(https://www.globalseafood.org)

Responsibility

Reseña de Captura y Cultivo: Las macroalgas marinas como biofiltros sostenibles para la eliminación de nitrógeno

9 November 2026

By Darryl Jory, Ph.D.

Las macroalgas marinas eliminan nutrientes, recuperan recursos y producen biomasa aprovechable, lo que las convierte en una opción práctica para mejorar la acuacultura, optimizar el tratamiento de aguas residuales y fortalecer la bioeconomía azul



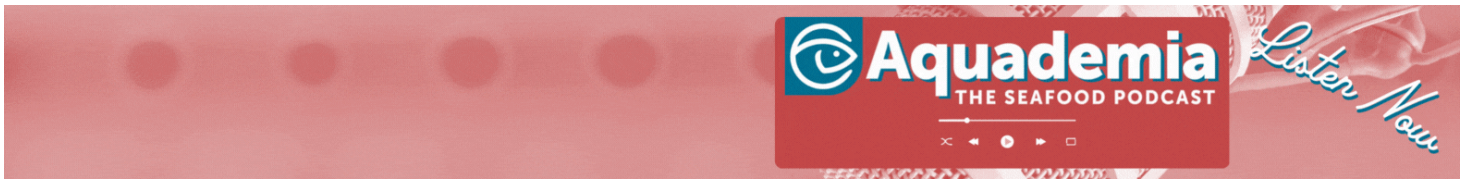
Esta revisión de la literatura sobre acuacultura analiza cómo las macroalgas y microalgas pueden enriquecer alimentos funcionales, nutracéuticos, productos fortificados con proteínas y dietas personalizadas. Fotografía de un cultivo de algas en Tanzania, realizada por Rachel Clara Reed (CC BY-SA 4.0, https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0, vía Wikimedia Commons).

Los ecosistemas costeros de todo el mundo se enfrentan a graves problemas de contaminación por nitrógeno y eutrofización, lo que genera un interés creciente en métodos sostenibles para eliminar el exceso de nutrientes. Las macroalgas marinas constituyen biofiltros prometedores, ya que crecen rápidamente, absorben nutrientes de manera eficiente y transforman el nitrógeno disuelto en biomasa útil.

Un **estudio de revisión** (https://doi.org/10.3390/nitrogen7040110), elaborado por Leonel Pereira, de la Universidad de Coímbra (Portugal), examina cómo las macroalgas utilizan el nitrógeno y cómo este uso influye en la regulación fotosintética, la eficiencia de la biofiltración y la valorización de la biomasa. El trabajo se centra en la captación y asimilación de nitrato, amonio, urea y nitrógeno orgánico disuelto, así como en las rutas fisiológicas que vinculan el metabolismo del nitrógeno con el rendimiento fotosintético.

Se analizan las interacciones entre la disponibilidad de nitrógeno, la síntesis de clorofila, la eficiencia fotoquímica y el transporte de electrones, demostrando por qué el nitrógeno es un elemento fundamental para la productividad de las macroalgas. Asimismo, la revisión evalúa el papel de las macroalgas en el tratamiento de aguas residuales, la acuicultura multitrófica integrada (IMTA), la remediación de efluentes en sistemas de acuicultura en tierra y la gestión de nutrientes en zonas costeras. El estudio examina críticamente los factores ambientales y operativos que determinan la eficiencia de la biofiltración, tales como la luz, la temperatura, la salinidad, el flujo de agua, la variabilidad estacional y la selección de especies.

El estudio analiza, además, cómo la biomasa recuperada puede valorizarse en forma de proteínas, compuestos nutracéuticos, ficocoloides, bioestimulantes agrícolas y otros bioproductos de alto valor dentro de modelos de bioeconomía circular. Las necesidades de investigación futura abarcan los impactos del cambio climático, los sistemas de cultivo multifuncionales, las herramientas basadas en las ciencias "ómicas," el modelado fisiológico y los desafíos que plantea su implementación a gran escala.



(https://www.globalseafood.org/podcast/)

En conjunto, las macroalgas marinas ofrecen una vía sostenible y multifuncional para la eliminación de nutrientes, la recuperación de recursos y la producción de biomasa, con un claro potencial para una acuicultura ambientalmente más responsable, la gestión de aguas residuales y el desarrollo de la bioeconomía azul.

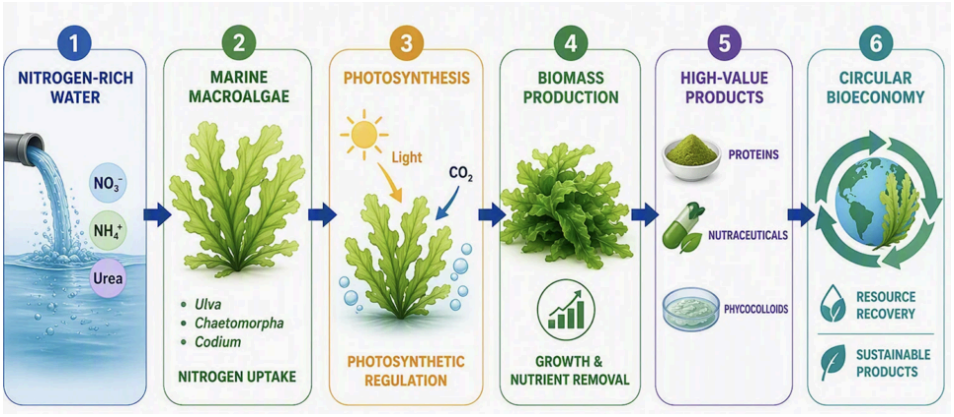


Fig. 1: Resumen gráfico del estudio. Adaptado del original.

Relevancia de los resultados de la investigación para la industria

En el ámbito de la acuacultura, la conclusión práctica es que las macroalgas – ya sea en sistemas de acuacultura multitrófica integrada (IMTA) o en sistemas de recirculación – no constituyen un mero complemento "verde" opcional. Funcionan como un sumidero de nitrógeno cuya capacidad de absorción depende de la disponibilidad de luz y de la forma química del nitrógeno presente en los efluentes de los tanques de cultivo animal. Los operadores que solo monitorean el amonio residual, sin tener en cuenta el estado fotosintético de las algas, no podrán comprender por qué la tasa de eliminación disminuye durante semanas nubladas o cuando la densidad de siembra es elevada. La elección de la especie también tiene implicaciones comerciales: el género *Ulva*, por ejemplo, puede eliminar el nitrógeno con rapidez y resultar útil para la producción de piensos o bioestimulantes; por el contrario, *Gracilaria* o las grandes algas pardas (kelp) pueden presentar un crecimiento más lento, pero ofrecen un valor añadido gracias a su contenido en ficocoloides.

Para los gestores de aguas residuales y zonas costeras, esta misma lógica es aplicable a mayor escala. Las macroalgas no pueden sustituir a todas las plantas de tratamiento; su implementación resulta más viable en entornos donde el nitrógeno se encuentra disuelto, el agua es salina o salobre, existe suficiente disponibilidad de luz y se dispone de una salida comercial para la biomasa cosechada. La variabilidad estacional representa un desafío complejo a la hora de diseñar estos sistemas: una instalación dimensionada para la tasa de absorción propia del verano tendrá un rendimiento insuficiente en invierno. Por tanto, es necesario ajustar, según la época del año, la superficie ocupada, la combinación de especies o el tiempo de retención del agua. El flujo hídrico es igualmente determinante: si el intercambio es demasiado lento, los talos (cuerpos de las macroalgas) agotan los nutrientes en la capa límite y sufren carencias; si, por el contrario, el flujo es demasiado rápido, las algas no permanecen en contacto con el agua el tiempo suficiente para que la absorción sea significativa.



Efecto de alimentar camarón blanco del Pacífico con la macroalga verde fresca Chaetomorpha clavata

Reemplazar la mitad del alimento con la macroalga C. clavata puede reducir los costos en el cultivo del camarón blanco del Pacífico, lo que la convierte en candidata para el co-cultivo.

Global Seafood Alliance

Asimismo, los compradores de biomasa destinada a la elaboración de alimentos, ingredientes alimentarios o hidrocoloides tienen un interés directo en este proceso. Los efluentes ricos en nitrógeno tienden a incrementar el contenido proteico en los tejidos de las algas; esto resulta ventajoso para la producción de piensos, pero puede ser contraproducente si el comprador requiere, por ejemplo, una especificación concreta de fuerza de gel. La valorización solo es viable si el régimen de cultivo –

optimizado para maximizar la eliminación de nitrógeno – no compromete las características específicas que busca el comprador. Se trata, por tanto, de una cuestión de control de calidad, y no solo de un aspecto medioambiental.



Fig. 2: Aplicaciones de las macroalgas marinas en biofiltración.
Adaptado del original.

Perspectivas

Las macroalgas marinas prosperan en hábitats muy diversos, en gran medida gracias a su eficiencia para obtener y utilizar nitrógeno. Son capaces de absorber nitrato, amonio, urea y nitrógeno orgánico disuelto, lo que garantiza que su crecimiento no se detenga ante cambios en la disponibilidad de nutrientes. Cuando el nitrógeno está disponible, responden con rapidez. Mediante transportadores, enzimas de reducción y rutas de asimilación, transforman el nitrógeno externo en compuestos que la célula necesita, favoreciendo tanto su productividad como su metabolismo cotidiano.

Los tres grupos principales de macroalgas – verdes, pardas y rojas – realizan este proceso de formas distintas. Difieren en su velocidad de absorción, capacidad de almacenamiento y eficiencia en la asimilación del nitrógeno; estas diferencias parecen ser adaptaciones a nichos ecológicos específicos. Las macroalgas verdes, de crecimiento rápido, resultan especialmente útiles cuando el objetivo es eliminar nutrientes con celeridad. Las pardas tienden a almacenar nutrientes para utilizarlos a lo largo de las distintas estaciones. Muchas algas rojas poseen una flexibilidad inusual, siendo capaces de aprovechar tanto fuentes inorgánicas como orgánicas. Esta fisiología determina los entornos en los que puede habitar una especie y su capacidad para competir con otras. Asimismo, define, en términos prácticos, qué algas resultan más adecuadas para su uso en acuicultura o en proyectos de biorremediación.

Estos aspectos cobran mayor relevancia en un contexto marcado por la eutrofización costera y la contaminación por nutrientes, sumado a una creciente demanda de biomasa sostenible. Los estudios en biología molecular, fisiología y técnicas de cultivo están revelando cómo se regula el metabolismo del nitrógeno y cómo dicha regulación influye en el crecimiento, la fotosíntesis y la composición de los tejidos. Esto ofrece beneficios directos: el desarrollo de sistemas de cultivo más eficaces, biofiltros más fiables y configuraciones de acuacultura multitrófica integrada (IMTA) diseñadas a partir de la propia biología de las especies, en lugar de ser añadidos a posteriori.

Una gestión adecuada del suministro de nitrógeno en los sistemas de producción permite aumentar el rendimiento, incrementar la obtención de compuestos de alto valor y, simultáneamente, retirar el exceso de nutrientes del agua. Con la expansión de la “bioeconomía azul,” es probable que las macroalgas

adquieran un papel más destacado en la alimentación humana y animal, la biorremediación, las tecnologías bajas en carbono, así como en la elaboración de productos nutracéuticos, farmacéuticos y biotecnológicos. Su ventaja fundamental es sencilla: transforman el nitrógeno excedente en biomasa aprovechable.

Sin embargo, llevar estos sistemas a una aplicación real es otra cuestión. Los objetivos de biorremediación, productividad y acumulación de metabolitos a menudo entran en conflicto, por lo que las condiciones de cultivo deben seleccionarse teniendo en cuenta este equilibrio de compromisos. El equilibrio de nutrientes, el suministro de carbono, la presencia de contaminantes, la seguridad de la biomasa, los costes, el escalado industrial y la regulación siguen siendo obstáculos. El ajuste biológico por sí solo no bastará; es necesario realizar estudios sobre el ciclo de vida y análisis técnico-económicos que respalden su comercialización.

El estudio también analizó la composición de las macroalgas y microalgas, y cómo esta se ajusta a aplicaciones en el ámbito de la alimentación, la nutrición y la dieta, contribuyendo a sistemas alimentarios más sostenibles. Las algas son ricas en proteínas, fibra, ácidos grasos esenciales, vitaminas, minerales y una amplia gama de compuestos bioactivos, razón por la cual se presentan constantemente como ingredientes funcionales. Ya se están utilizando en alimentos funcionales, nutracéuticos, el enriquecimiento proteico y dietas más personalizadas. Desde una perspectiva medioambiental, aprovechan los recursos de manera eficiente, pueden reducir la huella ecológica y encajan bien en los modelos de bioeconomía circular. No obstante, esto no significa que estén preparadas para sustentar por sí solas los objetivos globales de nutrición o seguridad alimentaria; se requiere más investigación interdisciplinaria, una mejor tecnología de procesamiento y una regulación más clara para que dejen de ser simplemente una opción prometedora y pasen a formar parte habitual del sistema alimentario.

La temperatura del agua, la densidad de siembra y el tiempo de exposición influyen en la susceptibilidad del camarón blanco del Pacífico al virus del síndrome de la mancha blanca (WSSV) presente en el agua

En el cultivo de camarones en estanques, el recambio de agua de mar puede introducir el virus del síndrome de la mancha blanca (WSSV) proveniente de aguas costeras; sin embargo, el riesgo de infección ante una determinada concentración viral depende de la temperatura, la densidad de siembra y el tiempo durante el cual los camarones permanecen expuestos.

Un **estudio** (https://doi.org/10.3390/ani16182855) realizado por Min Jae Kim y sus colegas –del Servicio Nacional de Gestión de la Calidad de Productos Pesqueros, la Universidad Nacional de Gyeongsang y la Universidad Nacional de Pukyong (República de Corea) – evaluó la susceptibilidad del camarón blanco del Pacífico (*Penaeus vannamei*) al WSSV presente en el agua bajo dichas condiciones.

Los camarones fueron criados a 25 o 30 grados-C y a densidades baja, media o alta (70, 140 o 210 camarones/m²). Se midieron las respuestas fisiológicas y, posteriormente, los animales fueron sometidos a pruebas mediante inmersión a corto plazo, inmersión continua y cohabitación.

Los hallazgos de este estudio demuestran que la concentración de virus en el agua de mar entrante no es suficiente, por sí sola, para evaluar el riesgo. Es necesario considerar la temperatura, la densidad de siembra y el tiempo de exposición – junto con el monitoreo de la presencia del virus en el agua de mar – para que los productores puedan gestionar el recambio de agua de manera más segura y reducir la probabilidad de un brote. Fotografía de Salma Achiri y Francisco Miranda.

Los resultados indicaron que una mayor densidad de siembra se asociaba con cambios fisiológicos relacionados con el estrés y una mayor susceptibilidad al WSSV. Tras una exposición a corto plazo, una concentración de 10^7 copias del genoma del WSSV por litro provocó la infección únicamente en el grupo de alta densidad a 25 grados-C. Bajo una exposición continua, la dosis infecciosa mínima fue de 10^5 y 10^4 copias del genoma por litro para las densidades baja y alta a 25 grados-C, y de 10^6 y 10^5 copias del genoma por litro, respectivamente, a 30 grados-C. La cohabitación permitió la transmisión del virus incluso con cargas virales en el agua de mar inferiores a las que provocaron la infección durante la inmersión a corto plazo.

Al relacionar las concentraciones de virus medidas en el agua de mar con las dosis infecciosas mínimas y los resultados observados en condiciones de cohabitación, se pone de manifiesto que el riesgo de transmisión del virus del síndrome de la mancha blanca (WSSV) a través del agua debe evaluarse considerando, de forma conjunta, la concentración viral, la duración de la exposición, la temperatura del agua y la densidad de población; no basta con fijarse únicamente en la concentración.

En resumen, los autores sostienen que el riesgo de transmisión del WSSV a través del agua debe analizarse teniendo en cuenta cuatro factores simultáneamente: la concentración viral, la duración de la exposición, la temperatura y la densidad de población. Un estudio realizado en zonas costeras que solo indique el número de copias virales por litro – sin considerar los otros tres factores – resulta insuficiente para decidir si conviene o no bombear y renovar el agua de los estanques de cultivo.

Fig. 3: Diagrama esquemático del diseño experimental utilizado para investigar los efectos de la temperatura del agua, la densidad de población y el periodo de exposición sobre la susceptibilidad del camarón blanco del Pacífico al virus del síndrome de la mancha blanca (WSSV) presente en el agua. Adaptado del original.

Relevancia de los resultados de la investigación para el sector

Para quien gestiona un estanque, la distinción práctica radica en si el agua entra y sale rápidamente o si permanece en el estanque. Una entrada breve de agua con una carga de 10^7 copias por litro no provocó infecciones en los camarones a 30 °C, ni tampoco a densidades bajas o medias, incluso a 25 grados-C. Sin embargo, en esa misma granja, con una densidad de 210 camarones por metro cuadrado y una temperatura cercana a los 25 grados-C, sí se produjeron infecciones a raíz de ese episodio. La densidad y la temperatura son factores que pueden gestionarse; la carga viral en la bahía, por el contrario, a menudo escapa a dicho control.

La exposición continua representa un escenario más complejo y, a su vez, más realista si el agua captada permanece en el estanque. A 25 grados-C y con una densidad elevada, la infección se produjo con una carga de 10^4 copias por litro; una cifra mil veces menor que la dosis de exposición breve que solo afectó al grupo más susceptible. Las normas de bioseguridad basadas en un único umbral no

contemplan esta realidad: una concentración que parece tolerable durante un llenado de una hora puede resultar suficiente para causar una infección si esa agua permanece en el estanque durante la semana siguiente.

La convivencia entre camarones agrava aún más la situación. Una vez que algunos ejemplares se infectan, el virus liberado al medio contagia a otros, incluso con cargas virales inferiores al umbral de la exposición breve. Retirar a los animales afectados de forma temprana, o detener el recambio de agua al aparecer signos clínicos, no es una medida preventiva menor; es, de hecho, lo que marca la diferencia entre una introducción controlada y una amplificación del virus dentro del estanque.

La temperatura ofrece una herramienta parcial, aunque no una cura definitiva. A 30 grados-C, la dosis infectiva mínima (DIM) aumentó aproximadamente diez veces en comparación con los 25 grados-C, manteniendo la misma densidad. Las granjas que logran mantener sus estanques a una temperatura más elevada durante periodos de riesgo en la costa pueden ganar cierto margen de seguridad. No obstante, no deben considerar los 30 grados-C como una protección absoluta, ya que, en los ensayos realizados, una densidad elevada a esa temperatura permitió la infección con una carga de 10^5 copias por litro bajo condiciones de exposición continua.

Los resultados sobre la densidad también refutan la idea de que el hacinamiento solo es relevante tras el inicio de un brote, al aumentar la tasa de contacto entre individuos. Los estudios demostraron que el hacinamiento conlleva cambios fisiológicos asociados al estrés y reduce la dosis infectiva necesaria, incluso antes de considerar la convivencia entre camarones. Una densidad excesiva facilita la introducción inicial del patógeno y, posteriormente, acelera su propagación a partir de ese primer foco.

Fig. 4: Mortalidad acumulada de camarón blanco del Pacífico durante el ensayo de cohabitación de 14 días (Experimento 4) a 30 grados-C. Los camarones donantes (n = 12 por grupo) recibieron una inyección intramuscular de 0,1 mL de WSSV-Te-14 diluido, a dosis de (A) 10^5 o (B) 10^3 copias del genoma del WSSV por camarón. Se registró la mortalidad acumulada en cada condición durante 14 días, realizando ensayos por duplicado. Las barras de error indican el rango de los

ensayos por duplicado. WSSV: virus del síndrome de la mancha blanca; UV: ultravioleta. Adaptado del original.

Perspectivas

La temperatura del agua, la densidad de siembra, la concentración viral y el tiempo de exposición influyen en la facilidad con la que el camarón blanco del Pacífico contrae el virus del síndrome de la mancha blanca (WSSV) presente en el agua. La dosis infectiva mínima (DIM) no es una propiedad fija del virus. Esta disminuye a 25 grados-C en comparación con los 30 grados-C, y se reduce aún más cuando la densidad de siembra aumenta de 70 a 210 camarones por metro cuadrado. Una inmersión breve en agua con una concentración de 10^7 copias del genoma por litro solo provocó la infección en el grupo de alta densidad a una temperatura más baja. Cuando los mismos animales permanecieron en contacto con el agua, la infección se produjo con cargas virales mucho menores: de 10^4 a 10^5 copias por litro a 25 grados-C, y de 10^5 a 10^6 a 30 grados-C, dependiendo de la densidad. La cohabitación facilitó la transmisión de la infección con cargas virales en el agua de mar inferiores a aquellas que, en una inmersión breve, no habían logrado causar la infección; esto sugiere que, una vez que algunos camarones comienzan a liberar el virus, la propagación dentro del estanque puede representar un riesgo mayor que el derivado de un único evento de entrada de agua.

Por lo tanto, el agua costera que ingresa al sistema no debe evaluarse únicamente en función de su concentración viral. Una misma carga viral puede ser tolerable durante un breve intercambio en un estanque cálido y con baja densidad de población, pero ser suficiente para desencadenar una infección si esa agua permanece en un estanque más frío y con una mayor densidad de camarones. Al considerar el tiempo de exposición y las condiciones de cultivo, junto con el monitoreo rutinario del agua de mar, estos umbrales proporcionan una base cuantitativa para tomar decisiones fundamentadas en el riesgo: cuándo bombear agua, cuánto tiempo retener el agua captada y qué densidades de siembra aplicar en los estanques.

“El impacto de la calidad del agua en la salud y el rendimiento de los peces y camarones de cultivo, Parte 1: oxígeno disuelto y dióxido de carbono (https://www.globalseafood.org/advocate/el-impacto-de-la-calidad-del-agua-en-la-salud-y-el-rendimiento-de-los-peces-y-camarones-de-cultivo-parte-1-oxigeno-disuelto-y-dioxido-de-carbono/)”

Modulación del microbioma intestinal de animales acuáticos de cultivo mediante postbióticos y paraprobióticos

Reducir la dependencia de los antimicrobianos terapéuticos en la industria acuícola mundial requerirá alternativas que sigan siendo eficaces bajo las limitaciones de procesamiento y bioseguridad propias de la producción intensiva, un entorno donde la recurrencia de enfermedades bacterianas sigue provocando importantes pérdidas económicas.

Una **revisión** (https://doi.org/10.3390/antibiotics15090887) realizada por Nguyen Dinh-Hung y sus colaboradores – de la Universidad de Chiang Mai y la Universidad Prince of Songkla (Tailandia), junto con la Universidad de Arizona (EE. UU.) – recopila la evidencia actual sobre el uso de postbióticos y

Un estudio indica que la evidencia actual respalda el uso de postbióticos y paraprobióticos como alternativas prometedoras a los probióticos vivos en estrategias para reducir el uso de antimicrobianos terapéuticos en la acuacultura, si bien aún no han sido caracterizados por completo. Su adopción comercial a mayor escala dependerá de la obtención de datos más claros sobre la relación dosis-respuesta, la demostración de que estos preparados permanecen estables en los piensos formulados y la evidencia de su eficacia en las especies objetivo. Fotografía de alimento acuícola – la principal vía de administración de estos productos microbianos en condiciones de engorde en acuacultura – por Darryl Jory.

paraprobióticos en la acuicultura. El trabajo aborda aspectos como su clasificación estructural, la señalización a través de receptores de reconocimiento de patrones, la función de la barrera intestinal, la activación del sistema inmunitario innato, las tecnologías de encapsulación y su grado de preparación para una aplicación práctica.

Aunque los probióticos vivos constituyen la opción basada en el microbioma más estudiada, presentan inconvenientes prácticos: baja supervivencia durante los procesos de peletizado y extrusión, una colonización intestinal solo temporal, respuestas del huésped que varían según la cepa,

preocupaciones de bioseguridad relacionadas con la transferencia horizontal de genes de resistencia a los antimicrobianos, y una regulación desigual entre distintas regiones.

Los postbióticos – preparados compuestos por biomasa microbiana no viable, que pueden incluir o no metabolitos, y que han demostrado aportar beneficios para la salud del huésped – y los paraprobióticos – centrados en células completas inactivadas que conservan patrones moleculares microbianos en su superficie – podrían evitar varios de estos problemas. Estos productos ofrecen una composición mejor definida, una mayor estabilidad durante el procesamiento del alimento y, potencialmente, un mayor nivel de seguridad desde la perspectiva de la bioseguridad.

Al no tratarse de organismos vivos, sus efectos sobre los patógenos no dependen de su crecimiento ni de una colonización competitiva. En su lugar, pueden actuar mediante compuestos antimicrobianos presentes en el propio preparado, interfiriendo en la adhesión de los patógenos, modificando el entorno intestinal, reforzando la función de barrera y estimulando la respuesta inmunitaria del huésped.

En conjunto, la evidencia los respalda como alternativas prometedoras a los probióticos vivos dentro de las estrategias para reducir el uso de antibióticos, si bien aún no han sido caracterizados por completo. Su mayor adopción comercial dependerá de la obtención de datos más claros sobre la relación dosis-respuesta, la demostración de su estabilidad en piensos formulados y pruebas de su eficacia en especies concretas.

Fig. 5: Sistemas de administración de postbióticos a través de alimentos acuícolas: comparación de estrategias de encapsulación y resultados de rendimiento. Adaptado del original.

Relevancia de los hallazgos de la investigación para la industria

Para una planta de fabricación de alimentos acuícolas, lo que importa es la estabilidad: si el preparado permanece intacto durante el proceso de producción. Un probiótico vivo a menudo debe aplicarse mediante recubrimiento tras la extrusión, lo que añade una etapa adicional y requiere verificar su viabilidad. Un preparado inactivado por calor, o una mezcla de metabolitos que resista los 80 grados-C, puede incorporarse a la mezcla base; sin embargo, esto solo resulta útil si la planta dispone de datos específicos para dicho producto, considerando la temperatura de la matriz (hilera) del equipo y el tipo de gránulo (pellet) obtenido. Esta revisión no ofrece una tasa de inclusión universal. El documento

señala, entre otras carencias, la falta de curvas de dosis-respuesta; sin ellas, quien formula el alimento se ve obligado a adivinar, oscilando entre una dosis ineficaz y una dosis excesiva que supone un desperdicio.

Para una explotación acuícola, estos productos no sustituyen a la bioseguridad, a las vacunas (cuando existen), al control de la calidad del agua ni a las decisiones terapéuticas ante un brote bacteriano ya en curso; los autores los sitúan, más bien, dentro de un programa integral de gestión sanitaria. Su uso más realista es de carácter preventivo: refuerzo de la barrera intestinal, estimulación del sistema inmunitario y reducción de las situaciones en las que se recurre, en primera instancia, a los antibióticos. Esta aplicación resulta más sólida en criaderos y sistemas de cría inicial (fases de alevinaje o pre-engorde) – donde es posible controlar la administración mediante baños, adición al agua o alimento vivo enriquecido – que en grandes estanques abiertos, donde la dilución y el recambio de agua anulan el efecto de cualquier producto aplicado al medio.

Para un organismo regulador o un comprador, el argumento clave es la bioseguridad. Un preparado no viable no puede colonizar la explotación ni el entorno tras el vertido, y tampoco debería transportar genes de resistencia. Esta ventaja solo es válida si, tras la inactivación, se verifica efectivamente la ausencia de viabilidad residual y si el producto está lo suficientemente caracterizado como para garantizar la homogeneidad entre distintos lotes. La pared celular de levadura, una mezcla específica de ácidos grasos de cadena corta (AGCC) y una cepa de *Lactobacillus* inactivada por calor no son intercambiables, aunque los tres productos se comercialicen bajo afirmaciones similares.

Fig. 6: Hoja de ruta para la investigación futura y la aplicación comercial de posbióticos y paraprobióticos en acuacultura. Este esquema, que abarca desde la evidencia científica hasta la aplicación práctica, detalla los pasos necesarios para llevar los productos candidatos desde su descubrimiento hasta su comercialización. Se subraya que la mera observación de respuestas biológicas prometedoras no es suficiente para respaldar las afirmaciones comerciales. Los productos candidatos deben estar claramente definidos en cuanto a la identidad de la cepa, el método de producción, el procedimiento de inactivación o fraccionamiento y la composición analítica; posteriormente, deben evaluarse mediante estudios de dosis-respuesta, pruebas de estabilidad durante el

procesamiento del alimento, evaluaciones de seguridad, ensayos de eficacia controlados y validación en condiciones propias de la explotación ganadera. Adaptado del original.

Perspectivas

En conjunto, esta exhaustiva revisión reúne el conocimiento actual sobre los postbióticos y paraprobióticos en la acuacultura: desde su clasificación y la forma en que son reconocidos por el sistema inmunitario, hasta cómo responden las distintas especies y los desafíos que implica su incorporación en el alimento. Asimismo, el texto expone las lagunas que aún limitan su aplicación.

Su uso comercial depende de tres factores analizados por los autores: las relaciones dosis-respuesta, la estabilidad en los alimentos formulados y la eficacia demostrada en las especies objeto de cultivo. Sigue siendo necesario realizar ensayos a escala de explotación, así como determinar la duración de los beneficios inmunológicos una vez que se interrumpe el suministro del producto a través del alimento.

Los preparados microbianos inactivados por calor, las formulaciones que contienen ácidos grasos de cadena corta (AGCC) y los productos derivados de la pared celular de levaduras pueden favorecer la inmunidad innata, la función de barrera intestinal y la resistencia a enfermedades, tal como se ha observado en ensayos controlados. No obstante, la solidez de estas evidencias es variable y depende de la especie, el producto y la vía de administración.

Es plausible que los preparados basados en AGCC intervengan en respuestas similares a la “inmunidad entrenada;” sin embargo, aún se dispone de escasas pruebas directas sobre cambios a nivel de la cromatina en las principales especies acuícolas. Antes de que estos productos puedan integrarse como herramientas habituales, es preciso profundizar en los estudios dosis-respuesta, mejorar la caracterización de los productos, obtener datos sobre su estabilidad durante el procesamiento del pienso y llevar a cabo ensayos a escala de explotación.

Cuando futuras investigaciones aporten la información que aún falta, los postbióticos y paraprobióticos podrían convertirse en componentes habituales de los programas integrales de salud, contribuyendo a que los sistemas de acuacultura intensiva sean más resilientes y menos dependientes del uso de antimicrobianos terapéuticos.

Author



DARRYL JORY, PH.D.

Editor Emeritus

darryl.jory@globalseafood.org (mailto:darryl.jory@globalseafood.org)

Copyright © 2026 Global Seafood Alliance

All rights reserved.