



ALLIANCE™

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



Escuchando el fondo del estanque: Cómo la bioacústica puede transformar la gestión de la alimentación del camarón

8 June 2026

By Fábio Costa Filho, M.S. , Indira Medina Torres , D. Allen Davis, Ph.D. and Prof. Dr. Silvio Peixoto

Un estudio demuestra que el monitoreo acústico supera la limitación de la turbidez del agua, optimiza el crecimiento, y revela nuevos patrones de comportamiento bajo condiciones ambientales variables



Este estudio muestra cómo la bioacústica está transformando la gestión de la alimentación del camarón y cómo el monitoreo acústico supera la limitación impuesta por la turbidez del agua, optimizando el crecimiento y revelando nuevos patrones de comportamiento bajo condiciones ambientales variables. La bioacústica traslada el cultivo de camarones hacia una gestión de alimentación de precisión y de carácter proactivo, utilizando los sonidos de la alimentación – actuando como un biosensor en tiempo real – para optimizar el crecimiento de los camarones y reducir los costos derivados del desperdicio de alimento. Fotografía de Julio Velazques y Francisco Miranda.

A medida que el camarón blanco del Pacífico (*Penaeus vannamei*) consolida su importancia económica en la acuicultura, la intensificación de su cultivo pone de relieve un desafío fundamental: el monitoreo de animales bentónicos en estanques con alta turbidez. Dado que las microalgas y las comunidades bacterianas enturbian la columna de agua, el monitoreo visual del comportamiento alimenticio de los camarones se vuelve prácticamente imposible. Tradicionalmente, los productores dependen de la alimentación manual con la ayuda de bandejas sumergidas; un método que requiere una gran intensidad de mano de obra y que solo proporciona evaluaciones retrospectivas y tardías sobre el consumo de alimento.

Esta falta de visibilidad en tiempo real conlleva graves riesgos económicos y ambientales. El alimento constituye el costo variable más elevado en la producción de camarones, representando entre el 50 y el 60 por ciento de los gastos operativos totales. La sobrealimentación compromete la rentabilidad y degrada rápidamente la calidad del agua a medida que los gránulos no consumidos se descomponen en el fondo del estanque, mientras que la subalimentación limita el crecimiento y prolonga los ciclos de producción.

Para superar esta barrera de visibilidad, científicos y miembros de la industria han comenzado, literalmente, a “escuchar” la actividad alimenticia de los camarones mediante la bioacústica – más específicamente, a través del “Monitoreo Acústico Pasivo” (PAM, por sus siglas en inglés). A medida que los camarones se alimentan, sus mandíbulas chocan entre sí para fragmentar los gránulos, emitiendo unos distintivos “clics” de alta frecuencia (Fig. 1). Los alimentadores acústicos “bajo demanda” emplean hidrófonos submarinos de alta sensibilidad y algoritmos inteligentes para detectar estos sonidos en tiempo real. Este mecanismo permite que el sistema suministre de forma autónoma la cantidad exacta de alimento necesaria, precisamente en el momento en que los camarones manifiestan apetito, eliminando así eficazmente la necesidad de recurrir a conjeturas en la gestión de la alimentación. Para obtener información adicional sobre este tema, consulte las exhaustivas revisiones realizadas por **Reis et al. (2022)** (<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737326>), y **Peixoto y Soares (2025)** (<https://doi.org/10.1111/raq.12978>).

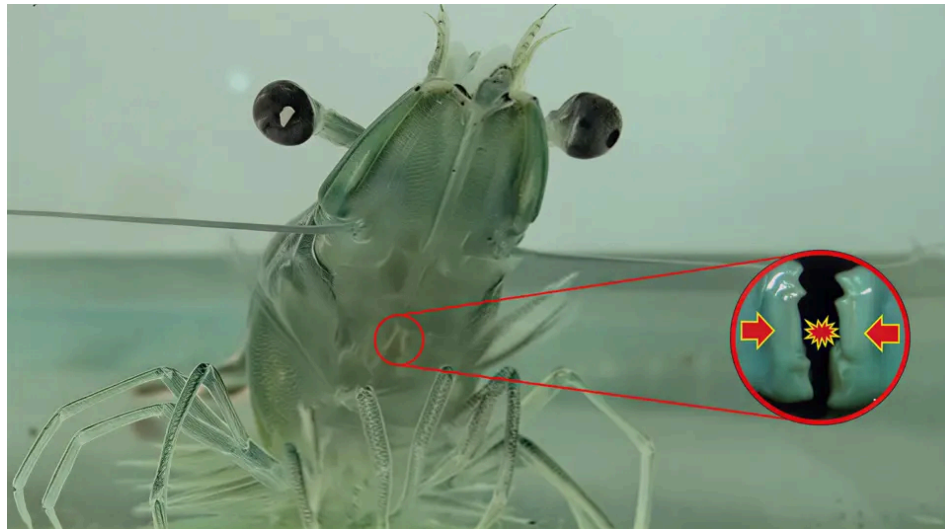


Fig. 1: Vista de la región bucal de *P. vannamei*, que muestra que el sonido de chasquido se genera durante el cierre de las mandíbulas (flechas).

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

Rendimiento superior en campo

La transición de la alimentación manual a la automatizada ha demostrado resultados notables en la gestión del alimento y la viabilidad económica de las operaciones camaroneras. Estudios emblemáticos que evaluaron el rendimiento zootécnico de los sistemas de alimentación acústica en el Centro de Maricultura Claude Peteet (CPMC) – la reconocida instalación de investigación de la Universidad de Auburn (AU) en Alabama, EE. UU. (Fig. 2) – revelaron que los camarones logran un mayor crecimiento en un periodo significativamente más corto en comparación con los métodos tradicionales de alimentación manual.



Fig. 2: Vista aérea del Centro de Maricultura Claude Peteet (Alabama, EE. UU.), que muestra su extensa infraestructura de estanques acuícolas e instalaciones de investigación.

Al dispensar el alimento exclusivamente cuando existe una demanda biológica, los sistemas acústicos pasivos logran de manera consistente menores índices de conversión alimenticia (ICA/FCR), mayores tallas de cosecha y rendimientos generales sustancialmente superiores. Los ensayos han demostrado que estos sistemas inteligentes maximizan el potencial genético de crecimiento de la población de camarones, permitiendo a los productores alcanzar tallas comerciales de cosecha en ciclos de producción más compactos.

Dado que el sistema se adapta al apetito de los animales en tiempo real, el aporte total de alimento puede incrementarse de forma segura sin incurrir en el desperdicio habitual de gránulos no consumidos. Esta eficiencia de precisión no solo minimiza las pérdidas económicas, sino que también protege activamente la calidad del agua al evitar la acumulación de alimento en descomposición en el fondo del estanque. No obstante, los acuacultores deben estar preparados para las consecuencias metabólicas de este crecimiento acelerado; la mayor carga biológica y las rápidas tasas de consumo exigen sistemas de aireación automatizados y robustos para gestionar eficazmente la mayor demanda de oxígeno del estanque.

Del campo al laboratorio

Con un éxito comprobado en granjas comerciales, la tecnología acústica está abriendo también nuevas fronteras en la investigación de laboratorio, ámbito en el que, de hecho, tuvo sus inicios hace más de una década con los primeros estudios sobre el mecanismo de emisión de sonido y las aplicaciones de la monitorización acústica pasiva (PAM) en el camarón tigre negro (*Penaeus monodon*). En los últimos años, el Laboratorio de Tecnología Acuícola de la Universidad Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) y el Centro de Pesquerías E. W. Shell de la Universidad de Auburn (AU) se han posicionado como pioneros en el estudio de múltiples aplicaciones de la PAM para analizar el comportamiento alimenticio de *P. vannamei* bajo condiciones controladas de investigación.

Gracias a esos investigadores, ahora tenemos acceso a información que no es proporcionada por la industria fabricante de comederos acústicos a demanda; tal es el caso del hecho de que los parámetros del sonido de clic pueden variar en función de las propiedades físicas del alimento, particularmente en el caso de dietas extrusionadas y peletizadas, y según el diámetro y la longitud de los pellets. Por ejemplo, los pellets de mayor longitud requieren un mayor esfuerzo mandibular y un número superior de clics para ser consumidos por completo, mientras que los alimentos de textura dura generan señales acústicas de mayor energía.

Otra posible aplicación de la investigación de laboratorio en PAM (monitoreo acústico pasivo) consiste en probar diferentes formulaciones de alimentos (Fig. 3). En este caso, las respuestas acústicas pueden servir como un indicador indirecto inmediato para evaluar la palatabilidad del alimento, lo que permite preseleccionar las dietas antes de ser evaluadas en condiciones de cultivo. Por ejemplo, se ha sugerido que las dietas enriquecidas con atrayentes marinos – tales como el aceite de kril o el hidrolizado de pescado – desencadenan de manera sistemática emisiones de clics mucho más rápidas y de mayor duración que los alimentos basales estándar.

Fig. 3: Montaje experimental para el monitoreo acústico. Un grabador de audio multicanal (detallado a la derecha) está conectado a hidrófonos individuales sumergidos en una serie de tanques de vidrio que contienen juveniles de camarón blanco del Pacífico. Esta configuración permite la captura continua y en tiempo real de los clics acústicos asociados a la alimentación bajo condiciones controladas de laboratorio.

Además del propio alimento, los datos acústicos revelan importantes cambios conductuales a lo largo de las etapas de vida y clases de tamaño de los camarones. Los camarones de mayor tamaño son notablemente más voraces, concentrando sus clics en una secuencia rápida durante los primeros minutos de alimentación, mientras que los camarones más pequeños consumen a un ritmo más constante y lento. Asimismo, dado que el volumen de clics y/o la energía acústica es directamente proporcional a la densidad de siembra de los camarones, los investigadores creen que los datos acústicos podrían calibrarse para estimar la población total en los estanques o detectar rápidamente eventos repentinos de mortalidad, añadiendo una capa crucial de bioseguridad a la operación.

El impacto de la temperatura del agua en la dinámica de alimentación

Junto con la formulación del alimento y las prácticas de manejo, investigaciones bioacústicas recientes revelan cómo los factores ambientales – particularmente la temperatura del agua – determinan el comportamiento alimenticio de los camarones. En un ensayo de laboratorio reciente, los

investigadores evaluaron a juveniles de *P. vannamei* expuestos a un gradiente térmico que oscilaba entre 22,1 y 31,3 grados-C. Mediante el monitoreo de sus clics acústicos – capturados con un hidrófono y un grabador de audio – así como de su consumo real de alimento durante periodos de alimentación de 30 minutos, el estudio logró capturar la respuesta metabólica de los animales en tiempo real.

Los resultados revelaron que la temperatura no solo determina cuánto comen los camarones, sino también cómo lo hacen. Tal como se muestra en la Fig. 4, tanto la ingesta de alimento como la actividad acústica alcanzaron su punto máximo dentro del rango cálido óptimo (de 27,5 a 31,3 grados-C), pero disminuyeron significativamente bajo condiciones frías (22,1 y 24,1 grados-C).

Fig. 4: Respuestas conductuales y de consumo de alimento de los camarones en función de la temperatura. (A) Consumo total de alimento (g) y (B) número total de clics en 30 minutos; se observa una actividad de alimentación y una ingesta estadísticamente superiores a temperaturas más cálidas (27,5 a 31,3 grados-C) en comparación con las condiciones frías (22,1 grados-C). (C) El monitoreo temporal continuo de los clics por minuto a lo largo del periodo de 30 minutos revela patrones conductuales distintivos: una alimentación intensa y de alta frecuencia, seguida de un marcado descenso en aguas más cálidas (líneas rojas/naranjas), frente a un ritmo de alimentación suprimido y de bajo nivel en aguas más frías (líneas púrpuras/azules).

El monitoreo acústico continuo demostró que la temperatura modifica fundamentalmente el patrón temporal de alimentación. En aguas más cálidas, los camarones exhiben un estallido de alimentación rápido e intenso inmediatamente después del suministro de alimento, seguido de un marcado descenso en la tasa de clics a medida que alcanzan la saciedad. Por el contrario, en aguas más frías, este estallido está ausente, ya que los animales se alimentan a un ritmo mucho más bajo, más uniforme y suprimido a lo largo de todo el periodo.

Estos datos refuerzan la idea de que la tecnología acústica no es solo una herramienta de distribución de alimento, sino un biosensor avanzado. Traduce activamente el estado metabólico y el confort térmico del animal en datos procesables, allanando el camino hacia sistemas de alimentación

verdaderamente inteligentes y basados en la demanda, que se adaptan a las condiciones ambientales cambiantes.

El impacto del oxígeno disuelto en el apetito

Del mismo modo que la temperatura dicta el ritmo de alimentación, el oxígeno disuelto (OD) actúa como un factor limitante crítico para el apetito del camarón. Para cuantificar este impacto, los investigadores han utilizado la tecnología PAM para evaluar el comportamiento de alimentación de *P. vannamei* en cuatro concentraciones diferentes de OD: 5, 3, 2 y 1 mg por litro (Fig. 5). Esto les permitió comprender la dinámica real del agotamiento del oxígeno, simulando las caídas naturales de oxígeno en los estanques mediante la interrupción de la aireación.

Los datos acústicos, junto con las métricas de ingesta de alimento, revelaron un umbral claro para el estrés hipóxico. El comportamiento de alimentación del camarón se mantuvo sorprendentemente resiliente, conservando una ingesta de alimento y unas tasas de clics acústicos estables desde el nivel óptimo de 5 mg/L hasta los 3 mg/L. Sin embargo, se produjo un cambio drástico en el comportamiento cuando el OD alcanzó los niveles de hipoxia severa de 2 y 1 mg/L; en este punto, tanto la intensidad de los clics acústicos como la ingesta total de alimento disminuyeron significativamente en comparación con el nivel de referencia (Fig. 6A, B).

Además, el monitoreo continuo reveló cómo la hipoxia altera el patrón temporal de la alimentación (Fig. 6C). Bajo una aireación normal (5 mg/L), la frecuencia de clics del camarón se mantuvo estable a lo largo del periodo de alimentación. Por el contrario, bajo estrés hipóxico, los camarones exhibieron una estrategia completamente diferente: mostraron un pico inicial en la actividad de alimentación, seguido de una disminución rápida y pronunciada en la frecuencia de clics, a medida que las limitaciones metabólicas los obligaban a entrar en un modo de supresión para conservar energía.

Esta drástica caída en la actividad acústica subraya cómo la hipoxia severa suprime fundamentalmente el impulso metabólico del camarón para alimentarse. Al utilizar la tecnología acústica como sensor en tiempo real, los productores pueden detectar estos cambios conductuales durante los episodios de bajo nivel de oxígeno. Esto permite tomar decisiones de gestión inmediatas y basadas en datos, tales como pausar la distribución automatizada del alimento cuando fallan los sistemas de aireación o cuando el OD (oxígeno disuelto) desciende a niveles peligrosos; lo cual, en última instancia, evita el desperdicio masivo de alimento y protege el fondo del estanque de un mayor deterioro.

Fig. 5: Ejemplos de camarones blancos del Pacífico juveniles – el organismo modelo utilizado para evaluar los impactos de la reducción del oxígeno disuelto en el comportamiento de alimentación acústica – monitoreados mediante un sensor de oxígeno disuelto.

Fig. 6: Respuestas conductuales y de consumo de alimento en función de los niveles de oxígeno disuelto (OD) en camarones. (A) Consumo total de alimento (gramos) y (B) número total de clics en 30 minutos, lo que muestra una actividad de alimentación y una ingesta estables bajo niveles de oxígeno óptimos y moderados (de 5 a 3 mg/L), en comparación con una reducción significativa bajo condiciones de hipoxia severa (1 mg/L). (C) El monitoreo temporal continuo de los clics por minuto a lo largo del periodo de 30 minutos revela patrones conductuales diferenciados: una alimentación inicial intensa y de alta tasa, seguida de un descenso constante en aguas bien aireadas (líneas azul oscuro/azul claro), frente a un ritmo suprimido y de menor intensidad bajo condiciones de hipoxia más severa (líneas verde/púrpura).

Conclusión

La integración de la bioacústica en el cultivo de camarones representa una transición vital: de una gestión de la alimentación tradicional y reactiva, a un enfoque proactivo y basado en la precisión. Al transformar los sonidos de alimentación de los camarones en datos, el monitoreo acústico supera eficazmente los desafíos inherentes a las aguas de los estanques con alta turbidez. Esta tecnología no solo optimiza las tasas de crecimiento y reduce los costos económicos y ambientales asociados al desperdicio de alimento, sino que también actúa como un biosensor avanzado en tiempo real. Tal

como demuestra su sensibilidad ante las fluctuaciones de temperatura y la disminución del oxígeno disuelto, el PAM permite a los productores detectar el estrés fisiológico y adaptar sus estrategias de gestión de manera instantánea. En resumen, el PAM protege la calidad del agua, maximiza la rentabilidad de la explotación y allana el camino hacia un futuro más sostenible e inteligente en la producción mundial de camarones.

Authors



FÁBIO COSTA FILHO, M.S.

Department of Fisheries and Aquaculture, Federal Rural University of Pernambuco, Recife, 52171-900, PE, Brazil



INDIRA MEDINA TORRES

Auburn University - School of Fisheries, Aquaculture and Aquatic Sciences, Auburn, AL 36849 USA



D. ALLEN DAVIS, PH.D.

Auburn University - School of Fisheries, Aquaculture and Aquatic Sciences, Auburn, AL 36849 USA



PROF. DR. SILVIO PEIXOTO

Corresponding author
Department of Fisheries and Aquaculture, Federal Rural University of Pernambuco, Recife, 52171-900, PE, Brazil

silvio.peixoto@ufrpe.br (<mailto:silvio.peixoto@ufrpe.br>).

Copyright © 2026 Global Seafood Alliance

All rights reserved.