



ALLIANCE™

(<https://www.globalseafood.org>).



**Responsible
Seafood**
ADVOCATE



Health &
Welfare

Reseña de Captura y Cultivo: Explorando el potencial y los desafíos del ARN de interferencia en la acuicultura

14 September 2026

By Darryl E. Jory, Ph.D.

El ARN de interferencia (ARNi) ofrece un potencial significativo mediante el silenciamiento génico con ARN de doble cadena (dsARN), lo que permite un control eficaz de virus, bacterias y parásitos



Meros de cultivo – una de las especies de peces en las que se estudia la eficacia cuantitativa del ARNi para la resistencia a patógenos– en el Centro de Desarrollo de Pesca Marina de Guangdong (China); imagen de Darryl Jory.

El ARN de interferencia (ARNi) es un proceso celular natural que desactiva genes específicos al destruir las instrucciones (ARN mensajero) necesarias para producir una proteína. Los científicos la utilizan introduciendo ARN de doble cadena (dsARN) diseñado específicamente para corresponder a un gen diana, lo que induce a la célula a silenciar dicho gen. Este método ayudará a los investigadores a estudiar el funcionamiento de los genes, ya que posee un gran potencial para controlar enfermedades en la acuicultura y mejorar la producción.

Una **revisión** (<https://doi.org/10.1016/j.watbs.2025.100544>) realizada por Jinyong Zhang y sus colegas de la Universidad Agrícola de Qingdao (China) ofrece un análisis exhaustivo de las aplicaciones del ARNi mediado por dsARN, tanto para el control de patógenos como para aumentar la productividad en la acuicultura.

En cuanto al control de enfermedades, el ARNi ha actuado con éxito contra patógenos virales, bacterianos y parasitarios, logrando mayores tasas de supervivencia. En el ámbito de la producción, el ARNi muestra un gran potencial para fomentar el crecimiento y el aumento de peso mediante la supresión de factores que inhiben el desarrollo muscular, así como para facilitar la cría con control de sexo a través de la reversión sexual inducida, mejorando así notablemente la rentabilidad económica. A pesar de estos avances, su implementación práctica sigue viéndose obstaculizada por limitaciones en la eficiencia de administración, la estabilidad molecular y los efectos fuera de objetivo o diana (“off-target”).

Se han desarrollado diversos métodos de administración, incluidas la microinyección y el uso de vectores microbianos, para aumentar la eficiencia de la aplicación del dsARN; no obstante, la elección del método adecuado debe adaptarse a las condiciones ambientales específicas y a las necesidades operativas.



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

El ARNi presenta un gran potencial en la acuicultura gracias a la regulación génica mediada por dsARN, la gestión de enfermedades y la mejora de la eficiencia productiva. Actúa eficazmente contra virus, bacterias y parásitos, lo que se traduce en mayores tasas de supervivencia en peces y camarones. Asimismo, incrementa la productividad acuícola al estimular el crecimiento y permitir el control del sexo. Sin embargo, el ARNi todavía se enfrenta a desafíos relacionados con la eficiencia de administración, la estabilidad molecular y los efectos fuera de diana.

En resumen, la adopción exitosa del ARNi mediada por dsARN en la acuicultura requerirá perfeccionar los protocolos de dosificación y administración, profundizar en el conocimiento de los mecanismos de captación de dsARN exógeno y resolver los obstáculos técnicos pendientes para permitir la transición de la investigación de laboratorio al uso comercial a gran escala.

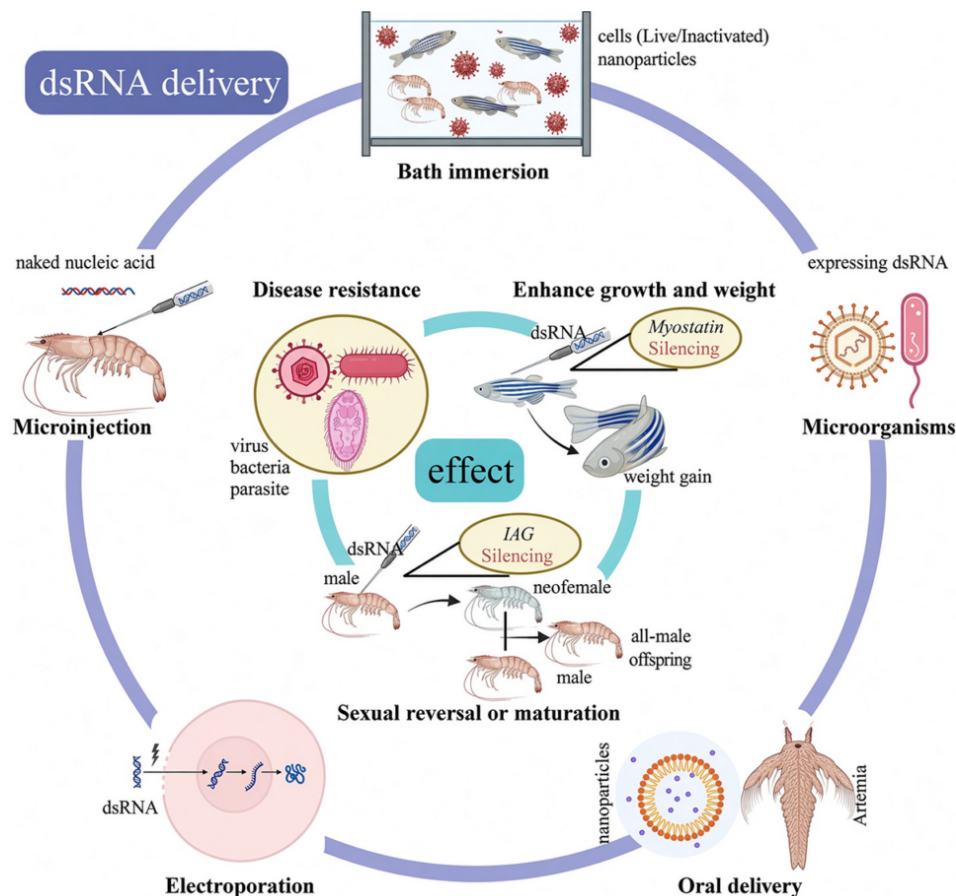
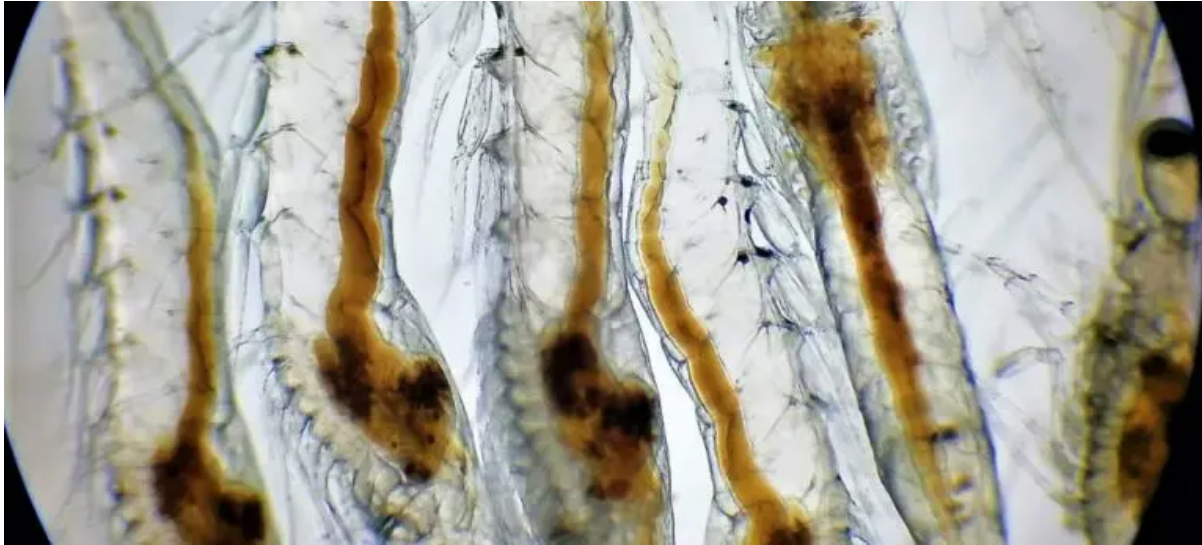


Fig. 1: Ilustración que resume los sistemas de administración de dsARN utilizados en acuicultura, destacando diversos métodos de administración y sus aplicaciones. Adaptado del original.



Vibrio metabólicamente activo en el tracto digestivo del camarón postlarval

La presencia y abundancia de poblaciones de *Vibrio* impactan la composición bacteriana del camarón *L. vannamei* durante el desarrollo post-larvario.



Global Seafood Alliance

Relevancia de los hallazgos de la investigación para la industria

Para los operadores de acuicultura comercial, los hallazgos del estudio señalan dos oportunidades de gran valor. En primer lugar, las pérdidas por enfermedades siguen siendo uno de los mayores costos en el cultivo de camarones y peces. Un método capaz de silenciar específicamente genes virales o bacterianos, sin depender de antibióticos ni productos químicos de amplio espectro, ofrece una vía más precisa y potencialmente más sostenible para lograr una mayor supervivencia. En segundo lugar, la capacidad de acelerar el crecimiento o manipular la proporción de sexos podría acortar los ciclos de producción y aumentar el porcentaje de animales de mayor valor que alcanzan la talla comercial.

Dado que la tecnología actúa a nivel genético en lugar de introducir ADN exógeno, podría enfrentar menos obstáculos regulatorios que los enfoques transgénicos tradicionales en algunas jurisdicciones. Al mismo tiempo, la necesidad de sistemas de administración fiables y de bajo costo implica que la industria no puede adoptar simplemente los protocolos de laboratorio de inmediato. Serán esenciales

los métodos basados en el alimento o en la inmersión que protejan al ARN de doble cadena (dsARN) de la degradación para que la tecnología sea viable a escala de estanque o jaula. Por ello, será importante una colaboración temprana entre investigadores, empresas de alimentos acuícolas y productores para probar las formulaciones en condiciones reales de cultivo y cuantificar los beneficios económicos.

Perspectivas

En acuicultura, el ARNi se ha consolidado como una valiosa herramienta de regulación genética con un gran potencial para el control de enfermedades y la mejora de la productividad. Los científicos han aplicado con éxito el ARNi mediado por dsARN para inhibir la expresión de patógenos como bacterias, virus y parásitos, logrando así mayores tasas de supervivencia en los animales acuáticos. El ARNi también muestra aplicaciones prometedoras para estimular el crecimiento e inducir la reversión sexual, lo que puede mejorar el rendimiento económico de los sistemas acuícolas.

Los autores del estudio sostienen que tres áreas requieren una atención especial. Es necesario perfeccionar las estrategias de administración para que las dosis efectivas lleguen a los tejidos diana sin necesidad de manipular repetidamente a cada animal. Asimismo, los científicos necesitan comprender mejor cómo los animales acuáticos absorben el dsARN exógeno del agua circundante o del alimento; este conocimiento orientará el diseño de mejores vehículos de administración. Por último, deben resolverse cuestiones técnicas pendientes – como la estabilidad molecular, los posibles efectos fuera del objetivo (“off-target”) y la dosificación uniforme en grandes poblaciones – antes de que la adopción comercial a gran escala sea una realidad.

Si se logran superar estos obstáculos, el ARNi mediado por dsARN tiene el potencial de convertirse en una herramienta habitual tanto para la gestión sanitaria como para la mejora genética en la acuicultura. El resultado sería una mayor resiliencia de las poblaciones cultivadas, una productividad más elevada y una menor huella ambiental. Se requiere una inversión continua en tecnología de administración y ensayos de campo cuidadosamente diseñados para aprovechar plenamente el potencial de esta prometedora tecnología.

Enfoques probióticos para la supresión de *Vibrio* en el cultivo de camarón blanco del Pacífico

Los probióticos son una herramienta prometedora para gestionar las especies patógenas de *Vibrio* en el cultivo de camarón mediante la supresión de patógenos, el apoyo al sistema inmunitario y la estabilidad intestinal. Fotografía de Salma Achiri y Francisco Miranda.

La acuicultura del camarón blanco del Pacífico (*Litopenaeus vannamei*) es uno de los segmentos más importantes de la acuicultura mundial; sin embargo, sigue sufriendo grandes pérdidas debido a enfermedades bacterianas causadas por especies de *Vibrio*. Los brotes de vibriosis y de la enfermedad de necrosis hepatopancreática aguda (AHPND) pueden acabar con gran parte de una cosecha de camarón en cuestión de días. Esta revisión exhaustiva examina la creciente evidencia de que los probióticos pueden actuar como agentes eficaces para suprimir *Vibrio* en los sistemas de cultivo de *L. vannamei*.

En esta **revisión** (<https://doi.org/10.1016/j.cirep.2026.200303>), realizada por Tashrif Mahmud Minhaz y sus colegas de la Universidad de Ciencias Veterinarias y Animales de Chattogram y del Instituto de Investigación Pesquera de Bangladesh, los investigadores analizaron los principales grupos de bacterias que han mostrado resultados prometedores – incluyendo diversas especies de *Bacillus*, bacterias ácido-lácticas como *Lactobacillus* y *Lactocaseibacillus*, y otros géneros ocasionales – y describen cómo estos probióticos actúan mediante varios mecanismos complementarios.

La exclusión competitiva impide que el *Vibrio* patógeno colonice el intestino o el agua circundante. Muchas cepas producen compuestos antimicrobianos – bacteriocinas, ácidos orgánicos y enzimas – que inhiben directamente el crecimiento de *Vibrio*. Al mismo tiempo, los probióticos ayudan a reestructurar el microbioma intestinal del camarón, aumentando las poblaciones beneficiosas y reduciendo la abundancia relativa de patógenos oportunistas.

Varios estudios también reportan una mejora en las respuestas inmunitarias no específicas, un mayor recuento total de hemocitos y una actividad elevada de enzimas clave, como la fenoloxidasa y la superóxido dismutasa. En términos prácticos, estos efectos biológicos se traducen en tasas de supervivencia más altas tras desafíos experimentales con *Vibrio* y, en muchos casos, en un mejor rendimiento de crecimiento y calidad del agua.

Esta revisión distingue cuidadosamente entre los resultados de laboratorio y los obtenidos a escala de granja. Si bien los ensayos mediante inyección o inmersión a dosis elevadas suelen producir reducciones drásticas de la mortalidad, el éxito comercial depende de métodos de aplicación prácticos – generalmente a través del alimento o mediante la adición directa al agua del estanque – y de una dosificación constante. Los autores señalan que los consorcios multicepa suelen superar en rendimiento a los productos de una sola cepa, y que los aislados nativos o derivados del propio camarón tienden a colonizar de manera más eficaz que las cepas terrestres genéricas. Asimismo, destacan la importancia de seleccionar el probiótico adecuado según la amenaza específica de *Vibrio* y las condiciones ambientales locales.

En conjunto, esta investigación presenta los probióticos como una herramienta práctica y con base científica capaz de reducir significativamente la presión de *Vibrio* cuando se emplean de manera estratégica dentro de un plan integral de gestión sanitaria.

Fig. 2: La supresión de *Vibrio* mediante probióticos en *L. vannamei* se basa en la exclusión competitiva, la secreción de compuestos antimicrobianos (bacteriocinas y ácidos grasos de cadena corta o SCFAs / AGCC) y la inhibición de la comunicación bacteriana (quorum quenching), además de la reducción de la carga orgánica en sistemas de biofloc y de recirculación sin recambio de agua. Esta inhibición de la comunicación bacteriana es un mecanismo que impide que las bacterias se “comuniquen” entre sí. Muchas bacterias emiten señales químicas para detectar cuándo su población es lo suficientemente numerosa como para activar procesos nocivos (como la formación de biopelículas o la producción de toxinas). Esta inhibición interrumpe o bloquea dichas señales, de modo que las bacterias no reciben el mensaje y su potencial de peligrosidad se mantiene bajo. Adaptado de la publicación original, donde también se puede consultar información adicional.

Relevancia de los hallazgos de la investigación para el sector

Para los productores comerciales de camarón, los hallazgos ofrecen orientaciones prácticas y aplicables. Las bacterias patógenas del género *Vibrio* siguen siendo una de las principales causas de pérdidas económicas, especialmente en sistemas de cultivo intensivos y semi-intensivos. El uso de probióticos seleccionados adecuadamente puede reducir la mortalidad, mejorar la conversión alimenticia y ayudar a cumplir con los requisitos de calidad de los mercados de exportación. Dado que muchas cepas eficaces también mejoran la calidad del agua al reducir los niveles de amoníaco y la carga orgánica, un mismo producto puede aportar beneficios dobles –protección de la salud y gestión ambiental – sin necesidad de realizar cambios importantes en la infraestructura existente de la granja.

El énfasis de la revisión en los probióticos multicepa y nativos resulta especialmente útil para los productores y las empresas de alimentos acuícolas. Sugiere que los productos comerciales de una sola cepa pueden ofrecer resultados inconsistentes, mientras que los consorcios cuidadosamente diseñados y adaptados a las condiciones locales tienen más probabilidades de ofrecer un rendimiento fiable. Esta información puede orientar las decisiones de compra, los programas internos de selección de cepas y la colaboración con laboratorios de investigación. Por ejemplo, en regiones donde la AHPND es endémica, la capacidad documentada de ciertas combinaciones de *Bacillus* y bacterias ácido-lácticas para inhibir *V. parahaemolyticus* ofrece una opción concreta y libre de antibióticos que puede integrarse en los protocolos existentes de bioseguridad y gestión de la producción.

Perspectivas

El estudio destaca que la próxima fase de desarrollo debe centrarse en la consistencia y la escalabilidad. Es necesario estandarizar los criterios de selección de cepas y realizar más ensayos a largo plazo en granjas para confirmar los resultados de laboratorio en condiciones reales de producción. La combinación de probióticos con otros ingredientes funcionales – como prebióticos, posbióticos o inmunoestimulantes – podría mejorar aún más la fiabilidad. Los avances en la secuenciación del microbioma y en los diagnósticos rápidos también permitirán a los productores monitorear las cargas de *Vibrio* y el establecimiento de los probióticos en tiempo real, transformando la aplicación empírica en una gestión de precisión.

Los marcos regulatorios deberán evolucionar al mismo ritmo para permitir la comercialización de cepas nativas eficaces sin retrasos excesivos. Al mismo tiempo, productores e investigadores deben mantener una perspectiva realista: los probióticos son más eficaces como herramienta preventiva dentro de un sistema más amplio que incluya buenas prácticas de manejo, control de la calidad del agua y bioseguridad. Cuando se utilizan correctamente, poseen un claro potencial para reducir las pérdidas por enfermedades, fomentar una producción más sostenible y apoyar a la importante industria mundial de cultivo de *L. vannamei*.

El papel de las tecnologías de encapsulación en la nutrición acuícola: Usos prácticos, innovaciones y perspectivas de desarrollo

La industria acuícola mundial depende cada vez más de alimentos funcionales, agentes profilácticos y aditivos para la calidad del agua. Sin embargo, la eficacia de muchos compuestos bioactivos sigue viéndose limitada por la degradación oxidativa y la pérdida de actividad, la rápida disolución y lixiviación en medios acuáticos, y las discrepancias entre las condiciones de dosificación en laboratorio y las prácticas y necesidades reales de alimentación en granjas bajo condiciones de producción comercial.

Esta **revisión** (<https://doi.org/10.1016/j.agrep.2026.103448>), llevada a cabo por Gangchun Xu y sus colaboradores de la Academia China de Ciencias Pesqueras y la Universidad Agrícola de Nanjing (China), consolida los avances recientes en vehículos de grado alimentario y métodos de producción aplicables a la acuicultura, centrándose en tres objetivos principales: (1) mejorar la estabilidad de los nutrientes y su liberación regulada; (2) aumentar la eficiencia en la diana mucosa de vacunas y tratamientos administrados por vía oral; y (3) crear capacidades de regulación del agua mediante nutrientes de liberación sostenida y materiales adsorbentes reciclables.

Implementar enfoques de encapsulación en la acuicultura supone un desafío: los vehículos de transporte deben resistir la salinidad y la materia orgánica natural, limitar la lixiviación y la bioincrustación antes de que el alimento sea consumido, soportar las tensiones mecánicas y térmicas del peletizado, la extrusión y el secado, y aun así liberar su contenido eficazmente en especies que difieren enormemente en su fisiología digestiva y sistemas inmunitarios de las mucosas. Fotografía de Darryl Jory.

Los métodos consolidados de encapsulación de grado alimentario —que incluyen la micro y nano-encapsulación, emulsiones, liposomas y sistemas de hidrogel— pueden proteger ingredientes lábiles y permitir una liberación controlada. No obstante, la transferencia exitosa de estas tecnologías a la acuicultura exige una adaptación específica a las condiciones de aguas abiertas, a las tensiones mecánicas propias de la fabricación de alimentos acuícolas y a la considerable variación interespecífica en la fisiología digestiva.

Esta revisión también examina críticamente las principales barreras para la implementación práctica, tales como la cinética de liberación dependiente de la especie, la agregación de vehículos y la bioincrustación en entornos acuáticos complejos, la evaluación toxicológica del ciclo de vida completo para organismos no objetivo, y las limitaciones económicas y de escalabilidad que obstaculizan su adopción industrial. Finalmente, el estudio identifica prioridades de investigación futura —incluyendo

ensayos estandarizados de digestión y lixiviación *in vitro*, marcos comparativos entre especies y vehículos “inteligentes” sensibles a estímulos – para acelerar la transición desde la prueba de concepto en laboratorio hasta productos prácticos listos para su uso en campo.

En resumen, para superar los desafíos que plantea la aplicación de la encapsulación en la acuicultura, es necesario implementar estrategias que transfieran al sector técnicas ya probadas en la industria alimentaria. Entre ellas se incluye el desarrollo de sistemas de administración micro y nano-encapsulados que mejoren la eficiencia en el suministro de nutrientes y agentes terapéuticos. Asimismo, es necesario desarrollar materiales de encapsulación sensibles al entorno que contribuyan a regular la calidad del agua mediante la liberación controlada. El uso de subproductos agrícolas o de procesamiento facilita, además, la creación de un sistema circular de “materia prima-aplicación-regeneración” que reduce tanto los residuos como los costos. Por último, se recomienda fomentar una mayor colaboración interdisciplinaria para impulsar la innovación tecnológica y acelerar su adopción práctica.

Fig. 3: Las diferencias específicas de cada especie en el diseño de los vehículos de transporte siguen siendo un aspecto importante. El desarrollo de materiales funcionales” sensibles al medio acuático” constituye una vía fundamental para lograr que las tecnologías de encapsulación sean más adaptables. Adaptado del original.

Relevancia de los resultados de la investigación para la industria

Para los fabricantes de alimentos y los productores acuícolas, el beneficio más inmediato reside en la reducción del desperdicio de ingredientes costosos o sensibles. Los nutrientes y agentes terapéuticos que actualmente se filtran al agua representan tanto una pérdida económica como una posible carga ambiental. La encapsulación, al mantener estables estos compuestos hasta que llegan al animal, puede mejorar los índices de conversión alimenticia, reducir la dosis necesaria de vacunas o fármacos y disminuir la frecuencia de las intervenciones para controlar la calidad del agua.

Las empresas que ya producen alimentos funcionales o suplementos probióticos podrían beneficiarse de un rendimiento más predecible en condiciones comerciales. El énfasis en el uso de subproductos y materiales reciclables también se alinea con la creciente demanda de sistemas de producción circulares y una menor huella ambiental. Al mismo tiempo, el análisis franco del artículo sobre costos, escalabilidad y diferencias entre especies sirve para poner los pies en la tierra: el éxito en el laboratorio no se traduce automáticamente en éxito en la explotación.

Los productores y proveedores que inviertan en ensayos específicos para cada especie y en procesos de fabricación sólidos estarán mejor posicionados que aquellos que consideren la encapsulación como un simple añadido genérico. Asimismo, los organismos reguladores y de certificación podrían valorar positivamente la propuesta de estandarizar los ensayos y las evaluaciones toxicológicas. Unos protocolos de prueba más claros facilitarían evaluaciones de seguridad coherentes y agilizarían la aprobación de nuevos productos encapsulados.

Perspectivas

Esta revisión destaca los principios científicos y las exigencias prácticas que conlleva la adaptación de tecnologías de encapsulación de alimentos para la acuicultura. En este contexto, los compuestos activos deben mantenerse estables en el medio acuático y liberarse eficazmente dentro del tracto gastrointestinal. Al integrar los avances en materiales de encapsulación, métodos de liberación y aplicaciones reales, el artículo identifica las principales brechas técnicas que aún impiden su uso generalizado en condiciones de campo.

Se presta especial atención a las limitaciones relacionadas con el comportamiento de liberación en medio acuoso y a la robustez general del proceso. Asimismo, se señalan como factores críticos que determinan el rendimiento real las tensiones propias de la fabricación del alimento y los patrones de liberación intestinal, altamente variables y específicos de cada especie. Para transformar formulaciones prometedoras de laboratorio en herramientas fiables para una acuicultura sostenible, será necesario superar estas deficiencias mediante métodos de ensayo estandarizados, pruebas a escala piloto y diseños que tengan en cuenta los costes.

El camino desde unos resultados de laboratorio prometedores hasta su uso cotidiano en las instalaciones de cultivo aún no se ha completado, pero la dirección está clara. Es probable que en los próximos años se ponga mayor énfasis en la ingeniería aplicada, incluyendo el desarrollo de materiales de encapsulación que resistan el proceso de granulación, se mantengan estables en sistemas de agua dulce o salina y liberen su contenido en función de la fisiología digestiva de la especie objetivo. Los materiales sensibles al entorno, capaces de ayudar a regular la calidad del agua al tiempo que aportan nutrientes, representan una oportunidad de doble propósito especialmente interesante.

La colaboración interdisciplinaria resulta esencial: científicos de materiales, nutricionistas acuícolas, veterinarios e ingenieros de procesos deben trabajar de forma más estrecha para que este campo avance más allá de los estudios de prueba de concepto. Igualmente importante es el desarrollo de normas de ensayo compartidas que permitan comparar directamente los resultados obtenidos en distintos laboratorios.

Author



DARRYL E. JORY, PH.D.

Editor Emeritus

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

Copyright © 2026 Global Seafood Alliance

All rights reserved.