

Efecto de la procedencia de *Macrobrachium tenellum* (Decapoda: Palaemonidae) sobre su crecimiento, sobrevivencia y actividad digestiva

Effect of *Macrobrachium tenellum* (Decapoda: Palaemonidae) provenance on their growth, survival and digestive activity

¹Rodolfo Benigno De los Santos Romero^{ID}, ¹María Isabel Pérez-León^{ID}, ¹Judith Ruiz Luna^{ID}, ²Marcelo García Guerrero^{ID}, ¹Damariz de la Cruz Cisneros^{ID}, ^{1§}Nathali Martínez Salazar^{ID}

¹Tecnológico Nacional de México. Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca (Itvo). Santa Cruz Xoxocotlán-Oaxaca. México. ²Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (Ciidir), Unidad Oaxaca. Santa Cruz Xoxocotlán-Oaxaca. México. [§]Autor de correspondencia: (nathali.ms@voaxaca.tecnm.mx).

Resumen

El langostino *Macrobrachium tenellum* (Smith 1871) es fuente de alimento para las comunidades costeras de México. En el Pacífico mexicano sus poblaciones se distribuyen en lagunas costeras, estuarios y ríos. Recientemente se ha generado información sobre propuestas alimenticias para el langostino *M. tenellum* en condiciones de cultivo, pero es necesario entender la maquinaria digestiva. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de las procedencias de colecta de juveniles de langostinos en parámetros productivos y actividad enzimática. Entre febrero y marzo del 2024 langostinos juveniles fueron recolectados en río, laguna y estuario de la cuenca de Colotepec. Se estableció un experimento bajo un diseño completamente aleatorizado con un arreglo factorial 3×3 , proporcionándoles tres dietas. Los parámetros fueron registrados cada 15 días durante dos meses y la actividad enzimática fue determinada mediante técnicas espectrofotométricas de microplaca. Los datos se analizaron mediante un análisis de varianza y prueba de medias de Tukey. Se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) sobre el crecimiento y sobrevivencia, siendo los organismos del río quienes presentaron los mayores valores. Las lipasas, tripsina y leucina aminopeptidasa presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$) en cuanto al origen de los organismos y el tiempo de cultivo.

Palabras clave: actividad digestiva, acuacultura, dietas, langostino.

Abstract

The prawn *Macrobrachium tenellum* (Smith 1871) is a food source for coastal communities in Mexico. In the Mexican Pacific its populations are distributed in coastal lagoons, estuaries and rivers. Recently, information has been generated on dietary proposals for the prawn *M. tenellum* under culture conditions, but it is necessary to understand the digestive machinery. The objective of this work was to evaluate the effect of juvenile shrimp collection origins on productive parameters and enzymatic activity. Between february and march 2024 juvenile prawns were collected in river, lagoon and estuary of the Colotepec basin. An experiment was established under a completely randomized design with a 3×3 factorial arrangement, providing them with three diets. The parameters were recorded every 15 days for two months and enzyme activity was determined by microplate spectrophotometric techniques. Data were analyzed by analysis of variance and Tukey's mean test. Significant differences ($p < 0.05$) were found for growth and survival, with the river organisms having the highest values. Lipases, trypsin and leucine aminopeptidase showed significant differences ($p < 0.05$) in terms of the origin of the organisms and culture time.

Index words: digestive activity, aquaculture, diets, prawn.

Introducción

La demanda de alimento ante el crecimiento de la población humana ha colocado a la acuacultura como una actividad productiva viable económica y socialmente. Sin embargo, se prefiere el cultivo de especies exóticas debido a sus características biológicas, provocando pocas opciones de cultivo para las poblaciones nativas (García-Guerrero et al., 2013). En la vertiente del Pacífico mexicano *Macrobrachium tenellum* es una especie de langostino de agua dulce que se distribuye en ríos, estuarios y lagunas costeras dependiendo de su ciclo de vida. Durante su migración entre tales ecosistemas experimenta una serie de adaptaciones a diferentes dietas, suplementos alimenticios y parámetros fisicoquímicos (Peña-Almaraz et al., 2024).

En la actualidad los langostinos tienen importancia alimenticia y económica para las comunidades donde se distribuyen, las cuales lo pescan para su consumo alimenticio, obtención de proteína a bajo costo e ingreso económico, tales actividades locales no son reguladas, además la pérdida de su hábitat genera una disminución en sus poblaciones (García-Guerrero et al., 2013). Una opción para revertir este problema es el cultivo en cautiverio para la producción y comercialización, así como la reintroducción de organismos a sus ambientes de origen para su futura pesquería. El problema para lograr lo anterior radica en el poco conocimiento que se tiene acerca de la reproducción y sobre todo de la alimentación de *M. tenellum* (De los Santos-Romero et al., 2021), lo que dificulta alcanzar dietas adecuadas para su cultivo y para prepararlos para su reincorporación al medio silvestre.

Los camarones de agua dulce son carnívoros, omnívoros y carroñeros (Linton et al., 2014). De acuerdo a De los Santos-Romero et al. (2020) estos organismos pueden ajustar su batería enzimática, esto les permite aprovechar los diferentes componentes alimenticios que

encuentra en la naturaleza. El conocimiento de estos cambios fisiológicos y la adaptación a diferentes componentes de alimento permitiría formular dietas que se acerquen a sus necesidades fisiológicas para poder llevarlo a cultivo. La composición de la dieta y su palatabilidad influyen directamente en la capacidad de los langostinos para aprovechar los nutrientes (Amaya et al., 2007; Méndez-Martínez et al., 2022).

Lima et al. (2014) mencionan que la actividad digestiva de los langostinos es determinada por su dieta más que por su filogenia, al existir una relación entre la dieta y la digestibilidad, indicando que las especies carnívoras presentan mayor cantidad de proteasas y las omnívoras muestran mayor nivel de amilasas. Las investigaciones realizadas en organismos cultivados y con organismos extraídos de su medio silvestre, sugieren que la migración de un sistema acuático natural a uno en cautiverio provoca cambios en la actividad digestiva, lo que influye en su sobrevivencia y crecimiento (Badillo-Zapata et al., 2023). Manríquez-Santos et al. (2018) y Fernández-Giménez et al. (2013) mencionan que la actividad de glándulas y enzimas ha sido estudiada por su importancia como auxiliares en la transformación del alimento para lograr mejores tasas de crecimiento y disminuir costos de alimentación durante el cultivo de langostinos de importancia acuícola.

La mayoría de estudios enfocados a determinar la actividad de enzimas digestivas se realizan con organismos en condiciones de laboratorio, controlando, estrategias de alimentación, ritmos circadianos, fotoperiodos y alimentos disponibles (Espinosa-Chaurand et al., 2017). Pero no se tiene claro que sucede con organismos procedentes de medios silvestres o más aún, con organismos alimentados en cautiverio y que tienen como propósito ser reincorporados a su hábitat natural. Por lo cual se han realizado estudios que presentan la actividad enzimática de algunos crustáceos en su medio silvestre (Gutiérrez-Méndez et al., 2024; Hernández-Hernández et al., 2024), presentando diferencias en sus resultados en relación a la

actividad de las enzimas según los alimentos disponibles.

De los Santos-Romero et al. (2022) indican que la actividad digestiva en langostinos provenientes de diferentes hábitats proporciona información para comprender sus capacidades alimenticias, esto ayuda a proponer dietas formuladas acordes con sus requerimientos nutricionales. Lo anterior es de suma importancia en la acuacultura debido a que más del 50 % de los costos de producción son destinados a la alimentación, de ahí la importancia de la formulación de dietas nutritivas a bajo costo. La presente investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de la procedencia de *M. tenellum* (río, estuario y laguna) sobre su sobrevivencia, crecimiento y actividad digestiva a partir de tres dietas relacionadas con su ambiente de recolecta.

Materiales y métodos

Colecta

La colecta de *M. tenellum* se realizó en tres ecosistemas acuáticos de la cuenca del Río Colotepec (Oaxaca, México): laguna costera de los Naranjos ($15^{\circ}48'19.41''N$; $97^{\circ}00'3.94''O$), río de Colotepec ($15^{\circ}50'5.10''N$; $97^{\circ}01'38.15''O$) y estuario ($15^{\circ}48'44.04''N$; $97^{\circ}01'32.06''O$). Entre febrero y marzo del 2024 se colectaron aproximadamente 200 juveniles de *M. tenellum* con un peso medio de 0.2 g. Diez ejemplares de cada ambiente fueron separados y congelados a $-70^{\circ}C$ en un contenedor con nitrógeno líquido hasta su análisis de actividad enzimática. El resto se mantuvieron vivos y se transportaron al área de cultivo en contenedores de 200 L con suministro continuo de oxígeno mediante una bomba de aire (Elite 802).

Aclimatación

En el laboratorio los langostinos fueron recibidos y separados por ambiente de procedencia en tres tanques de 200 L de agua dulce con oxigenación constante y una temperatura de $27^{\circ}C$. Fueron alimentados una vez al día con pellets para camarón (camaronina 45 % proteína).

Transcurridos 15 días se tomaron cinco ejemplares de cada tanque, se colocaron en un tubo Falcon (15 mL) y se ultracongelaron a $-80^{\circ}C$ hasta su posterior análisis de actividad enzimática.

Elaboración de dietas

Se prepararon tres dietas para alimentar a los langostinos de cada uno de los ambientes de procedencia: la dieta uno (D1) y dieta tres (D3) harina de maíz (Maseca, Gruma, Nuevo León, México), harina de soya (Campo fresco, Irapuato, México), harina de *Azolla* sp. (Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca, [Itvo, 2025]) y como fuente proteica principal para D1 harina de pescado (Poeciliidae) y para D3 alga espirulina liofilizada (tree essentials, GNC, Pensilvania Estados Unidos). Todos los ingredientes se homogenizaron (mezclador Oster 2353-I3) y tamizaron a 800 micrómetros (tamiz JMR No. 20 acero inoxidable), la mezcla se peletizó a un tamaño de 1 mm (peletizador manual de banco Romel mod 4025) agregando agua purificada al 2 % para integrar la mezcla, el pellet se deshidrató en secadores de aire ascendente, se almacenó en contenedores de vidrio y se conservó a $4^{\circ}C$. La dieta dos (D2) fue alimento comercial para camarón (camaronina Purina). Cada 15 días se prepararon 50 g de alimento de la D1 y D3 para evitar su oxidación.

Diseño experimental

Se estableció un diseño experimental completamente aleatorio (DCA) con un arreglo factorial 3×3 . Los factores del arreglo fueron el ambiente de procedencia con tres niveles (río, estuario y laguna) y la dieta también con tres niveles (alimento comercial “camaronina”, alimento con harina de pescado y alimento con espirulina). A partir del arreglo se establecieron nueve tratamientos: RD1 (río/harina de pescado), RD2 (río/camaronina), RD3 (río/espirulina), LD1 (laguna/harina de pescado), LD2 (laguna/camaronina), LD3 (laguna/espirulina), ED1 (estuario/harina de pescado), ED2 (estuario/camaronina), ED3 (estuario/espirulina). Se establecieron tres réplicas por cada tratamiento,

teniendo un total de 27 unidades experimentales. Cada unidad constó de un tanque rectangular de 50 L con 15 langostinos cada una, la oxigenación se mantuvo a saturación (bomba Elite 802), el fotoperiodo a un intervalo 12:12, la temperatura se mantuvo a 27 °C (calentador Aquakrill 4154) y el recambio de agua (50 %) se realizó dos veces a la semana. Se suministró alimento una vez al día (10 % de biomasa) a las 14:00 h durante un periodo de 60 días. Al día 1 y 30 del experimento se retiraron tres organismos de cada unidad experimental y en el día 60 todos los organismos fueron retirados; en todos los casos se realizó la biometría a los organismos, se registró la sobrevivencia y se sacrificaron por choque térmico gradual, inmediatamente fueron congelados a -80 °C hasta su análisis enzimático. El conjunto de langostinos congelados directamente del medio silvestre se consideró como colecta y los organismos congelados el día uno se les consideró como siembra.

Actividad enzimática

Las muestras congeladas se mantuvieron en nitrógeno líquido, posteriormente todos los organismos fueron pesados (balanza Ohaus 0.0001 g), se les retiró el exoesqueleto realizando un corte longitudinal para disecar el hepatopáncreas y los intestinos. Las muestras digestivas se pesaron, se agregó agua bidestilada (peso-volumen 1:10) y se homogeneizaron durante 2 minutos (homogeneizador Ultra Turrax IKA T18). El homogeneizado se centrifugó durante 15 minutos a 14.000 rpm a 4 °C. Luego, se prepararon alícuotas de 200 µL y se mantuvieron a -80 °C hasta el análisis.

La cantidad de proteína soluble se analizó mediante el método de Bradford (1976) con albúmina de suero bovino como estándar. Para la actividad de proteasas alcalinas totales, se usó caseína al 0.5 % en tampón Tris HCl 100 mM + CaCl₂ 10 mM a pH 9 como sustrato. La actividad de la tripsina se midió usando BAPNA (N-succinil-Ala-Pro-Phe p-nitroanilida) como sustrato en Tris-HCl 100 mM, CaCl₂ 10 mM, a

pH 8, según Erlanger et al. (1961). La leucina aminopeptidasa se determinó con el método de Maraux et al. (1973) usando p-nitroanilida de L-leucina 1 mM como sustrato en fosfato de sodio 50 mM, pH 7.2. La actividad de la lipasa se cuantificó usando acetato de 2-naftilo (200 mM) como sustrato en Tris-HCl 50 mM, pH 7.2 y taurocolato de sodio (100 mM) según el método de Versaw et al. (1989).

La actividad enzimática total U (mg mL⁻¹) se calculó mediante la ecuación I:

$$U = \frac{\Delta_{abs} \cdot V_t}{CEM \cdot t \cdot V_{ext} \cdot d} \quad \text{Eq. I}$$

Donde: Δ_{abs} = absorbancia; V_t = volumen total de la reacción (µL); V_{ext} = volumen del extracto de enzima utilizado (µL); CEM = coeficiente de extinción molar; t = tiempo de incubación en minutos; d = dilución utilizada. La actividad específica (U mg⁻¹ de proteína) se calculó dividiendo la actividad total (U µL⁻¹) por los mg de proteína soluble en el extracto enzimático.

Análisis estadísticos

Para verificar la distribución normal en los datos se realizó la prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov ($\alpha = 0.05$). Se realizó un análisis de la varianza (ANOVA) de dos vías mediante el Modelo Lineal General (GLM) para determinar el efecto de cada uno de los factores sobre el crecimiento, sobrevivencia y actividad enzimática de *M. tenellum*. Se aplicaron análisis de medias Tukey ($\alpha = 0.05$) para diferenciar tratamientos.

Se utilizó la prueba de análisis de permutación PERMANOVA para estimar la respuesta simultánea de las dos variables. Y el análisis de correspondencia para establecer la relación de dependencia entre las variables del factor ambiente de procedencias y la respuesta enzimática de *M. tenellum*.

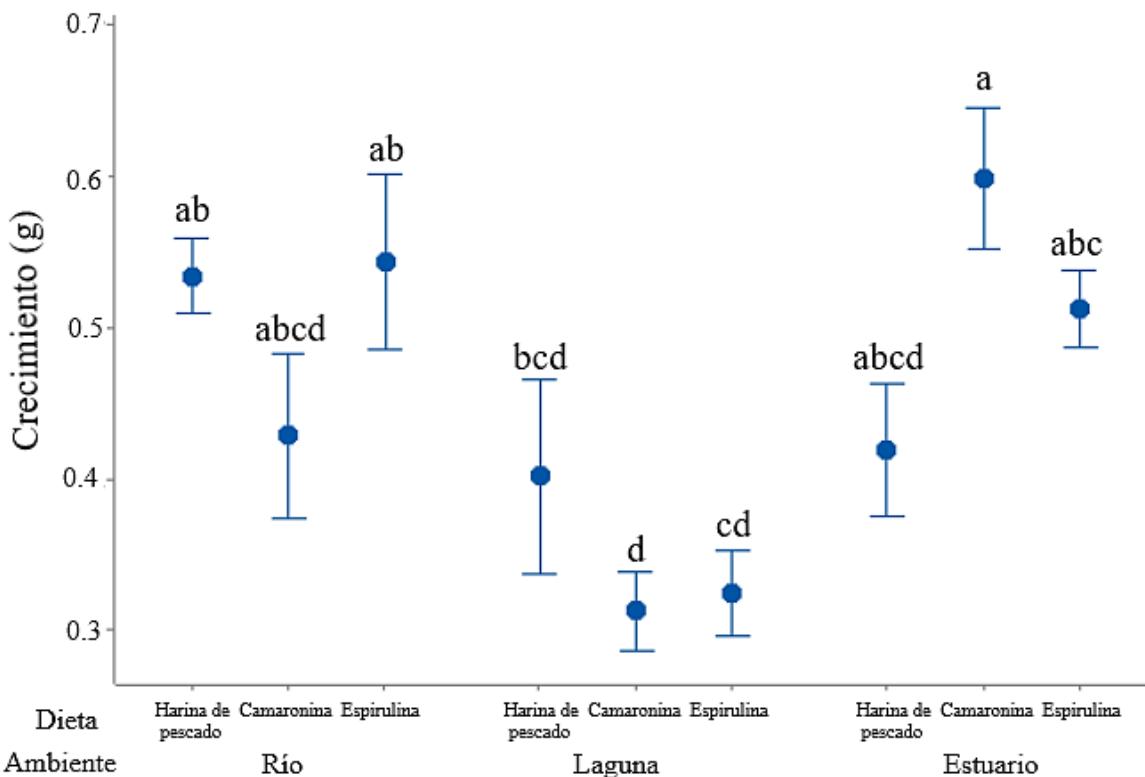


Figura 1. Peso promedio de *Macrobrachium tenellum* procedentes de diferentes ambientes, cultivados en el laboratorio y alimentados con diferentes dietas. Letras diferentes en los valores medios representan diferencias estadísticas (Tukey, $\alpha \leq 0.05$)

Resultados

En el presente trabajo, se observó que los langostinos provenientes del río y del estuario independientemente de la dieta empleada durante su cultivo, mostraron un mayor crecimiento en peso ($p = 0.0001$), en cuanto al efecto combinado del ambiente de procedencia y dieta empleada en su cultivo (Fig.1). En la Tabla I se observaron diferencias en el crecimiento en peso principalmente cuando se vinculan con el ambiente río y estuario ($p = 0.0001$).

Los organismos provenientes del estuario y río presentaron los mejores porcentajes de sobrevivencia (62.2 % y 61.4 % respectivamente), mientras que los organismos alimentados con una dieta a base de espirulina presentaron la mayor sobrevivencia con un 71.8 %, la menor sobrevivencia (45.9 %) se dio con langostinos

alimentados con camaronina. En la Figura 2 se observa en un análisis combinado, que los organismos alimentados con una dieta a base de espirulina y procedentes del río y estuario son los tratamientos con las mayores sobrevivencias ($p = 0.001$).

El efecto combinado del ambiente de procedencia y la dieta de cultivo sobre la actividad enzimática se presenta en la Tabla I, donde el efecto dieta y el efecto interacción presentaron diferencias significativas (Permanova, $p = 0.001$). La Figura 3 muestra el efecto interacción de la actividad de tripsina, leucina aminopeptidasas y lipasas, se observa para las tres enzimas mayor actividad en los langostinos provenientes del ambiente río y alimentados durante su cultivo con dieta a base de harina de pescado y dieta a base de espirulina.

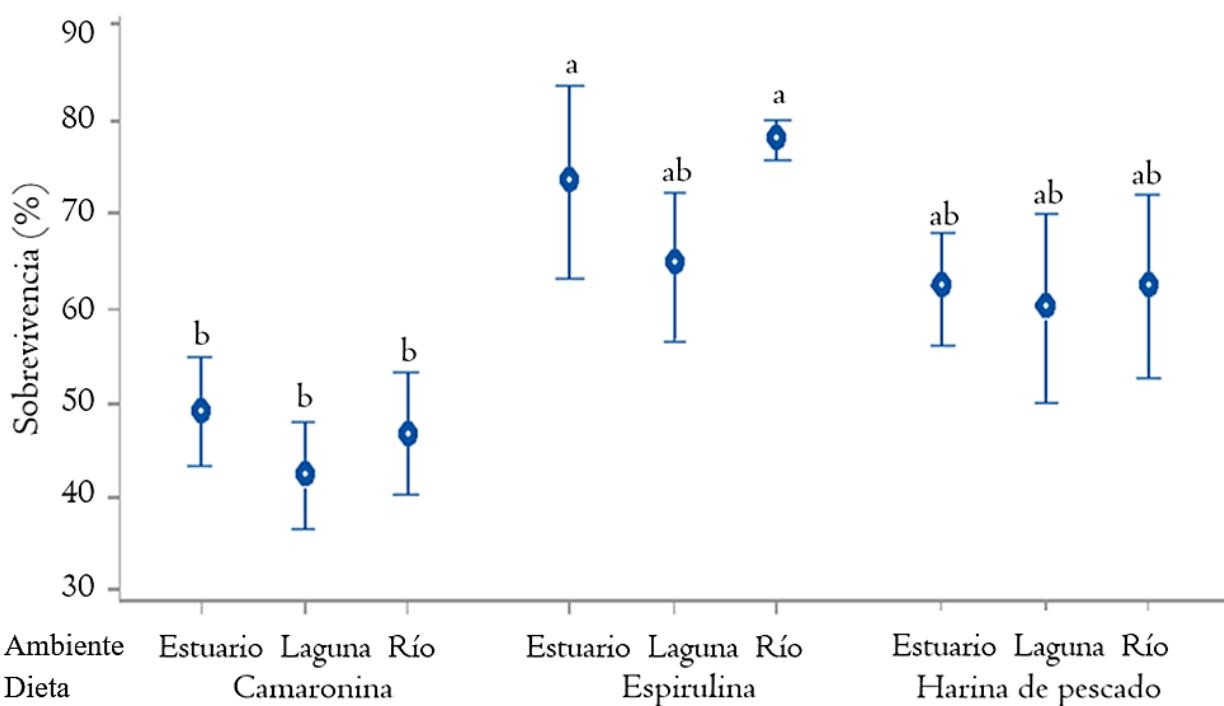


Figura 2. Sobrevida promedio de *Macrobrachium tenellum* procedentes de diferentes ambientes y alimentados con diferentes dietas durante su cultivo. Letras diferentes en los valores medios representan diferencias estadísticas (Tukey, $\alpha \leq 0.05$).

Tabla I. Análisis PERMANOVA dos vías, efecto combinado sobre la actividad enzimática de *Macrobrachium tenellum* colectados en diferentes hábitats y cultivados con tres dietas experimentales.

Fuente	SC	GL	CM	<i>p</i>
Ambiente (A)	7006.7	2	3503.3	0.6715
Dieta (D)	1.8891×10^5	4	47227.0	0.0005
A×D	7.7913×10^5	8	97391.0	0.0001
Total	1.6097×10^6	89		

Permutaciones N: 9999, SC = suma de cuadrados; GL = grados de libertad; CM = cuadrados medios; *p* = probabilidad.

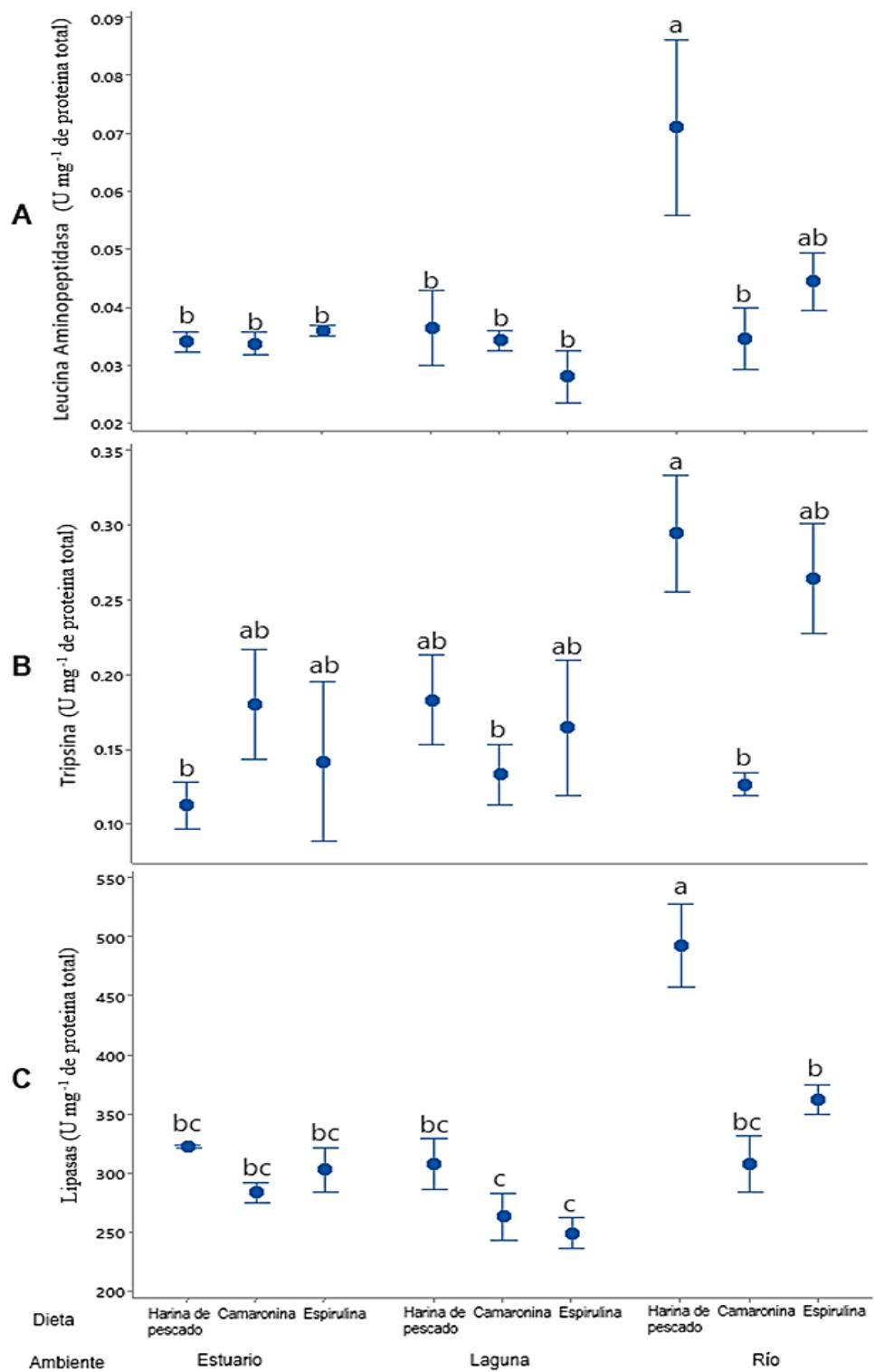


Figura 3. Efecto de la interacción ambiente de procedencia y dieta de cultivo en la actividad de las enzimas digestivas: (A) tripsina, (B) leucina aminopeptidasa y (C) lipasas. Letras diferentes en los valores medios representan diferencias estadísticas (*Tukey*, $\alpha \leq 0.05$).

Discusión

La validación de dietas dentro de un cultivo es necesario para establecer si las necesidades nutricionales de los crustáceos han sido cubiertas, por lo que comparar las variaciones en la actividad enzimática digestiva de los organismos en condiciones silvestres en contraste con aquellos que son sometidos a un cultivo permite reconocer la aceptación de un alimento (Pérez-Chabola et al., 2020; Méndez-Martínez et al., 2022). Lima et al. (2014), Stumpf et al. (2020) y De los Santos-Romero et al. (2022) establecen que en los langostinos dulceacuícolas del género *Macrobrachium*, dicha actividad depende principalmente de la dieta que tienen en su medio silvestre.

Reconocer una dieta que permita establecer una relación entre el crecimiento y actividad enzimática de los langostinos silvestres es necesaria para determinar los hábitos y necesidades alimenticias para estos organismos que tienen potencial para su cultivo; De Los Santos-Romero et al. (2020) analizaron langostinos silvestres (*M. tenellum*) de tres hábitats costeros diferentes estableciendo que los organismos con más edad presentaron las diferencias más significativas en cuanto al crecimiento y actividad enzimática, estos sugiere que, los langostinos tienen diferentes hábitos alimentarios conforme crecen, quizás debido a la habilidad para capturar alimentos con distinta composición nutricional.

Los langostinos con mayor sobrevivencia fueron los alimentados con la dieta de espirulina con un 78.1 %. Cortés-Jacinto et al. (2003) y Espinosa-Chaurand et al. (2019) indican que los mejores rendimientos de supervivencia, crecimiento y biomasa se dan en langostinos juveniles alimentados con dietas contenido el 40 % de proteína cruda. Las dietas suministradas contenían el 35 % de proteína, lo que hace suponer, que en organismos juveniles las enzimas degradadoras de proteínas tienen grandes niveles de secreción.

La espirulina contiene proteína vegetal, celulosa y lípidos lo que favorece la sobrevivencia y

crecimiento de los organismos en cautiverio (Rahim et al., 2021) los langostinos del río y del estuario tienen mayor acceso a proteínas vegetales que a proteínas animales, favoreciendo la aceptación de la dieta a base de espirulina. Los resultados del presente trabajo concuerdan con Rahim et al. (2021) quienes reportan mejores tasas de longitud, alimentación, peso, y tasas metabólicas en poslarvas de *M. rosenbergii* alimentadas con una dieta de *Chlorella vulgaris* la cual contenía 50 % de *C. vulgaris* y 50 % de harina de pescado. La posibilidad de sustituir la harina de pescado con una harina vegetal como la espirulina permite mejorar la eficiencia de los recursos económicos para la acuacultura comercial y de repoblamiento.

Los langostinos provenientes del río y el estuario, presentaron mayor crecimiento al ser alimentados con dietas a base de harina de pescado y espirulina. Los resultados concuerdan con Mustafa et al. (1995) quienes concluyen, que el aumento de algas en la dieta como la espirulina contribuye a un aumento en la asimilación de proteínas y la utilización de alimentos.

De los Santos-Romero et al. (2020) establecieron el comportamiento enzimático de *M. tenellum* en condiciones silvestres y cautiverio para tres ecosistemas acuáticos. Sus resultados indican que los langostinos cultivados mostraron menor actividad enzimática que los silvestres. Contrario a los presentes resultados en donde la actividad enzimática de los langostinos cultivados presentó una resiliencia significativa con el paso del tiempo. Al día 60 de cultivo los $U \text{ mg}^{-1}$ de tripsina, lipasas y leucina aminopeptidasa presentan diferencias significativas en relación a la actividad presentada durante la colecta y la siembra. El tiempo de cultivo del experimento fue de 60, días mayor a lo presentado por De los Santos-Romero et al. (2022) con un periodo de 30 días, lo que evidencia, que la intensidad de la actividad enzimática incrementa (se recupera) significativamente ($p < 0.05$) en función del tiempo.

Los langostinos ajustan su maquinaria enzimática a diferentes tipos de alimentos y bajo

diferentes requisitos (De los Santos-Romero et al., 2020), como estrategia para la obtención de energía y ahorro de la misma. La actividad enzimática con relación al tipo de alimento suministrado muestra que la acción de las proteasas es una compensación al tipo y calidad de la dieta (Alexandre et al., 2014).

En condiciones de cultivo, a mayor actividad de tripsinógenos mayor es la presencia de $U\ mg^{-1}$ de leucina aminopeptidasa y lipasas. La actividad enzimática de los langostinos de río alimentados con harina de pescado y espirulina presentaron diferencias significativas con respecto a los langostinos de laguna y estuario. Los resultados de este estudio sugieren que los langostinos de río presentan mayor eficiencia en la digestión del alimento, posiblemente causado por la similitud en la digestibilidad de la proteína animal y vegetal utilizados en las dietas propuestas, similar a la que encuentra en su medio silvestre.

Alexandre et al. (2014) mencionan en relación a las proteínas de origen animal, que la variación en la actividad de las proteasas posiblemente son respuesta la calidad y cantidad de insumos proteicos utilizados. Las proteínas en la dieta pueden estimular el incremento o decremento en la actividad de las unidades enzimáticas producidas en la glándula digestiva (Rojo-Arreola et al., 2019). Desde los trabajos de Cortés-Jacinto et al. (2003) se ha reconocido la importancia de determinar la capacidad de digestión de proteínas de diferentes ingredientes que son utilizados en la alimentación de crustáceos omnívoros para lograr el equilibrio de la dieta, tal es el caso de *M. tenellum*.

Lancia et al. (2012) sugieren que el consumo de diferentes dietas requiere de un proceso digestivo diferente. Sin embargo, la actividad enzimática no solo se relaciona con los alimentos disponibles sino también a la capacidad de satisfacer las necesidades nutricionales del organismo mediante la digestión de los componentes de la dieta y asimilación de los nutrientes (Ceballos et al., 2006; Musin et al., 2018). Se observó que la adaptación a la dieta los langostinos asimilan mejor los componentes

alimenticios, lo cual favorece la sobrevivencia y el crecimiento de los organismos.

La relación entre la dieta ingerida y el hábitat de origen también provocó diferencias significativas en el presente trabajo, el crecimiento y la sobrevivencia presentaron relación con el régimen alimentario (Vargas-Ceballos et al., 2020). No obstante, Manríquez-Santos et al. (2018) y Vargas-Ceballos et al. (2024), es fundamental comprender que son muchos los factores que influyen en la supervivencia, y el crecimiento, y no solo la dieta.

Los trabajos concernientes a establecer el papel de la fisiología digestiva son importantes para reconocer las necesidades de alimentación en un organismo (Hernández-Hernández et al., 2024) y sobre todo su respuesta digestiva (Da Silva et al., 2016; De los Santos-Romero et al., 2021; Badillo-Zapata et al., 2023) de los langostinos, así como de otros crustáceos. Coinciendo con Cortés-Jacinto et al. (2004), la formulación de la dieta debe incluir los mejores ingredientes digestibles. La identificación y caracterización de la actividad enzimática digestiva a diferentes regímenes alimentarios y de cultivo, ayuda a comprender los procesos digestivos y es una herramienta útil para formular dietas equilibradas.

Conclusiones

Los langostinos provenientes del río y del estuario son la mejor opción para llevar a cultivo porque asimilan mejor las dietas y presentan mayor sobrevivencia comparados con los langostinos de laguna. La dieta a base de espirulina dio mejores resultados que la de harina de pescado y camaronina. Esto es bueno debido a que la alimentación a base de harinas vegetales generaría menos costos de producción en el cultivo acuícola. Con respecto a la actividad enzimática, aunque disminuye en los primeros treinta días vuelve a remontar superando las expresiones iniciales. Esto confirma que los langostinos pueden adaptar su batería enzimática para asimilar mejor los nutrientes de las dietas proporcionadas. Se necesitan más estudios que permitan comprender

los mecanismos que afectan que los langostinos en cultivo, crezcan mejor con una dieta que con otra y lo que sucedería si se mantienen más tiempo en cultivo.

Agradecimientos

NMS agradece el apoyo de la SECIHTI (antes CONAHCyT) por el apoyo posdoctoral para realizar el presente proyecto. RBSR, JRL y MIPL agradecen al TecNM por el financiamiento al proyecto número 19888.24-P. RBSR agradece al TecNM por el apoyo de año sabático para elaborar el presente artículo. MGG agradece al IPN.

Referencias

- Alexandre, D., Ozorio, R.A., Derner, R.B., Fracalossi, D.M., Oliveira, G.B., Samuels R.I. & Silva, C.P. (2014). Spatial distribution of digestive proteinases in the midgut of the Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) indicates the existence of endoectoperitrophic circulation in Crustacea. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B*, 172, 90–95. [10.1016/j.cbpb.2014.04.010](https://doi.org/10.1016/j.cbpb.2014.04.010)
- Amaya, E., Davis, A. & Rouse D. (2007). Replacement of fish meal in practical diets for the Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) reared under pond conditions. *Aquaculture*, 262, 393-401. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.11.015>
- Badillo-Zapata, D., Vega-Villasante, F., Nolasco-Soria, H., López-Acuña, L., Vargas-Ceballos, M., & Barreto-Curiel, F. (2023). Replacement of fishmeal by hydrolyzed feather meal in diets of juvenile *Macrobrachium tenellum* (river prawns) and its effect on muscle fatty acids. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 51(5), 703-716. <http://dx.doi.org/10.3856/vol51-issue5-fulltext-3030>
- Bradford, M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, 72: 248–254.

[https://doi.org/10.1016/0003-2697\(76\)90527-3](https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3)

Ceballos, J.B., Hernández-Llamas, A., García-Galano, T. & Villarreal, H. (2006). Substitution of *Chaetoceros muelleri* by *Spirulina platensis* meal in diets for *Litopenaeus schmitti* larvae. *Aquaculture*, 260, 215–220.

<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.06.002>

Cortés-Jacinto, E., Villarreal, H., Civera-Cerecedo, R. & Martínez-Córdova, R. (2003). Effect of dietary protein level on growth and survival of juvenile freshwater crayfish *Cherax quadricarinatus* (Decapoda: Parastacidae). *Aquaculture Nutrition*, 9, 207–213. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2095.2003.00241.x>

Cortés-Jacinto, E., Villarreal, H., Civera-Cerecedo, R. & Naranjo, J. (2004). Effect of dietary protein level on the growth and survival of pre-adult freshwater crayfish *Cherax quadricarinatus* (von Martens) in monosex culture. *Aquaculture Research*, 35, 71–79. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2004.00988.x>

Da Silva Santos, F.M., Ribeiro, K., Freitas, V., Carvalho, L.B., Valenti, W.C. y de Souza Bezerra, R. (2016). Digestive proteases from wild and farmed male morphotypes of the Amazon River prawn (*Macrobrachium amazonicum*). *Journal of Crustacean Biology*, 34, 189–198. <https://doi.org/10.1163/1937240X-00002215>

De los Santos-Romero, R.B., Peña, E., Álvarez-González, C.A., Cruz-Ramírez, F., López-Vásquez, J. & García-Guerrero, M. (2020). Differences in enzymatic activity in wild long-arm river prawns, *Macrobrachium tenellum* (Smith, 1871) (Decapoda: Caridea: Palaemonidae), from different habitats. *Journal of Crustacean Biology*, 40, 455–461. <https://doi.org/10.1093/jcbiol/ruaa035>

De los Santos-Romero, R. B., Vega-Villasante, F., Cortés-Jacinto, E. & García-Guerrero, M.

- (2021). The culture potential and management problems of freshwater prawns (*Macrobrachium americanum* and *Macrobrachium tenellum*) in their native areas: the case for Mexico. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 49(3), 376-390. <https://dx.doi.org/10.3856/vol49-issue3-fulltext-2625>
- De los Santos-Romero, R. B., Álvarez-González, C.A., Peña, E., Cortés J. E., Hernández, L.H. & García-Guerrero, M. (2022). Variations of digestive enzymatic activity of the longarm river prawn, *Macrobrachium tenellum* (Smith 1871) adapted from the wild to culture with prepared meals. *Journal of the World Aquaculture Society*, 53, 681-692. <https://doi.org/10.1111/jwas.12847>
- Erlanger, B., Kokowsky, N. & Cohen, W. (1961). The preparation and properties of two new chromogenic substrates of trypsin. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 95, 271-278. [https://doi.org/10.1016/0003-9861\(61\)90145-X](https://doi.org/10.1016/0003-9861(61)90145-X)
- Espinosa-Chaurand, L.D., Vega-Villasante, F., Carrillo-Farnés, O. & Nolasco-Soria, H. (2017). Effect of circadian rhythm, photoperiod, and molt cycle on digestive enzymatic activity of *Macrobrachium tenellum* juveniles. *Aquaculture*, 479, 225-232.
- Espinosa-Chaurand, L.D., Carrillo-Farnés, O., Vega-Villasante, F. & Nolasco-Soria, H. (2019). Effect of protein level in diet and feeding schedule on the digestive enzymatic activity of *Macrobrachium tenellum* juveniles. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 47, 743-752. <https://dx.doi.org/10.3856/vol47-issue5-fulltext-3>
- Fernández-Giménez, A. (2013). Digestive physiology of three species of decapod crustaceans of Argentina. *Journal of Shellfish Research*, 32(3), 767-777. <https://doi.org/10.2983/035.032.0320>
- García-Guerrero, M., Becerril-Morales, F., Vega-Villasante, F. & Espinosa-Chaurand, L.D. (2013). Los langostinos del género *Macrobrachium* con importancia económica y pesquera en América Latina: conocimiento actual, rol ecológico y conservación. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 41, 651-675. <http://dx.doi.org/103856/vol41-issue4-fulltext-3>
- Gutiérrez-Méndez, I., Rodríguez-Magadan, H., Martínez-Salazar, N., García-Guerrero, M. & De los Santos-Romero, R. (2024). Populational differences in freshwater prawn *Macrobrachium tenellum* Smith (Decapoda: Palaemonidae) from three river basins of Oaxaca, Mexico, determined with microsatellite markers. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 52(4), 595-604. <https://dx.doi.org/10.3856/vol52-issue4-fulltext-3182>
- Hernández-Hernández, L. H., Powell, M. S., Frías-Gómez, S. A., Cortés-Jacinto, E. & Vega-Villasante, F. (2024). Scientific knowledge of the cinnamon river prawn *Macrobrachium acanthurus* and future perspectives for aquaculture. *Aquaculture International*, 32, 10215-10230. <https://doi.org/10.1007/s10499-024-01658-2>
- Lancia, J.A., Fernández-Giménez, C., Bas, C. & Spivak, E. (2012). Adaptive differences in digestive enzyme activity in the crab *Neohelice granulata* in relation to sex and habitat. *Journal of Crustacean Biology*, 32, 940-948. <https://doi.org/10.1163/1937240X-00002090>
- Lima, J. D. F., Garcia, J. D. S. & Silva, T. C. D. (2014). Natural diet and feeding habits of a freshwater prawn (*Macrobrachium carcinus*: Crustacea, Decapoda) in the estuary of the Amazon River. *Acta Amazonica*, 44, 235-244. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672014000200009>
- Linton, S., Saborowski, M. R., Shirley, A. J. & Penny, J. A. (2014). Digestive enzymes of two brachyuran and two anomuran land crabs from Christmas Island, Indian Ocean. *Journal of Comparative Physiology B*, 184, 449-468.

- <https://doi.org/10.1007/s00360-014-0815-2>
- Manríquez-Santos, T. D. J., Álvarez-González, C. A., Peña, E., Camarillo-Coop, S., Martínez-García, R., & Vega-Villasante, F. (2018). Partial characterization of digestive proteases in adults of bigclaw river shrimp *Macrobrachium carcinus*. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 46(3), 525-533. <https://doi.org/10.3856/vol46-issue3-fulltext-5>
- Maraux, S., Louvard, D. & Baratti, J. (1973). The aminopeptidase from hogintestinal brush border. *Biochemistry and Biophysics Acta*, 321, 282–295. [https://doi.org/10.1016/0005-2744\(73\)90083-1](https://doi.org/10.1016/0005-2744(73)90083-1)
- Méndez-Martínez, Y., Torres-Navarrete, Y. G., Cortés-Jacinto E., García-Guerrero, M. U., Hernández-Hernández, L. H. & Verdecia. D. M. (2022). Biological, nutritional, and hematoimmune response in juvenile *Cherax quadricarinatus* (Decapoda: Parastacidae) fed with probiotic mixture. *Revista MVZ Cordoba*, 27(3). <https://doi.org/10.21897/rmvz.2578>
- Mustafa, M.G., Wakamatsu, S., Takeda, T., Umino, T. & Nakagawa, H. (1995). Effect of algae as a feed additive on growth performance in red sea bream, *Pagrus major*. *Trace Nutrients Research*, 12, 67–72.
- Musin, G., Rossi, A., Diawol, V.P., Collins, P.A. & Williner, V. (2018). Development of enzymes during ontogeny of two freshwater Decapoda: *Aegla uruguayana* (Aeglidae) and *Macrobrachium borellii* (Palaemonidae). *Aquaculture Research*, 49, 3889–3897. <https://doi.org/10.1111/are.13858>
- Pérez-Chabela, M.L., Alvarez-Cisneros, Y.M., Soriano-Santos, J. & Pérez-Hernández, M.A. (2020). Los probióticos y sus metabolitos en la acuicultura. Una Revisión. *Hidrobiológica*, 30 (I), 93-105. <https://doi.org/10.24275/uam/izt/dcbs/hidro/2020v30nI>
- Peña-Almaraz, O. A., Castillo-Jiménez, H. E., Vargas-Ceballos, M. A., Badillo-Zapata, D., Chong-Carrillo, O. & Vega-Villasante, F. (2024). A life controlled by the current: rheotaxis behavior of the river prawn *Macrobrachium tenellum* (Decapoda: Palaemonidae). *Revista de Biología Tropical*, 72(1), e56514. <https://dx.doi.org/10.15517/rev.biol.trop.v72i1.56514>
- Rahim, A., Cakir, C., Ozturk, M., Sahin, B., Soulaimanid, A., Sibaoueih, A., Nasser, B., Essamadi, R. & El Amiri, B. (2021). Chemical characterization and nutritional value of *Spirulina platensis* cultivated in natural conditions of Chichaoua region (Morocco). *South African Journal of Botany*, 141, 235–242. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2021.05.006>
- Rojo-Arreola, L., Choquet, C., Cordova-Murueta, J. & Garcia-Carreno, F. (2019). The protease-based compensatory mechanism to minimize the effect of dietary Soybean Trypsin Inhibitor in *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture*, 500, 18–23. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.10.002>
- Stumpf, L., Timpanaro, S., Battista, A., & López Greco, L. (2020). Effects of intermittent starvation on the survival, growth, and nutritional status of the freshwater prawn *Macrobrachium borellii* Nobili, 1896 (Decapoda: Caridea: Palaemonidae). *The Journal of Crustacean Biology*, 40(5), 489–497. <https://doi.org/10.1093/jcbiol/ruaa051>
- Vargas-Ceballos, M.A., Badillo-Zapata, D., Chong-Carrillo, O., Ponce-Palafox, J.T., Hernandez-Hernandez, L.H. & Vega-Villasante, F. (2020). Intake of different food sources in the first zoeae stages of *Macrobrachium tenellum* (Decapoda: Palaemonidae). *Latin American Journal of Aquatic Research*, 48, 156–161. <http://dx.doi.org/10.3856/vol48-issue1-fulltext-2344>
- Vargas-Ceballos, M.A., Wehrtmann, I.S., López-Uriarte, E., Vega-Villasante, F., Peña-Almaraz,

O., Espinosa-Magaña, A.F. & García-Guerrero, M.U. (2024). Population structure and abundance of the amphidromous prawn *Macrobrachium tenellum* (Smith, 1871) (Decapoda: Caridea: Palaemonidae) in the lower basin of Ameca River, western Mexico, before anthropogenic modifications. *Journal of Crustacean Biology*, 44(1), ruae012.
<https://doi.org/10.1093/jcbiol/ruae012>

Versaw, W., Cuppet, S. & Winters, D.W. (1989). An improved colorimetric assay for bacterial lipase in nonfat dry milk. *Journal of Food Science*, 54, 1365–2621.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1989.tb05159.x>