

Desempeño zootécnico de postlarvas de *Penaeus vannamei* (PL 32) alimentadas con dietas suplementadas con biomasa de *Spirulina subsalsa* Zootechnical performance of *Penaeus vannamei* postlarvae (PL 32) fed with diets supplemented with *Spirulina subsalsa* biomass

Berenice Licet¹, Miguel Guevara², Elvira Hernández³, Rafael Pinto⁴

¹ Centro Nacional de Investigación de Pesca y Acuicultura CENIPA. Caracas, Venezuela.

² Instituto Superior de Formación Docente Salome Ureña (INFODOSU) Santo Domingo, Dominican Republic.

³ Universidad de Oriente. Instituto Oceanográfico de Venezuela, Cumaná, Venezuela.

⁴ Universidade Federal do Rio Grande do Sul (FURG), Brasil.

Correspondencia: Berenice Licet **E-mail:** licetberenice@gmail.com

Original article | Artículo original

Palabras clave

cianobacterias
nutrición
camarón
dietas
parámetros
zootécnicos

RESUMEN | La industria camaronera enfrenta un desafío en la nutrición larval debido al alto costo de los alimentos comerciales, lo que ha impulsado la búsqueda de alternativas sostenibles. La harina de *Spirulina subsalsa* se ha considerado un ingrediente alternativo para sustituir parcialmente el alimento comercial en el cultivo larval de camarones, con el fin de reducir costos y diversificar las fuentes proteicas. El presente estudio evaluó el efecto de la inclusión de biomasa seca de *S. subsalsa* en dietas para postlarvas (PL32) de *Penaeus vannamei*. Se establecieron tres tratamientos experimentales con tres réplicas cada uno: A (100% alimento comercial, control), B (75% alimento comercial + 25% *S. subsalsa*) y C (50% alimento comercial + 50% *S. subsalsa*). Cada unidad experimental consistió en un acuario con 200 PL cultivadas durante 15 días. Se registraron variables de desempeño zootécnico (ganancia de biomasa y talla, eficiencia alimenticia, factor de conversión alimenticia, tasa específica de crecimiento y supervivencia) y se compararon mediante ANOVA seguido de prueba de Tukey. Con la dieta B se obtuvo un mejor desempeño que con la dieta C en la mayoría de los parámetros evaluados, con valores intermedios entre el control y la dieta C. Sin embargo, el tratamiento A presentó mayor biomasa ganada ($0,91 \pm 0,19$ g), supervivencia ($45,0 \pm 2,50\%$) y menor factor de conversión alimenticia ($0,70 \pm 0,01$) en comparación con B ($0,62 \pm 0,27$; $35,5 \pm 0,50\%$; $0,80 \pm 0,03$, respectivamente). Estos resultados sugieren que la sustitución parcial del 25% del alimento comercial por *S. subsalsa* puede mantener un desempeño zootécnico aceptable, aunque con rendimientos inferiores al control 100% comercial. En conclusión, la harina de *S. subsalsa* puede emplearse como un ingrediente complementario en la dieta de PL de *P. vannamei* hasta un nivel de inclusión del 25%, ya que, aunque se observó una ligera reducción en los parámetros de crecimiento y supervivencia con respecto al control, estos valores se mantuvieron dentro de intervalos considerados aceptables para la especie.

Keywords

cyanobacteria
nutrition
shrimp
diet
zootechnical
parameters

ABSTRACT | The shrimp farming industry faces a challenge in larval nutrition due to the high cost of commercial feeds, prompting a search for sustainable alternatives. *Spirulina subsalsa* meal has been considered as an alternative ingredient to partially replace commercial feed in larval shrimp culture, aiming to reduce costs and diversify protein sources. This study evaluated the effect of including *S. subsalsa* dry biomass in diets for postlarvae (PL32) of *Penaeus vannamei*. Three experimental treatments with three replicates each were established: A (100% commercial feed, control), B (75% commercial feed + 25% *S. subsalsa*), and C (50% commercial feed + 50% *S. subsalsa*). Each experimental unit consisted of an aquarium with 200 PL cultured for 15 days. Zootechnical performance variables (biomass and size gain, feed efficiency, feed conversion ratio, specific growth rate, and survival) were recorded and compared by ANOVA followed by a Tukey test. Diet B performed better than diet C in most of the parameters evaluated, with intermediate values between the control and diet C. However, treatment A had higher biomass gain ($0,91 \pm 0,19$ g), survival ($45.0 \pm 2.50\%$), and lower feed conversion ratio (0.70 ± 0.01) compared to B (0.62 ± 0.27 g; $35.5 \pm 0.50\%$; 0.80 ± 0.03 , respectively). These results suggest that partial replacement of 25% of the commercial feed with *S. subsalsa* can maintain healthy performance and acceptable zootechnical characteristics, although with lower yields than the 100% commercial control. In conclusion, *S. subsalsa* flour can be used as a supplementary ingredient in the diet of *P. vannamei* larvae up to an inclusion level of 25%, as a slight reduction in growth and survival parameters was observed compared to the control; however, these values remained within the ranges considered acceptable for the species.

INTRODUCCIÓN

La industria camaronera ha experimentado un crecimiento exponencial en las últimas décadas, posicionándose como uno de los sectores más dinámicos de la acuicultura mundial. Según datos recientes de la FAO (2024), la producción global de camarón alcanza aproximadamente 8 millones de toneladas anuales, con un valor de mercado que ronda los 50 mil millones de dólares. Dentro de este panorama, el camarón blanco del Pacífico (*Penaeus vannamei*) destaca como la especie más cultivada, representando más del 80% de la producción total de crustáceos (Kang *et al.* 2018). Su preferencia radica en que tiene características fisiológicas ventajosas para el cultivo selectivo, como un bajo requerimiento de proteína dietética, tolerancia a altas densidades de población, alto valor nutricional, tolerancia a condiciones ambientales adversas y un proceso de domesticación relativamente simple (Emerenciano *et al.* 2022, FAO, 2024).

En condiciones naturales, las larvas de *P. vannamei* presentan un régimen alimentario complejo que evoluciona desde fitoplancton hacia macrófitas, moluscos y zooplancton (Senanan *et al.* 2009, Sundarraj *et al.* 2023). Este patrón representa un reto significativo para su cultivo comercial, ya que la reproducción de estas condiciones requiere el uso de microalgas vivas cuyo cultivo implica elevados costos de producción y manejo (Zhang *et al.* 2025).

Numerosas investigaciones han demostrado que las microalgas son fundamentales en la dieta larval de camarones, otros invertebrados y peces, debido a su alto contenido nutricional: proteínas (hasta un 60% de la biomasa seca), carbohidratos (8–30%) y lípidos (~10%), incluyendo ácidos grasos esenciales como el EPA y el DHA (Núñez *et al.* 2002, Alfadhly *et al.* 2022). Estos nutrientes resultan esenciales para garantizar un crecimiento óptimo y una adecuada supervivencia durante las primeras etapas de desarrollo. Esto ha sido corroborado por diversos trabajos que evidencian un crecimiento acelerado de las larvas de camarón cuando se cultivan con fitoplancton, destacando así la importancia de las microalgas en la nutrición durante la cría (Gallardo *et al.* 2002, Ju *et al.* 2009, Huang *et al.* 2022, Zhang *et al.* 2025).

En esta línea, diversas especies de microalgas han sido evaluadas por su valor nutricional en acuicultura, mostrando resultados positivos en el cultivo de ostras, peces y larvas de camarón. Entre estas destacan *Tisochrysis* spp. y *Diacronema lutheri* (Bendif *et al.* 2013, Bendif & Véron 2011), *Chaetoceros calcitrans*, *Chlorella vulgaris* (Khoeyi *et al.* 2012), *Tetraselmis subcordiformis* y *Nannochloropsis oculata* (Huang *et al.* 2013), con beneficios ampliamente documentados (Blackburn *et al.* 2000, Burke 2000). Sin embargo, los altos costos operativos asociados a su cultivo han impulsado la búsqueda de alternativas nutricionales más accesibles y sostenibles.

Una de las opciones más prometedoras en este contexto es la utilización de la cianobacteria *Arthrospira platensis* Gomont 1892, conocida comercialmente como *Spirulina*. Esta microalga ha sido ampliamente estudiada por su perfil nutricional excepcional y su disponibilidad comercial. Su composición incluye altos niveles de proteínas (65–71%), lípidos (6%), carbohidratos (16%), fibra bruta (9,3%), ceniza (12,2%) y humedad (7%), así como aminoácidos esenciales como metionina (1,38%) y cistina (0,47%), pigmentos antioxidantes como los carotenoides (16,5 g/100 g) y ácidos grasos esenciales como el ácido gamma-linolénico (GLA) (Belay *et al.* 1996, De Lara Andrade *et al.* 2005, Radhakrishnan *et al.* 2014, Ahmed *et al.* 2025). Además, *A. platensis* ha demostrado actuar como un agente inmunomodulador (Takeuchi *et al.* 2002), lo que la convierte en un ingrediente funcional atractivo en dietas acuícolas.

De forma complementaria, las dietas artificiales secas han surgido como una alternativa para reducir la dependencia del cultivo de microalgas vivas. Tanto la academia como la industria han enfocado esfuerzos en optimizar estas formulaciones para satisfacer los requerimientos nutricionales de *P. vannamei* en sus primeras etapas de desarrollo (Gallardo *et al.* 2002). Estas dietas deben ofrecer un perfil adecuado de minerales y nutrientes, esenciales para fortalecer el sistema inmunológico, estimular el crecimiento y optimizar los rendimientos productivos en los sistemas de cultivo (Sandeep *et al.* 2023, Ashour *et al.* 2024).

Diversos estudios han demostrado que la incorporación de harina de *Spirulina* seca como suplemento en dietas para crustáceos mejora significativamente el crecimiento y la supervivencia en fases larvales y postlarvales (Narciso, 1995; Hanel *et al.* 2007, Macias-Sancho *et al.* 2014, Kohal *et al.* 2018, Li *et al.* 2022, Ahmed *et al.* 2025). Un metaanálisis confirma que la adición de *Spirulina* a la harina mejora significativamente el peso corporal final, la tasa de crecimiento específico y la eficiencia proteica en camarones, con una suplementación óptima de alrededor del 1,67 % para las dietas de camarones (Li *et al.* 2022). De manera consistente, Ahmed *et al.* (2025) evidenciaron mejoras significativas en el crecimiento, la conversión alimenticia y la supervivencia del camarón blanco del Pacífico cuando se emplearon dietas suplementadas con 4–8 g/kg de *Spirulina*.

Considerando el perfil nutricional excepcional y la amplia disponibilidad comercial de *A. platensis*, resulta pertinente evaluar otras especies como *Spirulina subsalsa* Oersted ex Gomont, 1892, que comparte características nutricionales similares, pero ofrece ventajas económicas en términos de producción, adaptabilidad y manejo (Jiang et al. 2015, Pistelli et al. 2023). Esta especie representa una oportunidad estratégica para el desarrollo de formulaciones nutricionales más eficientes y accesibles, especialmente orientadas a la alimentación de larvas y postlarvas de camarón blanco.

En este contexto, el presente estudio se propone evaluar el efecto de la suplementación con *S. subsalsa* sobre el desempeño zootécnico de postlarvas (PL32) de *P. vannamei*. Los resultados de esta investigación buscan aportar evidencia científica que permita optimizar los protocolos de alimentación en hatcheries, ofreciendo una solución que combine eficiencia productiva con reducción de costos operativos, con implicaciones relevantes para la sostenibilidad económica de la industria camaronera a nivel global.

MATERIALES Y MÉTODOS

Animales

Las postlarvas de *Penaeus vannamei* (PL-32) (Fig. 1) fueron suministradas por el Laboratorio Aquamarina de la Costa S.A., ubicado en Clarines, estado Anzoátegui, Venezuela. Al momento de la adquisición presentaban una talla promedio de $16,5 \pm 0,8$ mm y una masa corporal de $0,43 \pm 0,01$ g. Para su transporte hasta el Laboratorio de Acuicultura del Instituto Oceanográfico de Venezuela (Universidad de Oriente), las postlarvas fueron empacadas en bolsas plásticas de polietileno con agua de mar a 25 g L^{-1} de salinidad, saturada con oxígeno disuelto y a una temperatura de 22 ± 1 °C. Las bolsas se colocaron dentro de recipientes isotérmicos con hielo, lo que permitió mantener condiciones estables de temperatura durante el traslado.

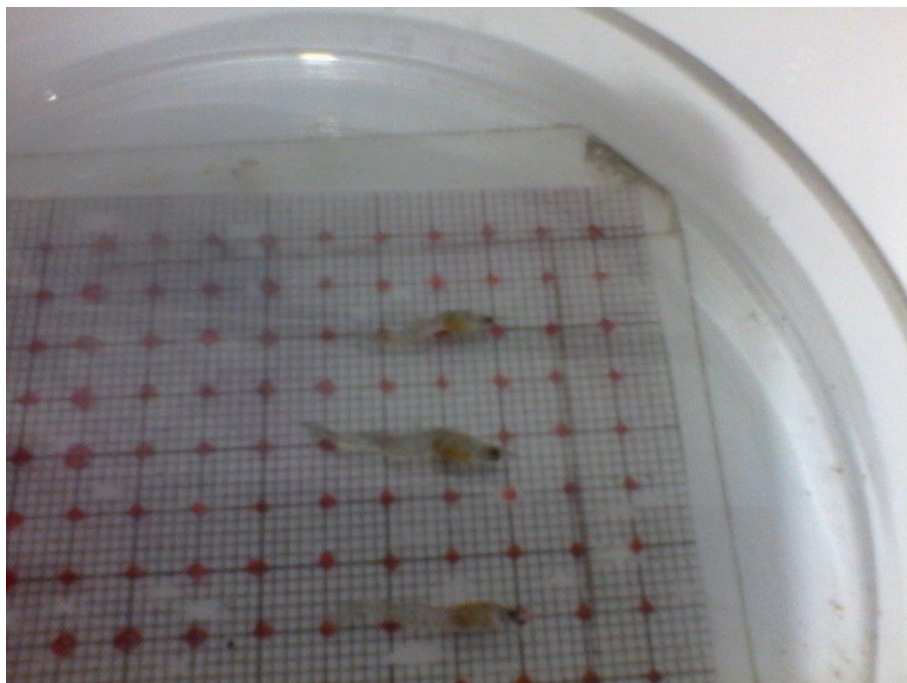


Figura 1. Postlarvas de *Penaeus vannamei* (PL-32) utilizadas en el experimento.
Figure 1. Postlarvae of *Penaeus vannamei* (PL-32) used in the experiment.

Una vez en el laboratorio, las bolsas con postlarvas fueron colocadas en recipientes plásticos recubiertas con agua de grifo, con el fin de permitir una aclimatación gradual a las condiciones ambientales del laboratorio. Después de un período inicial de 3 h, se tomaron muestras aleatorias de los organismos para evaluar su estado general y descartar la presencia de lesiones o malformaciones. Posteriormente, las postlarvas permanecieron en aclimatación durante 48 h adicionales bajo las condiciones controladas del laboratorio: temperatura de 29 ± 1 °C, salinidad de 25 g L^{-1} , fotoperíodo de 12:12 h con una intensidad lumínica de $40 \mu\text{E m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, y aireación constante. Durante este tiempo se alimentaron con $78 \mu\text{L L}^{-1}$ de alimento líquido comercial Epilite-PL (Epicore BioNetworks Inc., Eastampton, New Jersey, EE. UU.).

Diseño experimental

Se realizó un ensayo de 15 días con postlarvas PL-32 de *P. vannamei*. El diseño contempló tres tratamientos, cada uno con tres réplicas independientes. Las unidades experimentales fueron acuarios de vidrio ($26 \times 26 \times 13$ cm) con capacidad de 9 L, conteniendo 8 L de agua de mar a una salinidad de $25 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, en los que se sembraron 200 postlarvas por acuario. Los tratamientos fueron: A = 100% alimento comercial (control), B = sustitución del 25% de la proteína del alimento comercial por harina de *S. subsalsa*, y C = sustitución del 50% de la proteína por harina de *S. subsalsa*.

Ensayo de alimentación

Durante los 15 días de experimentación, las postlarvas fueron alimentadas con tres dietas. El tratamiento control (A) consistió en un alimento comercial para postlarvas de camarón marino, marca ZEIGLER I-40 (PCO S.A., Chacras, El Oro, Ecuador), cuya composición nutricional se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Composición nutricional del alimento comercial ZEIGLER I-40.

Table 1. Nutritional composition of commercial feed ZEIGLER I-40.

Contenido	%
Proteína cruda	40,0
Grasa cruda	9,0
Fibra cruda	4,0
Humedad	11,0
Ceniza	13,0

Fuente: <https://pco.com.ec/productos/alimento-iniciador-para-cultivo-de-camaron-en-piscinas/zeigler-i-40/>

Para los tratamientos B y C, el alimento comercial se mezcló con biomasa seca de *Spirulina subsalsa* en las proporciones correspondientes, añadiendo agua destilada hasta formar una papilla homogénea. La mezcla se secó en estufa a 50°C , se trituró en un mortero de porcelana y se tamizó a $200 \mu\text{m}$ para homogeneizar el tamaño de partícula. La formulación de estas dietas se presenta en la Tabla 2.

Tabla 2. Formulación de dietas experimentales suplementadas con *Spirulina subsalsa*.

Table 2. Formulation of experimental diets supplemented with *Spirulina subsalsa*.

Ingrediente	Dieta A (100% AC*)	Dieta B (25%HS**+75% AC*)	Dieta C (50% HS**+50% AC*)
Biomasa seca de <i>S. subsalsa</i> (g)	0	25	50
Alimento comercial (g)	100	75	50
Agua destilada (mL)	100	100	100

*AC: Alimento comercial. **HS: Harina de *Spirulina*

Las postlarvas de *P. vannamei* de todos los tratamientos fueron alimentadas diariamente con una cantidad de alimento equivalente al 5% de la biomasa total por acuario y por día. La ración se distribuyó en dos horarios (08:00 y 16:00 h), siguiendo las recomendaciones del protocolo de la camaronera Aquamarina de la Costa S.A., que emplea este porcentaje en la fase inicial de alimentación de postlarvas. La cantidad de alimento se ajustó cada 5 días en función de la biomasa estimada.

Diariamente se registraron los parámetros fisicoquímicos del agua de cultivo. El pH se midió con un pHmetro Enver AP 10 (precisión: $\pm 0,01$ unidades de pH), el oxígeno disuelto con un oxímetro Trans-Instruments HD 3030 (precisión: $\pm 1,5\%$) y la temperatura con un termógrafo PCE-HT 110 (precisión: $\pm 0,1^\circ\text{C}$) instalado en cada uno de los acuarios. Los valores obtenidos se promediaron para cada día de ensayo. El agua de los acuarios se renovó en un 20% cada 48 h, realizando además un sifoneo del fondo para retirar restos de alimento no consumido y excretas de los camarones.

Variables zootécnicas de las postlarvas de *Penaeus vannamei*

La biomasa inicial se determinó a partir de un lote de referencia de 100 PL pesadas individualmente. La biomasa total se estimó cada cinco días mediante muestreo de 40 PL por tratamiento, las cuales fueron medidas, pesadas y reintegradas a su respectiva unidad experimental para no afectar la densidad ni la supervivencia. Los organismos fueron medidos y pesados empleando un vernier digital Mitutoyo (precisión $\pm 0,01$ mm) y una balanza analítica OHAUS Adventure™ (precisión $\pm 0,01$ g), respectivamente. La supervivencia en cada tratamiento se determinó al finalizar el experimento, comparando el número

de organismos sobrevivientes con el número inicial de postlarvas sembradas. A partir de los registros de longitud, masa y cantidad de alimento suministrado, se calcularon las variables zootécnicas descritas en la Tabla 3, junto con sus respectivas ecuaciones, siguiendo las metodologías propuestas por Hernández (2011) y Rodríguez-Martínez (2019).

Tabla 3. Ecuaciones para la evaluación de los parámetros zootécnicos y de supervivencia de las postlarvas de *Penaeus vannamei*.

Table 3. Equations for the evaluation of zootechnical and survival parameters of *Penaeus vannamei* postlarvae.

Variable	Ecuación
Biomasa total ganada (g)	GB = Biomasa final (g) -Biomasa inicial
Eficiencia Alimenticia	$EA = \frac{\text{Biomasa total ganada (g)}}{\text{Alimento ingerido (g)}}$
Factor de Conversión Alimenticia	$FCA = \frac{\text{Alimento suministrado (g)}}{\text{Ganancia de biomasa (g)}}$
Supervivencia (%)	$\%Supervivencia = \frac{\text{N}^\circ \text{de organismos final}}{\text{N}^\circ \text{de organismos inicial}} \times 100$
Tasa Específica de Crecimiento (%/d) con relación a la masa	$TEC = \frac{[(\ln \text{biomasa final (g)} - \ln \text{biomasa inicial (g)}) \times 100]}{\text{tiempo (d)}}$
Tasa Específica de Crecimiento (%/d) con relación a la talla	$TEC = \frac{[(\ln \text{talla final (mm)} - \ln \text{talla inicial (mm)}) \times 100]}{\text{tiempo (d)}}$

Análisis de los Datos

La estandarización de los datos, así como todos los procedimientos estadísticos, se realizaron utilizando el software libre y de código abierto R, versión 4.4.2 (<https://www.R-project.org/>) (R Core Team, 2024). Los datos de crecimiento en talla y masa, así como los valores de las variables zootécnicas de las postlarvas de *P. vannamei*, al final del ensayo y en los diferentes tratamientos, se contrastaron mediante un análisis de varianza de un factor (Dietas), seguido de una prueba *a posteriori* de Tukey, en caso de haber diferencias significativas. Previamente, se verificó la normalidad y homocedasticidad de los datos mediante pruebas de Shapiro-Wilk y Levene, respectivamente (Sokal & Rohlf 1995). Todas las pruebas estadísticas se realizarán con un nivel de significancia de 0,05.

RESULTADOS

Variables zootécnicas de las postlarvas de *Penaeus vannamei*

Los resultados de las variables zootécnicas se presentan en la Tabla 4. Con excepción de la eficiencia alimenticia, todas mostraron diferencias significativas entre las dietas evaluadas ($p < 0,05$). Entre las dietas experimentales, la formulada con 75% de alimento comercial y 25% de harina de *Spirulina* (dieta B) proporcionó valores intermedios con respecto al control y la dieta C. En contraste, niveles de inclusión superiores al 50% (dieta C) provocaron una reducción significativa en la supervivencia y en el crecimiento de las postlarvas.

Tabla 4. Parámetros zootécnicos y supervivencia (media \pm desviación estándar) de las postlarvas de *Penaeus vannamei* cultivadas en los diferentes tratamientos. Superíndices diferentes en cada renglón representan diferencias significativas ($p < 0,05$).

Table 4. Zootechnical parameters and survival (mean \pm standard deviation) of *Penaeus vannamei* postlarvae cultured under different treatments. Different superscripts in each row indicate significant differences ($p < 0.05$).

Variables zootécnicas	Dieta A	Dieta B	Dieta C
Biomasa total ganada (g)	0,91 \pm 0,19 ^a	0,62 \pm 0,27 ^b	0,48 \pm 0,01 ^c
Eficiencia alimenticia	1,45 \pm 0,43 ^a	1,23 \pm 0,29 ^a	0,72 \pm 0,38 ^a
Factor de conversión alimenticia	0,70 \pm 0,01 ^a	0,80 \pm 0,03 ^b	1,4 \pm 0,41 ^c
Tasa específica de crecimiento (%/d) con relación a la masa	12,70 \pm 0,44 ^a	9,50 \pm 0,51 ^b	5,80 \pm 1,27 ^c
Tasa específica de crecimiento (%/d) con relación a la talla	4,26 \pm 0,48 ^a	3,50 \pm 0,47 ^b	2,80 \pm 0,44 ^c
Supervivencia (%)	45,00 \pm 2,50 ^a	35,50 \pm 0,50 ^b	20,60 \pm 1,60 ^c

Parámetros ambientales

Durante el experimento, los parámetros fisicoquímicos del agua se mantuvieron dentro de los intervalos óptimos para el cultivo de *P. vannamei*, sin diferencias significativas entre tratamientos: temperatura 31 ± 1 °C, oxígeno disuelto $7,10 \pm 0,50$ mg·L⁻¹, salinidad 25 g·L⁻¹ y pH $7,40 \pm 0,1$.

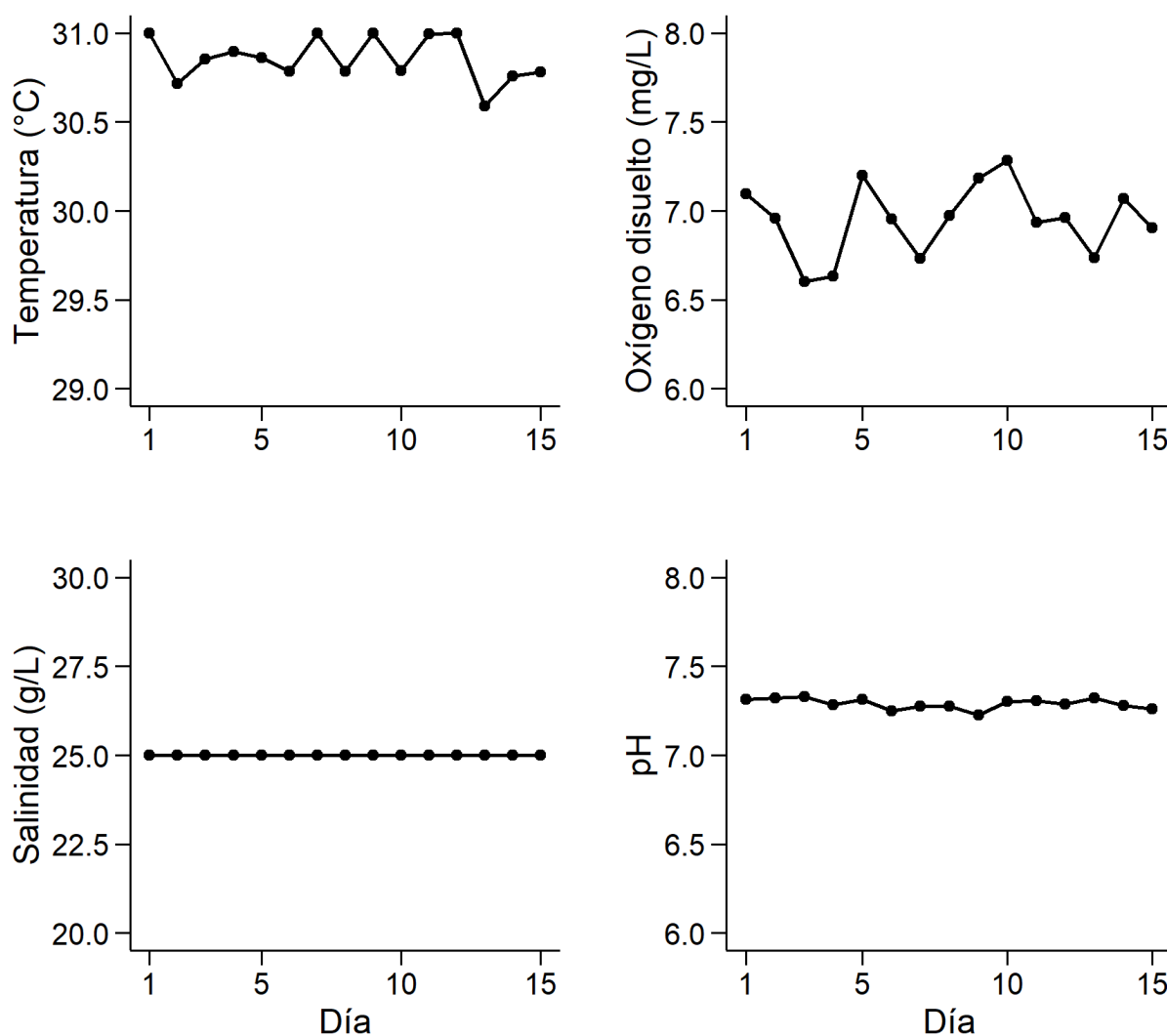


Figura 2. Variación de los parámetros ambientales en el cultivo de las postlarvas de *Penaeus vannamei* durante 15 días de cultivo.

Figura 2. Variation of environmental parameters in the culture of *Penaeus vannamei* postlarvae during 15 days of culture.

DISCUSIÓN

Los criterios de rendimiento de crecimiento en acuicultura son un componente clave de la productividad, ya que reflejan la eficiencia del cultivo y están influenciados por diversos factores, como la genética de los organismos, la cantidad y calidad del alimento suministrado y las condiciones físicas del sistema de producción (Canosa & Bertucci, 2023). En este contexto, la búsqueda de ingredientes alternativos que optimicen el crecimiento y reduzcan los costos de alimentación se ha convertido en una prioridad para la industria camaronera.

Dentro de estas alternativas, la incorporación de microalgas en dietas acuícolas ha sido ampliamente evaluada. Entre ellas, *Arthrospira platensis* destaca por su alto valor nutricional y sus propiedades inmunoestimulantes, atributos documentados en múltiples estudios (Habib *et al.* 2008; Ahmed *et al.* 2025). Sin embargo, el potencial de especies relacionadas, como *Spirulina subsalsa*, ha recibido poca atención, a pesar de compartir características nutricionales semejantes y de ofrecer ventajas en términos de accesibilidad y sostenibilidad.

Los resultados obtenidos confirman que la inclusión de *S. subsalsa* en dietas para PL de *Penaeus vannamei* afecta de manera diferenciada las variables zootécnicas. La dieta con 25% de sustitución (B) mostró un desempeño superior a la de 50% (C), aunque ambas se mantuvieron por debajo del control 100% comercial (A) en biomasa, supervivencia y eficiencia alimenticia, lo que indica que, aunque la biomasa de *S. subsalsa* puede ser asimilada, su efectividad nutricional depende en gran medida del nivel de inclusión en la dieta. Estos hallazgos refuerzan la necesidad de evaluar de manera sistemática el nivel óptimo de sustitución y su interacción con otros ingredientes para maximizar los beneficios en la producción larval.

En términos de biomasa total ganada, las postlarvas alimentadas con la dieta control alcanzaron el mayor valor (0,91 g), seguidas por la dieta B (0,62 g) y la dieta C (0,48 g) (Tabla 4). Estos resultados muestran que *P. vannamei* puede asimilar adecuadamente la harina de *S. subsalsa* en niveles moderados, lo que representa un aporte nutricional efectivo. El efecto positivo sobre el crecimiento podría atribuirse al elevado contenido proteico de esta cianobacteria, así como a la presencia de aminoácidos esenciales (lisina, metionina), vitaminas del complejo B y compuestos antioxidantes (Radhakrishnan *et al.* 2014), que en conjunto favorecen la síntesis proteica, el metabolismo energético y la salud general de las postlarvas.

Comparativamente, otros estudios han reportado biomazas tanto inferiores como superiores según la proporción de *Spirulina* utilizada en la alimentación de camarones. Por ejemplo, Gamboa-Delgado *et al.* (2019) registraron una ganancia de peso de 0,23 g en postlarvas de *P. vannamei* alimentadas con una dieta compuesta por 50% de harina de *A. platensis* y 50% de harina de pescado tradicional. Por su parte, Macias-Sancho *et al.* (2014) obtuvieron pesos finales de 8,75 g y 8,54 g en postlarvas (PL10) de *P. vannamei* al sustituir 25% y 50% de la harina de pescado por *A. platensis*, respectivamente. De manera similar, Ahmed *et al.* (2025) reportó una ganancia de peso de 9,72 g en juveniles de *P. vannamei* alimentados con dietas comerciales suplementadas con 6–8 g/kg de *Spirulina*. Estas variaciones pueden atribuirse a diferencias en la concentración de los ingredientes, el tipo de combinación dietética empleada y las condiciones de cultivo de cada experimento.

En cuanto a la eficiencia alimenticia, no hubo diferencia significativa entre los tratamientos, aunque se observó la tendencia a un mejor desempeño de la dieta A (1,45), seguida por la dieta B (1,23) (Tabla 4), que son valores inferiores a los reportados por Macias-Sancho *et al.* (2014), quienes obtuvieron una eficiencia de 1,72 en postlarvas (PL10) de *P. vannamei* alimentadas con harina de pescado y sustitución del 25% por *A. platensis*. Estas diferencias resaltan la importancia de la formulación, la calidad bromatológica y el proceso de fabricación de las dietas, factores que deben ajustarse a las necesidades nutricionales de la especie y a las condiciones del cultivo.

El factor de conversión alimenticia fue más alto en la dieta C (1,4) (Tabla 4), lo que refleja un aprovechamiento ineficiente del alimento debido a la elevada proporción de sustitución. Idealmente, el factor de conversión alimenticia debe aproximarse a 1:1 para un desempeño óptimo, considerándose aceptables valores entre 1,0 y 1,5 (Talavera *et al.* 1997). En este sentido, los valores obtenidos se mantuvieron dentro intervalo esperado. No obstante, diversos autores han registrado variaciones importantes según la etapa de desarrollo. Por ejemplo, Macias-Sancho *et al.* (2014) reportaron un factor de conversión alimenticia de 1,62 en postlarvas (PL10) de *P. vannamei* alimentadas con dietas con 25% de sustitución por *A. platensis*. De forma similar, Ahmed *et al.* (2025) encontraron valores entre 1,73 y 2,10 en juveniles de *L. vannamei* alimentados con dietas comerciales suplementadas con 2–8 g/kg de *Spirulina*. Estas diferencias confirman que el factor de conversión alimenticia depende no solo de la calidad de la dieta, sino también de la etapa de crecimiento y de las condiciones de manejo. En términos generales, se espera que en camarones de hasta 10 g el factor de conversión alimenticia se sitúe entre 0,6 y 1,0, mientras que en tallas mayores oscile entre 1,0 y 1,3, sin sobrepasar 1,5 (Membreño, 2014). Este parámetro reviste gran importancia económica, dado que la alimentación constituye el principal componente del costo de producción en la camaronicultura.

Respecto a la tasa específica de crecimiento, la dieta B (25% *S. subsalsa*) favoreció tanto la ganancia en masa (9,5%/d) como en talla (3,5%/d). En comparación, Ghaeni *et al.* (2011) reportaron una longitud total de 4,3 mm en *P. semisulcatus* alimentadas con dietas a base de *Spirulina* en polvo y enriquecida, mientras que Macias-Sancho *et al.* (2014) obtuvieron un crecimiento en masa de 5,20%/d en postlarvas (PL10) de *P. vannamei* con dietas basadas en harina de pescado y 25% de sustitución por *A. platensis*. El mejor desempeño observado con la dieta B podría atribuirse al alto contenido proteico de *S. subsalsa*, así como a la presencia de aminoácidos esenciales (lisina y metionina), vitaminas hidrosolubles y pigmentos antioxidantes que favorecen la síntesis proteica y reducen el estrés oxidativo en las postlarvas. Sin embargo, la disminución del rendimiento registrada con la dieta C (50%) sugiere que un nivel excesivo de inclusión podría limitar la digestibilidad o generar un desbalance nutricional, lo que resalta la necesidad de estudios bromatológicos detallados y análisis enzimáticos para producir hidrolizados de *Spirulina*.

En lo referente a la supervivencia, la dieta A (100% alimento comercial) presentó el mayor porcentaje (45,0%), seguida por la dieta B (25% *S. subsalsa*), con 35,5%. Aunque estos valores fueron inferiores a los reportados en otros trabajos, la diferencia podría estar asociada a la rápida sedimentación del alimento, lo que reduce su disponibilidad para las postlarvas que se alimentan principalmente en la columna de agua. En la literatura, las tasas de supervivencia varían ampliamente: Narciso (1995) reportó apenas 20% en *P. kerathurus* alimentadas con *Spirulina sp.*, mientras que en *P. vannamei* y *P. schmitti* se han registrado valores entre 70 y 80% con dietas suplementadas con *A. platensis* o *Amphora sp.* (Jaime-Ceballos *et al.* 2005; Curbelo *et al.* 2016). De manera más específica, Macias-Sancho *et al.* (2014) alcanzaron hasta 95% de supervivencia en postlarvas (PL10) de *L. vannamei* alimentadas con dietas con 25% de sustitución por *A. platensis*. Por su parte, Ahmed *et al.* (2025) reportaron supervivencias entre 68,3 y 76,7% en juveniles de *P. vannamei* alimentados con dietas comerciales suplementadas con 2–8 g/kg de *Spirulina*. En conjunto, estos antecedentes demuestran que tanto la proporción de inclusión de microalgas como las condiciones de cultivo son determinantes para la supervivencia larval.

La literatura coincide en que la harina de *Spirulina* es un ingrediente viable para la alimentación de camarones, recomendándose su uso en combinación con otras fuentes proteicas para optimizar el aprovechamiento nutricional. Jaime-Ceballos *et al.* (2005) demostraron que hasta el 50% del alimento fitoplanctónico puede sustituirse por *Spirulina* en polvo durante la fase de zoea sin afectar la supervivencia ni el crecimiento. Resultados similares fueron obtenidos por Ghaeni *et al.* (2011) en *P. semisulcatus* con dietas que incluían un 50% de *Spirulina*, y por Gadelha (2013), quien verificó que la harina de pescado puede reemplazarse hasta en un 25% por *Spirulina* en dietas para postlarvas de *P. vannamei*. Estos hallazgos coinciden con lo observado en el presente estudio, donde la sustitución parcial del 25% con *S. subsalsa* favoreció el crecimiento de PL32, lo que confirma que este nivel de inclusión satisface adecuadamente los requerimientos nutricionales de la especie.

Además de su valor como fuente proteica, diversos estudios han resaltado los efectos funcionales de la *Spirulina*. Hemtahon *et al.* (2005) demostraron que la inclusión de *S. platensis* hasta 10 g/kg en dietas para postlarvas de *P. monodon* no solo mejoró el crecimiento y la supervivencia, sino que también contribuyó a la prevención del síndrome de la mancha blanca (WSS). Estos resultados evidencian que la harina de *Spirulina* puede aportar beneficios adicionales a los nutricionales, actuando como un ingrediente funcional en la dieta.

El efecto positivo de la *Spirulina* sobre los parámetros zootécnicos puede atribuirse a su alto contenido de vitaminas, entre ellas la vitamina B12, así como de antioxidantes, ficocianina, minerales y aminoácidos esenciales (James *et al.* 2006). Además, esta microalga es una fuente importante de carotenoides y proteínas, nutrientes indispensables para el crecimiento y el rendimiento reproductivo del camarón (Patnaik *et al.* 2006). También destaca por su riqueza en ácidos grasos poliinsaturados (PUFA), en particular de las familias n-3 y n-6, los cuales desempeñan un papel clave en la síntesis y mantenimiento de biomembranas (Vigliano Relva *et al.* 2024).

Cabe resaltar que la productividad en el cultivo de camarón depende de múltiples factores ambientales además de la dieta. En este estudio, los parámetros de calidad de agua (temperatura 31 °C, oxígeno disuelto 7,1 mg/L, salinidad 25 g L⁻¹, pH 7,4) se mantuvieron dentro de los intervalos óptimos para *P. vannamei* (Jaime-Ceballos *et al.* 2005), lo que asegura que las variaciones observadas en desempeño productivo respondan principalmente a los tratamientos dietéticos evaluados.

Desde una perspectiva de sostenibilidad, la sustitución parcial de alimentos comerciales con *S. subsalsa* representa una estrategia relevante para reducir la dependencia de harina de pescado, un insumo costoso y de disponibilidad limitada a nivel global (FAO, 2024). El cultivo de cianobacterias locales como *S. subsalsa* puede realizarse en sistemas controlados de bajo costo y con menor impacto ambiental, lo que la convierte en una opción prometedora en la camaronicultura. Además, su producción puede integrarse en esquemas de economía circular utilizando efluentes acuícolas como fuente de nutrientes, mejorando la sostenibilidad del sector.

Finalmente, desde el punto de vista económico, la dieta B representa una alternativa costo-efectiva, ya que permite reducir en un 25% el uso de alimento comercial principal componente del costo de producción en los hatcheries, con solo una ligera disminución en el crecimiento de las postlarvas. No obstante, para confirmar esta ventaja económica es necesario realizar un análisis de costo-beneficio más detallado que considere el costo de producción de *S. subsalsa* a escala piloto.

CONCLUSIÓN

Los hallazgos sugieren que la inclusión moderada (25%) de *Spirulina subsalsa* es viable para la alimentación de postlarvas de *P. vannamei*, lo que ofrece una alternativa rentable para las dietas de criadero. Incluir mayores tasas de inclusión afecta negativamente el rendimiento y no se recomienda sin una optimización adicional.

DECLARACIÓN DE CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

DECLARACIÓN DE BUENAS PRÁCTICAS EN EL USO DE SERES VIVOS

Los procedimientos utilizados en el estudio siguieron los lineamientos de la investigación responsable para ensayos con animales vivos (Kilkenny et al., 2010).

DECLARACIÓN DE CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA (CrediT)

Berenice Licet: diseño y desarrollo de la investigación, análisis de datos, preparación de la primera versión y edición del manuscrito. *Miguel Guevara*: conceptualización y diseño de la investigación, análisis de datos, revisión del manuscrito. *Elvira Hernández*: desarrollo de la investigación análisis de datos. *Rafael Pinto*: análisis de los datos, procesamiento estadístico.

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Oceanográfico de Venezuela de la Universidad de Oriente, por habernos facilitado las instalaciones para la realización del estudio.

REFERENCIAS

- Ahmed R.A., Jastaniah S.D., Alaidaroos B.A., Shafi M.E., El-Haroun E., Abd El-Aziz Y.M., Abd El Megeed O.H., Al-Qurashi M.M., Bahshwan S.M.A., Munir M.B., Abdul Kari Z., Mathew R.T., Eissa, M.E.H., Eissa El-S.H., Elfeky A. (2025). Effects of dietary *Spirulina platensis* supplementation on growth performance, whole body composition, antioxidant activity, histological alterations, and resistance to *Vibrio parahaemolyticus* in Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Aquac. Rep.* 40:102606. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2024.102606>
- AlFadhly N.K.Z., Alhelfi N., Altemimi A.B., Verma D.K., Cacciola F., Narayanankutty A. (2022). Trends and technological advancements in the possible food applications of Spirulina and their health benefits: A review. *Molecules* 27:558 <https://doi.org/10.3390/molecules27175584>
- Ashour M., Mabrouk M., Mansour A., Abdelhamid A., Kader M., Elokaby M., El-Nawsany M., Abdelwarith A., Younis E., Davies S., El-Haroun E., Naiel M. (2024). Impact of dietary administration of *Arthrospira platensis* free-lipid biomass on growth performance, body composition, redox status, immune responses, and related genes of Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *PLoS ONE* 19:e0300748. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0300748>
- Belay A., Kato T., Ota Y. (1996). Spirulina (*Arthrospira*): Potential application as an animal feed supplement. *J. Appl. Phycol.* 8:303–311. <https://doi.org/10.1007/BF02178573>
- Bendif E., Probert I., Schroeder D., De Vargas C. (2013). On the description of *Tisochrysis lutea* gen. nov. sp. nov. and *Isochrysis nuda* sp. nov. in the Isochrysidales, and the transfer of *Dicrateria* to the Prymnesiales (Haptophyta). *J. Appl. Phycol.* 25:1763–1776. <https://doi.org/10.1007/s10811-013-0037-0>
- Bendif E., Probert I., Hervé C., Billard C., Goux D., Lelong C., Cadoret J., Véron B. (2011). Integrative taxonomy of the Pavlovophyceae (Haptophyta): A reassessment. *Protist* 162:738–761. <https://doi.org/10.1016/j.protis.2011.05.001>

- Blackburn S., Johnston C., Frampton D. (2000). Microalgae for aquaculture, biotechnology and the environment. In: McKinnon, D., Rimmer, M., Kolkovski, S. (Eds.), Hatchery Feeds: Proceedings of a Workshop Held in Cairns, Queensland, Australia, 9–13.
- Burke M. (2000). Marine fingerling production at the Bribie Island Aquaculture Research Centre. Intensive green water culture: A historical perspective. In: McKinnon, D., Rimmer, M., Kolkovski, S. (Eds.), Hatchery Feeds: Proceedings of a Workshop Held in Cairns, Queensland, Australia, 19–21.
- Canosa L.F., Bertucci J.I. (2023). The effect of environmental stressors on growth in fish and its endocrine control. *Front. Endocrinol.* 14:1109461. <https://doi.org/10.3389/fendo.2023.1109461>
- Curbelo R., Leal S., Núñez N., González O. (2016). Sustitución del alimento artificial en el esquema alimentario de postlarvas tempranas del camarón blanco *Litopenaeus vannamei*. *REDVET Rev. Electrón. Vet.* 17(11):1–9.
- De Lara Andrade R., Castro T., Castro J., Castro G., Malpica A., García V. (2005). La importancia de *Spirulina* en la alimentación acuícola. *Contact* 57:13–16.
- Emerenciano M.G.C., Rombenso A.N., Vieira F.D.N., Martins M.A., Coman G.J., Truong H.H., Noble T.H., Simon C.J. (2022). Intensification of penaeid shrimp culture: An applied review of advances in production systems, nutrition and breeding. *Animals (Basel)*. 12(3):236. <https://doi.org/10.3390/ani12030236>
- Food and Agriculture Organization FAO. (2024). The state of world fisheries and aquaculture 2024. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/cd0683en>
- Gadelha R., Gomes de Figueiredo. (2013). Eficiência da microalga *Spirulina platensis* na alimentação do camarão *Litopenaeus vannamei*. Tesis Doctorado, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, Brasil. <http://tede.biblioteca.ufpb.br/bitstream/tede/4058/1/arquivototal.pdf>
- Gallardo P., Pedroza-Islas R., Garcia-Galano T., Pascual T., Rosal C., Sanchez A., Gaxiola G. (2002). Replacement of live food with microbound diet in feeding *Litopenaeus setiferus* (Burkenroad) larvae. *Aquac. Res.* 33:681–691. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2109.2002.00705.x>
- Gamboa-Delgado J., Morales-Navarro Y., Nieto-López M., Villarreal-Cavazos D., Cruz-Suárez L. (2019). Assimilation of dietary nitrogen supplied by fish meal and microalgal biomass from *Spirulina* (*Arthrospira platensis*) and *Nannochloropsis oculata* in shrimp *Litopenaeus vannamei* fed compound diets. *J. Appl. Phycol.* 31:2379–2389. <https://doi.org/10.1007/s10811-019-1732-2>
- Ghaeni M., Matinfar A., Soltani M., Rabbani M., Vosoughi A. (2011). Comparative effects of pure powdered *Spirulina* and other diets on larval growth and survival of green tiger shrimp, *Penaeus semisulcatus*. *Iran. J. Fish. Sci.* 10(2):208–217.
- Habib M.A.B., Parvin M., Huntington T.C., Hasan M.R. (2008). A review on culture, production and use of *Spirulina* as food for humans and feeds for domestic animals and fish. *FAO Fish. Aquac. Circ.* 1034, Rome.
- Hanel H., Broekman D., De Graaf S., Schnack D. (2007). Partial replacement of fishmeal by lyophilized powder of the microalgae *Spirulina platensis* in Pacific white shrimp diets. *Open Mar. Biol. J.* 1:1–5. <https://doi.org/10.2174/1874450800701010001>
- Hemtanon P.S., Direkbusarakom V., Bunyawiwat S., Tantitakoon O. (2005). Antiviral and antibacterial substances from *Spirulina platensis* to combat white spot syndrome virus and *Vibrio harveyi*. In: Walker, P., Lester, R., Bondad-Reantaso, M.G. (Eds.), Diseases in Asian Aquaculture 5:525–534. Fish Health Section, Asian Fisheries Society, Manila.
- Hernández C. (2011). Evaluación del crecimiento de camarón blanco del Pacífico (*Litopenaeus vannamei*) en policultivo con tilapia roja (*Oreochromis mossambicus* × *O. niloticus*) bajo un sistema de recirculación de agua. *CienciaUAT* 5(3):41–45.

- Huang X., Huang Z., Wen W., Yan J. (2013). Effects of nitrogen supplementation of the culture medium on the growth, total lipid content and fatty acid profiles of three microalgae (*Tetraselmis subcordiformis*, *Nannochloropsis oculata* and *Pavlova viridis*). *J. Appl. Phycol.* 25:129–137. <https://doi.org/10.1007/s10811-012-9846-9>
- Huang C., Luo Y., Zeng G., Zhang P., Peng R., Jiang X., Jiang M. (2022). Effect of adding microalgae to whiteleg shrimp culture on water quality, shrimp development and yield. *Aquac. Rep.* 22:100916. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100916>
- Jaime-Ceballos B., Villarreal H., García T., Pérez-Jar L., Alfonso E. (2005). Effect of *Spirulina platensis* meal as feed additive on growth, survival and development in *Litopenaeus schmitti* shrimp larvae. *Rev. Invest. Mar.* 26(3):235–241.
- James R., Sampath K., Thangarathinam R., Vasudevan I. (2006). Effects of dietary Spirulina level on growth, fertility, coloration and leucocyte count in red swordtail, *Xiphophorus helleri*. *Isr. J. Aquac. - Bamidgeh* 58(2):97–104. <https://doi.org/10.46989/001c.20433>
- Jiang L., Pei H., Hu W., Ji Y., Han L., Ma G. (2015). The feasibility of using complex wastewater from a monosodium glutamate factory to cultivate *Spirulina subsalsa* and accumulate biochemical composition. *Bioresour. Technol.* 180:304–310. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.01.019>
- Ju Z., Forster P., Dominy W. (2009). Effects of supplementing two species of marine algae or their fractions to a formulated diet on growth, survival and composition of shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Aquaculture* 292:237–243. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2009.04.040>
- Kang B., Sultana Z., Zhang G., Chen H.Y., Wilder M. (2018). Gene structure and expression analyses of multiple vitellogenesis-inhibiting hormones in the whiteleg shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Fish. Sci.* 84:649–662. <https://doi.org/10.1007/s12562-018-1212-7>
- Kilkenny, C., Browne, W., Cuthill, IC, Emerson, M. y Altman, DG (2010), Investigación con animales: Informe de experimentos in vivo : Las directrices ARRIVE. *British Journal of Pharmacology*, 160: 1577-1579. <https://doi.org/10.1111/j.1476-5381.2010.00872.x>
- Khoeyi Z., Seyfabadi J., Ramezanzpour Z. (2012). Effect of light intensity and photoperiod on biomass and fatty acid composition of the microalga *Chlorella vulgaris*. *Aquac. Int.* 20:41–49. <https://doi.org/10.1007/s10499-011-9440-1>
- Kohal M., Fereidouni A., Firouzbakhsh F., Hayati I. (2018). Effects of dietary incorporation of *Arthrospira* (*Spirulina*) *platensis* meal on growth, survival, body composition, and reproductive performance of red cherry shrimp *Neocaridina davidi* (Crustacea, Atyidae) over successive spawnings. *J. Appl. Phycol.* 30:431–443. <https://doi.org/10.1007/s10811-017-1220-5>
- Li L., Liu H., Zhang P. (2022). Effect of Spirulina meal supplementation on growth performance and feed utilization in fish and shrimp: A meta-analysis. *Aquac. Nutr.* 2022:8517733. <https://doi.org/10.1155/2022/8517733>
- Macias-Sancho J., Poersch L.H., Bauer W., Romano L.A., Wasielesky W., Tesser M.B. (2014). Fishmeal substitution with *Arthrospira* (*Spirulina platensis*) in a practical diet for *Litopenaeus vannamei*: Effects on growth and immunological parameters. *Aquaculture*.426–427:120–125. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.01.028>
- Membreño L. (2014). Crecimiento de camarones blancos *Litopenaeus vannamei* juveniles con dos tipos de alimentos: uno comercial con 25% de proteína vs experimental con 18% de proteína a densidad de siembra de 12 ind/m² (sistema semi-intensivo). *Rev. Cient. UNAM-León* 5(2):103–115.
- Narciso L. (1995). The influence of the diet on the growth and survival of *Penaeus kerathurus* larvae. In: Lavens, P., Jasper, E., Roelants, I. (Eds.), *Fish and Shellfish Larviculture Symposium. Larvi'95*. Ghent University, Belgium, 420–425.

- Núñez M., Lodeiros C., De Donato M., Graziani C. (2002). Evaluation of microalgae diets for *Litopenaeus vannamei* larvae using a simple protocol. *Aquac. Int.* 10:177–187. <https://doi.org/10.1023/A:1022102032684>
- Patnaik, S., Samocha, T.M., Davis, D.A., Bullis, R.A., Browdy, C.L. (2006). The use of HUFA-rich algal meals in diets for *Litopenaeus vannamei*. *Aquac. Nutr.* 12(5):395–401.
- Pistelli L., Del Mondo A., Smerilli A., Corato F., Sansone C., Brunet C. (2023). Biotechnological response curve of the cyanobacterium *Spirulina subsalsa* to light energy gradient. *Biotechnol. Biofuels Bioprod.* 16(1):28. <https://doi.org/10.1186/s13068-023-02277-4>
- R Core Team. (2024). R: A language and environment for statistical computing (version 4.4.2). R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Radhakrishnan S., Saravana Bhavan P., Seenivasan C., Shanthi R., Muralisankar T. (2014). Replacement of fishmeal with *Spirulina platensis*, *Chlorella vulgaris* and *Azolla pinnata* on non-enzymatic and enzymatic antioxidant activities of *Macrobrachium rosenbergii*. *J. Basic Appl. Zool.* 67:25–33. <https://doi.org/10.1016/j.jobaz.2013.12.003>
- Rodríguez-Martínez J.M. (2019). Evaluación de la cepa nativa de *Spirulina subsalsa* como enriquecedor en la dieta del camarón blanco *Litopenaeus vannamei*. Tesis de pregrado, Universidad de Oriente, Maturín, Venezuela.
- Sandeep K.P., Sivaramakrishnan T., Sudhin S., Raymond J.A.J., Sudheer N.S., Raja R.A., Ambasankar K. (2023). Influence of dietary microalgal concentrates on growth, survival and health status of *Penaeus vannamei*. *Aquac. Int.* 31(5):2883–2903. <https://doi.org/10.1007/s10499-023-01114-7>
- Senanan W., Panutrakul S., Barnette P., Chavanich S., Mantachitr V., Tangkrock-Olan N., Viyakarn V. (2009). Preliminary risk assessment of Pacific whiteleg shrimp (*P. vannamei*) introduced to Thailand for aquaculture. *Aquac. Asia Mag.* 14:28–32.
- Sokal R., Rohlf F. (1995). Biometry (3rd ed.). W. Freeman, New York, USA.
- Sundarraj D., Karuppaiya N., Nagarajan K., Ayyanar S., Selvakumaran J., Meril D., Moorthy K., Selvaraju A., Shanmugam G., Piliyan R., Perumal S., Pachiappan P. (2023). Evaluation of suitability of P-deficient medium-cultured microalga and copepod as an alternative live feed for Pacific whiteleg shrimp *Penaeus vannamei* post-larvae. *Biomass Convers. Biorefin.* 1–15. <https://doi.org/10.1007/s13399-023-03887-6>
- Takeuchi T., Lu J., Yoshizaki G., Satoh S. (2002). Effect on the growth and body composition of juvenile tilapia *Oreochromis niloticus* fed raw *Spirulina platensis*. *Fish. Sci.* 68:34–40. <https://doi.org/10.1046/j.1444-2906.2002.00386.x>
- Talavera V., Sánchez D., Zapata M. (1997). Tasa o factor de conversión alimenticia en el cultivo de camarón. *Bol. Nicovita* 2(3). Argentina.
- Vigliano Relva J., Van Colen C., Barhdadi W., Daly A.J., De Troch M. (2024). Temperature increase alters relative fatty acid composition and has negative effects on reproductive output of the benthic copepod *Tachidius discipes* (Copepoda: Harpacticoida). *Mar. Biol.* 171(1):22. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2858869/v1>
- Zhang L., Liao K., Shi P., Guo J., Xie F., Xu J. (2025). Dietary inclusion of microalgae meal for Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*): Effects on growth performance, flesh quality, and immunity. *Anim. Feed Sci. Technol.* 320:116205. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2024.116205>

