

Nutrientes derivados del krill como estrategia de gestión de riesgos

En condiciones desafiantes de cultivo, apoyan la función hepatopancreática y la recuperación del crecimiento del camarón frente a una infección por EHP

Por Alberto J. P. Nunes, Daranee Seguin y Kiran Kaur

El hepatopáncreas es un órgano central en la fisiología del camarón, ya que integra funciones digestivas, de absorción, metabólicas y de desintoxicación. Estructuralmente forma parte del intestino medio y está conectado ventralmente al estómago posterior, donde las secreciones digestivas se liberan y mezclan con el alimento ingerido.

Este órgano está compuesto por numerosos túbulos ciegos revestidos por células epiteliales especializadas, y contiene enzimas digestivas y compuestos emulsionantes de lípidos esenciales para el aprovechamiento de los nutrientes. Cada túbulo comprende cuatro tipos principales de células epiteliales con funciones distintas pero complementarias.

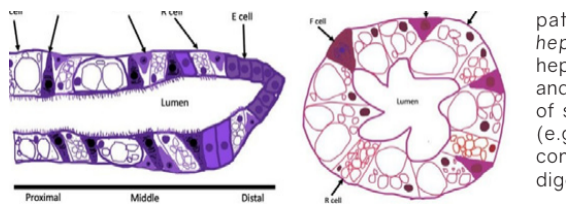


Figure 1. Illustration of hepatopancreatic tubules. Credit: Goh et al., 2023.

E-cells (embryonic or regenerative cells) are responsible for proliferation, renewal and differentiation of the hepatopancreatic tubules. Source: Goh et al., 2023.

- Las células E, embrionarias o regenerativas, son responsables de la proliferación, renovación y diferenciación celular.
- Las células F sintetizan y secretan enzimas digestivas, incluidas proteasas, lipasas y amilasas, e influyen directamente en la eficiencia digestiva.
- Las células R participan principalmente en la absorción de nutrientes, la digestión intracelular y el almacenamiento de lípidos y glucógeno.
- Las células B se relacionan con la digestión intracelular, el procesamiento de residuos y la desintoxicación mediante mecanismos de secreción holocrina.

La integridad estructural y funcional de estas células es crítica para mantener un crecimiento óptimo, eficiencia alimentaria y resiliencia al estrés. Por su papel central, la salud del hepatopáncreas es muy sensible tanto a la calidad nutricional como a los desafíos sanitarios. La evaluación histopatológica, por ejemplo la abundancia y vacuolización de células R, la hipertrofia de células B o la degeneración epitelial, se utiliza ampliamente como indicador funcional del efecto de los nutrientes sobre la salud y el desempeño.

Un objetivo primario bajo estrés y desafíos por patógenos

Múltiples patógenos atacan el hepatopáncreas del camarón, deterioran directamente su función y reducen el crecimiento. Las infecciones bacterianas son especialmente perjudiciales. *Vibrio parahaemolyticus*, agente causal de la enfermedad de necrosis hepatopancreática aguda (AHPND), produce toxinas que destruyen las células hepatopancreáticas y provocan disfunción digestiva grave, bajo crecimiento y alta mortalidad. Otras especies de *Vibrio*, como *V. harveyi* y *V. alginolyticus*, causan infecciones crónicas que reducen la función del órgano y el consumo de alimento.

Actualmente, el patógeno endémico de mayor importancia económica es el microsporidio *Enterocytozoon hepatopenaei* (EHP). Infecta específicamente las células del hepatopáncreas, reduce significativamente la capacidad de digestión y absorción y constituye una causa principal de crecimiento lento. Las gregarinas parasitarias también comprometen la absorción de nutrientes al colonizar el tracto digestivo y el hepatopáncreas.

En conjunto, estos patógenos resaltan la importancia crítica de la salud hepatopancreática para optimizar la absorción, mejorar la resistencia a enfermedades y sostener el desempeño. La nutrición dirigida a la función del hepatopáncreas ofrece una estrategia proactiva a nivel de granja.

De formulaciones de menor costo a nutrición de precisión

El cultivo moderno de camarón opera bajo estrés continuo: variaciones de calidad del agua, altas densidades y presión de patógenos. En este escenario, los enfoques basados solo en cubrir requerimientos mínimos son insuficientes. Se requiere nutrición de precisión o adaptativa, con inclusión estratégica de nutrientes funcionales que apoyen la capacidad metabólica, la integridad de los tejidos y la resiliencia.

La formulación ha evolucionado desde recetas empíricas con harina de pescado, pasando por enfoques de menor costo y nutrientes digestibles, hasta dietas adaptadas a la etapa de desarrollo, genética, estación productiva y desafíos sanitarios. El hepatopáncreas es el principal objetivo a nivel de órgano. Los nutrientes que mejoran estabilidad de membranas, digestión, transporte de lípidos y renovación celular determinan si los animales mantienen su función productiva bajo estrés.

Nutrientes funcionales de la harina de krill para apoyar el hepatopáncreas

Los ingredientes derivados del krill aportan un paquete integrado de nutrientes funcionales que apoyan directamente la estructura, el metabolismo y la resiliencia del hepatopáncreas, especialmente durante el estrés nutricional y patológico. A diferencia de ingredientes convencionales que aportan principalmente proteína y energía, la harina y el aceite de krill entregan fosfolípidos, ácidos grasos poliinsaturados n-3 de cadena larga (EPA y DHA), astaxantina, colesterol, aminoácidos libres, nucleótidos, péptidos pequeños y quitina. Estos compuestos actúan de manera sinérgica para mejorar la digestión, la integridad celular y la capacidad metabólica.

Los lípidos del krill contienen principalmente ácidos grasos unidos a fosfolípidos, a diferencia del aceite de pescado y otros lípidos marinos, donde predominan los triglicéridos. Esta estructura favorece la biodisponibilidad y la incorporación de lípidos esenciales en las membranas celulares, especialmente en tejidos hepatopancreáticos.

Los fosfolípidos ayudan a mantener la fluidez e integridad de las membranas, facilitan la digestión y absorción de lípidos y apoyan las reservas energéticas. También mejoran el transporte y uso del colesterol y los triglicéridos, contribuyendo a una regulación metabólica más eficiente y a una mayor resiliencia bajo estrés. La fracción lipídica del krill es rica en EPA y DHA, esenciales para la estructura y función de las membranas. Estos ácidos grasos modulan su fluidez y permeabilidad, influyen en el transporte de iones y reducen el costo energético de la osmorregulación. Esto es particularmente relevante para un órgano sensible a cambios de salinidad y temperatura. Las dietas enriquecidas con lípidos de krill mejoran crecimiento, eficiencia alimentaria y tolerancia al estrés, además de aumentar la deposición de EPA y DHA en los tejidos.

El colesterol de la harina de krill contribuye a la estabilidad de las membranas y sirve como precursor de las hormonas de muda. Su asociación con fosfolípidos mejora la absorción y el transporte, permitiendo reemplazar parcialmente el colesterol suplementario sin comprometer el desempeño, algo relevante en dietas bajas en harina de pescado.

La astaxantina aporta una potente dimensión antioxidante e inmunomoduladora. Ayuda a estabilizar las membranas y protege las células del hepatopáncreas del daño oxidativo asociado al estrés y las infecciones. Su actividad antioxidante apoya la competencia inmunitaria y reduce el impacto de especies reactivas de oxígeno.

La harina de krill contiene estimulantes naturales del consumo, incluidos aminoácidos libres como arginina, glicina y prolina, nucleótidos y péptidos de bajo peso molecular. Estos compuestos funcionan como quimioatrayentes, mejorando la detección del alimento, la ingestión y la palatabilidad. Los nucleótidos, principalmente AMP, IMP y GMP, estimulan la respuesta alimentaria. Los péptidos pequeños se difunden rápidamente en el agua y mejoran la detección sensorial, algo especialmente importante cuando el consumo se ve afectado por enfermedad o estrés.

La quitina, presente en niveles bajos y finamente distribuida, se relaciona con estimulación inmunitaria y salud intestinal. La quitina del krill es más biodisponible y puede activar respuestas inmunes innatas, reforzar las defensas antimicrobianas y modular la microbiota intestinal.

En conjunto, estos nutrientes mantienen la integridad del hepatopáncreas al apoyar estabilidad de membranas, transporte de lípidos, digestión intracelular y renovación celular. Bajo condiciones adversas, ayudan a sostener la eficiencia metabólica y a recuperar el crecimiento incluso bajo presión sanitaria.

feeding and temperature. Experimental evidence shows that diets enriched with krill-derived lipids improve growth performance, feed efficiency and stress tolerance, while also enhancing the deposition of EPA and DHA in shrimp tissues.

exerts impact of innate antimicrobial modulation

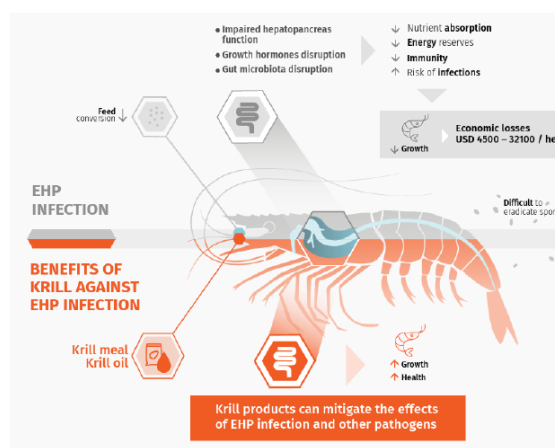
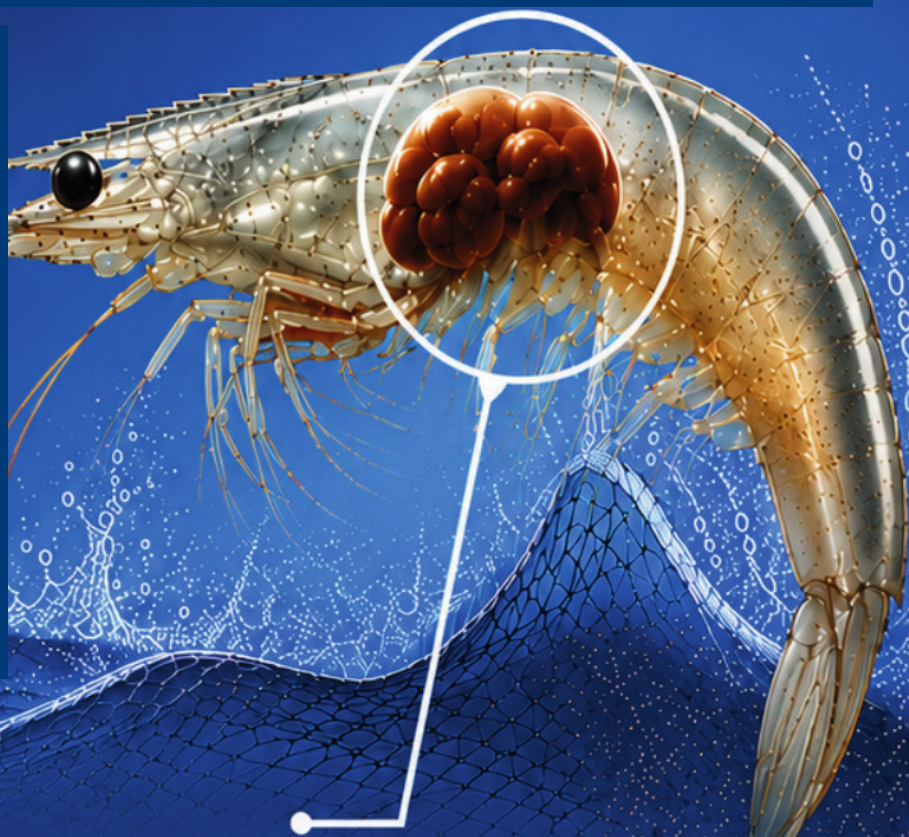


Figura 2. Nutrientes funcionales de la harina de krill para apoyar el hepatopáncreas del camarón.

HEPATOPÁNCREAS SALUDABLE MEJOR DESEMPEÑO

Un hepatopáncreas saludable es esencial para la robustez del camarón, el uso eficiente del alimento y un crecimiento óptimo.



QRILL Aqua apoya la salud del hepatopáncreas mejorando el consumo de alimento, el aprovechamiento de nutrientes, la protección antioxidante y la resiliencia del camarón, contribuyendo a animales más fuertes y a un mejor desempeño productivo.

EL PODER DEL KRILL

Naturalmente completo. Científicamente comprobado.

PROTEÍNAS
ALTAMENTE DIGESTIBLES

FOSFOLÍPIDOS
Y COLINA

ÁCIDOS GRASOS
OMEGA-3

ASTAXANTINA
Y ANTIOXIDANTES

Una serie de estudios recientes destaca los beneficios nutricionales y funcionales de incorporar nutrientes derivados del krill en dietas para camarón, con el objetivo de fortalecer la salud del hepatopáncreas bajo desafío sanitario.

Apoyo a la función hepatopancreática bajo desafío por EHP

Dos ensayos independientes de desafío con EHP aportan evidencia cuantitativa consistente. En el primero, realizado en el Laboratorio de Patología Acuicola de la Universidad de Arizona, Estados Unidos, se sembraron 400 *Penaeus vannamei* en 20 tanques independientes de 90 L, con cuatro réplicas por tratamiento. Se evaluaron cinco dietas: control negativo no infectado (NEG), control positivo infectado (POS), 3% de harina de krill (KM3), 10% de harina de krill (KM10) y 2% de aceite de krill (KO2). Los camarones recibieron sus dietas durante 35 días antes del desafío y luego fueron infectados con EHP mediante una alimentación única con tejido hepatopancreático infectado. El ensayo duró 73 días, incluidos 38 días posinfección. Se evaluaron crecimiento, supervivencia y carga de EHP por qPCR; la salud del hepatopáncreas se analizó mediante histopatología, enfocándose en la vacuolización de células R.

Peso corporal medio final (g)

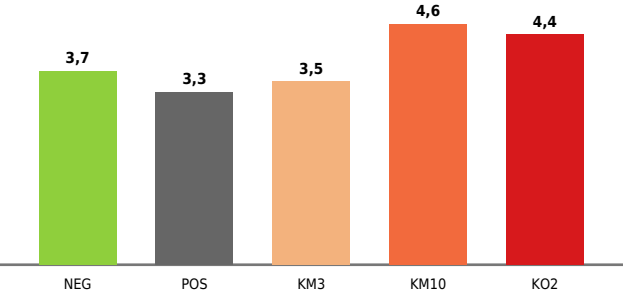


Figura 3. Peso corporal medio después del desafío con EHP. Letras iguales indican ausencia de diferencias significativas (Tukey, $p < 0,05$). Burri et al., 2024.

La inclusión de harina o aceite de krill mitigó parcialmente los efectos negativos de EHP sobre el crecimiento. Los niveles más altos, 10% KM ($4,6 \pm 0,4$ g) y 2% KO ($4,4 \pm 0,4$ g), produjeron pesos finales significativamente mayores que el control infectado ($3,3 \pm 0,3$ g), mostrando recuperación del potencial de crecimiento. El análisis histológico indicó que EHP redujo la vacuolización de células R, mientras que las dietas con krill contrarrestaron este efecto y sugirieron una mejor funcionalidad celular.

Validación en condiciones aplicadas

La validación adicional se realizó bajo condiciones experimentales controladas en DIVA-TNJFU, India. Camarones juveniles aparentemente sanos y con crecimiento retardado, de aproximadamente 4 g, se obtuvieron de granjas comerciales y se distribuyeron en tanques con cuatro réplicas y 60 camarones por tanque.

Durante 56 días se evaluaron dietas con 3%, 6% y 9% de harina de krill para determinar crecimiento, supervivencia, histología del hepatopáncreas y carga de EHP. Los tratamientos incluyeron un control negativo no infectado y un control positivo infectado alimentado sin harina de krill.

Ganancia de peso (g/camarón)

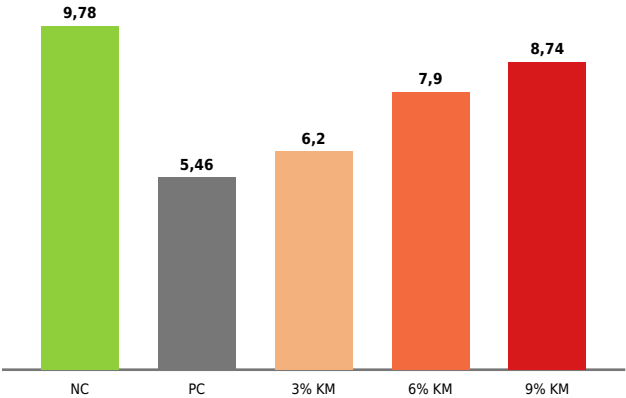


Figura 4. Ganancia de peso de *P. vannamei* después del desafío con EHP. Letras iguales indican ausencia de diferencias significativas ($p < 0,001$).

Se observó una mejora dependiente de la dosis en ganancia de peso, tasa de crecimiento específico y supervivencia. La supervivencia aumentó desde 62,5% en el control positivo hasta 80,9% con 9% KM, comparable al control no infectado (87,6%). La ganancia de peso subió de $5,46 \pm 0,28$ g a $8,74 \pm 0,13$ g; la tasa de crecimiento específico aumentó de 9,75% a 15,61%. La eficiencia alimentaria mejoró, con una reducción del FCR de 2,61 a 1,53.

Las mejoras estuvieron respaldadas por la conservación de la vacuolización de células R y por una menor carga de EHP. La inclusión de krill preservó la integridad celular de forma dependiente de la dosis, con hasta 139 células R por 10 células hepatopancreáticas al 9% KM. La carga de EHP disminuyó de 20.011 ± 2.148 copias en el control positivo a 9.743 ± 1.123 copias con 9% KM.

Parámetro	Control negativo	Control positivo	3% KM	6% KM	9% KM
Supervivencia (%)	87,6 ± 1,5	62,5 ± 2,5	67,5 ± 1,1	72,5 ± 1,7	80,9 ± 1,7
Ganancia de peso (g)	9,78 ± 0,39	5,46 ± 0,28	6,20 ± 0,39	7,90 ± 0,28	8,74 ± 0,13
Crecimiento (g/día)	0,175	0,098	0,111	0,141	0,156
Tasa crecimiento (%)	17,46	9,75	11,07	14,11	15,61
FCR	1,29	2,61	2,28	1,78	1,53
Células R / 10 HP	215	0	55	95	139
Copias de EHP	0	20.011	16.973	12.293	9.743

Tabla 1. Desempeño de crecimiento y evidencia histopatológica de camarones infectados con EHP alimentados durante 56 días con diferentes niveles de harina de krill. Cuatro réplicas por tratamiento y 60 camarones por tanque. Valores: media ± error estándar.

Conclusión

Los resultados demuestran que los nutrientes derivados del krill cumplen una función más allá de la nutrición básica, al apoyar directamente la integridad y el desempeño del hepatopáncreas bajo desafío sanitario. En estudios independientes, la inclusión de harina de krill mejoró de manera consistente el crecimiento, la supervivencia y la eficiencia alimentaria, al tiempo que preservó la estructura hepatopancreática, particularmente la abundancia y vacuolización de células R, indicadores clave de absorción y actividad metabólica.

La reducción de la carga de EHP sugiere que estos nutrientes pueden reforzar la resiliencia del hospedador no solo mediante una mejor digestión y estado energético, sino también modulando respuestas fisiológicas e inmunes. Estos efectos probablemente se deben a la composición única del krill, rica en omega-3 unidos a fosfolípidos, colina, astaxantina y otros compuestos bioactivos que apoyan la integridad de membranas, el metabolismo lipídico y la función celular.

Los ensayos indican que los ingredientes funcionales derivados del krill pueden utilizarse como herramienta preventiva de gestión de riesgos, con los mayores beneficios entre 6 y 10% de harina de krill o 2% de aceite de krill. Son particularmente valiosos en ciclos endémicos de EHP, periodos de inestabilidad ambiental y transiciones de dieta. Al apoyar la función hepatopancreática en estas ventanas críticas, la suplementación contribuye a una producción más consistente, menor variabilidad, mejores retornos económicos y mayor confianza en la industria.

En un contexto de presión sobre los recursos globales, la pesquería de krill gestionada responsablemente aporta proteínas y omega-3 esenciales para la salud animal y humana. Está regulada por la Comisión para la Conservación de los Recursos Vivos Marinos Antárticos (CCRVMA) y presenta niveles de captura incidental entre 0,1% y 2,2%, inferiores a los de otras pesquerías.

Aker QRILL Company cuenta con certificación del Marine Stewardship Council (MSC), registros de sostenibilidad y trazabilidad del 100%, certificación Friend of the Sea y calificación A de Sustainable Fisheries Partnership.

Referencias

Burri, L. et al. 2024. Inclusión dietaria de krill como apoyo nutricional para camarones *P. vannamei* desafiados con EHP. ISFNF 2024.

Dall, W. et al. 1990. The Biology of the Penaeidae. *Advances in Marine Biology* 27.

Goh, J.X.H. et al. 2023. Probiotics: mechanisms of growth promotion in shrimps. *Progress in Microbes and Molecular Biology* 6(1).

Alberto J. P. Nunes es profesor de LABOMAR, Universidad Federal de Ceará, Brasil. albertojpn@uol.com.br

Daranee Seguin es VP Shrimp Health & Nutrition de Aker QRILL Company en Tailandia. daranee.seguin@qrill.com

Kiran Kaur es VP Fish Health & Nutrition de Aker QRILL Company en Noruega. kiran.kaur@qrill.com