostrado ser una solución viable debido a su alto contenido proteíco, su perfil de aminoácidos esenciales, y su capacidad para ser producidos de manera eficiente.

El artículo subraya que los insectos no solo son una alternativa nutritiva, sino que también presentan beneficios adicionales, como la presencia de quitina, un compuesto con propiedades inmunomoduladoras y prebióticas, que puede mejorar la salud intestinal y la respuesta inmunológica en los peces. Aunque existen desafíos relacionados con la digestibilidad y el costo de producción de los insectos, se menciona que con la evolución de la legislación, particularmente en la Unión Europea, se espera un crecimiento en su uso. Además, la integración de insectos en los sistemas de alimentación acuícola puede promover una acuicultura más sostenible y eficiente.

Finalmente, se destacan los estudios que han demostrado que la sustitución parcial o total de la harina de pescado por insectos no compromete el crecimiento ni la calidad del pescado producido. Sin embargo, los autores también hacen un llamado a seguir investigando los mecanismos exactos a través de los cuales los insectos mejoran la digestibilidad y la salud de los peces, así como la necesidad de estandarizar la regulación sobre los sustratos utilizados en la alimentación de insectos para garantizar su seguridad y calidad.

Fantatto, R. R., Mota, J., Ligeiro, C., Vieira, I., Guigur, L. G., Santos, M., & Murta, D. (2024). <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2024.102228>



## 6. Federación de "Acuicultura 4.0" para la sostenibilidad social y ambiental impulsada por datos.

### ***Federating 'Aquaculture 4.0' for data-driven social and environmental sustainability.***

Este artículo explora la revolución de la acuicultura impulsada por la tecnología digital, conocida como "Acuicultura 4.0", que tiene el potencial de transformar los sistemas de producción acuática mediante el uso de Big Data y la toma de decisiones basada en algoritmos de aprendizaje automático. El artículo reconoce el potencial de estas tecnologías para mejorar la sostenibilidad de los sistemas alimentarios acuáticos a través de la recolección y análisis de grandes volúmenes de datos. Sin embargo, se señala que el actual ecosistema de datos de la acuicultura está fragmentado y dominado por plataformas privadas centradas en la eficiencia de producción, lo que limita el acceso a datos públicos que podrían utilizarse para la sostenibilidad social y ambiental.

El artículo presenta tres posibles escenarios para el desarrollo futuro del ecosistema de datos de la acuicultura: (1) la continuación de la fragmentación actual; (2) la centralización de los datos bajo una plataforma dominante; y (3) la creación de un ecosistema federado en el que los datos se compartan de manera más amplia y se integren para apoyar la sostenibilidad a nivel local y global. De estos, el escenario federado se considera el más prometedor para lograr una acuicultura más sostenible y equitativa, ya que permitiría la integración de datos entre diferentes actores, incluidas las granjas, los gobiernos y las organizaciones internacionales.

El estudio concluye que, para realizar el potencial de la Acuicultura 4.0, es esencial invertir en tres áreas prioritarias: mejorar las plataformas de gestión digital a nivel de granjas, fomentar la compartición de datos precompetitivos entre plataformas y crear mecanismos de intermediación que aseguren la adopción de tecnologías digitales de manera socialmente justa. Con estas inversiones, la acuicultura podría desempeñar un papel crucial en la mejora de la seguridad alimentaria mundial y la sostenibilidad ambiental.

Kruk, S. R. L., Bush, S. R., & Phillips, M. (2024). Federating 'Aquaculture 4.0' for data-driven social and environmental sustainability. *Marine Policy*, 169(106355), 106355. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2024.106355>



## 7. La intención de los consumidores europeos de comprar productos de acuicultura sostenible: Un estudio exploratorio.

### ***European consumers' intention to buy sustainable aquaculture products: An exploratory study.***

Este artículo investiga la intención de compra de productos de acuicultura sostenible de bajo nivel trófico (LTA, por sus siglas en inglés) entre consumidores europeos, específicamente en Dinamarca, el Reino Unido y Francia. Los productos LTA, como las algas y los mejillones, son especies que ocupan posiciones bajas en la cadena alimentaria y son eficientes en el uso de recursos. Estos productos tienen un menor impacto ambiental en comparación con especies de nivel trófico más alto, como el salmón y la trucha. El estudio utilizó un modelo extendido de la teoría del comportamiento planificado (TPB) para explorar cómo la conciencia sobre la salud, el conocimiento subjetivo y la neofobia alimentaria afectan la intención de los consumidores de comprar estos productos. A través de un cuestionario en línea, se encuestó a alrededor de 500 consumidores en cada país, analizando sus estilos de vida relacionados con los alimentos.

El análisis reveló cinco segmentos distintos de consumidores: "Aventureros", "Desinteresados", "Gourmets", "Racionales" y "Conservadores", cada uno con patrones de comportamiento únicos. El modelo estructural de ecuaciones mostró que las normas subjetivas son el principal predictor de la intención de compra de productos LTA, seguido por la actitud hacia estos productos, la neofobia alimentaria, el conocimiento subjetivo y la conciencia sobre la salud. Además, la neofobia alimentaria moderó la influencia de las normas subjetivas y el conocimiento subjetivo sobre la intención de compra, lo que sugiere que los consumidores que temen probar nuevos alimentos son menos influenciados por la presión social y su conocimiento percibido de los productos LTA.

Los resultados del estudio sugieren que los esfuerzos de marketing para aumentar la adopción de productos LTA deberían enfocarse principalmente en el segmento "Gourmet", que se caracteriza por un alto nivel de participación y disposición a innovar. Estos consumidores valoran atributos relacionados con la calidad, la conciencia sobre la salud y el conocimiento subjetivo. El estudio también subraya la importancia de mitigar la neofobia alimentaria a través de estrategias de marketing que aprovechen las normas sociales y promuevan los beneficios de los productos LTA para la salud y el medio ambiente.

Tunca, S., Budhathoki, M., & Brunsø, K. (2024). European consumers' intention to buy sustainable aquaculture products: An exploratory study. *Sustainable Production and Consumption*, 50, 20–34. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2024.07.021>



## 8. Expansión oceánica: La huella global de la acuicultura de moluscos y algas y sus implicaciones para la producción, el impacto ambiental y la bioseguridad.

### ***Ocean sprawl: The global footprint of shellfish and algae aquaculture and its implications for production, environmental impact, and biosecurity.***

Este artículo investiga la expansión de la acuicultura de moluscos y algas en todo el mundo, evaluando sus efectos en el ambiente marino y las implicaciones para la producción y la bioseguridad. A medida que la demanda mundial de productos acuáticos sigue aumentando, la acuicultura de especies no alimentadas, como los moluscos y las algas, ha demostrado ser una alternativa eficiente en términos de costos y recursos, pero conlleva desafíos asociados a su impacto en los ecosistemas costeros. Utilizando imágenes satelitales, los autores mapearon las estructuras de acuicultura suspendida en cinco países que representan más del 90% de la producción global: China, Corea del Sur, Chile, Japón y Vietnam.

Los resultados del estudio revelaron que China y Corea del Sur tienen la mayor densidad de estructuras acuícolas, mientras que las granjas de Vietnam están más cerca de la costa. La investigación también destaca que el tipo de infraestructura utilizada, como líneas largas y balsas, varía según el país y las condiciones locales, lo que afecta el impacto ambiental. Estas infraestructuras pueden alterar los patrones hidrológicos y los ciclos de nutrientes, con efectos tanto positivos como negativos sobre los ecosistemas marinos.

El estudio también aborda los riesgos de bioseguridad, como la propagación de parásitos y enfermedades entre las granjas y el medio ambiente circundante, lo que puede generar pérdidas económicas significativas y afectar a las especies nativas. Los autores sugieren que una mejor gestión espacial y regulaciones más estrictas podrían mitigar estos riesgos, al tiempo que se maximizan los beneficios de la acuicultura en áreas adecuadas para la producción sostenible.

Finalmente, los autores subrayan la importancia de aplicar enfoques de gestión que consideren la capacidad de carga de los ecosistemas y las interacciones entre las infraestructuras acuícolas y los hábitats costeros. Los datos recopilados permiten una visión más clara de cómo la distribución y la densidad de las granjas acuícolas afectan tanto la producción como el ambiente, lo que es fundamental para el futuro desarrollo sostenible de la acuicultura a escala global.

Harvey, M. ,Barrett, L. T. ;Morris, R. L. ; Swearer, S. E. ; Dempster, T. (2024). Ocean sprawl: The global footprint of shellfish and algae aquaculture and its implications for production, environmental impact, and biosecurity. *Aquaculture*. 10.1016/j.aquaculture.2024.740747



## 9. Sostenibilidad y nutrición: Actitud de los consumidores hacia las innovaciones en productos de acuicultura.

### ***Sustainability and nutrition: Consumers' attitude toward innovations in aquaculture products.***

Este estudio investiga las percepciones de los consumidores de los Estados Unidos sobre productos de acuicultura, examinando cómo las diferentes metodologías de producción —tradicionales, tecnológicas y convencionales— influyen en su aceptación. A través de un experimento en línea con 186 participantes, los consumidores fueron expuestos a productos de acuicultura marina, como camarones, salmón y vieiras, presentados en distintos niveles de procesamiento (bajo y alto). Los participantes fueron asignados a una de tres condiciones: una en la que se enfatizaba un enfoque tradicional en la producción, otra que destacaba el uso de tecnología avanzada, y una tercera que usaba métodos convencionales.

Los resultados mostraron que los productos que se presentaban como producidos de manera tradicional obtenían mejores valoraciones en términos de sabor, salud y sostenibilidad. Por el contrario, los productos asociados con un enfoque tecnológico fueron percibidos como menos sabrosos y saludables, aunque los productos de alto procesamiento con una imagen tecnológica fueron mejor valorados que los de bajo procesamiento. Además, los consumidores tendieron a confiar más en los productos provenientes de empresas con una imagen de marca basada en la tradición, lo que se reflejó en una percepción más positiva de los atributos nutricionales y sostenibles de dichos productos.

El estudio también reveló que la personalidad de la marca desempeña un papel clave en la aceptación del consumidor. Se descubrió que una imagen de marca que transmite sinceridad, vinculada a métodos tradicionales, genera mayor confianza, lo que impacta positivamente en la percepción de los atributos del producto. Por otro lado, una imagen de marca orientada a la tecnología se asocia con una personalidad de marca más entusiasta, lo que también puede influir en la percepción de los productos, aunque de manera menos significativa.

Finalmente, el estudio subraya que las estrategias de comunicación que combinan la innovación tecnológica con un enfoque que respete la tradición pueden ser clave para superar la resistencia de los consumidores a los productos de acuicultura innovadores.

Lu, J., Xiao, Y., & Zhang, W. (2024). Taste, sustainability, and nutrition: Consumers' attitude toward innovations in aquaculture products. *Aquaculture*, 587, 740834. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0044848624002953>



## 10. Evaluación del ciclo de vida de la acuicultura integrada multitrófica: Una revisión sobre la metodología y los desafíos para su evaluación de sostenibilidad.

### *Life Cycle Assessment of Integrated Multi-Trophic Aquaculture: A Review on Methodology and Challenges for its Sustainability Evaluation.*

Este artículo revisa el uso de la evaluación del ciclo de vida (LCA) en la acuicultura integrada multitrófica (IMTA), un sistema que ha ganado relevancia por su enfoque circular en la utilización de nutrientes y su potencial para reducir el impacto ambiental de la acuicultura convencional. IMTA es una práctica que data de milenios, pero ha cobrado atención recientemente debido a su capacidad para reducir la contaminación y promover la sostenibilidad social y económica. Este estudio analiza 29 estudios de LCA realizados entre 2009 y 2022, para identificar los desafíos metodológicos y los beneficios que ofrece la evaluación de IMTA frente a sistemas de monocultivo.

Los principales desafíos en la implementación de LCA en IMTA incluyen la definición adecuada de la unidad funcional, la necesidad de una base de datos específica para el sector acuícola, y la metodología para la recolección de datos y la categorización de impactos ambientales. Los estudios indican que los puntos críticos en el sistema IMTA son el uso de energía, los efluentes de los peces y la alimentación, siendo estos factores claves para reducir el impacto total del sistema. Además, los investigadores recomiendan la creación de una base de datos específica para la acuicultura y la estandarización de la metodología de evaluación para mejorar la consistencia y comparabilidad entre estudios.

El artículo concluye que IMTA tiene un gran potencial para ser una alternativa más sostenible en comparación con los sistemas de monocultivo, pero se requiere más investigación para mejorar la consistencia y la fiabilidad de la metodología de LCA aplicada a la evaluación de estos sistemas.

Hala, A. F., Chougule, K., Cunha, M. E., Mendes, M. C., Oliveira, I., Bradley, T., Forbes, J., & Speranza, L. G. (2024). Life cycle assessment of integrated multi-trophic aquaculture: A review on methodology and challenges for its sustainability evaluation. *Aquaculture*, 590, 741035. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0044848624004964>



## 11. La sostenibilidad de la acuicultura del camarón: Un estudio de caso basado en emergía en el Golfo de Guayaquil treinta años después.

### ***The sustainability of shrimp aquaculture: An energy-based case study in the Gulf of Guayaquil thirty years later.***

Este artículo evalúa la sostenibilidad de la acuicultura del camarón en Ecuador utilizando la metodología de contabilidad de emergía para comparar los resultados de 2021 con un estudio anterior de 1991. La contabilidad de emergía estima el apoyo ambiental necesario para cualquier proceso en la biosfera basado en la energía solar (sej) requerida para la producción de bienes o servicios. El estudio analiza una granja camaronera típica en el Golfo de Guayaquil y encuentra que, aunque ha aumentado el rendimiento anual, no ha mejorado la eficiencia ni la sostenibilidad de emergía, y no se ha reducido la presión sobre el medio ambiente en comparación con el análisis de 1991. A pesar de la fuerte dependencia de los alimentos comerciales, la acuicultura semi-intensiva en Ecuador sigue recibiendo una contribución significativa de recursos renovables naturales, lo que resulta en una sostenibilidad general similar a la de otros sistemas de cultivo extensivos y superintensivos en Brasil.

El artículo sugiere que los sistemas que dependen en mayor medida de recursos naturales renovables, como el caso de la producción de café orgánico en Perú, pueden ser más deseables a largo plazo tanto desde una perspectiva económica como ambiental. Los hallazgos revelan una tendencia decreciente en la sostenibilidad del sistema actual de producción de camarón en Ecuador y exhortan a la sociedad a considerar alternativas que no subestimen la renovabilidad de los insumos del sistema.

Viera-Romero, A. M., Diemont, S. A. W., Selfa, T. L., & Luzadis, V. A. (2024). The sustainability of shrimp aquaculture: An energy-based case study in the Gulf of Guayaquil thirty years later. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 194, 114326. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032124000492>



## 12. Sostenibilidad ambiental, económica y social en la acuicultura: Indicadores de rendimiento acuícola.

### ***Environmental, economic, and social sustainability in aquaculture: The aquaculture performance indicators***

Este artículo aborda la sostenibilidad de la acuicultura desde tres pilares fundamentales: el ambiental, el económico y el social. Utilizando los Indicadores de Rendimiento de la Acuicultura (APIs), los autores evaluaron 57 sistemas acuícolas en 21 países, cubriendo el 41% de la producción mundial. Se analizaron 88 métricas que miden resultados ambientales, económicos y sociales, revelando que, en promedio, los resultados en estos pilares son complementarios y no muestran intercambios sistemáticos entre ellos. Sin embargo, los sistemas acuícolas presentan una gran heterogeneidad en cuanto a su sostenibilidad, lo que sugiere que algunos enfoques de producción requieren ajustes para mejorar su desempeño en una o más dimensiones.

El estudio revela que los sistemas de acuicultura marina y de agua dulce tienen un rendimiento similar en términos de sostenibilidad, desafiando las percepciones tradicionales que favorecen uno sobre el otro. También se encontró que los monocultivos superan a los policultivos en las tres dimensiones de la sostenibilidad, lo que contradice la creencia común de que los policultivos son más eficientes en el uso de recursos. Entre las especies evaluadas, los moluscos destacan por su rendimiento ambiental debido a su capacidad de proporcionar servicios ecosistémicos, mientras que el salmón lidera en términos económicos y sociales, aunque presenta desafíos en cuanto a la propiedad local y la mano de obra.

Los resultados sugieren que la sostenibilidad en la acuicultura no debe ser vista como una serie de compromisos entre lo ambiental, económico y social, sino como una oportunidad para mejorar el rendimiento en todas las áreas con las políticas e inversiones adecuadas. El artículo concluye destacando la necesidad de una recopilación de datos más amplia y detallada para seguir mejorando el rendimiento de la acuicultura a nivel global.



Garlock, T. M., Asche, F., Anderson, J. L., Eggert, H., Anderson, T. M., Che, B., Chávez, C. A., Chu, J., Chukwuone, N., Dey, M. M., Fitzsimmons, K., Flores, J., Guillen, J., Kumar, G., Liu, L., Llorente, I., Nguyen, L., Nielsen, R., Pincinato, R. B. M., ... Tveten, R. (2024). Environmental, economic, and social sustainability in aquaculture: The aquaculture performance indicators. *Nature Communications*, 15(5274).



OCTUBRE 2024

# AVANCES EN SANIDAD ANIMAL Y SOSTENIBILIDAD EN ACUICULTURA

Boletín de divulgación científica para el  
Consejo del Salmón

**CENTER FOR ANTIMICROBIAL  
STEWARSHIP IN  
AQUACULTURE (CASA)**

Centro Colaborador de la  
Organización Mundial de Sanidad Animal



## VISIÓN DEL CENTER FOR ANTIMICROBIAL STEWARDSHIP IN AQUACULTURE (CASA)

Somos un equipo multidisciplinario de profesionales e investigadores de la Universidad de Chile, con líneas de investigación en el uso prudente de antimicrobianos y resistencia antimicrobiana en acuicultura, específicamente en la producción de Salmón.

Como Centro Colaborador de la Organización Mundial de Sanidad Animal (OMSA) nuestro objetivo es contribuir al desarrollo de capacidades a los Servicios de Veterinarios de animales acuáticos de la Región de las Américas, proveerles de conocimiento científico y brindar asesoría en el campo de nuestra competencia, especialmente en el uso prudente de antimicrobianos en la acuicultura acorde a las normas del Código Acuático de la Estrategia OMSA.

### Equipo colaborador

**Laboratorio de Farmacología Veterinaria** Fac. de Cs. Veterinarias y Pecuarias

Dra. Javiera Cornejo (Directora ejecutiva), Dr. Aldo Maddaleno, Dra. Ekaterina Pokrant

**Center for Research and Innovation in Aquaculture** Interfacultades

Dr. José Manuel Yáñez, Dr. Jurij Wacyk, Dr. Rodrigo Pulgar, Dr. Mario Caruffo

**Laboratorio de Inocuidad de los Alimentos** Fac. de Cs. Veterinarias y Pecuarias

Dra. Lissette Lapierre, Ricardo Riquelme

**Asesores Senior**

Alicia Gallardo, José Miguel Burgos, Marcela Lara



El presente informe ha sido elaborado por el Center for Antimicrobial Stewardship in Aquaculture (CASA) de la Universidad de Chile para el Consejo del Salmón, en el marco del convenio de colaboración. Su objetivo es promover nuevas estrategias y estándares en la industria salmonera, en base a un actualizado estado del arte de la investigación en la gestión de antimicrobianos, sanidad y bienestar animal en la acuicultura y participaciones del CASA en diversas actividades ligadas a su mandato como centro colaborador de la OMSA. Compila los artículos científicos más pertinentes de los últimos tiempos, consolidando una variedad de investigaciones a nivel mundial, proporcionando un resumen y acceso directo a las publicaciones.



# Índice

## Estrategias Sostenibles para la Alimentación en la Acuicultura ..... 5

1. Optimización del valor nutricional de los productos acuícolas y la sostenibilidad ambiental mediante una herramienta de modelado integrada, aplicable a IMTA y monocultivo.....	5
2. Bacterioruberina microbiana: El nuevo carotenoide C50 en la industria alimentaria.....	6
3. Materias primas candidatas para una alimentación sostenible de la serviola ( <i>Seriola dumerili</i> ) criada en sistemas acuícolas de recirculación: Digestibilidad aparente, propiedades físicas de las dietas y heces, y excreción de nitrógeno posprandial.....	7
4. El procesamiento por extrusión mejora la digestibilidad de la biomasa coproducto de microalgas <i>Nannochloropsis oculata</i> para la trucha arcoíris en dietas acuícolas más sostenibles.....	8
5. Perfil de nutrientes específicos de especies y dietas en aguas residuales acuícolas: Implicaciones para la acuaponía y el desarrollo de dietas sostenibles para acuaponía.....	9
6. Revelando los impactos fisiológicos del reemplazo de harina de soya por harina de alverja de Narbona ( <i>Vicia narbonensis</i> ) en dietas de trucha arcoíris ( <i>Oncorhynchus mykiss</i> ): Hacia una acuicultura europea más sostenible.....	10
7. Pigmentación carotenoide en el salmón: Variación en la expresión del locus BCO2-I controla un rasgo clave de aptitud relacionado con la coloración roja.....	11



# Indice

8. Bacillus indicus y Bacillus subtilis como promotores alternativos de la salud y la coloración en especies acuáticas de ciprínidos frente a la astaxantina sintética.....	12
9. Efecto antibiofilm de los aceites esenciales en la industria alimentaria.....	13
10. Explorando alternativas sostenibles en la alimentación acuática: El papel de los insectos.....	14
11. Dietas sostenibles sin harina de pescado para la dorada ( <i>Sparus aurata</i> ): Respuesta integrada de biomarcadores para evaluar los efectos en el rendimiento del crecimiento, el metabolismo de lípidos, la defensa antioxidante y el estado inmunológico.....	15
12. Evaluación de fuentes alternativas de proteínas y otros nutrientes con aplicaciones potenciales en la nutrición de peces.....	16
13. Explorando alternativas sostenibles para la alimentación acuática con un enfoque específico en la tecnología de ensilado de desechos de pescado.....	17
14. El papel de los aditivos alimentarios funcionales en mejorar la sostenibilidad de la acuicultura.....	18



## Estrategias Sostenibles para la Alimentación en la Acuicultura

### 1 Optimización del valor nutricional de los productos acuícolas y la sostenibilidad ambiental mediante una herramienta de modelado integrada, aplicable a IMTA y monocultivo.

***Optimising seafood nutritional value and environmental sustainability in aquaculture through a novel integrated modelling tool applicable to IMTA and monoculture.***

Este estudio presenta un modelo biofísico llamado FYNE, diseñado para optimizar la sostenibilidad ambiental y el valor nutricional de los productos de acuicultura. El modelo FYNE integra parámetros de producción, nutrición y huella ambiental en sistemas de acuicultura, tanto en monocultivos como en la Acuicultura Multitrófica Integrada (IMTA). El enfoque permite estimar los efectos de la composición del alimento sobre el crecimiento de especies como el salmón Atlántico (*Salmo salar*) y el mejillón azul (*Mytilus edulis*), así como sobre los niveles de eutrofización generados por el cultivo.

En su aplicación a una granja de IMTA en Escocia, los resultados mostraron que la composición del alimento influye significativamente en los niveles de ácidos grasos esenciales, como DHA y EPA, en los productos cultivados. Además, se demostró que los residuos del salmón tienen una influencia limitada en el crecimiento de los mejillones debido a la separación espacial en el sistema IMTA, destacando la importancia de una correcta ubicación de las especies para optimizar la eficiencia del reciclaje de nutrientes.

El estudio concluye que el modelo FYNE puede apoyar la toma de decisiones en la industria acuícola, ayudando a mejorar la calidad nutricional de los productos marinos y a mitigar el impacto ambiental a nivel de granja, especialmente en lo que respecta a la eutrofización. Además, se enfatiza la necesidad de fórmulas de alimento equilibradas que, al aumentar la inclusión de harina de pescado, logran mejores resultados ambientales, aunque a costa de reducir ácidos grasos clave como el DHA y EPA.

MacDonald, A., Serpetti, N., & Franco, S. C. (2024). Optimising seafood nutritional value and environmental sustainability in aquaculture through a novel integrated modelling tool applicable to IMTA and monoculture. *Aquaculture*, 590, 741046.

## 2. Bacterioruberina microbiana: El nuevo carotenoide C50 en la industria alimentaria.

### ***Microbial bacterioruberin: The new C50 carotenoid player in food industries.***

Este artículo revisa las propiedades químicas y biológicas de la bacterioruberina (BR), un carotenoide C50 producido por arqueas halófilas, destacando su potencial como antioxidante en diversas aplicaciones industriales. A diferencia de otros carotenoides como la astaxantina, BR tiene una estructura única con 13 enlaces dobles conjugados y cuatro grupos hidroxilo, lo que le confiere una capacidad antioxidante superior. Estas características lo hacen especialmente atractivo para la industria alimentaria, farmacéutica, cosmética y de suplementos, en un contexto de creciente demanda de productos naturales por parte de los consumidores.

La bacterioruberina presenta ventajas notables sobre los carotenoides convencionales debido a su mayor solubilidad en agua y estabilidad química. Estos factores la hacen ideal para su incorporación en productos funcionales y nutracéuticos. Además, estudios recientes han demostrado que los extractos ricos en BR tienen una capacidad antioxidante superior a la astaxantina, mostrando una efectividad hasta 26 veces mayor en la neutralización de radicales libres. Esto posiciona a BR como un candidato prometedor para combatir el estrés oxidativo y las enfermedades relacionadas con la inflamación.

A nivel de producción, el artículo aborda los desafíos y avances en la obtención de BR a partir de microorganismos halófilos. La complejidad de los medios de cultivo y la necesidad de condiciones ambientales específicas dificultan su producción a gran escala, aunque se han logrado avances significativos en el uso de técnicas como la ingeniería genética y el procesamiento bioquímico. Asimismo, se exploran métodos avanzados para la extracción de BR, que incluyen técnicas asistidas por microondas y fluidos supercríticos, que mejoran la eficiencia y reducen costos.

Finalmente, el artículo señala que, aunque BR no está destinado a reemplazar a otros carotenoides, su inclusión diversifica la oferta de productos naturales en el mercado. El futuro de BR en la industria depende de continuar optimizando su producción y superando desafíos relacionados con la toxicidad y la biodisponibilidad, para lo cual la colaboración interdisciplinaria entre biotecnología, microbiología y bioingeniería será clave en su desarrollo comercial.

Mussagy, C. U., Caicedo-Paz, A. V., Farias, F. O., de Souza Mesquita, L. M., Giuffrida, D., & Dufossé, L. (2024). Microbial bacterioruberin: The new C50 carotenoid player in food industries. *Food Microbiology*, 124(104623), 104623. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2024.104623>

### **3. Materias primas candidatas para una alimentación sostenible de la serviola (*Seriola dumerili*) criada en sistemas acuícolas de recirculación: Digestibilidad aparente, propiedades físicas de las dietas y heces, y excreción de nitrógeno posprandial.**

#### **Candidate raw materials for a sustainable feeding of greater amberjack (*Seriola dumerili*) reared in recirculating aquaculture systems: Apparent digestibility, physical properties of diets and faeces, and postprandial nitrogen excretion.**

Este estudio explora la viabilidad de utilizar pellets artificiales como alimento para paralarvas de *Octopus tetricus*, una especie con alta demanda comercial. El uso de pellets podría ofrecer una alternativa más eficiente y económica frente a la alimentación basada en presas vivas, que es costosa y laboriosa. El objetivo del experimento fue evaluar cómo el tamaño y la forma de los pellets afectan el comportamiento de captura de las paralarvas. Se probaron seis tipos de pellets artificiales, variando entre tres tamaños (pequeño, mediano y grande) y dos formas (esférico y rectangular).

Los resultados mostraron que las paralarvas no presentaron preferencia por la forma de los pellets, capturando tanto los esféricos como los rectangulares con tasas similares. Sin embargo, el tamaño sí tuvo un impacto significativo en el éxito de captura. Las paralarvas mostraron una mayor tasa de captura de los pellets pequeños, con 57 capturas de estos frente a 34 capturas de los medianos y solo 14 de los grandes. Esto sugiere que el tamaño del pellet es un factor clave que influye en el comportamiento de alimentación en esta etapa temprana del desarrollo de los cefalópodos.

En cuanto al tiempo de manipulación, se observó que los pellets rectangulares se manejaban en menor tiempo que los esféricos. El tiempo promedio de manipulación fue de 13 segundos para los rectangulares, en comparación con 31 segundos para los esféricos. A pesar de esto, la mayoría de las paralarvas rechazaron los pellets en menos de 20 segundos, lo que indica que la palatabilidad de los pellets actuales es insuficiente. Este hallazgo destaca la necesidad de mejorar los ingredientes y características sensoriales de los pellets para estimular una mayor aceptación.

El estudio concluye que, aunque los pellets artificiales son prometedores como una solución más sostenible para el cultivo de paralarvas de *Octopus tetricus*, se requieren mejoras en su composición para hacerlos más atractivos desde el punto de vista nutricional y gustativo. El siguiente paso en la investigación sería investigar la inclusión de compuestos que activen las respuestas gustativas y aumentar la probabilidad de que los pellets sean ingeridos completamente. Estos avances podrían contribuir significativamente al desarrollo de la acuicultura de pulpos.

Fanizza, C., Milián-Sorribes, M. C., Jover-Cerdá, M., Martínez-Llorens, S., Trocino, A., & Tomás-Vidal, A. (2024). Candidate raw materials for a sustainable feeding of greater amberjack (*Seriola dumerili*) reared in recirculating aquaculture systems: Apparent digestibility, physical properties of diets and faeces, and postprandial nitrogen excretion. *Aquaculture*, 591(741117), 741117. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2024.741117>

#### 4. El procesamiento por extrusión mejora la digestibilidad de la biomasa coproducto de microalgas *Nannochloropsis oculata* para la trucha arcoíris en dietas acuícolas más sostenibles.

##### ***Extrusion processing improves rainbow trout digestibility of microalgal *Nannochloropsis oculata* co-product biomass for more sustainable aquaculture diets.***

Este estudio investigó la viabilidad de utilizar coproductos de la microalga *Nannochloropsis oculata* como ingrediente alternativo en dietas para la trucha arcoíris, con el fin de reemplazar el uso insostenible de harina y aceite de pescado en la acuicultura. El coproducto de *N. oculata* es el material que queda después de extraer los aceites ricos en omega-3, lo que lo convierte en una opción prometedora como fuente de proteínas. Para mejorar la digestibilidad de este coproducto, los investigadores evaluaron el impacto de dos métodos de procesamiento: la extrusión a diferentes temperaturas y el tratamiento enzimático, probando su efecto en la digestibilidad de nutrientes clave como proteínas, aminoácidos y ácidos grasos omega-3.

Los resultados mostraron que el procesamiento por extrusión a baja temperatura (90°C) mejoró significativamente la digestibilidad de las proteínas y la energía en comparación con el coproducto crudo, lo que lo convierte en una excelente fuente de proteína digestible para la trucha arcoíris. Sin embargo, el procesamiento a temperaturas más altas (127°C) resultó en una disminución significativa en los niveles de metionina, un aminoácido esencial. Los tratamientos enzimáticos no ofrecieron mejoras notables en la digestibilidad en comparación con la extrusión. En cuanto a los ácidos grasos, los coproductos tratados con extrusión a 90°C presentaron una mayor digestibilidad de ácidos grasos poliinsaturados omega-3, incluidos el EPA (ácido eicosapentaenoico), en comparación con el coproducto crudo. Estos resultados sugieren que el coproducto extruido de *N. oculata* es una alternativa viable a la harina de pescado en dietas para trucha arcoíris, mejorando tanto la calidad nutricional como la sostenibilidad ambiental de las dietas acuícolas.

En conclusión, el estudio sugiere que el coproducto de *N. oculata* procesado por extrusión a 90°C ofrece un buen perfil nutricional, con alta digestibilidad de proteínas y ácidos grasos esenciales, lo que permite su uso como sustituto de la harina de pescado en dietas acuícolas. Los investigadores proponen que futuros estudios evalúen niveles de inclusión del coproducto en las dietas, así como su impacto en el crecimiento, la eficiencia alimentaria y la calidad del filete en trucha arcoíris.

Sarker, P. K., Kapuscinski, A. R., Fitzgerald, D., Greenwood, C., Nocera, P., O'Shelski, K., Lee, B., Mkulama, A., Andrade, S., Gwynne, D., Orcajo, D. G., Warkaw, L., & Schoffstall, B. (2023).. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2023.103295>

## 5. Perfil de nutrientes específicos de especies y dietas en aguas residuales acuícolas: Implicaciones para la acuaponía y el desarrollo de dietas sostenibles para acuaponía.

### Species- and diet-specific aquaculture wastewater nutrient profile: Implications for aquaponics and development of sustainable aquaponics diet.

Este estudio investigó la viabilidad de utilizar coproductos de la microalga *Nannochloropsis oculata* como ingrediente alternativo en dietas para la trucha arcoíris, con el fin de reemplazar el uso insostenible de harina y aceite de pescado en la acuicultura. El coproducto de *N. oculata* es el material que queda después de extraer los aceites ricos en omega-3, lo que lo convierte en una opción prometedora como fuente de proteínas. Para mejorar la digestibilidad de este coproducto, los investigadores evaluaron el impacto de dos métodos de procesamiento: la extrusión a diferentes temperaturas y el tratamiento enzimático, probando su efecto en la digestibilidad de nutrientes clave como proteínas, aminoácidos y ácidos grasos omega-3.

Los resultados mostraron que el procesamiento por extrusión a baja temperatura (90°C) mejoró significativamente la digestibilidad de las proteínas y la energía en comparación con el coproducto crudo, lo que lo convierte en una excelente fuente de proteína digestible para la trucha arcoíris. Sin embargo, el procesamiento a temperaturas más altas (127°C) resultó en una disminución significativa en los niveles de metionina, un aminoácido esencial. Los tratamientos enzimáticos no ofrecieron mejoras notables en la digestibilidad en comparación con la extrusión. En cuanto a los ácidos grasos, los coproductos tratados con extrusión a 90°C presentaron una mayor digestibilidad de ácidos grasos poliinsaturados omega-3, incluidos el EPA (ácido eicosapentaenoico), en comparación con el coproducto crudo. Estos resultados sugieren que el coproducto extruido de *N. oculata* es una alternativa viable a la harina de pescado en dietas para trucha arcoíris, mejorando tanto la calidad nutricional como la sostenibilidad ambiental de las dietas acuícolas.

En conclusión, el estudio sugiere que el coproducto de *N. oculata* procesado por extrusión a 90°C ofrece un buen perfil nutricional, con alta digestibilidad de proteínas y ácidos grasos esenciales, lo que permite su uso como sustituto de la harina de pescado en dietas acuícolas. Los investigadores proponen que futuros estudios evalúen niveles de inclusión del coproducto en las dietas, así como su impacto en el crecimiento, la eficiencia alimentaria y la calidad del filete en trucha arcoíris.

Gebauer, R., Brügmann, A., Folorunso, E. A., Goldhammer, T., Gebauer, T., Schöning, V., Bittmann, S., Knopf, K., Mráz, J., & Kloas, W. (2023). Species- and diet-specific aquaculture wastewater nutrient profile: Implications for aquaponics and development of sustainable aquaponics diet. *Aquaculture* (Amsterdam, Netherlands), 568(739307), 739307. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.739307>

## 6. Revelando los impactos fisiológicos del reemplazo de harina de soya por harina de alverja de Narbona (*Vicia narbonensis*) en dietas de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*): Hacia una acuicultura europea más sostenible.

### *Uncovering the physiological impacts of soybean meal replacement by Narbonne vetch (*Vicia narbonensis*) meal in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) diets: Towards the future and sustainable European aquaculture.*

Este estudio evaluó los impactos fisiológicos del reemplazo parcial de la harina de soya (SBM) por harina de veza de Narbona (NVM) en dietas para trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*), en el contexto de mejorar la sostenibilidad de la acuicultura europea. La harina de veza de Narbona se ha identificado como una alternativa local a la harina de soya, que podría reducir la dependencia de las importaciones y disminuir la huella de carbono en la producción de alimentos para peces. El estudio utilizó un enfoque integral, evaluando parámetros bioquímicos, histológicos y la expresión génica en truchas alimentadas con dietas en las que se reemplazaba el 33% y 66% de la SBM por NVM, tratada o no con enzimas exógenas.

Los resultados mostraron que, si bien el reemplazo de SBM por NVM al 33% no afectó el crecimiento de las truchas, niveles más altos de reemplazo (66%) causaron una reducción en la actividad de las enzimas digestivas, como la tripsina y quimotripsina, además de una disminución en los triglicéridos plasmáticos y en los niveles hepáticos de vitamina E. Estos cambios sugieren una limitación en la digestión de proteínas y grasas, particularmente en las dietas con un alto contenido de NVM. Las dietas que incluían un 66% de NVM también mostraron un impacto negativo en la integridad de los hepatocitos y en la expresión de genes clave relacionados con el transporte de glucosa y la absorción de vitaminas solubles en grasa.

La presencia de polisacáridos no almidonados (NSP) en la NVM fue identificada como uno de los principales factores que afectaron la digestión de carbohidratos y grasas en las truchas. Estos NSP no solo redujeron la actividad de la amilasa  $\alpha$ , encargada de la degradación del almidón, sino que también afectaron la absorción de nutrientes esenciales. La evaluación histológica reveló una disminución en la integridad de las células del intestino proximal en los peces alimentados con dietas de alta NVM, lo que podría estar relacionado con la presencia de inhibidores de enzimas presentes en la veza de Narbona.

En conclusión, el reemplazo de la harina de soya por veza de Narbona tiene el potencial de ser una alternativa sostenible en las dietas de acuicultura, pero su uso a niveles elevados debe manejarse con cuidado debido a los efectos negativos observados en la digestión y metabolismo de nutrientes. Los autores sugieren que el tratamiento con enzimas adicionales y la selección de cultivares de veza con menor contenido de NSP podrían mejorar la digestibilidad y la salud general de los peces, permitiendo una mayor inclusión de este ingrediente en las dietas acuáticas.

Toledo-Solís, F. J., Larrán, A. M., Martín, B., de la Cuesta, P. L., Mateos-Aparicio, I., Pérez, V., Moyano, F. J., & Fernández, I. (2023). Uncovering the physiological impacts of soybean meal replacement by Narbonne vetch (*Vicia narbonensis*) meal in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) diets: Towards the future and sustainable European aquaculture. *Animal Feed Science and Technology*, 296(115555), 115555. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2022.115555>

## 7. Pigmentación carotenoide en el salmón: Variación en la expresión del locus BCO2-I controla un rasgo clave de aptitud relacionado con la coloración roja.

### ***Carotenoid pigmentation in salmon: variation in expression at BCO2-I locus controls a key fitness trait affecting red coloration.***

Este estudio explora la variación genética en la pigmentación de carotenoides en el salmón Chinook (*Oncorhynchus tshawytscha*), enfocándose en el locus BCO2-I, que controla la deposición de carotenoides en la carne. El color rojo en la carne de los salmones es un rasgo clave tanto para el éxito reproductivo como para la calidad comercial. Mediante estudios de asociación de todo el genoma (GWAS), los investigadores encontraron que una variante genética en el gen beta-caroteno oxigenasa 2-like (BCO2-I) explica el 66% de la variación en la coloración entre los individuos de carne roja y blanca.

El estudio mostró que la mayor expresión del gen BCO2-I en los salmones de carne blanca suprime la acumulación de carotenoides, resultando en una coloración más pálida. Esta mayor actividad del gen en los individuos de carne blanca degrada los carotenoides, mientras que en los salmones de carne roja, la expresión reducida del gen permite la acumulación de estos pigmentos. Los experimentos también demostraron que la manipulación de la dieta no afecta significativamente la expresión del BCO2-I, lo que confirma que la variación en la coloración está controlada principalmente por la genética.

En resumen, el trabajo resuelve un misterio evolutivo sobre la coloración de la carne de los salmones, sugiriendo que una mutación ancestral en el gen BCO2-I permitió a los salmones acumular carotenoides en sus tejidos musculares, lo cual pudo ofrecer ventajas antioxidantes durante la migración y la reproducción. Este hallazgo tiene implicaciones tanto para la biología evolutiva como para la industria acuícola, donde la coloración de la carne es un factor importante para los consumidores.

Lehnert, S. J., Christensen, K. A., Vandersteen, W. E., Sakhraei, D., Pitcher, T. E., Heath, J. W., Koop, B. F., Heath, D. D., & Devlin, R. H. (2019). Carotenoid pigmentation in salmon: variation in expression at BCO2-I locus controls a key fitness trait affecting red coloration. *Proceedings. Biological Sciences*, 286(1913), 20191588. <https://doi.org/10.1098/rspb.2019.1588>



## 8. **Bacillus indicus y Bacillus subtilis como promotores alternativos de la salud y la coloración en especies acuáticas de cíprinidos frente a la astaxantina sintética.**

### ***Bacillus indicus and Bacillus subtilis as alternative health and colouration promoters to synthetic astaxanthin in cyprinid aquaculture species.***

Este estudio evaluó el uso de los probióticos *Bacillus indicus* y *Bacillus subtilis* como alternativas a la astaxantina sintética en especies de peces cíprinidos, específicamente la carpa espejo (*Cyprinus carpio*) y el pez dorado (*Carassius auratus*). La astaxantina es un carotenoide utilizado en la acuicultura por su capacidad para mejorar la coloración de los peces y fortalecer su sistema inmunológico. Dado su alto costo, los investigadores exploraron si los probióticos podrían ofrecer beneficios similares en términos de salud y coloración. Durante el estudio, se llevaron a cabo ensayos alimentarios y análisis de la microbiota intestinal para evaluar el impacto de los probióticos en el crecimiento, la inmunidad y la coloración de la piel.

En las carpas espejo, la astaxantina mejoró significativamente el crecimiento y el peso final en comparación con los probióticos. Sin embargo, los peces alimentados con los probióticos mostraron una mayor diversidad microbiana en el intestino, un aumento de la actividad fagocítica y otros beneficios inmunológicos, lo que sugiere que estos microorganismos pueden fortalecer el sistema inmunológico de los peces sin influir drásticamente en su crecimiento. Estos hallazgos muestran que los probióticos son efectivos como promotores de la salud, pero no necesariamente como promotores de crecimiento comparables a la astaxantina.

En el caso de los peces dorados, la astaxantina demostró ser efectiva en mejorar la coloración de la piel, mientras que los probióticos no tuvieron un efecto significativo en este aspecto ni en el crecimiento. Estos resultados destacan las diferencias en la respuesta a los suplementos entre especies acuáticas estrechamente relacionadas. El estudio concluye que, si bien los probióticos ofrecen beneficios inmunológicos en carpas espejo, no son un sustituto completo de la astaxantina para mejorar la coloración en peces ornamentales como el pez dorado.

Baumgärtner, S., Creer, S., Jones, C., James, J., & Ellison, A. (2024). *Bacillus indicus and Bacillus subtilis as alternative health and colouration promoters to synthetic astaxanthin in cyprinid aquaculture species*. Aquaculture (Amsterdam, Netherlands), 578(740016), 740016. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.740016>

## 9. Efecto antibiofilm de los aceites esenciales en la industria alimentaria.

### ***Antibiofilm effect of essential oils in the food industry.***

Este capítulo explora el efecto de los aceites esenciales (EOs) en la inhibición de la formación de biofilms, estructuras complejas que las bacterias desarrollan para adherirse a superficies en la industria alimentaria. Los biofilms son un problema importante en estas industrias, ya que facilitan la persistencia de patógenos como *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes* y *Salmonella*, lo que puede provocar la contaminación cruzada y aumentar el riesgo de enfermedades transmitidas por los alimentos. Las superficies de contacto en los procesos alimentarios, como el acero inoxidable y las cintas transportadoras, son susceptibles a la formación de biofilms, que son difíciles de erradicar debido a su resistencia a antibióticos y biocidas.

Los aceites esenciales son compuestos naturales obtenidos de plantas que han demostrado propiedades antimicrobianas y antibiofilm. Estos aceites actúan interfiriendo en las distintas fases del desarrollo de los biofilms, inhibiendo la adhesión de bacterias, promoviendo su eliminación y evitando su propagación en superficies de contacto. Aceites como el de tomillo, canela y orégano han mostrado ser efectivos contra bacterias que forman biofilms, como *Listeria monocytogenes* y *Escherichia coli*. Además, los aceites esenciales son biodegradables y presentan bajos riesgos tóxicos, lo que los convierte en una alternativa atractiva frente a los conservantes sintéticos.

El capítulo concluye destacando el potencial de los aceites esenciales no solo como agentes antimicrobianos, sino también como componentes clave para prevenir la formación de biofilms en las industrias alimentarias. Se sugiere que futuras investigaciones exploren el uso de nanotecnología y microencapsulación de aceites esenciales para mejorar su eficacia en aplicaciones industriales. Estos avances podrían mejorar la seguridad alimentaria al reducir la contaminación por biofilms y promover el uso de alternativas naturales en la conservación de alimentos.

Blessing Itohan Omo-Omorodion 1, Charles Oluwaseun Adetunji. (2024). Antibiofilm effect of essential oils in the food industry. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-98340-2.00029-8>

## 10. Explorando alternativas sostenibles en la alimentación acuícola: El papel de los insectos

### ***Exploring sustainable alternatives in aquaculture feeding: The role of insects***

Este estudio revisa el uso de insectos como alternativa sostenible para la alimentación en la acuicultura, destacando su potencial para reemplazar la harina de pescado (FM), cuya sobreexplotación está poniendo en riesgo las reservas naturales. Las especies de insectos como *Hermetia illucens* (mosca soldado negra), *Tenebrio molitor* (gusano de la harina) y *Musca domestica* (mosca doméstica) han sido identificadas como fuentes viables de proteínas para dietas acuáticas. Estos insectos contienen niveles significativos de proteínas, ácidos grasos y micronutrientes, siendo capaces de ofrecer una nutrición comparable a la harina de pescado, pero con un impacto ambiental mucho menor. Además, los insectos presentan beneficios como una rápida maduración y la capacidad de ser criados en residuos orgánicos, lo que los convierte en una opción ideal dentro de una economía circular.

El principal desafío que presentan los insectos como fuente de alimento para la acuicultura es la presencia de quitina, un polisacárido que puede afectar la digestibilidad de los nutrientes en los peces. Sin embargo, estudios recientes sugieren que la quitina podría tener efectos beneficiosos, actuando como prebiótico y modulador inmunológico en los peces. A pesar de estas limitaciones, los estudios han mostrado que la inclusión parcial de insectos en las dietas de especies como la trucha arcoíris y el salmón atlántico no afecta negativamente el crecimiento ni la calidad de la carne, lo que subraya el potencial de los insectos para contribuir a la sostenibilidad de la acuicultura.

En conclusión, la incorporación de insectos en la alimentación de peces puede ofrecer una solución efectiva a los problemas de sostenibilidad que enfrenta la industria acuícola. Aunque aún quedan desafíos, como la optimización de los niveles de inclusión y la comprensión completa del impacto de la quitina, el uso de insectos como sustitutos de la harina de pescado es prometedor. Los investigadores sugieren que estudios futuros se centren en optimizar la formulación de dietas y comprender mejor los efectos a largo plazo del uso de insectos en diferentes especies acuáticas.

Fantatto, R. R., Mota, J., Ligeiro, C., Vieira, I., Guigur, L. G., Santos, M., & Murta, D. (2024). Exploring sustainable alternatives in aquaculture feeding: The role of insects. *Aquaculture Reports*, 37, 102228.

## **11. Dietas sostenibles sin harina de pescado para la dorada (*Sparus aurata*): Respuesta integrada de biomarcadores para evaluar los efectos en el rendimiento del crecimiento, el metabolismo de lípidos, la defensa antioxidante y el estado inmunológico.**

### **Sustainable Fish Meal-Free Diets for Gilthead Sea Bream (*Sparus aurata*): Integrated Biomarker Response to Assess the Effects on Growth Performance, Lipid Metabolism, Antioxidant Defense and Immunological Status**

Este estudio evaluó los efectos de dietas sin harina de pescado (FM) en la dorada (*Sparus aurata*), utilizando una combinación de ingredientes novedosos y tradicionales para determinar su impacto en el crecimiento y la salud. Se probaron tres dietas experimentales: PAP (proteína animal procesada), NOPAP (sin proteína animal procesada) y MIX (una combinación de las dos anteriores), comparándolas con una dieta control (CTRL) que contenía harina de pescado. Los resultados mostraron que todas las dietas apoyaban un crecimiento similar, aunque la conversión alimenticia y la eficiencia proteica fueron superiores en los peces alimentados con la dieta NOPAP.

La evaluación de biomarcadores mostró que la dieta NOPAP promovió una mejor utilización de nutrientes, junto con un aumento en la lipogénesis hepática sin riesgo de degeneración hepática grasa. A nivel antioxidante, los peces alimentados con la dieta NOPAP también exhibieron una mayor expresión de enzimas antioxidantes, lo que indica una mayor capacidad de defensa frente al estrés oxidativo. Sin embargo, los peces alimentados con la dieta PAP mostraron una menor eficiencia en la conversión alimenticia y un perfil metabólico menos favorable, con una menor expresión de genes involucrados en el crecimiento y el metabolismo lipídico.

En conclusión, las dietas sostenibles sin harina de pescado, especialmente las que contienen una combinación de proteínas vegetales e insectos, como la NOPAP, pueden apoyar el crecimiento saludable de la dorada, mejorar la utilización de nutrientes y reducir el riesgo de oxidación sin comprometer el rendimiento del crecimiento. Estos resultados sugieren que los enfoques basados en la economía circular tienen un gran potencial en la acuicultura, al reducir la dependencia de recursos marinos finitos como la harina de pescado.

Fernandes, A. M., Caldúch-Giner, J. À., Pereira, G. V., Gonçalves, A. T., Dias, J., Johansen, J., Silva, T., Naya-Català, F., Piazzon, C., Sitjà-Bobadilla, A., Costas, B., Conceição, L. E. C., & Pérez-Sánchez, J. (2024).

## 12. Evaluación de fuentes alternativas de proteínas y otros nutrientes con aplicaciones potenciales en la nutrición de peces

### ***Evaluation of Alternative Sources of Proteins and Other Nutrients with Potential Applications in Fish Nutrition***

Este estudio aborda la necesidad de encontrar fuentes alternativas de proteínas y nutrientes para su uso en la nutrición acuícola, en respuesta a la creciente demanda y la insostenibilidad del uso de harina de pescado y otros productos tradicionales. Se evaluaron fuentes de proteínas de origen animal, como la harina de caracol (*Helix pomatia*) y babosas (*Arion lusitanicus* y *Arion vulgaris*), junto con proteínas de origen vegetal, como los subproductos de la industria alimentaria (harinas de semillas y levadura de cervecería). Los resultados mostraron que la harina de caracol tiene un alto contenido de proteínas (59.09%), superando a otras harinas animales, mientras que las harinas vegetales, como la harina de café, alcanzaron hasta un 71.8% de contenido proteico.

El análisis también destacó que las harinas animales contenían minerales esenciales en concentraciones significativas, como magnesio y calcio, con niveles bajos de hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAHs) y otros contaminantes. Sin embargo, la harina de hepatopáncreas de caracol mostró niveles elevados de cadmio, lo que requiere precauciones en su uso para evitar riesgos de salud. En contraste, las harinas vegetales demostraron ser seguras y sostenibles, con un perfil nutricional favorable, especialmente en cuanto a su contenido proteico y de ácidos grasos esenciales.

En conclusión, las harinas de subproductos animales y vegetales evaluadas en este estudio ofrecen un gran potencial para su uso en la acuicultura como alternativas sostenibles a las fuentes tradicionales de proteínas. No obstante, se necesita una mayor investigación para optimizar su formulación y garantizar la seguridad alimentaria, particularmente en lo que respecta a los niveles de metales pesados en productos derivados de animales. Estas alternativas pueden desempeñar un papel clave en la transición hacia una acuicultura más sostenible.

Muntean, G.-C., Simedru, D., Uiuui, P., Tanaselia, C., Cadar, O., Becze, A., & Coroian, A. (2024). Evaluation of alternative sources of proteins and other nutrients with potential applications in fish nutrition.

## 13. Explorando alternativas sostenibles para la alimentación acuícola con un enfoque específico en la tecnología de ensilado de desechos de pescado

### ***Exploring Sustainable Aquafeed Alternatives with a Specific Focus on the Ensilaging Technology of Fish Waste.***

Este artículo revisa el potencial de la tecnología de ensilado de desechos de pescado como una alternativa sostenible para la producción de alimentos acuícolas. La creciente demanda de harina de pescado y aceite de pescado, utilizados en la acuicultura, ha generado la necesidad de encontrar fuentes alternativas más sostenibles. El ensilado de desechos de pescado, que implica la fermentación de desechos como cabezas, vísceras y espinas, ofrece una solución económica y ambientalmente amigable para aprovechar los subproductos de la industria pesquera. El proceso de ensilado puede producir una mezcla rica en proteínas hidrolizadas y aminoácidos libres, ofreciendo beneficios nutricionales significativos para la dieta de los peces.

Los resultados de estudios recientes han demostrado que los productos derivados del ensilado de pescado son altamente digestibles y pueden reemplazar parcialmente la harina de pescado en las dietas acuícolas, sin comprometer el crecimiento y la salud de las especies. Además, el ensilado fermentado, en comparación con el ensilado ácido, ha mostrado una mayor estabilidad y calidad de los lípidos y las proteínas, lo que lo convierte en una opción viable para su inclusión en dietas comerciales. La fermentación con bacterias ácido-lácticas no solo preserva los desechos de pescado, sino que también mejora su perfil nutricional al reducir los factores antinutricionales.

En conclusión, la tecnología de ensilado de desechos de pescado representa una estrategia prometedora para la acuicultura sostenible. Al reducir la dependencia de la harina de pescado y promover el uso de subproductos de pescado, el ensilado puede mejorar la sostenibilidad económica y ambiental del sector acuícola. Los desafíos futuros incluyen optimizar las condiciones de ensilado y garantizar que los productos finales cumplan con los estándares de calidad y seguridad para su uso en dietas animales.

Maksimenko, A., Belyi, L., Podvolotskaya, A., Son, O., & Tekutyeva, L. (2024). Exploring sustainable aquafeed alternatives with a specific focus on the ensilaging technology of fish waste. *Fermentation*, 10(258).

## 14. El papel de los aditivos alimentarios funcionales en mejorar la sostenibilidad de la acuicultura

### ***Exploring Sustainable Aquafeed Alternatives with a Specific Focus on the Ensilaging Technology of Fish Waste.***

Este artículo revisa el uso de aditivos alimentarios funcionales (FAA) como probióticos, prebióticos, simbióticos y fitogénicos en la acuicultura, enfocados en mejorar la sostenibilidad de la industria. Los FAA no solo proporcionan los nutrientes básicos para los peces, sino que también promueven el crecimiento, mejoran la salud y reducen los impactos ambientales. Estos aditivos mejoran la digestibilidad, la eficiencia alimentaria, fortalecen el sistema inmunológico y optimizan el uso de proteínas alternativas, reduciendo así la dependencia de la harina de pescado, que es costosa y ejerce presión sobre las poblaciones silvestres.

Los probióticos y prebióticos han demostrado ser particularmente eficaces para mejorar la salud intestinal y la resistencia a enfermedades en diversas especies acuáticas. Por ejemplo, el uso de probióticos como *Bacillus subtilis* y *Lactobacillus* mejorado el crecimiento y la conversión alimenticia en especies como la tilapia y el camarón blanco del Pacífico. Además, los fitogénicos, como el ajo y el aceite de citronela, han mostrado propiedades antioxidantes y antimicrobianas, lo que mejora el rendimiento de los peces y reduce la mortalidad frente a infecciones bacterianas.

En conclusión, los aditivos funcionales ofrecen un enfoque prometedor para hacer que la acuicultura sea más sostenible, económica y respetuosa con el medio ambiente. Además de mejorar la eficiencia alimentaria y la salud de los peces, estos aditivos también reducen el impacto ambiental al disminuir la necesidad de tratamientos químicos y antibióticos. Sin embargo, se necesita más investigación para optimizar las dosis y combinaciones de estos aditivos según las especies y sus condiciones de cultivo.

Onomu, A. J., & Okuthe, G. E. (2024). The role of functional feed additives in enhancing aquaculture sustainability. *Fishes*, 9(5), 167.



**NOVIEMBRE 2024**

# **AVANCES EN SANIDAD ANIMAL Y SOSTENIBILIDAD EN ACUICULTURA**

Boletín de divulgación científica para el  
Consejo del Salmón

**CENTER FOR ANTIMICROBIAL  
STEWARSHIP IN  
AQUACULTURE (CASA)**

Centro Colaborador de la  
Organización Mundial de Sanidad Animal



## VISIÓN DEL CENTER FOR ANTIMICROBIAL STEWARDSHIP IN AQUACULTURE (CASA)

Somos un equipo multidisciplinario de profesionales e investigadores de la Universidad de Chile, con líneas de investigación en el uso prudente de antimicrobianos y resistencia antimicrobiana en acuicultura, específicamente en la producción de Salmón.

Como Centro Colaborador de la Organización Mundial de Sanidad Animal (OMSA) nuestro objetivo es contribuir al desarrollo de capacidades a los Servicios de Veterinarios de animales acuáticos de la Región de las Américas, proveerles de conocimiento científico y brindar asesoría en el campo de nuestra competencia, especialmente en el uso prudente de antimicrobianos en la acuicultura acorde a las normas del Código Acuático de la Estrategia OMSA.



### Equipo colaborador

**Laboratorio de Farmacología Veterinaria** Fac. de Cs. Veterinarias y Pecuarias  
Dra. Javiera Cornejo (Directora ejecutiva), Dr. Aldo Maddaleno, Dra. Ekaterina Pokrant  
**Center for Research and Innovation in Aquaculture** Interfacultades  
Dr. José Manuel Yáñez, Dr. Jurij Wacyk, Dr. Rodrigo Pulgar, Dr. Mario Caruffo  
**Laboratorio de Inocuidad de los Alimentos** Fac. de Cs. Veterinarias y Pecuarias  
Dra. Lissette Lapierre, Ricardo Riquelme  
**Asesores Senior**  
Alicia Gallardo, José Miguel Burgos, Marcela Lara



El presente informe ha sido elaborado por el Center for Antimicrobial Stewardship in Aquaculture (CASA) de la Universidad de Chile para el Consejo del Salmón, en el marco del convenio de colaboración. Su objetivo es promover nuevas estrategias y estándares en la industria salmonera, en base a un actualizado estado del arte de la investigación en la gestión de antimicrobianos, sanidad y bienestar animal en la acuicultura y participaciones del CASA en diversas actividades ligadas a su mandato como centro colaborador de la OMSA. Compila los artículos científicos más pertinentes de los últimos tiempos, consolidando una variedad de investigaciones a nivel mundial, proporcionando un resumen y acceso directo a las publicaciones.



## Nuevas Alternativas para Reducir el Uso de Antimicrobianos.....4

1. La aplicación y el potencial de los postbióticos como aditivos alimentarios sostenibles en la acuicultura.....	4
2. Reducción de la dosis de oxitetraciclina en la salmonicultura: Evaluación de una nueva formulación microencapsulada en un modelo in vivo.....	5
3. La evaluación de la terapia con bacteriófagos en acuicultura: Una revisión sistemática y metaanálisis.....	6
4. Un hallazgo fascinante: La aplicación de la medicina tradicional china en la acuicultura previene la propagación y difusión de genes de resistencia a los antibióticos entre los microbios intestinales.....	7
5. Las modificaciones de la secuencia PACAP modulan la actividad antimicrobiana del péptido contra patógenos bacterianos que afectan a la acuicultura.....	8
6. Encapsulación de bacteriófagos: Tendencias y aplicaciones potenciales en la acuicultura.....	9
7. Aprovechando los probióticos y prebióticos como una solución ecológica para una producción más limpia en la acuicultura de camarones: Un consenso científico de vanguardia.....	10
8. Avances recientes en la aplicación de <i>Bacillus</i> como candidato potencial para el desarrollo sostenible de la acuicultura.....	11
9. Péptidos antimicrobianos: una alternativa a los antibióticos para mitigar los riesgos de resistencia antimicrobiana en acuicultura.....	12
10. Actividad antimicrobiana de nanopartículas de óxido de cadmio mediadas por bacterias probióticas contra patógenos de peces.....	13
11. Efecto de la suplementación dietética con probióticos sobre el crecimiento, supervivencia y biomarcadores inmunológicos en salmón Chinook ( <i>Oncorhynchus tshawytscha</i> ) desafiado con <i>Vibrio anguillarum</i> .....	14
12. Nuevos conocimientos sobre el efecto de la suplementación dietética de xilooligosacáridos derivados de residuos agrícolas y probióticos en el crecimiento, calidad de la carne, salud y resistencia a enfermedades en tilapia del Nilo.....	15
13. Estudios sobre el potencial de los microbiomas intestinales para mitigar enfermedades bacterianas y virales en peces y mariscos en acuicultura.....	16
14. Potencial probiótico de un nuevo <i>Streptomyces griseorubens</i> endofítico aislado de <i>Salicornia</i> sp. contra infecciones por <i>Vibrio campbellii</i> en camarones.....	17



## Nuevas Alternativas para Reducir el Uso de Antimicrobianos

La sostenibilidad en la acuicultura no solo depende de la alimentación, sino también de las estrategias para mantener la salud de los peces. Uno de los mayores desafíos es reducir el uso de antibióticos, cuyo abuso contribuye a la resistencia bacteriana y tiene consecuencias negativas tanto para los ecosistemas acuáticos como para la salud humana. En respuesta, la ciencia ha desarrollado alternativas como el uso de probióticos, prebióticos y simbióticos, que mejoran la salud intestinal de los peces y fortalecen su sistema inmunológico.

### 1. La aplicación y el potencial de los postbióticos como aditivos alimentarios sostenibles en la acuicultura.

*The application and potential of postbiotics as sustainable feed additives in aquaculture.*

Los postbióticos se perfilan como una opción prometedora y sostenible en la acuicultura para mejorar la salud y el rendimiento de los animales acuáticos. A diferencia de los probióticos vivos, los postbióticos, que incluyen células bacterianas inactivadas y metabolitos microbianos, son más estables y seguros, ya que eliminan el riesgo de transferencia de genes de resistencia antimicrobiana. Su uso en dietas acuáticas contribuye a fortalecer el sistema inmunológico de los peces y crustáceos, promoviendo una respuesta más robusta frente a patógenos.

La investigación ha demostrado que los postbióticos no solo mejoran la salud intestinal, sino que también potencian el crecimiento y la resistencia a infecciones en especies acuáticas. Esto sugiere que podrían ser clave en la reducción del uso de antibióticos y químicos, permitiendo una producción más responsable y de alta calidad, alineada con las demandas del mercado y las expectativas de sostenibilidad.

Sin embargo, aunque los estudios actuales son prometedores, se requieren más investigaciones para entender sus mecanismos de acción y determinar las dosis óptimas para diferentes especies. Con el avance en este campo, los postbióticos podrían jugar un rol esencial en la acuicultura, impulsando prácticas que no solo beneficien la salud animal, sino también la del ecosistema acuático en general.

Tao, L.-T., Lu, H., Xiong, J., Zhang, L., Sun, W.-W., & Shan, X.-F. (2024). The application and potential of postbiotics as sustainable feed additives in aquaculture. *Aquaculture* (Amsterdam, Netherlands), 592(741237), 741237. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2024.741237>



## 2. Reducción de la dosis de oxitetraciclina en la salmonicultura: Evaluación de una nueva formulación microencapsulada en un modelo in vivo.

### ***Oxytetracycline dose reduction in salmon farming: Assessing a microencapsulated novel formulation in an in vivo model.***

Este estudio evalúa una formulación innovadora de oxitetraciclina (OTC) microencapsulada en alginato de zinc, diseñada para mejorar la administración oral de este antimicrobiano en la salmonicultura. La oxitetraciclina es ampliamente usada para tratar infecciones bacterianas en peces, pero su administración oral presenta limitaciones, ya que la baja absorción en el intestino de los peces reduce su efectividad y contribuye a la excreción de residuos antimicrobianos en el medio ambiente. La encapsulación en alginato de zinc ofrece una solución a estos problemas al proteger la oxitetraciclina de la degradación y controlar su liberación en el sistema digestivo.

La investigación incluyó pruebas in vivo con trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*), donde se observó que la formulación microencapsulada mejoró notablemente la farmacocinética de la OTC en comparación con la formulación comercial estándar. La microencapsulación permitió que la OTC alcanzara concentraciones plasmáticas más altas y rápidas, logrando un pico de concentración cuatro horas antes que la formulación convencional. Además, la microencapsulación mantuvo niveles estables del antimicrobiano en el organismo de los peces durante un período de 12 horas, lo que representa un avance en la eficacia del tratamiento.

En el análisis de tejidos, particularmente en el músculo de los peces, la concentración de OTC fue notablemente más alta en aquellos que recibieron la formulación microencapsulada en comparación con el tratamiento convencional. Este hallazgo indica una mejora significativa en la biodisponibilidad del fármaco, lo cual podría permitir el uso de dosis más bajas para lograr el mismo efecto terapéutico, reduciendo la excreción de residuos de antimicrobianos y su impacto ambiental. La microencapsulación en alginato de zinc también demostró ser efectiva para proteger la oxitetraciclina de la formación de quelatos no absorbibles, un problema común cuando este fármaco interactúa con iones polivalentes en el tracto digestivo.

Los resultados sugieren que esta formulación microencapsulada de OTC tiene el potencial de optimizar los tratamientos antimicrobianos en la acuicultura, promoviendo prácticas más sostenibles y reduciendo la contaminación del ecosistema acuático. Esta estrategia de liberación controlada no solo favorece la salud y el crecimiento de los peces al mejorar la efectividad del tratamiento, sino que también responde a la creciente demanda por prácticas responsables en la industria acuícola. Este enfoque podría representar un modelo aplicable a otros antimicrobianos y especies, avanzando en la acuicultura sostenible y la gestión de la resistencia antimicrobiana.

Trincado, L., Wacyk, J., Cáceres, S., Rodriguez, M. E., Fuentes, C., Maddaleno, A., Pokrant, E., Flores, A., Salgado, P., Oyarzun-Ampuero, F., Valdés, F., Valenzuela, C., & Cornejo, J. (2024). Oxytetracycline dose reduction in salmon farming: Assessing a micro encapsulated novel formulation in an in vivo model. *Aquaculture* (Amsterdam, Netherlands), 593(741260), 741260. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2024.741260>



### 3. La evaluación de la terapia con bacteriófagos en acuicultura: Una revisión sistemática y metaanálisis.

#### ***The evaluation of bacteriophage therapy in aquaculture: A systematic review and meta-analysis.***

Este estudio realiza una revisión sistemática y un meta-análisis sobre el uso de la terapia con bacteriófagos en la acuicultura, evaluando su efectividad para reducir la mortalidad en animales acuáticos causada por enfermedades bacterianas. La terapia con bacteriófagos, que utiliza virus altamente específicos para infectar y eliminar bacterias, ha ganado atención como alternativa biológica a los antibióticos, en respuesta a los crecientes problemas de resistencia bacteriana debido al uso excesivo de estos últimos. Tras analizar 3547 estudios y seleccionar 32 que cumplían con los criterios, los autores evaluaron la efectividad de los bacteriófagos comparándola con la de los antibióticos, y analizaron factores que podrían influir en su rendimiento, como la dosis de infección, método y duración de la administración.

Los resultados indican que la terapia con bacteriófagos tiene un efecto positivo en la reducción de la mortalidad en acuicultura, similar al de los antibióticos en la mayoría de los estudios. El meta-análisis mostró que la dosis óptima para la terapia fue una multiplicidad de infección (MOI) de 100, obteniéndose el mejor resultado en tratamientos con duración de entre 5 y 8 días. Sin embargo, la efectividad varió según el método de administración, siendo la inyección y la alimentación más efectivas que la inmersión. Estos resultados sugieren que la terapia con bacteriófagos no solo es viable, sino que también permite una aplicación flexible en función de las necesidades específicas del cultivo y la especie tratada.

Además, la terapia con bacteriófagos demostró ser una alternativa más segura, evitando la eliminación de bacterias beneficiosas y la acumulación de residuos en el ambiente, problemática común en el uso de antibióticos. A pesar de su alta especificidad, un potencial desafío de esta terapia es la selección del bacteriófago adecuado para el patógeno y el entorno específico, así como la necesidad de controlar factores ambientales como la salinidad y el contenido de materia orgánica, que pueden afectar la actividad de los bacteriófagos.

El estudio concluye que, aunque la terapia con bacteriófagos muestra un alto potencial como alternativa sostenible a los antibióticos en acuicultura, aún son necesarios estudios adicionales para estandarizar su aplicación en diferentes especies y entornos. La terapia con bacteriófagos no solo podría mitigar el impacto de la resistencia antimicrobiana, sino también contribuir a una acuicultura más segura y ambientalmente responsable, abriendo la puerta a nuevas estrategias de control de enfermedades en el sector.

Yang, L., Yang, Q., Hu, R.-G., Cong, W., Li, S., & Kang, Y.-H. (2024). The evaluation of bacteriophage therapy in aquaculture: A systematic review and meta-analysis. *Aquaculture* (Amsterdam, Netherlands), 588(740925), 740925. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2024.740925>



#### 4. Un hallazgo fascinante: La aplicación de la medicina tradicional china en la acuicultura previene la propagación y difusión de genes de resistencia a los antibióticos entre los microbios intestinales.

***A fascinating finding: The application of traditional Chinese medicine in aquaculture prevents the spread and diffusion of antibiotic resistance genes among gut microbes.***

Este estudio evalúa el uso de componentes de la medicina tradicional china (TCM, por sus siglas en inglés) como alternativa a los antibióticos en la acuicultura, especialmente en relación con su capacidad para reducir la proliferación de genes de resistencia antimicrobiana (ARGs) en el intestino de los peces. La investigación se llevó a cabo en un sistema de cultivo simulado en el que se expusieron peces a cinco TCMs específicos y a oxitetraciclina (OTC), utilizando secuenciación del gen 16S rRNA y PCR cuantitativa de alta capacidad para analizar los cambios en la microbiota intestinal y la abundancia de ARGs. Los resultados revelaron que los TCMs, cuando se administraron solos, no incrementaron significativamente los ARGs en el intestino, mientras que la coexposición con OTC sí mostró un aumento considerable en estos genes de resistencia.

En términos de salud intestinal, los TCMs favorecieron la proliferación de bacterias beneficiosas en el intestino de los peces, lo cual es fundamental para la prevención de enfermedades y el fortalecimiento del sistema inmunológico. Por el contrario, la OTC alteró negativamente el balance entre bacterias beneficiosas y potencialmente patógenas en el intestino, lo que sugiere que los TCMs podrían ofrecer una alternativa más segura y menos disruptiva para la microbiota de los peces. Este efecto protector de los TCMs sobre la microbiota destaca su potencial para mitigar los efectos adversos de los antibióticos en la estructura y diversidad de la comunidad bacteriana intestinal.

El análisis de  $\beta$ -diversidad y las redes de interacción entre ARGs y elementos genéticos móviles (MGEs) identificaron a ciertas bacterias, como Enterobacter y Aeromonas, como posibles huéspedes de ARGs en peces tratados con combinaciones de TCMs y OTC. Estos hallazgos son relevantes, ya que muestran cómo la estructura de la comunidad bacteriana puede verse influenciada por la presencia de antibióticos y componentes de TCMs, lo que a su vez afecta la propagación de ARGs en el ambiente acuático. La menor alteración de la microbiota y la menor propensión a incrementar ARGs sugieren que los TCMs podrían reducir el impacto ambiental asociado con la resistencia antimicrobiana.

En conclusión, la TCM representa una opción viable y de bajo riesgo en la acuicultura para sustituir o reducir el uso de antibióticos, promoviendo un ambiente intestinal saludable y minimizando la dispersión de genes de resistencia. Este enfoque podría tener un impacto significativo en la sostenibilidad de la acuicultura al reducir la dependencia de antibióticos, mejorando la salud de los peces y disminuyendo el riesgo de contaminación ambiental por ARGs.

Li, W., Zeng, J., Li, Y., Ge, C., Su, J., & Yao, H. (2024). A fascinating finding: The application of traditional Chinese medicine in aquaculture prevents the spread and diffusion of antibiotic resistance genes among gut microbes. *Aquaculture* (Amsterdam, Netherlands), 583(740573), 740573. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2024.740573>



## 5. Las modificaciones de la secuencia PACAP modulan la actividad antimicrobiana del péptido contra patógenos bacterianos que afectan a la acuicultura.

### *PACAP sequence modifications modulate the peptide antimicrobial activity against bacterial pathogens affecting aquaculture.*

El estudio analiza el uso de modificaciones en la secuencia del péptido PACAP (pituitary adenylate cyclase-activating polypeptide) para mejorar su efectividad antimicrobiana contra patógenos bacterianos que afectan la acuicultura. La industria acuícola enfrenta pérdidas significativas debido a enfermedades, y la resistencia a antibióticos es un problema creciente. Los péptidos antimicrobianos, como PACAP, ofrecen una alternativa que podría ayudar a reducir la dependencia de antibióticos. Este estudio probó cinco variantes sintéticas de PACAP, incluyendo la secuencia natural de *Clarias gariepinus*, evaluando su actividad antimicrobiana contra *Aeromonas salmonicida* y *Aeromonas hydrophila*, patógenos comunes en la acuicultura.

Los resultados indicaron que la actividad antimicrobiana de las variantes de PACAP varía según el medio de cultivo, mostrando efectividad especialmente en entornos de bajo contenido de sal. PACAP 4 fue la variante más efectiva en la inhibición de crecimiento bacteriano, con una acción directa sobre la membrana celular de los patógenos. Este mecanismo de acción, que permeabiliza la membrana bacteriana, sugiere que PACAP funciona como un péptido antimicrobiano disruptivo de la membrana, dificultando que las bacterias desarrollen resistencia. Además de la actividad antimicrobiana, el estudio evaluó la toxicidad de PACAP en células de peces y en eritrocitos, observando que las concentraciones menores a 25  $\mu$ M son seguras para uso en acuicultura. Las variantes de PACAP modificadas químicamente, aunque más efectivas contra bacterias, presentaron una ligera toxicidad en concentraciones elevadas. Esto indica que, aunque PACAP muestra gran potencial para aplicaciones en acuicultura, las concentraciones y formulaciones deben ajustarse cuidadosamente para evitar efectos adversos en los peces.

En conclusión, las variantes de PACAP modificadas podrían ofrecer una alternativa eficaz y sostenible a los antibióticos en la acuicultura, mejorando la capacidad de control de enfermedades sin afectar la salud de los peces ni fomentar la resistencia bacteriana. La investigación sugiere que PACAP es prometedor como agente antimicrobiano en la industria acuícola, aunque son necesarios estudios adicionales para optimizar sus aplicaciones en condiciones reales de cultivo.

Méndez, L. R., Rodríguez-Cornejo, T., Rodríguez-Ramos, T., Al-Hussine, L., Velázquez, J., Campbell, J. H., Carpio, Y., Estrada, M. P., & Dixon, B. (2024). PACAP sequence modifications modulate the peptide antimicrobial activity against bacterial pathogens affecting aquaculture. *Fish & Shellfish Immunology*, 148(109512), 109512. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2024.109512>



## 6. Encapsulación de bacteriófagos: Tendencias y aplicaciones potenciales en la acuicultura.

### ***Bacteriophage encapsulation: Trends and potential applications in aquaculture.***

Este artículo examina el uso de bacteriófagos encapsulados como una alternativa prometedora para tratar infecciones bacterianas en acuicultura, con el objetivo de mitigar el uso de antibióticos y reducir la aparición de resistencia antimicrobiana. Las infecciones bacterianas, como la septicemia por *Aeromonas* y la *Streptococcosis*, son comunes en la acuicultura intensiva y generan importantes pérdidas económicas. Los bacteriófagos, al ser virus que infectan específicamente a bacterias, presentan una alternativa específica y ecológica, pero su susceptibilidad a condiciones ambientales adversas, como el pH extremo y la alta salinidad, limita su efectividad directa en entornos acuáticos.

Para superar estas limitaciones, se han desarrollado diversas técnicas de encapsulación que protegen a los bacteriófagos y permiten su liberación controlada en el organismo de los peces. Entre los materiales utilizados para encapsular bacteriófagos en acuicultura se incluyen el alginato, el aislamiento de proteínas de suero de leche (WPI) y el ácido poliláctico-co-glicólico (PLGA). Cada material presenta características específicas: el alginato permite una liberación gradual, el WPI ofrece estabilidad en condiciones de almacenamiento, y el PLGA es adecuado para entornos con alto riesgo de inactivación de los fagos debido a variaciones de pH. Estos sistemas de encapsulación ayudan a mantener la viabilidad de los bacteriófagos durante períodos prolongados y garantizan su llegada al sitio de infección.

La investigación sugiere que los bacteriófagos encapsulados pueden administrarse a través de métodos como la inmersión en el agua, la alimentación o la inyección, siendo la alimentación el método más práctico en la mayoría de los entornos acuícolas. La encapsulación permite que los bacteriófagos atraviesen el sistema digestivo de los peces y se liberen en el intestino, desde donde pueden ingresar a la circulación sistémica para llegar a múltiples órganos afectados. Además, la encapsulación puede minimizar los efectos adversos sobre la microbiota intestinal, un problema común cuando se utilizan antibióticos de amplio espectro.

En conclusión, la encapsulación de bacteriófagos representa una estrategia viable y efectiva para el tratamiento de infecciones bacterianas en acuicultura, al tiempo que aborda los problemas de resistencia a los antibióticos y el impacto ambiental. Sin embargo, se requiere investigación adicional para optimizar los sistemas de encapsulación y garantizar su efectividad en diversas especies y condiciones acuícolas. La implementación de esta tecnología podría transformar las prácticas de manejo de enfermedades en la acuicultura, promoviendo una producción más sostenible y eficiente.



## 7. Aprovechando los probióticos y prebióticos como una solución ecológica para una producción más limpia en la acuicultura de camarones: Un consenso científico de vanguardia.

### ***Harnessing probiotics and prebiotics as an eco-friendly solution for cleaner shrimp aquaculture production: A state of the art scientific consensus.***

El estudio revisa el uso de probióticos y prebióticos como alternativas ecológicas para mejorar la producción en la acuicultura de camarones, ofreciendo una solución a los problemas de contaminación y resistencia antimicrobiana derivados del uso de antibióticos. La intensificación de la acuicultura ha impulsado el crecimiento de enfermedades y problemas de calidad del agua, afectando la supervivencia y salud de los camarones. En respuesta, probióticos y prebióticos emergen como herramientas efectivas para mejorar la calidad del agua, el crecimiento y la resistencia inmunológica, además de contribuir a la sostenibilidad del cultivo de camarones mediante la modulación de la microbiota intestinal y la inmunomodulación.

Los resultados muestran que la administración de probióticos como *Bacillus* spp. y *Lactobacillus* spp. no solo mejora el crecimiento y la tasa de supervivencia, sino que también fortalece el sistema inmunológico de los camarones al aumentar la actividad de enzimas antioxidantes y proteínas de defensa. Estos microorganismos actúan como agentes de biocontrol al competir con bacterias patógenas como *Vibrio* spp., lo que ayuda a prevenir infecciones y mantener un ambiente acuático saludable. Además, los probióticos facilitan la bioremediación de residuos y mejoran parámetros fisicoquímicos del agua, como oxígeno disuelto, pH y transparencia.

Por otro lado, los prebióticos, como los fructooligosacáridos (FOS) y manano-oligosacáridos (MOS), estimulan el crecimiento de bacterias beneficiosas en el intestino, lo cual mejora la salud digestiva y contribuye a la prevención de enfermedades. Estos compuestos no solo actúan como fuente de nutrientes para la microbiota beneficiosa, sino que también promueven una mayor resistencia al estrés ambiental y a las infecciones, resultando en una mejor supervivencia y rendimiento de los camarones en ambientes de cultivo intensivo.

En conclusión, la implementación de probióticos y prebióticos en la acuicultura de camarones ofrece una alternativa sostenible y eficaz a los antibióticos, mejorando la salud de los camarones y reduciendo el impacto ambiental. Este enfoque promueve una producción más limpia y responsable, abordando desafíos como la contaminación y la resistencia a los antimicrobianos, y resaltando la importancia de futuras investigaciones para optimizar su aplicación en la industria.

Noman, M., Kazmi, S. S. U. H., Saqib, H. S. A., Fiaz, U., Pastorino, P., Barcelò, D., Tayyab, M., Liu, W., Wang, Z., & Yaseen, Z. M. (2024). Harnessing probiotics and prebiotics as eco-friendly solution for cleaner shrimp aquaculture production: A state of the art scientific consensus. *The Science of the Total Environment*, 915(169921), 169921. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.169921>



## 8. Avances recientes en la aplicación de *Bacillus* como candidato potencial para el desarrollo sostenible de la acuicultura.

### *Recent advances in the probiotic application of *Bacillus* as a potential candidate in the sustainable development of aquaculture.*

Este estudio explora los beneficios de las especies de *Bacillus* como probióticos en la acuicultura, resaltando su capacidad para mejorar la salud y el rendimiento de los organismos acuáticos de manera sostenible. En respuesta a la intensificación de la acuicultura y al aumento de enfermedades en peces y crustáceos, los probióticos como *Bacillus* se presentan como alternativas efectivas y ecológicas a los antibióticos. Gracias a su capacidad de esporulación, *Bacillus* puede resistir condiciones extremas, lo que lo convierte en una opción duradera y estable en comparación con otros probióticos.

La investigación ha demostrado que *Bacillus* mejora la digestión y la absorción de nutrientes, incrementando el rendimiento de crecimiento y la conversión alimenticia. Además, estas bacterias producen enzimas digestivas y compuestos antimicrobianos que inhiben el crecimiento de patógenos en el intestino de los peces, reduciendo la dependencia de antibióticos y contribuyendo a un ambiente acuático más saludable. En varios estudios, especies como *Bacillus subtilis* y *Bacillus licheniformis* han demostrado mejorar significativamente la calidad del agua al disminuir los niveles de amoníaco y otros compuestos tóxicos.

Además de sus beneficios digestivos y antimicrobianos, *Bacillus* promueve una respuesta inmunológica robusta y una mayor tolerancia al estrés en peces. Los estudios indican que estos probióticos aumentan la actividad de enzimas antioxidantes y fortalecen el sistema inmunológico, proporcionando una defensa contra infecciones comunes en acuicultura. Esta mejora en la inmunidad ayuda a los organismos a sobrellevar factores de estrés como altas densidades de cultivo, fluctuaciones de temperatura y exposición a contaminantes.

En conclusión, el uso de *Bacillus* spp. en la acuicultura representa una estrategia prometedora para el desarrollo sostenible de la industria, al mejorar el crecimiento, la salud y la resistencia de los organismos acuáticos. Su aplicación como probiótico, solo o combinado con prebióticos (simbióticos), podría optimizar la producción acuícola y reducir el impacto ambiental, especialmente al minimizar el uso de antimicrobianos y mejorar la calidad del agua en los sistemas de cultivo.

Ghosh, T. (2025). Recent advances in the probiotic application of the *Bacillus* as a potential candidate in the sustainable development of aquaculture. *Aquaculture* (Amsterdam, Netherlands), 594(741432), 741432. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2024.741432>



## 9. Péptidos antimicrobianos: una alternativa a los antibióticos para mitigar los riesgos de resistencia antimicrobiana en acuicultura.

### ***Antimicrobial peptides: An alternative to antibiotics for mitigating the risks of antibiotic resistance in aquaculture.***

Este estudio explora el uso de péptidos antimicrobianos (AMP) como alternativa a los antibióticos en acuicultura, con el objetivo de reducir la propagación de genes de resistencia antimicrobiana (ARGs) en el intestino de los peces. Los antibióticos utilizados en la acuicultura promueven la aparición de ARGs y multidrogas resistentes, mientras que los AMPs ofrecen un mecanismo de acción específico que puede reducir este fenómeno. Se utilizó un ensayo con peces cebra alimentados con una dieta suplementada con el AMP Cecropin A o antibióticos tradicionales, observándose los efectos en la microbiota intestinal y el espectro de resistencia antibiótica.

Los resultados mostraron que Cecropin A disminuye la diversidad microbiana ( $\alpha$ -diversidad) sin elevar significativamente la prevalencia de ARGs, a diferencia de los antibióticos. Análisis de diversidad beta ( $\beta$ -diversidad) demostraron que las comunidades microbianas en peces tratados con Cecropin A se asemejan más a las de los grupos control que a las de los tratados con antibióticos. Esto sugiere que Cecropin A afecta menos la composición microbiana, manteniendo una estructura más equilibrada de la microbiota y reduciendo la acumulación de bacterias multidrogoresistentes.

Además, el análisis de biomarcadores destacó diferencias clave entre los tratamientos: *Cetobacterium* fue predominante en los tratamientos con antibióticos, mientras que *Chitinibacter* fue más abundante en el tratamiento con Cecropin A. Estas bacterias pueden indicar alteraciones en la comunidad microbiana debido a los efectos específicos de los antibióticos frente a los AMPs. Los resultados indicaron que el uso de AMPs como Cecropin A evita el aumento de bacterias resistentes, minimizando así el riesgo de ARGs en el ambiente acuático.

El estudio concluye que los AMPs representan una alternativa viable y efectiva para gestionar ARGs en la acuicultura, al reducir el impacto negativo de los antibióticos en el microbioma intestinal y en la dispersión de resistencia antimicrobiana. Este hallazgo destaca el potencial de los AMPs para mejorar la sostenibilidad en la acuicultura mediante la gestión responsable de la salud intestinal y la reducción de la contaminación ambiental por ARGs.

Xia, J., Ge, C., & Yao, H. (2024). Antimicrobial peptides: An alternative to antibiotics for mitigating the risks of antibiotic resistance in aquaculture. *Environmental Research*, 251, 118619. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.118619>



## 10. Actividad antimicrobiana de nanopartículas de óxido de cadmio mediadas por bacterias probióticas contra patógenos de peces.

### ***Antimicrobial activity of probiotic bacteria-mediated cadmium oxide nanoparticles against fish pathogens.***

Este estudio evalúa la actividad antimicrobiana de nanopartículas de óxido de cadmio (CdO NPs) sintetizadas mediante el uso de bacterias probióticas, específicamente *Lactobacillus* spp., como una alternativa para controlar infecciones en peces. Las nanopartículas fueron generadas a partir de distintas concentraciones de sulfato de cadmio y mostraron tamaños cristalinos variados según la concentración inicial utilizada (5, 10 y 20 mM). Las CdO NPs obtenidas demostraron alta eficacia antimicrobiana, con una inhibición significativa del crecimiento de patógenos comunes en acuicultura, como *Serratia marcescens*, *Aeromonas hydrophila*, *Vibrio harveyi* y *Vibrio parahaemolyticus*.

La caracterización de las CdO NPs mediante técnicas de espectroscopía UV-visible, difracción de rayos X (XRD) y microscopía electrónica de barrido reveló que estas nanopartículas poseen propiedades específicas que las hacen efectivas contra patógenos. Se observó que la concentración de 20 mM mostró la mayor eficacia antimicrobiana en pruebas de difusión en agar, con zonas de inhibición amplias, especialmente contra *S. marcescens*. Este efecto inhibitorio se atribuye a la capacidad de las CdO NPs para alterar la membrana celular bacteriana, inhibir la síntesis de ADN y dañar la estructura del ADN bacteriano.

Las CdO NPs también fueron analizadas mediante microscopía de fuerza atómica (AFM) para observar cambios en la morfología de los biofilms de las bacterias tratadas. Los resultados mostraron daños significativos en la superficie de las células bacterianas tratadas, lo que respalda su potencial como agentes antimicrobianos efectivos. Además, la síntesis de estas nanopartículas mediada por probióticos presenta una alternativa ecológica y económica, en comparación con métodos de síntesis convencionales que pueden ser tóxicos y menos sostenibles.

En conclusión, el uso de nanopartículas de óxido de cadmio mediadas por bacterias probióticas representa una estrategia prometedora y segura para mejorar la salud de los peces y controlar infecciones bacterianas en la acuicultura. La investigación sugiere que estas CdO NPs podrían integrarse en prácticas de gestión de enfermedades en acuicultura ornamental y comercial, promoviendo una alternativa sostenible y reduciendo la necesidad de antibióticos.

Rajeshkumar, S., Jayakodi, S., Tharani, M., Alharbi, N. S., & Thiruvengadam, M. (2024). Antimicrobial activity of probiotic bacteria-mediated cadmium oxide nanoparticles against fish pathogens. *Microbial Pathogenesis*, 189, 106602.



## 11. Efecto de la suplementación dietética con probióticos sobre el crecimiento, supervivencia y biomarcadores inmunológicos en salmón Chinook (*Oncorhynchus tshawytscha*) desafiado con *Vibrio anguillarum*.

### ***Effect of dietary supplementation of probiotic on growth, survival, and immune-related biomarkers in Chinook Salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) challenged with *Vibrio anguillarum*.***

El estudio investiga el impacto de un suplemento probiótico multiespecífico en la dieta del salmón Chinook para mejorar su supervivencia y respuesta inmunológica tras ser expuesto al patógeno *Vibrio anguillarum*. El uso de probióticos representa una alternativa sostenible a los antibióticos en acuicultura, ya que promueve la salud de los peces sin contribuir a la resistencia antimicrobiana. En el ensayo, los salmones fueron alimentados con una dieta con probióticos durante 4, 10 o 14 meses, y luego desafiados con *Vibrio anguillarum*. Los resultados mostraron que la suplementación durante 14 meses disminuyó la mortalidad en un 10% en comparación con el grupo control, aunque no se observaron mejoras significativas en el crecimiento.

Los análisis de la expresión génica en tejidos clave (riñón cefálico, bazo e intestino posterior) mostraron que, aunque la suplementación prolongada mejoró la supervivencia, la respuesta inmune específica no se manifestó en los genes proinflamatorios e inmunorreguladores esperados. Sin embargo, se observó que los niveles de ciertos marcadores inmunológicos, como la interleucina-10 (il10), mostraron incrementos en los peces suplementados durante períodos prolongados, lo que sugiere un posible beneficio inmunomodulador de largo plazo.

Además, la integridad de la barrera intestinal mostró una mejora con el tratamiento probiótico, evidenciada por la regulación de genes asociados a las uniones estrechas (tight junctions), lo cual es esencial para proteger la barrera intestinal frente a infecciones. Este efecto podría explicar la reducción en la mortalidad observada en los peces suplementados a largo plazo, al mantener una estructura intestinal más resiliente ante el patógeno *V. anguillarum*.

El estudio concluye que la suplementación con probióticos durante las fases de agua dulce y salada puede ser beneficiosa para la acuicultura del salmón Chinook, mejorando la resistencia a infecciones sin depender de los antibióticos. Sin embargo, se requieren estudios adicionales para optimizar la duración y formulación de los probióticos, así como para investigar el impacto en el microbioma intestinal y su rol en la inmunidad general del pez promoviendo una alternativa sostenible y reduciendo la necesidad de antibióticos.

Soto-Dávila, M., Webb, R. A., Rodríguez-Ramos, T., McDonald, G., Dang, X., Heath, J. W., Reid, G., & Dixon, B. (2024). Effect of dietary supplementation of probiotic on growth, survival, and immune-related biomarkers in Chinook Salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) challenged with *Vibrio anguillarum*. *Aquaculture*, 583, 740582.



## 12. Nuevos conocimientos sobre el efecto de la suplementación dietética de xilooligosacáridos derivados de residuos agrícolas y probióticos en el crecimiento, calidad de la carne, salud y resistencia a enfermedades en tilapia del Nilo.

***New insights into the effect of xylooligosaccharide derived from agricultural waste, single or combined dietary supplementation with mixed probiotics on growth, flesh quality, health condition and disease resistance in Nile tilapia (Oreochromis niloticus).***

Este estudio analiza los efectos de la suplementación dietética de xilooligosacáridos (XOs), obtenidos de residuos agrícolas, y probióticos en la tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*). Los peces fueron alimentados con cuatro dietas distintas: una dieta control, una dieta con prebióticos (XOs), otra con probióticos (*Bacillus subtilis* y *Lactobacillus plantarum*), y una última combinando ambos suplementos (simbióticos) durante 56 días. Los resultados indican que la inclusión de prebióticos, probióticos y simbióticos en la dieta mejora significativamente el rendimiento de crecimiento, el índice de conversión alimenticia y la eficiencia proteica en comparación con la dieta control.

Además, los peces alimentados con estas dietas mostraron mejoras en los parámetros de inmunidad innata, incluyendo mayores niveles de antioxidantes totales, lisozima, catalasa y glutatión S-transferasa, así como un aumento en la actividad de enzimas digestivas como la proteasa, amilasa y lipasa. En un desafío posterior con el patógeno *Streptococcus agalactiae*, los peces suplementados presentaron mayores tasas de supervivencia, especialmente aquellos alimentados con simbióticos, lo que resalta el potencial de los XOs y los simbióticos para mejorar la resistencia a enfermedades en tilapia.

El estudio también encontró que la dieta con XOs incrementó el contenido de ácidos grasos poliinsaturados (PUFAs) n-3 y n-6 en la carne de los peces, mejorando así su calidad nutricional. La suplementación con simbióticos presentó efectos similares, sugiriendo que estos compuestos pueden no solo contribuir a la salud de los peces, sino también a una carne de mayor valor nutricional, lo cual es relevante para el consumidor final y el mercado acuícola.

En conclusión, la suplementación con XOs derivados de residuos agrícolas representa una alternativa ecológica y efectiva para mejorar la salud, el rendimiento y la resistencia a enfermedades en la acuicultura de tilapia. Este estudio sugiere que los XOs pueden ser valiosos en la formulación de productos prebióticos y simbióticos, promoviendo una acuicultura más sostenible y con menor dependencia de antibióticos.

SWangkahart, E., Nontasan, S., Phudkliang, J., Pholchamat, S., Sunthamala, P., Taesuk, N., Chantiratikul, A., Xu, H., Qi, Z., Somsoros, W., Gufe, C., Rattanaroppong, T., & Khunrae, P. (2024).



### 13. Estudios sobre el potencial de los microbiomas intestinales para mitigar enfermedades bacterianas y virales en peces y mariscos en acuicultura.

#### ***Studies on exploring the potentials of gut microbiomes to mitigate the bacterial and viral diseases of fish and shellfish in aquaculture farming.***

Este estudio revisa el potencial del microbioma intestinal de peces y mariscos para mitigar enfermedades bacterianas y virales que afectan a la acuicultura. A medida que la acuicultura crece, el control de enfermedades se vuelve crítico, ya que los patógenos representan un obstáculo significativo para la producción. Tradicionalmente, se han empleado antibióticos y químicos para combatir estas enfermedades, pero su efectividad es limitada y el uso excesivo plantea riesgos ambientales y de resistencia antimicrobiana. El microbioma intestinal emerge como una estrategia alternativa prometedora, ofreciendo beneficios para la salud y el control de enfermedades al fortalecer el sistema inmunológico y prevenir la invasión de patógenos.

El estudio destaca cómo el microbioma intestinal puede ser modulado mediante probióticos y prebióticos, que fomentan la presencia de bacterias beneficiosas en el sistema digestivo de los peces. Estas bacterias no solo ayudan en la digestión y en la absorción de nutrientes, sino que también producen compuestos antimicrobianos que inhiben el crecimiento de bacterias patógenas. Los estudios recientes muestran que los probióticos pueden mejorar la integridad de la barrera intestinal, reduciendo así la incidencia de enfermedades y promoviendo un ambiente más saludable en los cultivos acuáticos.

El artículo también examina tecnologías emergentes, como el uso de bacteriófagos y bioflóculos, aunque estas presentan limitaciones en cuanto a su efectividad general. En comparación, el enfoque en el microbioma ofrece un método más sostenible y de largo plazo para la gestión de enfermedades, al tiempo que minimiza el impacto ambiental y la necesidad de productos químicos. Además, se discute la posibilidad de crear consorcios de microbiomas específicos que proporcionen una protección dirigida contra patógenos recurrentes en acuicultura.

En conclusión, el microbioma intestinal representa una herramienta innovadora para mejorar la salud de los organismos acuáticos y mitigar los brotes de enfermedades en la acuicultura. Los autores subrayan la necesidad de investigaciones adicionales para comprender mejor las interacciones microbioma-huésped y optimizar su aplicación en sistemas de cultivo, lo que podría revolucionar las prácticas de manejo de la salud en la acuicultura.

Diwan, A. D., Harke, S. N., & Panche, A. N. (2024). Studies on exploring the potentials of gut microbiomes to mitigate the bacterial and viral diseases of fish and shellfish in aquaculture farming. *The Microbe*, 2, 100031. <https://doi.org/10.1016/j.microb.2023.100031>



## 14. Potencial probiótico de un nuevo *Streptomyces griseorubens* endofítico aislado de *Salicornia* sp. contra infecciones por *Vibrio campbellii* en camarones.

### ***Probiotic potential of a novel endophytic Streptomyces griseorubens CIBA-NS1 isolated from Salicornia sp. against Vibrio campbellii infection in shrimp.***

Este estudio investiga el uso de *Streptomyces griseorubens* CIBA-NS1, un microorganismo endofítico aislado de la planta de marisma *Salicornia* sp., como probiótico para combatir infecciones en acuicultura, específicamente *Vibrio campbellii* en camarones (*Penaeus indicus*). El *S. griseorubens* mostró alta actividad antibacteriana, especialmente en condiciones de alta salinidad, lo cual es característico de su ambiente natural. El estudio evaluó tanto su efecto *in vitro* como *in vivo*, encontrando que el tratamiento con este microorganismo redujo significativamente la población de *Vibrio* en tanques de cultivo, mejorando la supervivencia y el crecimiento de los camarones en comparación con el grupo control.

La caracterización de *S. griseorubens* CIBA-NS1 mediante microscopía electrónica y secuenciación 16S rDNA confirmó su identidad y propiedades endofíticas. En experimentos *in vitro*, la cepa mostró actividad antagonista frente a *Vibrio campbellii* a través de metabolitos extracelulares, que inhiben el crecimiento bacteriano. Las pruebas de tolerancia a la salinidad indicaron que la actividad antimicrobiana fue mayor a 40% de salinidad, lo que sugiere que este probiótico podría ser efectivo en condiciones salinas elevadas, típicas de la acuicultura de camarones.

En experimentos *in vivo*, la aplicación de *S. griseorubens* mejoró la supervivencia de los camarones en un 85.6% tras un desafío con *Vibrio campbellii*, frente a un 64.3% en el grupo control positivo. Además, los camarones tratados con *S. griseorubens* mostraron un crecimiento superior, lo cual resalta su potencial como probiótico en ambientes de cultivo de camarón para reducir la incidencia de enfermedades sin el uso de antibióticos, abordando así el problema de la resistencia antimicrobiana.

En conclusión, *S. griseorubens* CIBA-NS1 presenta un gran potencial como probiótico en la acuicultura, ofreciendo una alternativa ecológica y eficaz a los tratamientos antibióticos. Sin embargo, los autores sugieren que son necesarios estudios adicionales para optimizar su aplicación en condiciones comerciales, lo que podría transformar las prácticas de manejo de la salud en acuicultura y mejorar la sostenibilidad del cultivo de camarones.

Sudheer, N. S., Biju, I. F., Balasubramanian, C. P., Panigrahi, A., Sathish Kumar, T., Kumar, S., Mandal, B., Das, S., & De, D. (2024). Probiotic potential of a novel endophytic *Streptomyces griseorubens* CIBA-NS1 isolated from *Salicornia* sp. against *Vibrio campbellii* infection in shrimp. *Microbial Pathogenesis*, 191, 106677. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2024.106677>

**DICIEMBRE, 2024**

# **AVANCES EN SANIDAD ANIMAL Y SOSTENIBILIDAD EN ACUICULTURA**

Boletín de divulgación científica para el  
Consejo del Salmón

**CENTER FOR ANTIMICROBIAL  
STEWARSHIP IN  
AQUACULTURE (CASA)**

Centro Colaborador de la  
Organización Mundial de Sanidad Animal



## VISIÓN DEL CENTER FOR ANTIMICROBIAL STEWARDSHIP IN AQUACULTURE (CASA)

Somos un equipo multidisciplinario de profesionales e investigadores de la Universidad de Chile, con líneas de investigación en el uso prudente de antimicrobianos y resistencia antimicrobiana en acuicultura, específicamente en la producción de Salmón.

Como Centro Colaborador de la Organización Mundial de Sanidad Animal (OMSA) nuestro objetivo es contribuir al desarrollo de capacidades a los Servicios de Veterinarios de animales acuáticos de la Región de las Américas, proveerles de conocimiento científico y brindar asesoría en el campo de nuestra competencia, especialmente en el uso prudente de antimicrobianos en la acuicultura acorde a las normas del Código Acuático de la Estrategia OMSA.

### Equipo colaborador

**Laboratorio de Farmacología Veterinaria** Fac. de Cs. Veterinarias y Pecuarias

Dra. Javiera Cornejo (Directora ejecutiva), Dr. Aldo Maddaleno, Dra. Ekaterina Pokrant

**Center for Research and Innovation in Aquaculture** Interfacultades

Dr. José Manuel Yáñez, Dr. Jurij Wacyk, Dr. Rodrigo Pulgar, Dr. Mario Caruffo

**Laboratorio de Inocuidad de los Alimentos** Fac. de Cs. Veterinarias y Pecuarias

Dra. Lissette Lapierre, Ricardo Riquelme

**Asesores Senior**

Alicia Gallardo, José Miguel Burgos, Marcela Lara



El presente informe ha sido elaborado por el Center for Antimicrobial Stewardship in Aquaculture (CASA) de la Universidad de Chile para el Consejo del Salmón, en el marco del convenio de colaboración. Su objetivo es promover nuevas estrategias y estándares en la industria salmonera, en base a un actualizado estado del arte de la investigación en la gestión de antimicrobianos, sanidad y bienestar animal en la acuicultura y participaciones del CASA en diversas actividades ligadas a su mandato como centro colaborador de la OMSA. Compila los artículos científicos más pertinentes de los últimos tiempos, consolidando una variedad de investigaciones a nivel mundial, proporcionando un resumen y acceso directo a las publicaciones.

## **Capítulo I: Inteligencia Artificial en Acuicultura: Innovación para la Sostenibilidad y la Eficiencia Productiva**

1. Seguimiento, conteo y análisis del comportamiento de peces en la acuicultura digital: Una revisión exhaustiva.....	1
2. Sistema de control ambiental basado en IoT para piscifactorías con integración de sensores y soporte de decisión mediante aprendizaje automático.....	2
3. Evaluación de la inspección automatizada de redes acuícolas asistida por aprendizaje profundo utilizando ROV.....	3
4. Explorando oportunidades de la inteligencia artificial en acuicultura para satisfacer la creciente demanda de alimentos.....	4
5. MortCam: Un sistema asistido por inteligencia artificial para la detección y alerta de mortalidad de peces en acuicultura en sistemas de recirculación.....	5
6. Sistema de fusión adaptativa de inteligencia artificial múltiple para la detección mejorada de enfermedades en tilapia del Nilo.....	6
7. Un conjunto de datos de camarón <i>Litopenaeus vannamei</i> para estimación de biomasa basada en inteligencia artificial y algoritmos de detección de organismos.....	7

## **Capítulo II: Huella de Carbono, Emisiones de Dióxido de Carbono y Tratamiento de Aguas Residuales**

1. Las modificaciones de la secuencia PACAP modulan la actividad antimicrobiana del péptido contra patógenos bacterianos que afectan a la acuicultura.....	8
2. Un estudio descriptivo sobre la producción y eliminación de dióxido de carbono en sistemas acuícolas de recirculación (RAS) para salmón del Atlántico post-smolt: Una comparación de dos métodos de medición de CO <sub>2</sub> .....	9
3. MusselCF, una caja de herramientas fácil de usar para estimar la huella de carbono fisiológica de mejillones en acuicultura suspendida.....	10
4. Huella de carbono de los pepinos de mar frescos en China: Comparación de tres tecnologías de acuicultura.....	11
5. Microbiotas multifuncionales reguladas por la presión del aire en el lumen en reactores de biofilm aireado por membrana para la eliminación simultánea de nitrógeno y antibióticos de aguas residuales de acuicultura.....	12
6. Carbono nanoporo derivado de desechos sólidos de camarón como un bio-adsorbente alternativo para la eliminación de oxitetraciclina de aguas residuales de acuicultura.....	13
7. Desarrollo de sistemas de producción de hidrógeno verde y oxígeno basados en energías renovables y generación de electricidad para una acuicultura sostenible.....	14



## Capítulo I: Inteligencia Artificial en Acuicultura: Innovación para la Sostenibilidad y la Eficiencia Productiva

La creciente demanda global de alimentos de origen acuático ha impulsado el desarrollo de tecnologías innovadoras en la acuicultura, una industria fundamental para garantizar la seguridad alimentaria mundial. En este contexto, la sostenibilidad ha emergido como un desafío crucial, exigiendo soluciones que permitan incrementar la productividad mientras se minimizan los impactos ambientales y se optimizan los recursos. En este marco, la inteligencia artificial (IA) ha demostrado ser una herramienta transformadora, ofreciendo aplicaciones que van desde la automatización de procesos hasta la gestión eficiente de recursos.

La IA está revolucionando la forma en que se monitorean y gestionan los sistemas acuícolas, permitiendo una toma de decisiones más precisa y basada en datos. Tecnologías como el aprendizaje automático y el aprendizaje profundo están siendo utilizadas para optimizar la alimentación, predecir brotes de enfermedades, monitorear parámetros ambientales en tiempo real y mejorar la trazabilidad de los productos acuícolas. Además, estas herramientas contribuyen significativamente a la sostenibilidad, al reducir el desperdicio de insumos y mitigar el impacto ecológico de las prácticas acuícolas tradicionales.

### 1. Seguimiento, conteo y análisis del comportamiento de peces en la acuicultura digital: Una revisión exhaustiva.

#### *Fish Tracking, Counting, and Behaviour Analysis in Digital Aquaculture: A Comprehensive Survey.*

La acuicultura digital aprovecha tecnologías avanzadas y métodos basados en datos, proporcionando beneficios significativos sobre las prácticas tradicionales. Este estudio revisa de manera integral tres tareas interrelacionadas en la acuicultura digital: el seguimiento, el conteo y el análisis del comportamiento de los peces. Se analiza el uso de métodos basados en visión (imagen y video), acústica y biosensores, evaluando sus ventajas, limitaciones y aplicaciones. Se destacan los avances recientes e ideas emergentes, como el aprendizaje multitarea y los modelos de lenguaje de gran escala, para abordar aspectos de monitoreo que no han sido explorados previamente en la literatura. El trabajo resalta la falta de estándares de evaluación unificados y conjuntos de datos completos como obstáculos clave para el progreso en este campo. Se propone el uso de tecnologías emergentes como la fusión de datos multimodales y el aprendizaje profundo para mejorar la precisión, la robustez y la eficiencia de los sistemas de monitoreo integrados. Este enfoque integral ofrece un mapa para futuras investigaciones, enfatizando la necesidad de datos completos y estándares de evaluación para facilitar comparaciones significativas y promover la implementación práctica en contextos reales.

Cui, M., Liu, X., Liu, H., Zhao, J., Li, D., & Wang, W. (2024). Fish tracking, counting, and behaviour analysis in digital aquaculture: A comprehensive survey.



## 2. Sistema de control ambiental basado en IoT para piscifactorías con integración de sensores y soporte de decisión mediante aprendizaje automático.

### ***IoT-Based Environmental Control System for Fish Farms with Sensor Integration and Machine Learning Decision Support.***

El presente estudio aborda los retos inherentes a la gestión eficiente de piscifactorías, en un contexto donde la demanda global de productos acuáticos está en constante crecimiento. Como solución innovadora, se desarrolló un sistema de control ambiental basado en la tecnología de Internet de las Cosas (IoT), integrado con algoritmos avanzados de aprendizaje automático, para facilitar la toma de decisiones en tiempo real y optimizar las operaciones de piscicultura. Este sistema recopila datos en tiempo real a través de una red de sensores inalámbricos estratégicamente posicionados, midiendo parámetros cruciales como la temperatura del agua, los niveles de pH, la humedad ambiental y el comportamiento de los peces.

El procesamiento de los datos incluye pasos como imputación de valores faltantes, detección de valores atípicos, ingeniería de características y sincronización, lo que asegura la confiabilidad y calidad de la información para el análisis. Los datos procesados son utilizados por cuatro algoritmos de aprendizaje automático diseñados para tareas específicas:

1. **Random Forest** regula la temperatura y el pH del agua, promoviendo condiciones óptimas para la salud y el crecimiento de los peces.
2. **Support Vector Machines (SVM)** actúa como sistema de alerta temprana, identificando de manera eficiente enfermedades y parásitos en los peces.
3. **Gradient Boosting Machines (GBM)** ajusta dinámicamente los horarios de alimentación en función de las condiciones ambientales en tiempo real, mejorando la eficiencia del uso de recursos y maximizando la productividad de los peces.
4. **Redes neuronales** gestionan la operación de equipos críticos, como bombas y calentadores, garantizando que los parámetros ambientales se mantengan dentro de los rangos deseados.

El sistema toma decisiones en tiempo real para alinear las condiciones ambientales de la piscifactoría con especificaciones predefinidas. Esto no solo mejora la salud y el rendimiento de los peces, sino que también reduce significativamente el desperdicio de recursos, incrementa la rentabilidad y fomenta la sostenibilidad ecológica. Además, se incluye una interfaz de usuario intuitiva que permite a los operadores supervisar el sistema, acceder a datos históricos y realizar ajustes manuales cuando sea necesario.

Este enfoque integral representa un avance significativo en la acuicultura digital, integrando tecnología de punta con prácticas sostenibles. Las implicaciones del sistema son amplias, contribuyendo a satisfacer la creciente demanda de productos del mar, mientras se minimiza la huella ambiental y se incrementa la viabilidad económica de las piscifactorías.

Dhinakaran, D., Gopalakrishnan, S., Manigandan, M. D., & Anish, T. P. (2024). IoT-Based Environmental Control System for Fish Farms with Sensor Integration and Machine Learning Decision Support. International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication, 11(10). <https://doi.org/10.17762/ijritcc.v11i10.8482>

### 3. Evaluación de la inspección automatizada de redes acuícolas asistida por aprendizaje profundo utilizando ROV.

#### ***Evaluating Deep Learning Assisted Automated Aquaculture Net Pens Inspection Using ROV.***

La inspección de jaulas acuícolas marinas es fundamental para mitigar el impacto ambiental de las instalaciones y garantizar la calidad del proceso de desarrollo de los peces. Sin embargo, los métodos tradicionales de inspección, como el buceo profesional o la supervisión a través de vehículos operados remotamente (ROVs), son costosos, dependientes del operador y poco fiables. Este estudio propone un sistema automatizado basado en aprendizaje profundo integrado a ROVs, capaz de detectar defectos en redes acuícolas en tiempo real, como agujeros, vegetación incrustada y plásticos.

El sistema utiliza modelos de aprendizaje profundo, específicamente variantes de YOLO (YOLOv4, YOLOv5, YOLOv7, YOLOv8), para procesar imágenes capturadas por cámaras HD en condiciones submarinas adversas. Estos modelos segmentan defectos en las redes con alta precisión, evaluando su eficacia tanto en entornos controlados como en escenarios reales. Los resultados demuestran que YOLOv5 ofrece un rendimiento superior en términos de precisión promedio y capacidad de detección, adaptándose eficazmente a variaciones de tamaño y forma de los defectos.

La implementación en un entorno experimental incluyó la integración del modelo en un ROV que realiza inspecciones continuas de jaulas acuícolas, asegurando la detección oportuna de irregularidades y reduciendo riesgos ambientales como fugas de peces y acumulación de desechos plásticos. Además, el sistema permite una inspección más segura y eficiente al eliminar la dependencia de buceadores humanos, lo que contribuye significativamente a la reducción de riesgos operativos y a una mayor cobertura en las inspecciones.

Este enfoque automatizado no solo garantiza un control más exhaustivo de las instalaciones acuícolas, sino que también mejora la sostenibilidad económica y ecológica al minimizar las pérdidas económicas asociadas a los daños en las redes y su impacto ambiental. Asimismo, esta investigación proporciona una base sólida para futuros desarrollos en la automatización de la acuicultura, promoviendo tecnologías inteligentes que optimicen la gestión de recursos y protejan el entorno marino.

Akram, W., Ahmed, M., Seneviratne, L., & Hussain, I. (2024). Evaluating Deep Learning Assisted Automated Aquaculture Net Pens Inspection Using ROV. Khalifa University Center for Autonomous Robotic Systems (KUCARS).



#### 4. Explorando oportunidades de la inteligencia artificial en acuicultura para satisfacer la creciente demanda de alimentos.

##### ***Exploring Opportunities of Artificial Intelligence in Aquaculture to Meet Increasing Food Demand.***

Este artículo explora cómo la inteligencia artificial (IA) puede transformar esta industria, mejorando la productividad y reduciendo la intervención humana. Tecnologías como el Internet de las Cosas (IoT), aprendizaje automático, cámaras y algoritmos han mostrado un gran potencial para optimizar la salud de los peces, la alimentación y la gestión de los recursos hídricos, aunque enfrentan desafíos como la estandarización de datos y la precisión de los modelos.

La IA se utiliza en diversas aplicaciones acuícolas, como la monitorización de calidad del agua, la detección temprana de enfermedades, la optimización de la alimentación y la mejora de las tasas de reproducción y crecimiento de los peces. Estas tecnologías permiten desarrollar modelos predictivos que identifican anomalías en tiempo real, lo que resulta crucial para mantener condiciones óptimas en los sistemas acuícolas. Además, la IA facilita la personalización de los programas de alimentación y el manejo sostenible del agua, promoviendo la salud y el bienestar de los peces mientras se minimiza el impacto ambiental.

El artículo también analiza casos específicos en los que la IA ha sido implementada con éxito en el monitoreo de la calidad del agua, la detección de enfermedades mediante imágenes, y la optimización de la biomasa. Destaca cómo estas innovaciones pueden mejorar la sostenibilidad y la rentabilidad del sector. Sin embargo, se identifican barreras importantes, como la falta de datos estandarizados y los altos costos iniciales, que limitan la adopción generalizada de estas tecnologías.

Finalmente, este trabajo subraya la necesidad de un enfoque colaborativo entre la industria y la academia para superar los desafíos actuales y maximizar los beneficios potenciales de la IA en acuicultura. Con la implementación de soluciones innovadoras y accesibles, la IA tiene el potencial de revolucionar la acuicultura, asegurando un suministro de alimentos sostenibles y de alta calidad para satisfacer la creciente demanda mundial.

Rather, M. A., Ahmad, I., Shah, A., Hajam, Y. A., Amin, A., Khursheed, S., Ahmad, I., & Rasool, S. (2024). Exploring opportunities of artificial intelligence in aquaculture to meet increasing food demand. *Food Chemistry: X*, 22, 101309. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2024.101309>

## 5. MortCam: Un sistema asistido por inteligencia artificial para la detección y alerta de mortalidad de peces en acuicultura en sistemas de recirculación.

### ***MortCam: An Artificial Intelligence-aided Fish Mortality Detection and Alert System for Recirculating Aquaculture.***

La mortalidad es un indicador clave de bienestar y productividad en la acuicultura. Este artículo presenta MortCam, un sistema innovador que utiliza inteligencia artificial (IA) y tecnología de Internet de las Cosas (IoT) para monitorear y alertar sobre la mortalidad de peces en sistemas de recirculación acuícola (RAS). Tradicionalmente, el seguimiento de la mortalidad se realiza mediante observación humana o cámaras submarinas, lo que resulta ineficiente y costoso. MortCam aborda estas limitaciones al automatizar la detección de peces muertos y enviar alertas en tiempo real cuando se superan umbrales críticos de mortalidad.

El sistema incluye un sensor de imágenes RGB integrado a un dispositivo de computación periférica optimizado para aplicaciones submarinas. Los datos de imágenes se recopilaron cada 15 minutos durante un período de 90 días, en condiciones de luz ambiental y suplementaria. Estas imágenes fueron procesadas utilizando el modelo YOLOv7 de detección de objetos, que fue entrenado con conjuntos de datos divididos en clases de peces vivos y muertos. Los modelos optimizados lograron una precisión promedio del 93.4% y una puntuación F1 de 0.89, mostrando robustez incluso en condiciones de iluminación variables.

MortCam fue probado en un tanque de RAS de 150 m<sup>3</sup> con salmones del Atlántico, y demostró ser efectivo para la detección continua de mortalidad, así como para la generación de alertas por correo electrónico y mensajes de texto. Este sistema no solo facilita el manejo oportuno de mortalidad, sino que también crea una base de datos histórica de mortalidad para mejorar la gestión y el bienestar de los peces a lo largo del ciclo de producción. Las pruebas cruzadas y la integración de imágenes de diferentes condiciones de luz resaltaron la versatilidad del modelo mixto, que supera a los modelos específicos de condiciones de luz en términos de robustez y precisión.

Este trabajo destaca la importancia de herramientas automatizadas y basadas en IA en la acuicultura moderna, especialmente en sistemas intensivos como los RAS. MortCam representa un avance significativo hacia la acuicultura de precisión, proporcionando soluciones sostenibles y económicas para monitorear y gestionar la mortalidad de peces en tiempo real. Los autores también subrayan la necesidad de incluir datos de producción a lo largo de todo el ciclo de vida de los peces para mejorar aún más el sistema.

Ranjan, R., Sharrer, K., Tsukuda, S., & Good, C. (2023). MortCam: An Artificial Intelligence-aided Fish Mortality Detection and Alert System for Recirculating Aquaculture. *Aquacultural Engineering*, 102, 102341. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2023.102341>

## 6. Sistema de fusión adaptativa de inteligencia artificial múltiple para la detección mejorada de enfermedades en tilapia del Nilo.

### ***Adaptive Artificial Multiple Intelligence Fusion System (A-AMIFS) for Enhanced Disease Detection in Nile Tilapia.***

La tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) es una especie de importancia económica global, pero enfrenta desafíos significativos relacionados con brotes de enfermedades que afectan su sostenibilidad y productividad. Los métodos tradicionales de detección de enfermedades, aunque útiles, son intensivos en mano de obra, ineficientes y frecuentemente no logran identificar signos tempranos de enfermedades, lo que resulta en pérdidas económicas considerables. Este estudio presenta el Sistema de Fusión Adaptativa de Inteligencia Artificial Múltiple (A-AMIFS), un modelo innovador que combina técnicas avanzadas de aumento de imágenes, métodos de segmentación por ensamble y arquitecturas de redes neuronales convolucionales (CNN).

El A-AMIFS utiliza un sistema no basado en población (np-AMIS) para optimizar el aumento de imágenes y un sistema basado en población (Pop-AMIS) para la fusión de decisiones, logrando un rendimiento significativamente superior en términos de precisión y adaptabilidad. Este sistema fue evaluado en dos conjuntos de datos nuevos, NTD-1 y NTD-2, alcanzando una precisión general del 98.26 %, una precisión del 98.35 %, un recuerdo del 98.30 % y una puntuación F1 del 98.32 %. Además, se desarrolló una función de "chatbot" que permite a los productores detectar automáticamente enfermedades utilizando el modelo de ensamble como sistema de clasificación, con una impresionante precisión superior al 98 %.

El sistema aborda de manera eficiente la diversidad de enfermedades presentes en la tilapia del Nilo, integrando técnicas de aprendizaje profundo y sistemas de inteligencia artificial múltiple para proporcionar una solución adaptable y robusta. También destaca la introducción de mecanismos de fusión de decisiones que optimizan el uso de las diferentes arquitecturas de CNN, mejorando la detección y clasificación de enfermedades en tiempo real.

Esta investigación no solo contribuye a la sostenibilidad de la acuicultura, sino que también transforma las estrategias de manejo de enfermedades al proporcionar una herramienta accesible, eficaz y escalable. El A-AMIFS representa un avance significativo en la acuicultura moderna, subrayando el papel indispensable de la inteligencia artificial en la resolución de problemas complejos de detección y manejo de enfermedades.

Jutagate, A., Pitakaso, R., Khonjun, S., Srichok, T., Kaewta, C., Luesak, P., Gonvirat, S., & Enkvetchakul, P. (2024). Adaptive Artificial Multiple Intelligence Fusion System (A-AMIFS) for Enhanced Disease Detection in Nile Tilapia. *Aquaculture Reports*, 39, 102418. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2024.102418>

## 7. Un conjunto de datos de camarón *Litopenaeus vannamei* para estimación de biomasa basada en inteligencia artificial y algoritmos de detección de organismos.

### *A *Litopenaeus vannamei* Shrimp Dataset for Artificial Intelligence-Based Biomass Estimation and Organism Detection Algorithms.*

La industria de la acuicultura enfrenta desafíos importantes relacionados con la estimación precisa de biomasa y las mediciones no invasivas en el cultivo de camarones. Los métodos actuales, basados en procesos manuales, son lentos, imprecisos y propensos a errores, además de generar estrés y mortalidad en los organismos. Este artículo presenta un conjunto de datos desarrollado para abordar estas limitaciones, utilizando modelos de visión por computadora e inteligencia artificial. Los datos recopilados comprenden un total de 5507 imágenes y mediciones manuales de longitud total, longitud del cefalotórax y peso de 170 camarones *Litopenaeus vannamei*, recolectados en estanques industriales y académicos.

El conjunto de datos se divide en cinco subcarpetas, cada una asociada con un proceso de captura en condiciones específicas. Las imágenes fueron obtenidas mediante cámaras de alta resolución, como una Logitech c920 y una cámara Raspberry Pi de 12 MP, con configuraciones que incluyen diferentes niveles de iluminación y tipos de agua (estanque versus agua clara). Estas imágenes y mediciones permiten correlacionar características específicas de las imágenes con la biomasa de los camarones, sentando las bases para el desarrollo de algoritmos de detección de organismos y estimación de biomasa.

Este conjunto de datos tiene una aplicabilidad amplia, ya que permite a los investigadores probar y comparar modelos de aprendizaje automático para la estimación de biomasa. Además, es útil para estudiar relaciones alométricas entre características morfométricas y biomasa, facilitando el desarrollo de herramientas no invasivas para la industria de la acuicultura. La calidad y diversidad de los datos hacen que este recurso sea único, al incluir camarones de diferentes edades, tamaños y condiciones de cultivo, lo que contribuye a la robustez de los modelos predictivos.

Finalmente, el artículo subraya la importancia de métodos precisos y sostenibles para la gestión de la alimentación y el monitoreo en la acuicultura, áreas clave para la eficiencia económica y el cuidado ambiental. Este conjunto de datos no solo aborda una brecha crítica en la investigación de la acuicultura, sino que también establece un estándar para futuros desarrollos en estimación de biomasa basada en inteligencia artificial.

Ramírez-Coronel, F. J., Esquer-Miranda, E., Rodríguez-Elias, O. M., García-Hinostro, P., & Parra-Salazar, G. C. (2024). A *Litopenaeus vannamei* shrimp dataset for artificial intelligence-based biomass estimation and organism detection algorithms. *Data in Brief*, 57, 110964. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2024.110964>



## Capítulo II: Huella de Carbono, Emisiones de Dióxido de Carbono y Tratamiento de Aguas Residuales

### 1. Fluctuación interanual significativa en los flujos difusivos de CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> desde estanques acuícolas subtropicales: Implicaciones para el cambio climático y la evaluación de emisiones de carbono.

***Significant inter-annual fluctuation in CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> diffusive fluxes from subtropical aquaculture ponds: Implications for climate change and carbon emission evaluations.***

El estudio analiza las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), como dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y metano (CH<sub>4</sub>), en estanques de acuicultura costera en el sureste de China durante cinco años (2017-2021). Los resultados revelaron variaciones interanuales significativas, con el CH<sub>4</sub> contribuyendo a más del 70% de las emisiones equivalentes de CO<sub>2</sub> debido a su alto potencial de calentamiento global. Factores ambientales como el oxígeno disuelto, el fósforo total disuelto y la salinidad jugaron roles clave en la regulación de las emisiones de GEI, mientras que la tasa de conversión alimenticia (FCR) mostró una correlación directa con las concentraciones y flujos de CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub>, reflejando el impacto de alimentos no consumidos y desechos en la generación de carbono.

El documento propone un modelo empírico para predecir los flujos difusivos de CH<sub>4</sub> a partir de mediciones de CO<sub>2</sub>, ofreciendo una herramienta práctica para productores y autoridades en la evaluación de emisiones totales de carbono. Este enfoque es particularmente útil para pequeños acuicultores que carecen de acceso a métodos de monitoreo costosos, aunque no incluye las emisiones por burbujeo de CH<sub>4</sub>, que pueden ser relevantes. Asimismo, se destaca cómo prácticas como la mejora en la formulación y manejo de alimentos podrían reducir las emisiones de GEI, haciendo la acuicultura más eficiente y sostenible.

En términos generales, el estudio subraya que los estanques de acuicultura son importantes emisores de GEI, con valores significativamente mayores que los reportados en lagos y reservorios naturales. La implementación de mediciones a largo plazo y de tecnologías simples para monitorear estas emisiones es crucial para mitigar el impacto climático de la acuicultura costera, mientras se equilibra el crecimiento económico y la sostenibilidad ambiental.

Yang, P., Zhang, L., Lin, Y., Yang, H., Lai, D. Y. F., Tong, C., Zhang, Y., Tan, L., Zhao, G., & Tang, K. W. (2024). Significant inter-annual fluctuation in CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> diffusive fluxes from subtropical aquaculture ponds: Implications for climate change and carbon emission evaluations. *Water Research*, 249(120943), 120943. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2023.120943>



CO<sub>2</sub>

## 2. Un estudio descriptivo sobre la producción y eliminación de dióxido de carbono en sistemas acuícolas de recirculación (RAS) para salmón del Atlántico (*Salmo salar L.*) post-smolt: Una comparación de dos métodos de medición de CO<sub>2</sub>.

***A descriptive study of carbon dioxide production and removal in full-scale RAS for Atlantic Salmon (*Salmo salar L.*) post-smolt: A comparison of two different measurement methods for CO<sub>2</sub>.***

Este estudio examina la producción y eliminación de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en sistemas acuícolas de recirculación a gran escala (RAS) diseñados para la producción de post-smolt de salmón del Atlántico (*Salmo salar L.*). Se realizaron mediciones de CO<sub>2</sub> en dos módulos, M1 y M2, operados a diferentes niveles de salinidad. Se evaluaron dos métodos de medición de CO<sub>2</sub>: mediante sondas OxyGuard y cálculos basados en carbono inorgánico total (TIC). A lo largo de ocho semanas, se monitorearon los parámetros de calidad del agua en los sistemas, observándose un aumento en las concentraciones de CO<sub>2</sub> a medida que aumentaba la biomasa de los peces y la carga de alimentación.

En M1, los niveles de CO<sub>2</sub> aumentaron de 6.2 mg/L a 16.4 mg/L, mientras que en M2 se mantuvieron entre 3.5 mg/L y 7.2 mg/L. El estudio también analizó la eficiencia de eliminación de CO<sub>2</sub>, mostrando que el biofiltro de cama móvil jugó un papel importante en la eliminación de CO<sub>2</sub>, aunque su impacto varió entre los módulos. M1 presentó una mayor prevalencia de nefrocalcínosis en los peces, lo que podría estar relacionado con las concentraciones más altas de CO<sub>2</sub> en el tanque.

Este estudio proporciona información clave sobre la dinámica del CO<sub>2</sub> en sistemas RAS, contribuyendo a optimizar el diseño y operación de estos sistemas para mejorar la calidad del agua y el bienestar de los peces.

Jafari, L., Fivelstad, S., Attramadal, K., Flataker, H., Mjaatvedt, P., Olsen, A. B., Chierici, M., & Hosfeld, C. D. (2024). A descriptive study of carbon dioxide production and removal in full-scale RAS for Atlantic Salmon (*Salmo salar L.*) post-smolt: A comparison of two different measurement methods for CO<sub>2</sub>. *Aquaculture Engineering*, 107(102442), 102442. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2024.102442>



### 3. MusselCF, una caja de herramientas fácil de usar para estimar la huella de carbono fisiológica de mejillones en acuicultura suspendida.

***MusselCF, a user-friendly toolbox to estimate the physiological carbon footprint of mussels in suspended aquaculture.***

El artículo presenta MusselCF, una herramienta desarrollada para estimar la huella de carbono fisiológica de los mejillones en acuicultura suspendida. Esta herramienta integra un modelo dinámico basado en el presupuesto energético neto (DEB) que calcula flujos de carbono inorgánico disuelto (DIC), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y alcalinidad total (TA) vinculados a procesos biológicos como el crecimiento de tejidos y conchas, calcificación, respiración, excreción de amonio y producción de heces. MusselCF permite simular estrategias de cultivo considerando factores como la fecha de siembra, tamaño inicial y duración del cultivo, analizando también el impacto de estas prácticas sobre la química del agua de mar.

El modelo se aplicó en las Rías Gallegas (noroeste de España), una región favorable para el cultivo de mejillones debido a su alta productividad y condiciones ambientales particulares. MusselCF combina datos ambientales y modelos bioenergéticos para estimar la contribución de cada proceso biológico a los presupuestos de DIC y CO<sub>2</sub>, destacando cómo la calcificación y la respiración afectan la química del agua. También permite evaluar impactos sobre la presión parcial de CO<sub>2</sub> (pCO<sub>2</sub>) y el pH, integrando datos ambientales específicos de la región.

Esta herramienta es accesible para usuarios sin experiencia en programación, gracias a su interfaz gráfica basada en Python y soporte para datos específicos de diferentes áreas de cultivo. MusselCF no solo cuantifica las emisiones de carbono de la acuicultura de mejillones, sino que también evalúa su potencial de mitigación climática, considerando la reutilización de conchas y las tasas de enterramiento de heces como posibles formas de secuestro de carbono. En conclusión, MusselCF ofrece un enfoque integral y flexible para comprender el impacto ambiental de la acuicultura suspendida de mejillones, fomentando prácticas más sostenibles mediante la optimización de estrategias de manejo y una evaluación precisa de su huella de carbono en distintas condiciones ambientales.

Pájaro, M., Fuentes-Santos, I., Labarta, U., Alonso, A. A., & Álvarez-Salgado, X. A. (2024). MusselCF, a user-friendly toolbox to estimate the physiological carbon footprint of mussels in suspended aquaculture. *Aquaculture Engineering*, 105(102415), 102415. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2024.102415>

#### 4. Huella de carbono de los pepinos de mar frescos en China: Comparación de tres tecnologías de acuicultura.

##### ***Carbon footprint of fresh sea cucumbers in China: Comparison of three aquaculture technologies.***

El estudio analiza la huella de carbono asociada a la producción de pepinos de mar frescos en China, evaluando tres tecnologías de acuicultura: siembra en el fondo marino, cultivo en jaulas marinas y siembra en estanques. La tecnología de siembra en el fondo marino presentó la mayor huella de carbono (6936.5 kg CO<sub>2</sub>eq por tonelada), seguida del cultivo en jaulas (5148.7 kg CO<sub>2</sub>eq), mientras que la siembra en estanques mostró la menor huella (2914.1 kg CO<sub>2</sub>eq). Las principales fuentes de emisiones incluyen el consumo de electricidad y alimento, especialmente en etapas como el crecimiento de plántulas y la alimentación de los adultos, identificadas como los puntos críticos de generación de gases de efecto invernadero.

El análisis de sensibilidad mostró que el aumento de la tasa de supervivencia de las plántulas y la reducción del consumo de electricidad pueden disminuir significativamente las emisiones de carbono. Además, se destacó el potencial de las energías renovables, como la eólica y la solar, para reducir la huella de carbono. Por ejemplo, el uso de energía eólica disminuyó las emisiones de la tecnología de siembra en el fondo en un 93.9%, lo que resalta la importancia de transitar hacia fuentes energéticas más limpias en la acuicultura.

Se compararon las tecnologías en términos de rendimiento económico y ambiental. Aunque la tecnología de siembra en estanques tiene el menor impacto de carbono y el mayor rendimiento económico, presenta desafíos ambientales debido al uso intensivo de alimento. La investigación subraya la necesidad de equilibrar los beneficios económicos y la sostenibilidad ambiental en la acuicultura.

En conclusión, el estudio proporciona una base para desarrollar estrategias de mitigación en la producción de pepinos de mar, enfatizando la mejora de la gestión de recursos, el uso de energías renovables y la optimización de las prácticas de cultivo para lograr un desarrollo industrial bajo en carbono.

Yang, Lin, An, D., Cui, Y., Jia, X., Yang, D., Li, W., Wang, Y., & Wu, L. (2024). Carbon footprint of fresh sea cucumbers in China: Comparison of three aquaculture technologies. *Journal of Cleaner Production*, 469(143249), 143249. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.143249>

## 5. Microbiotas multifuncionales reguladas por la presión del aire en el lumen en reactores de biofilm aireado por membrana para la eliminación simultánea de nitrógeno y antibióticos de aguas residuales de acuicultura.

### *Lumen air pressure regulated multifunctional microbiotas in membrane-aerated biofilm reactors for simultaneous nitrogen removal and antibiotic elimination from aquaculture wastewater.*

El estudio analiza el desempeño de dos tipos de reactores de biofilm aireado por membrana (MABR): uno convencional y otro híbrido (HMABR), diseñados para tratar aguas residuales de acuicultura con baja relación carbono/nitrógeno (C/N). Los resultados muestran que ambos sistemas tienen una capacidad superior para la remoción de nitrógeno y antibióticos, como el sulfametoxazol (SMX), en comparación con métodos convencionales. La regulación de la presión de aire en el lumen (LAP) influyó significativamente en el rendimiento, aumentando la eficiencia de remoción de nitrógeno total inorgánico (TIN) al disminuir la LAP de 10 a 2 kPa, y alcanzando eficiencias de eliminación de SMX de hasta el 80,2%.

El análisis metagenómico reveló que las comunidades microbianas multifuncionales desarrolladas en estos sistemas estaban reguladas por la LAP, lo que diversificó los mecanismos de nitrificación y desnitrificación simultánea. Además, se identificaron genes clave como *narGHI* y *nirK*, cuya abundancia aumentó en condiciones de baja LAP, mejorando la actividad enzimática y optimizando la remoción de nitrógeno. El HMABR demostró un mejor desempeño que el MABR convencional debido a la combinación de lodos suspendidos y biofilm, que facilitó un ambiente redox más complejo y estable para los microorganismos desnitrificantes.

En cuanto a la eliminación de SMX, se determinó que la principal ruta fue la biodegradación, complementada por una biosorción eficiente en la matriz extracelular polimérica (EPS). Los resultados indicaron que una menor producción de EPS en condiciones de baja LAP redujo la resistencia al transporte de masa, manteniendo la estabilidad del biofilm y mejorando la eficiencia del sistema.

Este estudio proporciona una base para optimizar los sistemas de tratamiento de aguas residuales de acuicultura, destacando la importancia de ajustar la LAP para maximizar la eficiencia de eliminación de contaminantes y minimizar los costos energéticos. Además, subraya el potencial de utilizar comunidades microbianas multifuncionales y genes clave para avanzar hacia tratamientos más sostenibles y efectivos.

Xia, Z., Ng, H. Y., Xu, D., & Bae, S. (2024). Lumen air pressure regulated multifunctional microbiotas in membrane-aerated biofilm reactors for simultaneous nitrogen removal and antibiotic elimination from aquaculture wastewater. *Water Research*, 251(121102), 121102. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2024.121102>

## 6. Carbono nanoporo derivado de desechos sólidos de camarón como un bio-adsorbente alternativo para la eliminación de oxitetraciclina de aguas residuales de acuicultura.

### ***Solid shrimp waste derived nanoporous carbon as an alternative bio-sorbent for oxytetracycline removal from aquaculture wastewater.***

El estudio explora la conversión de desechos sólidos de camarón en nanoporo carbono como biosorbente para eliminar oxitetraciclina (OTC) de aguas residuales de acuicultura. Utilizando carbonización hidrotermal asistida con activación de KOH, se logró producir un material con alta porosidad y una superficie específica de 679.51 m<sup>2</sup>/g. La activación con 5% de KOH resultó ser la más efectiva, optimizando la estructura microporosa y la capacidad de adsorción, con un valor máximo de 61.259 mg/g, de acuerdo con el modelo de isoterma de Langmuir.

El proceso de adsorción sigue un mecanismo químico, ajustándose al modelo cinético de pseudo-segundo orden, lo que indica interacciones predominantes como enlaces de hidrógeno y π-π\* entre la OTC y el adsorbente. Las pruebas demostraron una alta eficiencia inicial de adsorción, con una disminución progresiva tras cinco ciclos de regeneración, reduciéndose del 100% al 61.37%. Este comportamiento refleja la degradación de la estructura del material y el impacto de la regeneración térmica en su rendimiento.

Se resalta el potencial de esta tecnología para valorizar los desechos de la industria del camarón mediante la producción de biosorbentes de alto rendimiento. Este enfoque no solo aborda el problema de la contaminación por antibióticos en aguas residuales, sino que también promueve la economía circular al convertir subproductos agroindustriales en materiales útiles para aplicaciones ambientales.

En conclusión, la utilización de nanoporo carbono derivado de desechos de camarón representa una solución sostenible y eficaz para la remoción de antibióticos en la acuicultura. Este desarrollo tecnológico ofrece un enfoque innovador y práctico para la gestión de residuos y recursos hídricos, contribuyendo a la sostenibilidad ambiental de los sistemas de producción acuícola.

Kaewtrakulchai, N., Samattakarn, N., Chanpee, S., Assawasaengrat, P., Manatura, K., Wongrerkdee, S., & Eiad-Ua, A. (2024). Solid shrimp waste derived nanoporous carbon as an alternative bio-sorbent for oxytetracycline removal from aquaculture wastewater. *Helion*, 10(11), e32427. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e32427>

## 7. Desarrollo de sistemas de producción de hidrógeno verde y oxígeno basados en energías renovables y generación de electricidad para una acuicultura sostenible.

***Development of renewable energy based green hydrogen and oxygen production and electricity generation systems for sustainable aquaculture.***

El estudio presenta un sistema innovador basado en energía solar para la producción de oxígeno y almacenamiento de hidrógeno, destinado a la acuicultura sostenible. Este sistema integra paneles fotovoltaicos con electrolizadores de membrana de intercambio de protones (PEM) para generar oxígeno a través de la electrólisis del agua y almacenar hidrógeno como fuente de energía para la generación eléctrica. Se evaluó su desempeño en cinco ciudades de países con altos niveles de pobreza (India, Nigeria, Pakistán, Etiopía y República Democrática del Congo), logrando eficiencias energéticas y exergéticas de 12.2% y 66%, respectivamente, al tiempo que contribuye a varios Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la ONU.

El sistema demostró la capacidad de producir hasta 431.8 kg de oxígeno y 539.7 kg de hidrógeno diarios en las ubicaciones seleccionadas, dependiendo de la capacidad instalada de energía solar. Esto permite mantener niveles óptimos de oxígeno en sistemas acuícolas, mejorando la conversión alimenticia y reduciendo el riesgo de enfermedades en los peces. La energía generada a partir del hidrógeno almacenado se utiliza durante períodos de baja disponibilidad solar, garantizando operaciones continuas en granjas acuícolas.

El análisis del sistema destacó su viabilidad como alternativa completamente verde, al no utilizar fuentes de energía fósiles y optimizar el uso de recursos renovables. Sin embargo, se identificaron desafíos relacionados con los costos iniciales de inversión y la necesidad de personal capacitado para la operación y mantenimiento del sistema, lo que puede abordarse mediante incentivos financieros y programas de formación específicos.

En conclusión, el sistema propuesto representa un avance significativo hacia una acuicultura sostenible, con un impacto ambiental reducido y una alineación directa con los ODS. Su implementación podría transformar la gestión energética en acuicultura, especialmente en regiones remotas y en países en desarrollo, fomentando la resiliencia económica y ambiental.

Erdemir, D., & Dincer, I. (2024). Development of renewable energy based green hydrogen and oxygen production and electricity generation systems for sustainable aquaculture. *Journal of Cleaner Production*, 434(140081), 140081. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.140081>



**CASA**

Center for Antimicrobial Stewardship in Aquaculture

CENTRO COLABORADOR ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE SANIDAD ANIMAL