

Anayeli Hernández Sain, Elena Palacios Mechetnov y Crisantema Hernández

El papel de los ácidos grasos poliinsaturados en la dieta del camarón de calidad

Resumen

Los ácidos grasos poliinsaturados son esenciales en la dieta del camarón. Los ácidos araquidónico, eicosapentaenoico y docosahexaenoico son fuentes clave de energía, regulan la inflamación y protegen contra enfermedades. Debido al consumo global del camarón, el impacto de los ácidos grasos poliinsaturados en su calidad ha generado interés por sus beneficios potenciales para la salud pública.

Abstract

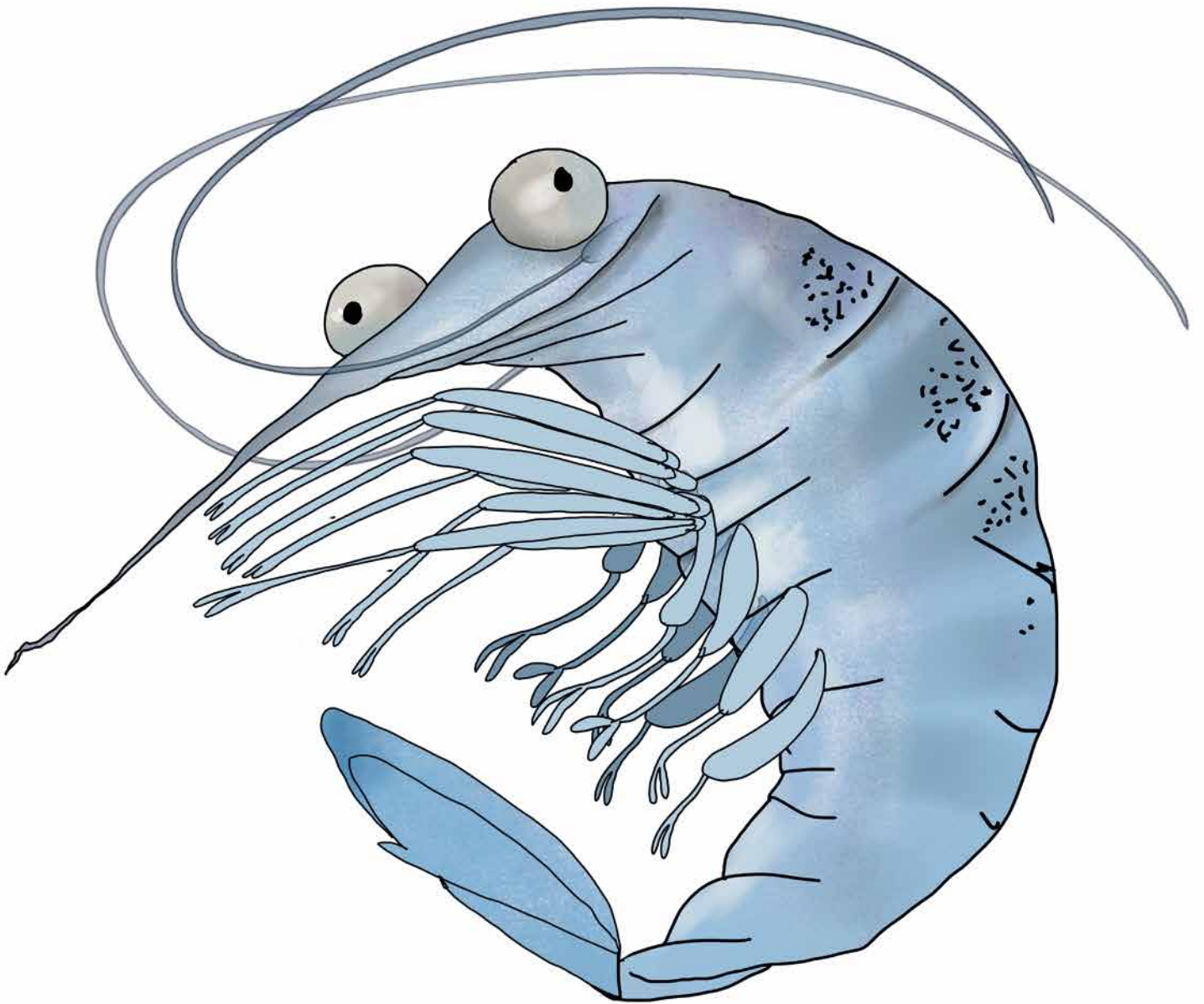
Polyunsaturated fatty acids are essential to the shrimp diet. Arachidonic, eicosapentaenoic, and docosahexaenoic acids are key energy sources, regulate inflammation, and protect against disease. Due to rising global shrimp consumption, the impact of polyunsaturated fatty acids on shrimp quality has generated interest in their potential public health benefits.

Introducción

La acuicultura del camarón ha experimentado un rápido crecimiento en las últimas décadas, impulsada por la alta demanda global y la eficiencia productiva de esta actividad. A nivel mundial, la acuicultura se ha convertido en la principal fuente de producción de organismos acuáticos, alcanzando más de 130 millones de toneladas y superando por primera vez a la pesca de captura (FAO, 2024). En particular, la producción de camarón continúa en expansión dentro del sector acuícola, con tasas de crecimiento destacadas y una creciente participación en el mercado global. Este aumento ha generado una mayor demanda de alimentos balanceados e ingredientes **nutracéuticos** para optimizar su crianza y producción. El significado del término “alta calidad”, hablando de organismos criados en sistemas acuícolas, implica una alta tasa de supervivencia, así como un alto potencial de crecimiento y producción. En este sentido, se ha demostrado que los

Nutracéuticos

Productos derivados de fuentes naturales que contienen nutrientes o compuestos bioactivos con posibles beneficios para la salud del camarón.



ácidos grasos con los que se alimentan los camarones modifican su potencial de crecimiento y pueden volverlos más resistentes al estrés y a las enfermedades (Kumar, 2024).

Los ácidos grasos son componentes fundamentales de los lípidos, un grupo de sustancias esenciales para el funcionamiento del organismo, y según su estructura química, se clasifican en ácidos grasos saturados (SFA, según sus siglas en inglés), monoinsaturados (MUFA) y poliinsaturados (PUFA). Los SFA no presentan dobles enlaces entre sus átomos de carbono, ya que están completamente saturados de hidrógeno. En cambio, los MUFA contienen un único doble enlace, mientras que los PUFA tienen dos o más enlaces dobles. Dentro de este último grupo, los que cuentan con más de 20 carbonos se consideran de cadena larga y se conocen como ácidos grasos altamente insaturados (HUFA) (Figura 1).

Ahora bien, los ácidos grasos se almacenan como triglicéridos y constituyen una fuente clave de energía para las células. Al combinarse con glicerol y un grupo fosfato, los ácidos grasos pueden formar moléculas especiales llamadas fosfolípidos, que constituyen una parte fundamental de las membranas celulares. La naturaleza de estos fosfolípidos y de los ácidos grasos que los integran influye directamente en el funcionamiento metabólico y en la salud.

Una clasificación adicional de los ácidos grasos con dobles enlaces se basa en la posición de estos enlaces. Los HUFA –con mayor actividad biológica y esenciales en varios procesos metabólicos y fisiológicos–

son el 20:4 ω -6 (ARA, ácido araquidónico), el 20:5 ω -3 (EPA, eicosapentaenoico) y el 22:6 ω -3 (DHA, ácido docosahexaenoico). Los HUFA ω -3 y ω -6 desempeñan un papel clave en la comunicación entre las células al actuar como señales que activan distintos “interruptores” celulares, como los receptores PPAR y LXR y la proteína SREBP, capaces de controlar que ciertos genes se enciendan o se apaguen, lo que contribuye a regular el equilibrio de las grasas en el organismo, un proceso conocido como homeostasis de los lípidos, que es fundamental para mantener un metabolismo saludable. También, ciertos HUFA son precursores de prostaglandinas, leucotrienos, resolvinas, protectinas y lipoxinas, hormonas que participan en la regulación de la inflamación, la respuesta protectora a lesiones, infecciones y otras funciones fisiológicas. Asimismo, los ácidos grasos insaturados ayudan a que el organismo produzca sustancias que controlan la inflamación, ajustan la composición de las grasas en las células y activan sistemas internos que les permiten responder a señales importantes, lo que contribuye al fortalecimiento de la respuesta del sistema inmune (Figura 2) (Al-Khalaifah, 2020).

Los camarones, al igual que otros organismos marinos, no pueden generar por sí solos los HUFA ω -3 y ω -6 (como ARA, EPA y DHA) a partir de PUFA, sino que deben obtenerlos de su dieta. Estos ácidos grasos esenciales son cruciales para su crecimiento y reproducción, y su deficiencia puede causarles problemas de salud y aumentar la mortalidad. Los PUFA ω -6 se

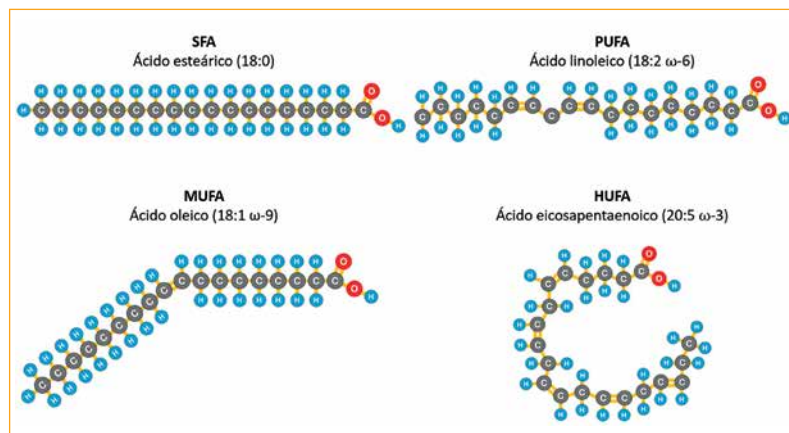


Figura 1. Ácidos grasos. Ilustración elaborada por Anayeli Hernández Sain.

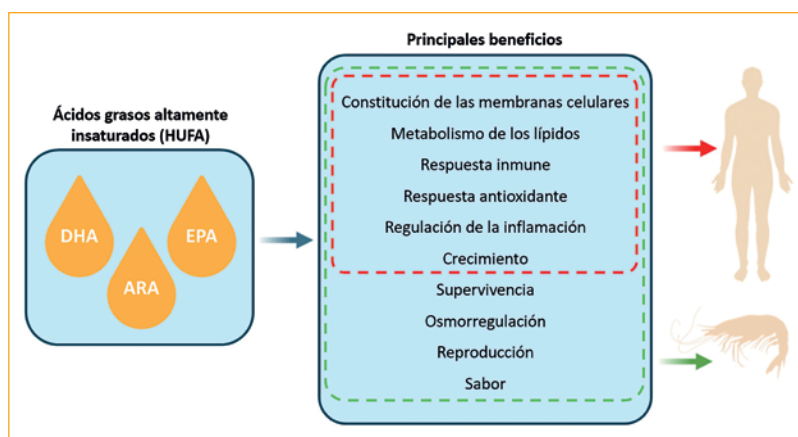


Figura 2. Principales beneficios de los ácidos grasos altamente insaturados. Ilustración elaborada por Anayeli Hernández Sain.

encuentran en alimentos de origen animal y vegetal, como carnes, frutos secos y aceites vegetales; mientras que los PUFA y HUFA ω -3 predominan en fuentes marinas como pescados y algas. Dado que el camarón no puede sintetizar HUFA, en su dieta se incluye aceite de pescado rico en HUFA ω -3.

■ **Importancia de los ácidos grasos insaturados en el cultivo del camarón**

■ En las etapas larvares y postlarvales del camarón, se desarrollan órganos esenciales para la natación, la digestión y la **osmorregulación**. Para producir postlarvas saludables, se utilizan alimentos ricos en ARA, EPA y DHA, que mejoran la resistencia de estos crustáceos a las enfermedades y promueven su mayor supervivencia, crecimiento y calidad. La suplementación con ARA, EPA y DHA de fuentes alternas al aceite de pescado ha mostrado resultados similares a los del aceite convencional en el crecimiento y la supervivencia del camarón (*Penaeus vannamei*). Estos HUFA son esenciales en la formación de membranas celulares, síntesis de prostaglandinas, desarrollo reproductivo, osmorregulación, metabolismo de lípidos y respuesta inmune, contribuyendo al crecimiento y salud de las larvas y postlarvas.

Mantener niveles adecuados (0.50-0.68% del contenido dietético) de HUFA en postlarvas y en las primeras etapas juveniles del camarón blanco favorece la activación de mecanismos naturales de

defensa. Específicamente, estimula la acción de enzimas del sistema inmune como la profenoloxidasas (proPO), la fosfatasa alcalina (AKP) y la lisozima, lo que mejora la capacidad del organismo para responder a infecciones y aumenta su resistencia a las enfermedades. Los HUFA también intervienen en la β -oxidación, un proceso importante para obtener energía a partir de las grasas; de esta manera, ayudan a reducir la acumulación de lípidos y fortalecen la defensa antioxidante al estimular la actividad de enzimas como la superóxido dismutasa (SOD) y la catalasa (CAT) (Zhu y cols., 2023). Asimismo, la suplementación con HUFA mejora la supervivencia de las postlarvas de camarón ante cambios en la salinidad; este efecto se debe a que optimiza la actividad de la bomba sodio-potasio (Na^+/K^+ -ATPasa) y fortalece los mecanismos que regulan el equilibrio entre las sales y el agua (Yang y cols., 2019).

En especímenes juveniles de *Penaeus vannamei* alimentados sin aceite de pescado, la inclusión de niveles adecuados de ARA (entre 0.02 y 0.50%) regula la flexibilidad de las membranas celulares, el buen funcionamiento de enzimas y los sistemas de detección de señales importantes. También reduce los niveles de malondialdehído (MDA), una sustancia que indica daño oxidativo en las grasas del organismo, lo que sugiere una mayor protección celular. Además, aumenta la actividad de AKP y de lisozima, fortaleciendo la capacidad del camarón para defenderse de bacterias y reforzando su sistema inmune. Asimismo,

◀ **Osmorregulación**
Proceso biológico mediante el cual los organismos acuáticos regulan el equilibrio de agua y sales en su cuerpo para mantener un funcionamiento adecuado, incluso cuando cambia la salinidad del ambiente.

unos compuestos derivados del ARA, llamados eicosanoides, intervienen en el proceso de muda (cambio del exoesqueleto), lo que favorece el crecimiento, y se ha observado un aumento de DHA y EPA en los tejidos del camarón (Zhu y cols., 2023).

La inclusión de 0.25-1.00% de DHA y EPA en la dieta de especímenes juveniles mejora el rendimiento del crecimiento y mantiene las tasas de supervivencia similares a las de las dietas con aceite de pescado. Además, estos ω -3 mejoran el sistema inmunológico al fortalecer las células de defensa de los camarones llamadas hemocitos y al regular la inflamación, lo que provoca un aumento del número de hemocitos, la activación de enzimas protectoras, como la fenoloxidasas, y de enzimas antioxidantes, como la SOD, así como el refuerzo de la capacidad para eliminar bacterias dañinas, entre ellas *Vibrio harveyi* y *Vibrio parahaemolyticus*. Igualmente, el DHA y EPA en la dieta del camarón mejoran la calidad del producto y proporcionan altos niveles de estos ácidos grasos esenciales destinados al consumo humano, lo cual tiene efectos beneficiosos sobre el desarrollo y mitigación de una serie de condiciones patológicas en el ser humano.



■ Fuentes de HUFA para alimentos de camarón

Las necesidades nutricionales de los camarones dependen de ácidos grasos como ARA, EPA y DHA, que se obtienen eficientemente del aceite de pescado, derivados de pesquerías marinas que son finitas y limitantes. Para formular alimentos acuícolas se utilizan pescados ricos en HUFA ω -3 y ω -6, como sardinas, arenques, anchoas, macarela y atún, los cuales son eficaces para maximizar el crecimiento y eficiencia alimenticia de los crustáceos. Sin embargo, se ha reducido la inclusión del aceite de pescado en las dietas por el aumento de los costos globales.

En los últimos años, se ha incrementado el uso de aceites vegetales en la alimentación acuícola, reemplazando al aceite de pescado y mejorando la sostenibilidad al reducir la dependencia de ingredientes marinos. Sin embargo, esta transición disminuye los niveles de ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga, lo que reduce la calidad nutricional de los productos. Se han evaluado vegetales terrestres ricos en ácidos grasos, como el aceite de girasol, de maíz, de soya, de cacahuete y de canola. Por otro lado, cuando los camarones se alimentan principalmente de este tipo de fuentes ricas en ácidos grasos monoinsaturados o saturados, su crecimiento, ganancia de peso y supervivencia son significativamente menores que cuando se alimentan con aceite de pescado. La composición de ácidos grasos en los camarones refleja su dieta. En particular, los organismos alimentados con aceites de origen marino presentan mayores concentraciones de HUFA, como EPA y DHA, esenciales para su desarrollo, respuesta inmune y rendimiento. En contraste, los aceites vegetales terrestres contienen principalmente ácidos grasos de cadena más corta, como ácido linoleico (LA; C18:2 ω -6) y el α -linolénico (ALA; C18:3 ω -3), y carecen o presentan niveles muy bajos de EPA y DHA (Riveroll y cols., 2024). Como los camarones no pueden transformar fácilmente estas grasas en otras más complejas, el uso de aceites vegetales suele dar lugar a perfiles lipídicos menos ricos en HUFA, lo que puede afectar negativamente su eficiencia alimenticia y su desempeño productivo. Por lo tanto, es fundamental continuar investigando y desarrollando alternativas sostenibles que puedan complementar las necesidades nu-

tricionales de los camarones sin comprometer su crecimiento y salud.

Las macroalgas marinas como fuente de ácidos grasos poliinsaturados

Como los HUFA se producen principalmente en el ambiente marino, ésta ha sido una perspectiva de los esfuerzos para encontrar nuevas fuentes. Si bien los HUFA pueden sintetizarse *de novo* en algunos invertebrados marinos, la gran mayoría se produce en la base de la cadena trófica marina, donde se incluyen principalmente las micro y macroalgas o sus consumidores primarios, como el zooplancton, o secundarios, como las sardinas y macarelas.

Algunas macroalgas marinas son ricas en ácidos grasos insaturados como ARA, EPA y DHA, aunque su contenido lipídico es bajo (1.00-5.00% en base seca). La composición de PUFA varía según el tipo de cloroplastos y rodoplastos que contienen: las algas rojas y pardas tienen más EPA y ARA, mientras que algunas verdes tienen más DHA (Hözl y Dörmann, 2019). En nuestro país, las macroalgas han sido poco aprovechadas, a pesar de la necesidad de desarrollar tecnologías y productos de valor agregado a partir de ellas. El aumento de la biomasa de algunas especies representa un riesgo ecológico y un problema de contaminación biótica. Sin embargo, las macroalgas marinas pueden usarse como fuentes de PUFA en la alimentación acuícola y ofrecer beneficios a los cultivos. Investigaciones muestran que añadir macroalgas marinas frescas, biomasa seca o extracto líquido a la dieta del camarón blanco no es tóxico y mejora su crecimiento, su eficiencia alimenticia e inmunidad. Sin embargo, la mayoría de los estudios se enfocan en etapas avanzadas, y se requiere de más investigación en las etapas tempranas del ciclo de vida de *P. vannamei*.

Colesterol y camarón

Los camarones no pueden sintetizar colesterol, por lo que éste debe incluirse en su dieta para cumplir funciones esenciales, como la producción de hormonas y la formación de membranas celulares, necesari-



rias para su crecimiento y desarrollo. Sin embargo, el colesterol es un ingrediente costoso en los alimentos acuícolas y, además, su reducción en el producto final puede ser deseable desde el punto de vista del consumidor. Por ello, actualmente se buscan alternativas que permitan sustituirlo sin afectar el desempeño productivo del cultivo.

Las macroalgas marinas son una fuente importante de fitoesteroles, compuestos similares al colesterol que pueden cumplir funciones análogas en las membranas celulares. Su inclusión en la dieta de camarones se ha propuesto como una estrategia para reducir el uso de colesterol dietético, con el potencial de obtener un producto más atractivo para el consumidor, sin afectar su crecimiento ni su rendimiento en cultivo (Van Doan y cols., 2023).

Perspectivas futuras para el uso de algas marinas en la camaronicultura

En la actualidad, en la camaronicultura hay una creciente demanda de larvas y postlarvas de alta calidad (Figura 3) para asegurar que la mayoría de los organismos sembrados lleguen al mercado como productos de buena calidad. Por lo tanto, el enfoque principal en la acuicultura se ha centrado en la prevención y control de enfermedades en camarones, lo cual es posible mediante la inclusión de ácidos grasos insaturados como el ARA (ω -6) y EPA y DHA (ω -3) en su dieta. Estos ácidos grasos presentes en macroalgas marinas pueden mejorar el estado nutricional de los **piensos acuícolas**. Sin embargo, su uso en postlarvas se ve limitado por su inestabilidad oxidativa y el pequeño

Pienseo acuícola

Alimento elaborado especialmente para peces, camarones y moluscos, que aporta los nutrientes necesarios para su crecimiento, salud y desarrollo en sistemas de cultivo acuícola.

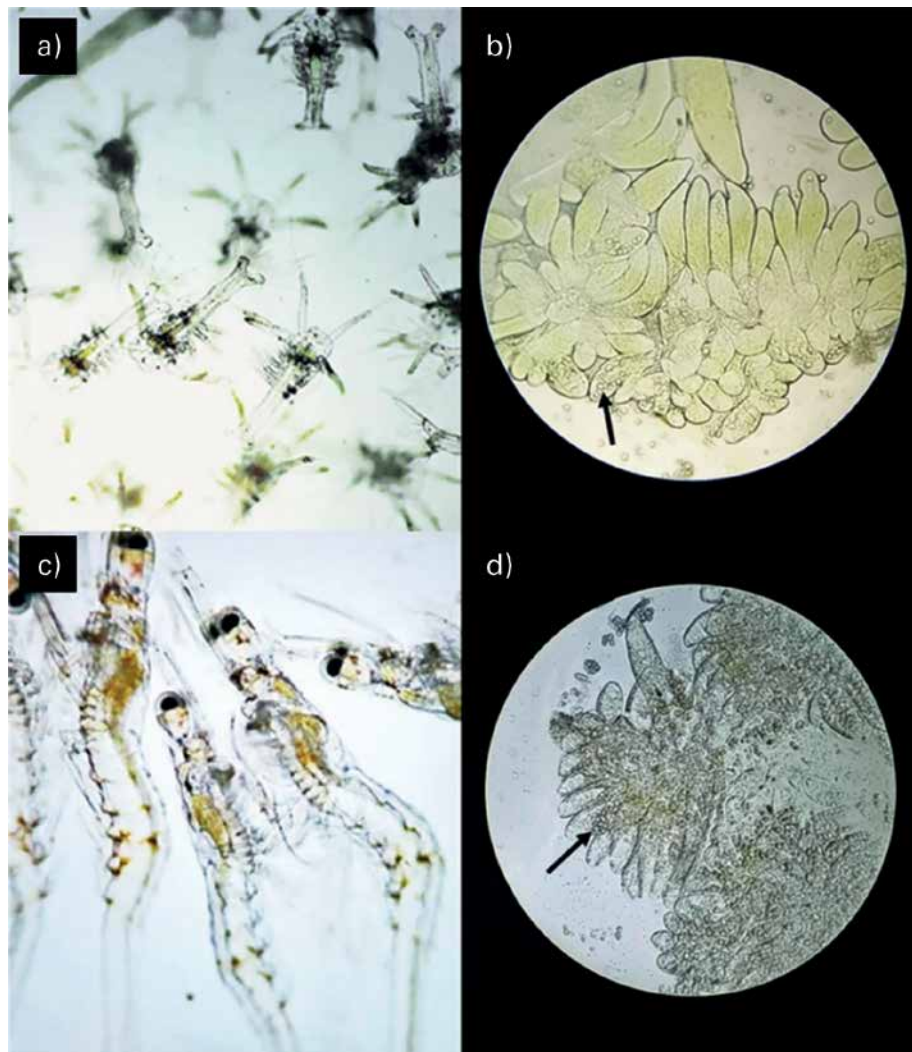


Figura 3. a) Larvas sanas de buena calidad. b) Acumulación de lípidos en los túbulos de larvas sanas (indicada por la flecha). c) Postlarvas sanas de buena calidad. d) Acumulación de lípidos en los túbulos de postlarvas sanas (indicada por la flecha). Crédito de imágenes: los paneles a) y c) son adaptaciones de imágenes de libre circulación disponibles en internet de autor no identificado; los paneles b) y d) son fotografías cortesía de Jesús Antonio García Aguirre.

Nanoencapsulación

Tecnología que consiste en recubrir sustancias beneficiosas, como vitaminas o nutrientes, dentro de cápsulas de tamaño nanométrico (10-1,000 nm) para protegerlas y mejorar su estabilidad, absorción y aprovechamiento en el organismo.

tamaño de los organismos, lo que afecta su biodisponibilidad (Martínez Soler y cols., 2023). La **nanoencapsulación**, aunque poco explorada en acuicultura, podría mejorar la estabilidad y biodisponibilidad de estos compuestos, garantizando su correcto aprovechamiento en organismos de alto interés acuícola como el camarón (Hernández-Sain y cols., 2025).

■ **Efecto sobre la salud humana**

■ Los ácidos grasos poliinsaturados son esenciales para la nutrición humana y animal porque el orga-

nismo no puede producirlos en cantidades suficientes y necesita incorporarlos a través de los alimentos; una vez consumidos, aportan energía y permiten que las células funcionen correctamente, manteniendo su flexibilidad y buen estado. Además, intervienen en la regulación de procesos fundamentales, como el crecimiento, la reproducción y las defensas del cuerpo, lo que contribuye a mantener el equilibrio y la salud general. Su consumo regular fortalece el sistema inmune y contribuye a controlar la inflamación, por lo que resultan clave para prevenir enfermedades y promover el bienestar. En este contexto, y ante

la creciente demanda de alimentos de alta calidad como el camarón, cobra especial importancia comprender cómo estos ácidos grasos influyen en su desarrollo, valor nutricional y calidad final. Dado que el camarón es uno de los productos acuícolas más consumidos a nivel mundial, el impacto de los ácidos grasos poliinsaturados en su calidad ha generado considerable atención. Esto se debe a su capacidad para mejorar el valor nutricional del producto y ofrecer una opción alimentaria sabrosa y con potencial para contribuir a la calidad de vida de la población.

Anayeli Hernández Sain

Laboratorio de Bromatología y Nutrición, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C., Unidad Mazatlán.
jhernandez223@estudiantes.ciad.mx

Elena Palacios Mechetnov

Metabolismo de lípidos, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C.
epalacio@cibnor.mx

Crisantema Hernández

Laboratorio de Bromatología y Nutrición, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C., Unidad Mazatlán.
chernandez@ciad.mx

Referencias específicas

- Al-Khalaiifah, H. (2020), "Modulatory effect of dietary polyunsaturated fatty acids on immunity, represented by phagocytic activity", *Frontiers in Veterinary Science*, 7:569939. Disponible en: <<https://doi.org/10.3389/fvets.2020.569939>>.
- FAO (2024), "Informe de la FAO: La producción mundial de la pesca y la acuicultura alcanza un nuevo máximo histórico", Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Disponible en: <<https://www.fao.org/newsroom/detail/fao-report-global-fisheries-and-aquaculture-production-reaches-a-new-record-high/es>>, consultado el 22 de mayo de 2026.
- Hernández-Sain, A., E. Palacios-Mechetnov *et al.* (2025), "Seaweed potential as nutraceutical and functional food ingredient in shrimp aquaculture", *Animal Feed Science and Technology*, 330:116540. Disponible en: <<https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2025.116540>>.
- Kumar, V. (2024), *Feed and feeding for fish and shellfish: nutritional management*, Reino Unido, Academic Press. Disponible en: <<https://doi.org/10.1016/C2022-0-03280-3>>.
- Martínez Soler, M., G. Courtois de Vicose *et al.* (2023), "Effect of HUFA in enriched artemia on growth performance, biochemical and fatty acid content, and hepatopancreatic features of *Penaeus vannamei* postlarvae from a commercial shrimp hatchery in Santa Elena, Ecuador", *Aquaculture Nutrition*, 2023(1):7343070. Disponible en: <<https://doi.org/10.1155/2023/7343070>>.
- Riveroll, A. S. L., N. M. Rendón y J. A. A. Ortega (2024), "Ácidos grasos omega-3, fuentes marinas, cultivos de plantas y su sostenibilidad ambiental", *Revista Multidisciplinaria/Voces de América y el Caribe*, 1(2):15-56. Disponible en: <<https://doi.org/10.69821/REMUUVAC.v1i2.47>>.
- Van Doan, H., P. Prakash, S. H. Hoseinifar *et al.* (2023), "Marine-derived products as functional feed additives in aquaculture: A review", *Aquaculture Reports*, 31:101679. Disponible en: <<https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2023.101679>>.
- Yang, Q., Zhang, W., Tan, B., Wang, F., Chi, S. *et al.* (2019), "Effects of dietary n-3HUFA on juvenile white shrimp, *Litopenaeus vannamei*: Growth, feed utilization, antioxidant enzymes activities and fatty acid compositions", *Aquaculture Research*, 50(3):882-894. Disponible en: <<https://doi.org/10.1111/are.13963>>.
- Zhu, W., R. Dong, L. Ge *et al.* (2023), "Effects of dietary n-6 polyunsaturated fatty acids (PUFA) composition on growth performances and non-specific immunity in pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*)", *Aquaculture Reports*, 28:101436. Disponible en: <<https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2022.101436>>.