

Short note [Nota corta]


BIOENERGÉTICA DEL LANGOSTINO *Macrobrachium tenellum* (SMITH, 1871) EN FUNCION DE LA SALINIDAD DEL AGUA †
[BIOENERGETICS OF PRAWN *Macrobrachium tenellum* (SMITH, 1871) DEPENDING ON WATER SALINITY]

**Viridiana Peraza-Gómez^{1,2}, Pedro Hernández-Sandoval^{2*},
Jesús Guadalupe Luna-Valdez³, Carlos Iván Pérez-Quñónez²
and Marcelo García-Guerrero⁴**

¹ Escuela Nacional de Ingeniería Pesquera, Universidad Autónoma de Nayarit, Bahía Matanchén. Km 12, Carr. a los Cocos, CP. 63740, San Blas, Nayarit, México
viridiana.peraza@uan.edu.mx

² Departamento Académico de Ciencias Naturales y Exactas, Unidad Regional Los Mochis, Universidad Autónoma de Occidente, Boulevard Macario Gaxiola s/n, 81217, Sin., México. pedro.hernandez.sandoval@gmail.com, nash14ivan@hotmail.com.

³ Departamento Académico de Ingeniería y Tecnología, Unidad Regional Los Mochis, Universidad Autónoma de Occidente, Boulevard Macario Gaxiola s/n, 81217, Sin., México. inng.542@gmail.com,

⁴ Laboratorio de Acuicultura, CIIDIR-IPN Oaxaca, Calle Hornos 1003, Col. Noche Buena, CP. 71230, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, México. mgarciagu@ipn.mx.

*Corresponding author

SUMMARY

Background. The *Macrobrachium tenellum* prawn is captured and commercialized by local fishermen along its distribution interval. It is considered an euryhaline palemonid prawn. If its cultivation is wanted, the best conditions for its growth and reproduction should be investigated, including proper intervals of temperature, salinity, density and dissolved oxygen. **Objective.** To determine the effect of two different salinities (0 and 15PSU) on the physiological rates that balance the energy equation in *M. tenellum* adults and to determine if energy use is more efficient under isosmotic conditions. **Methodology.** Specimens were collected in Guasave, Sinaloa, Mexico, in July 2018 and taken to the Aquaculture Laboratory at UAdeO. The energy balance was calculated in hyposmotic (0 PSU) and isosmotic (15 PSU) conditions at preferred temperature (28.5 ± 1 °C). The energy invested in respiration and excretion, the feces lost and the ingested food and the growth potential was calculated using a semi-open respirometer. **Results.** The highest energy expenditure occurred in the respiratory rate (routine metabolism), then feces production and finally ammonia production in both salinities. The highest total energy expenditure was observed in fresh water. The highest amount of energy directed to the growth or reproduction was observed in brackish water (15 PSU), as well as the highest rate of food ingestion. **Implications.** Knowledge on the use of energy in the feed in the best saline condition for its cultivation useful for culture purposes. **Conclusion.** The saline condition in where more energy is channeled for the growth of *M. tenellum* is 15UPS (isosmotic point) and in it is also in where less energy is spent.

Keyword: Bioenergetic; prawn; salinity; growth; osmoregulation.

RESUMEN

Antecedentes. El langostino *Macrobrachium tenellum* es un crustáceo de interés comercial, se captura, consume o comercializa, cerca de los lugares donde se pesca, pero su producción depende del medio silvestre, es considerado una especie eurihalina, sin embargo, para que su cultivo a escala comercial pueda realizarse, deben determinarse las mejores condiciones para su crecimiento y reproducción, incluyendo condiciones óptimas de temperatura, salinidad, densidad, oxígeno disuelto, entre otras. **Objetivo.** Determinar el efecto de dos salinidades sobre las distintas tasas fisiológicas que componen la ecuación del balance energético en adultos de *M. tenellum* y si en condiciones isosmóticas es más eficiente el uso energético del organismo. **Metodología.** Ejemplares fueron colectados en Guasave, Sinaloa, México, en julio del 2018. Se llevaron al laboratorio de acuicultura en UAdeO, se calculó el balance energético en condiciones hiposmóticas (0 UPS) e isosmóticas (15 UPS) en temperatura óptima (28.5 ± 1 °C), se calculó la energía invertida en la respiración y en la excreción mediante el uso de un respirómetro semiabierto y la pérdida en heces, así

† Submitted April 7, 2021 – Accepted August 27, 2021. This work is licensed under a CC-BY 4.0 International License.
ISSN: 1870-0462.

como en el alimento ingerido y el potencial de crecimiento. **Resultados.** El mayor gasto energético se dio en la tasa respiratoria (metabolismo de rutina), seguido de la producción de heces y por último, la de producción de amonio en ambas condiciones salinas, sin embargo el mayor gasto energético se observó en agua dulce. La mayor cantidad de energía dirigida al crecimiento o formación de gametos se observó en agua salobre (15 UPS), así como la tasa de ingestión de alimento. **Implicaciones.** Se proporciona la información sobre el uso de la energía en el alimento en la mejor condición salina para su cultivo. **Conclusión.** La condición salina donde se canaliza más energía para el crecimiento de *M. tenellum* es 15 UPS (punto isosmótico), de igual forma es donde menos energía se pierde. **Palabras clave:** bioenergética; langostino; salinidad; crecimiento; osmorregulación.

INTRODUCCIÓN

Los invertebrados acuáticos viven en ambientes expuestos a cambios constantes debido a eventos azarosos regulares (como las mareas o estaciones del año) e impredecibles como la lluvia y el viento (Urbina *et al.*, 2010). Todos estos eventos producen cambios en las variables físico-químicas que, a su vez, tienen efecto en la vida y desempeño de los organismos. La salinidad del agua influye en gran medida debido a que desempeña un papel fundamental en la dinámica y distribución de las poblaciones, contribuyendo a modular los procesos reproductivos y conductuales, así como los procesos fisioenergéticos (Navarro y González, 1998; Anger, 2003; Shuhong, 2006).

Cuando los organismos se encuentran en un entorno distinto a su salinidad ideal, es decir, hipotónico o hipertónico, se produce una diferencia de presión osmótica entre la osmolaridad del medio interno y la osmolaridad del agua donde se encuentra. Algunos organismos mantienen el equilibrio de la presión osmótica en el cuerpo regulando el equilibrio iónico (Urbina y Glover, 2015). Sin embargo, del proceso de regulación activa de la presión osmótica depende la energía almacenada en los órganos (p.e. hepatopáncreas) para sostener la actividad fisiológica normal, por lo cual el consumo de oxígeno y la tasa de excreción de amonio aumentan, lo que, en algunos casos, produce un efecto negativo en el desarrollo del organismo (Huang *et al.*, 2018).

El modelo de balance energético supone un equilibrio entre la ingesta y el uso de energía en el organismo. Este equilibrio y su posible balance, se ve afectado por la cantidad y la calidad de los alimentos ingeridos, la temperatura, los gases disueltos, la salinidad y otros factores ambientales como la luz (Willmer *et al.*, 2000).

Regularmente el crecimiento se mide con técnicas morfométricas o ganancia de biomasa, lo que permite evaluar de manera directa las condiciones en las que son mantenidos. Sin embargo, según Bayne (1976), la obtención de información por esta vía, puede requerir mucho tiempo (meses o años) y demasiado esfuerzo (físico y/o económico). Por ello, Ivelev (1939) y Winberg (1960) realizaron los primeros estudios de crecimiento en peces utilizando el método de balance energético o potencial de crecimiento. Este método

implica la unificación de los procesos fisiológicos en un índice de respuesta del organismo a los cambios del medio, de tal manera que, mediante la estimación de este; es posible conocer la capacidad o eficiencia que tienen los organismos cuando son expuestos a variaciones ambientales, con resultados en un tiempo relativamente corto (Bayne, 1976).

Con este modelo se integran diversas respuestas fisiológicas con el objetivo de determinar los destinos de la energía contenida en el alimento ingerido. Por lo tanto, se consideran las funciones básicas para el mantenimiento y las que permiten sostener la homeostasis, el crecimiento y reproducción (Rosas *et al.*, 2003).

Existen algunos antecedentes de trabajo con crustáceos dulceacuícolas. Díaz *et al.* (1992) determinaron en postlarvas y juveniles de *Macrobrachium rosenbergii* el balance energético en función de dos dietas, Bovilac® langostino y Chow® trucha purina. También, Díaz *et al.*, (2006) evaluaron en juveniles de *Cherax quadricarinatus* el potencial de crecimiento en función de dos dietas comerciales (Rangen® y Purina®) y dos regímenes de temperatura, uno constante (28 °C) y otro variable (25-33 °C), por otro lado, Vega-Villasante *et al.* (2011) evaluaron el efecto de distintas salinidades en el crecimiento y supervivencia de juveniles de *M. tenellum*. Por su parte, Charmantier y Anger (2011) reportaron diferencias en los patrones de osmorregulación de dos poblaciones de *Macrobrachium amazonicum*, una estuarina y otra continental. La primera fue capaz de hipoosmorregular en agua de mar, mientras que la otra habría perdido esa capacidad. Al respecto, Boudour-Bouchecker *et al.* (2013) analizaron la ontogenia de los órganos osmorreguladores de las dos poblaciones de *M. amazonicum* (estuarina y continental), encontraron evidencia de transporte de iones en el branquiostegito durante las etapas tempranas del desarrollo ontogénico, lo que sugiere una buena capacidad para hipoosmorregulación en la población estuarina. Por lo tanto, aprovechar el potencial adaptativo que tienen estas especies, debe ser uno de los objetivos de los productores para maximizar los sistemas productivos, los cuales deben estar diseñados tomando en cuenta las relaciones energéticas ente el organismo y su ambiente (Rosas *et al.* 2003).

Por lo cual el objetivo de esta investigación fue determinar el efecto de dos salinidades en cada componente del balance energético y si en la condición isosmótica se canaliza mayor energía hacia el crecimiento.

MATERIAL Y METODOS

Colecta y aclimatación

Se colectaron especímenes de *M. tenellum* (n=200) en canales de riego agrícola del municipio de Guasave, Sinaloa (25°24'12.50"N y 108°27'28.07"O; a 5 msnm). Se trasladaron al laboratorio de acuicultura de la Universidad Autónoma de Occidente (UAdeO), Unidad Regional Los Mochis. Durante 15 días se mantuvieron en un estanque de 5000 L con agua dulce, en intervalo de temperatura entre 25 - 29°C, en este tiempo se les proveyó alimento comercial Rangen® (40% proteína) dos veces al día (*ad libitum*). Posteriormente, se seleccionaron 80 organismos con peso promedio de 7.1 g (± 0.42 g) que se separaron de manera aleatoria en grupos de 20 en estanques circulares de 500 L. Dentro de cada estanque, cada organismo fue colocado en un compartimento plástico de 4 L con ventanas laterales cubiertas de malla plástica flexible de 0.5 cm para permitir el intercambio de agua con el estanque e impedir la salida de los organismos, alimento y heces. Se utilizaron dos replicas por cada condición experimental.

Se mantuvieron a la temperatura óptima constante de 28.5 \pm 1°C (Hernández-Sandoval *et al.*, 2018), con el uso de calentadores de 500 W (Biopro®). Las condiciones experimentales fueron: la salinidad del punto isosmótico (15 UPS) determinada por Aguilar *et al.*, (1998) y Hernández-Sandoval (2018) y un medio hiposmótico (0 UPS). La salinidad experimental se logró agregando agua de mar (35 UPS) al agua dulce, la tasa de incremento fue de 2 UPS por día hasta alcanzar la salinidad experimental. Se mantuvo la concentración de oxígeno del agua entre 5.86 y 6.37 mgO₂L⁻¹ mediante aireación continua (Blower Evans, 0.5 Hp) y se alimentó diariamente con pellet marca Rangen® (40% proteína). Se realizó limpieza diaria de heces, mudas, alimento no consumido y recuperación de niveles a la salinidad experimental. Cada tercer día se realizó un recambio del 50% del total de agua. Antes de cada recambio se midió el pH con un potenciómetro digital (Hanna HI98129) y los valores estuvieron entre 7 (0 UPS) y 8 (15 UPS). En cada condición experimental se determinó el balance energético mediante la ecuación modificada de Klekowski y Duncan (1975): $C = P + R + H + U$ (C=Energía ingerida, P=Potencial de crecimiento, R=Consumo de oxígeno, H=Producción de heces, U=Producción de amonio).

Tasas fisiológicas y balance energético

El balance energético en las condiciones experimentales descritas, se evaluó al final de 30 días. Para el cálculo de la Energía ingerida (C), se les proporcionó alimento pelletizado (Rangen® 40% proteína) durante dos horas en una ración equivalente al 10% del peso húmedo corporal. El alimento remanente se retiró de cada compartimento por medio de un sifón y se recolectó con una malla de 60 μ m colocada en el extremo distal del mismo (Díaz *et al.*, 2006). Este remanente fue lavado con formiato de amonio al 4% para eliminar las sales adsorbidas y se colocó en charolas de aluminio previamente pesadas y marcadas, después se introdujeron a una estufa (Blue-M; OV-472a-2) a 60°C por 24 h para obtener el peso seco. Posteriormente, se colocaron en una mufla (Thermolyne; FA1635) a 450°C por 24 h hasta obtener el contenido de cenizas. El alimento consumido se determinó mediante el método gravimétrico por la diferencia entre el peso seco del alimento suministrado y el remanente. Antes del cálculo de esta tasa fisiológica, se realizaron pruebas de solubilidad de la dieta por triplicado. Para ello, se colocó 1 g de alimento en 10 compartimentos sin organismos durante 2 h, se obtuvo su peso seco y peso seco libre de cenizas. Los datos obtenidos del alimento consumido por los organismos experimentales se corrigieron por el factor de dilución de la dieta. La información sobre humedad, cenizas, contenido energético, proteínas, lípidos y carbohidratos del alimento suministrado (Rangen®) se obtuvo por medio de un análisis bromatológico (Tabla 1).

Tabla 1. Composición proximal de la dieta balanceada Rangen® suministrada a *Macrobrachium tenellum*.

Información nutrimental por cada	Rangen®
100 g	
Contenido energético (Kcal) -----	390.0
Materia seca (%) -----	91.6
Humedad (%) -----	8.4
Proteína cruda (%) -----	40.6
Grasa total (%) -----	1.9
Carbohidratos (%) -----	52.5
Fibra cruda (%) -----	1.5
Minerales (%) -----	3.5

Las heces (H) se recolectaron de cada uno de los compartimentos 8 h después de recogido el alimento remanente y al día siguiente, antes de alimentar. Para ello se utilizó la misma técnica empleada en la recolección del alimento remanente. El contenido energético en las heces se determinó de manera indirecta mediante cuantificación del contenido de

carbón, por diferencia del peso seco menos el contenido de cenizas (Conover, 1966).

Para medir el consumo de oxígeno (R), los langostinos se colocaron individualmente en 10 cámaras respirométricas de 1 L, 2 h antes de iniciar las mediciones. El sistema de mangueras se conectó a un sensor polarográfico de un oxímetro (YSI-52), formando un sistema semiabierto como el descrito por Díaz *et al.* (2007), para evitar variaciones en el consumo de oxígeno debidas al *estatus* nutricional, los langostinos no se alimentaron 24 h antes de las mediciones. Se realizaron 2 repeticiones para cada condición experimental, para lo cual se tomaron lecturas iniciales de la concentración de oxígeno en cada cámara. Posteriormente las cámaras permanecieron cerradas durante una hora o hasta que el oxígeno disuelto en el agua llegó a 30% de su concentración inicial para evitar el estrés en los organismos (Stern *et al.*, 1984). La diferencia entre la concentración inicial y final de oxígeno disuelto se tomó como el consumo de oxígeno por individuo, expresado en $\text{mg O}_2 / \text{h}^{-1} \text{g}^{-1}$ de p. h. (peso húmedo). El consumo de oxígeno de rutina se transformó a unidades de energía mediante el uso del equivalente oxalórico de 3.53 cal mg^{-1} de O_2 consumido (Elliot y Davison, 1975).

Al mismo tiempo de la medición del consumo de oxígeno, se determinó la producción de amonio (U), se tomaron muestras de 100 mL de agua al inicio y al final de la medición de consumo de oxígeno de cada cámara del sistema de respirometría semiabierto. La determinación del contenido de amonio en las muestras se realizó por el método de nesslerización descrito por Rodier (1981), en donde la intensidad leída a una longitud de onda de 425 nm en un espectrofotómetro (HACH-DR3900) es directamente proporcional a la concentración de amonio, que se expresa en $\text{mgL}^{-1} \text{NH}_4^+$. La excreción de amonio se transformó con el equivalente nitroalórico de 5.73 cal mg^{-1} de NH_4^+ excretado (Clifford y Brick, 1979). Las determinaciones se realizaron por duplicado.

Durante esta fase experimental se mantuvieron 2 cámaras respirométricas control sin organismos para medir el consumo de oxígeno y producción de amonio de los microorganismos que podrían estar en el sistema respirométrico.

El potencial de crecimiento (P), se calculó como la diferencia entre la energía contenida en el alimento ingerido y la suma de la energía utilizada en el consumo de oxígeno, producción de heces y excreción de amonio $P=C-(R+H+U)$.

Al finalizar los experimentos de consumo de oxígeno (R) y producción de amonio (U), los organismos se

sacrificaron en un acuario con disminución gradual de temperatura, se etiquetaron y se colocaron en una estufa a 60°C durante cinco días, para después obtener su peso seco.

Análisis estadístico de los datos

A los grupos de datos obtenidos de todos los experimentos se les aplicó pruebas de normalidad (Shapiro-Wilks, $P>0.05$) y de homoscedasticidad (Levene, $P>0.05$). Posteriormente, en la comparación de los grupos de datos de distinta salinidad para cada tasa fisiológica, se aplicó la prueba de t-student ($P<0.05$) (Zar, 1999). Para todos los análisis y desarrollo de gráficas se usó el software estadístico Sigma-plot (V. 12.5).

RESULTADOS Y DISCUSION

Bioenergética en temperatura preferida y dos salinidades (0 y 15 UPS)

La ingestión de alimento (C), consumo de oxígeno (R) y producción de amonio (U) tuvieron diferencias estadísticas significativas ($P<0.05$). La producción de Heces (H) y en la fracción de energía destinada al crecimiento o potencial de crecimiento (P) no se observaron diferencias (Tabla 2). El valor de la energía consumida fue mayor en los organismos que se encontraban aclimatados en agua dulce con diferencias estadísticas significativas ($P<0.05$) con respecto a la de 15 UPS. El porcentaje de energía destinada para cubrir el gasto energético por la respiración (R) fue de 16.4% del total ingerida en los langostinos mantenidos en agua dulce, mientras que en los aclimatados a 15 UPS fue de 6.9% (Figura 1). Asimismo, se encontraron diferencias significativas ($P<0.05$) en el gasto de la energía empleada para el metabolismo de rutina en las diferentes salinidades experimentales (Tabla 2).

El porcentaje de energía pérdida en heces a 15 UPS fue de 4.1, mientras que a 0 UPS fue 5.4 (Figura 1) sin embargo no se presentaron diferencias significativas respecto a la energía eliminada en forma de heces entre ambas salinidades (Tabla 2). La excreción de desechos nitrogenados (U) representó un gasto de energía consumida en el alimento de 2.1% en agua dulce y de 0.7% en 15 UPS (Figura 1).

De esta forma, la excreción de amonio fue significativamente mayor ($P<0.05$) en los organismos mantenidos en agua dulce que a los mantenidos a 15 UPS (Tabla 2). La diferencia entre la energía ingerida en los alimentos y los gastos de la misma, conocida como potencial de crecimiento (P), que representa la energía que utilizan los organismos para la producción de tejido o gametos, fue de 68.9% a 0 UPS y de 84.5% en 15 UPS, con diferencias significativas entre ambos valores ($P<0.05$; Figura 1).

Tabla 2. Tasas fisiológicas (JDía⁻¹g⁻¹p.s.) de *Macrobrachium tenellum* a temperatura constante (28.5 °C), en dos salinidades.

TASA FISIOLÓGICA	SALINIDAD (UPS)	
	0	15
Ingestión (C)	3270.9 ± 236.4 ^a	2991.4 ± 274.2 ^b
Producción de heces (H)	175.3 ± 18.6 ^a	123.9 ± 11.1 ^a
Consumo de oxígeno (R)	535.1 ± 7.1 ^a	207.3 ± 9.3 ^b
Producción de amonio (U)	70.1 ± 0.4 ^a	20.7 ± 6.1 ^b
Potencial de Crecimiento (P)	2252.3 ± 111.9 ^a	2527.6 ± 91.5 ^b

Se presentan la media con desviación estándar; t de Student); letras distintas significan diferencias estadísticas significativas con una $P < 0.05$

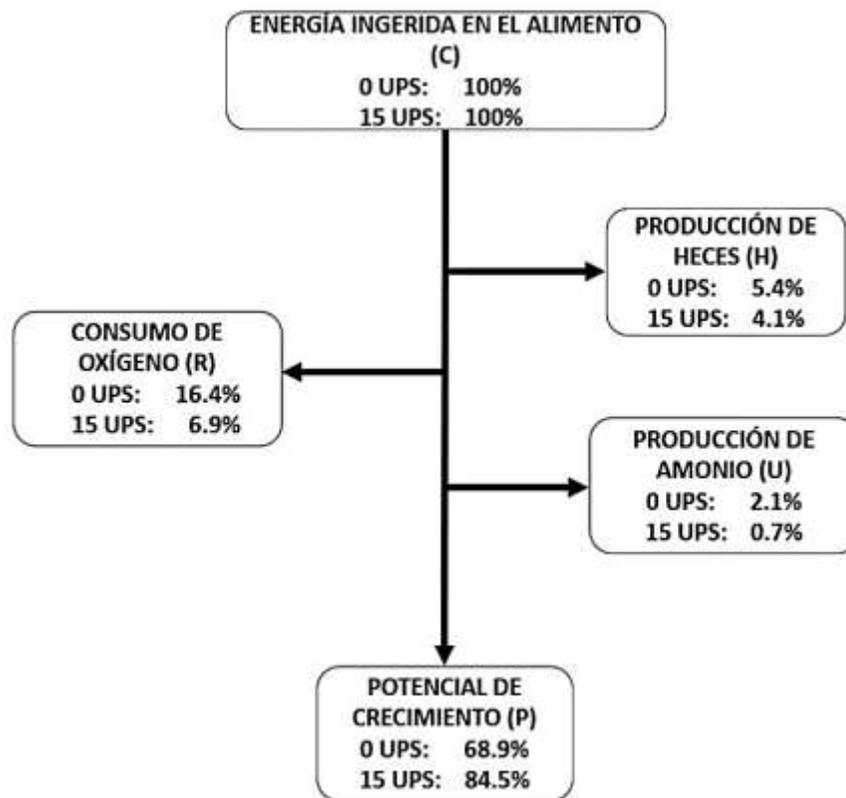


Figura 1. Distribución porcentual de la energía obtenida del alimento suministrado en diferentes salinidades en las tasas fisiológicas de la ecuación de equilibrio energético de *Macrobrachium tenellum*.

Tanto juveniles como adultos de *Macrobrachium tenellum* han sido encontrados en aguas dulces continentales o costeras donde la salinidad puede ser muy variable, desde 4.19 hasta 18 UPS (Schiff y Hendrickx, 1997; Ponce-Palafox *et al.*, 2002; Chand *et al.*, 2015; Valdez-Flores y Soto-Domínguez, 2019). También se distribuyen en arroyos, ríos y canales de riego agrícolas cercanos o alejados de la costa. Esto sugiere una buena capacidad adaptativa a tolerar un amplio intervalo de salinidad, algo característico de especies eurihalinas (Espinosa-Chaurand *et al.*, 2011; Hernández-Sandoval, 2018). Cuando la intención es

cultivarlos, la determinación de la salinidad óptima para su crecimiento es uno de los aspectos críticos necesarios para definir condiciones, sitios y épocas idóneos para esta actividad. Existen algunos estudios previos que concuerdan con lo encontrado en esta investigación. Vega-Villasante *et al.* (2011) encontraron que el mayor crecimiento y supervivencia en juveniles de *M. tenellum* (0.28g) en distintos medios salinos (0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 y 40 UPS) fue en 10 UPS. Es posible que la diferencia con lo encontrado en este trabajo se deba a que el punto isosmótico puede ser distinto en función de la etapa del ciclo de vida en

la misma especie. Singh (1980), encontró mayor contenido de agua en tejido muscular de adultos de *M. rosenbergii* cultivados en agua dulce con respecto a los que se mantuvieron en salinidades mayores a 15 UPS. Resultados similares reportó Reicheldt-Saavedra (1992) para poslarvas de la misma especie, lo que sugiere que la baja salinidad favorece la absorción de agua durante el proceso de muda. Por su parte Chung (2001) indicó que cuando organismos preadultos y adultos del género *Macrobrachium* son colocados en un gradiente salino, seleccionan salinidades entre 0 y 5 UPS. Esto podría indicar que su metabolismo en estas circunstancias es cercano a su óptimo fisiológico, lo cual permite la optimización del uso del alimento ingerido. En estas condiciones ambientales, el organismo puede almacenar energía para mudar, reproducirse o migrar (Espinosa-Chaurand *et al.*, 2011). Por su parte, Chand *et al.* (2015), analizaron el efecto de distintas salinidades en el crecimiento y supervivencia de juveniles de *M. rosenbergii* y encontraron que la mayor ganancia en peso se dio en 10 UPS, después 15, 5 y 0 UPS respectivamente. Los mismos autores al analizar la tasa específica de crecimiento en 60 días reportaron que fue significativamente mayor en 15 UPS que en las demás salinidades.

Los estudios de la relación entre la salinidad y el consumo de oxígeno en los langostinos han mostrado que condiciones no propicias pueden provocar estrés oxidativo o detonar una respuesta del sistema inmune (Freire *et al.*, 2017; Huang *et al.*, 2020). Aguilar *et al.* (1998), estimaron la tasa de consumo de oxígeno de juveniles de *M. tenellum* (1-3 g) en 0, 3, 6, 9, 12, 17, 22 y 27 UPS y encontraron mayor consumo en 0 UPS que en 12 y 17 UPS. Gasca-Leyva *et al.* (1991), reportaron en *M. acanthurus* (3-5 g) un mayor consumo de oxígeno en 0 UPS en comparación con 10 y 20 UPS a temperaturas de 25 y 30 °C. Por otro lado, McNamara *et al.* (1986), evaluaron la tasa de consumo de oxígeno de adultos de *M. olfersii* y encontraron mayor consumo en agua dulce que en 14 UPS. Ern *et al.* (2013) analizaron el efecto de dos salinidades (0 y 15 UPS) en la tasa metabólica estándar de adultos de *M. rosenbergii* (34.2 g) y obtuvieron que esta es más alta en agua dulce ($79.8 \pm 3.1 \mu\text{mol kg}^{-1} \text{min}^{-1}$) en comparación con 15 UPS ($72.7 \pm 2.9 \mu\text{mol kg}^{-1} \text{min}^{-1}$) pero sin diferencias estadísticas significativas. Lo anterior podría indicar un mejor crecimiento en agua salobre para esta especie. Por otro lado, Boeuf y Payan (2001), Ruiz-Hernández (2018) y Hernández-Sandoval (2018) reportaron para adultos y juveniles de *M. tenellum* mayor consumo de oxígeno en agua dulce que en agua salobre (15 UPS), lo cual es comparable a esta investigación. Coincide también con lo que afirman Moriera *et al.* (1983) y Cheng *et al.* (2003), quienes señalan que el género *Macrobrachium* es un buen osmorregulador en el intervalo entre agua dulce y salinidades que coinciden con su punto isosmótico de

15 UPS. Asimismo, es un osmoconformador en salinidades superiores en las cuales más energía es utilizada para mantener el acentuado gradiente osmótico en comparación con el agua dulce. Al respecto, Intanai *et al.* (2009) observaron que las tasas de consumo de oxígeno de poslarvas de *M. rosenbergii* sometidos a 0, 14 y 30 UPS no fueron estadísticamente significativas, siendo mayor en 0 UPS que en todas las demás. No obstante, al evaluar en las mismas condiciones a organismos de mayor talla, no hubo diferencias significativas, aunque fue ligeramente mayor en 0 que en las demás salinidades, aun considerando que la síntesis total de proteínas fue mayor en 14 UPS. De acuerdo con Moreira *et al.* (1983), McNamara y Moreira (1987) y Péqueux (1995), lo anterior podría ser causado por los costos energéticos de la osmorregulación y con la capacidad de mantener gradientes osmóticos idóneos en agua dulce. Este comportamiento en el consumo de oxígeno podría indicar el origen marino de esta especie, al mostrar mayor consumo en agua dulce, el cual es un posible indicador de estrés. De acuerdo a Jalihal *et al.* (1993), este género aún se encuentra en proceso de colonización del medio dulceacuícola.

Con ciertas consideraciones, esto se ha revisado en otros grupos de Decápodos no dulceacuícolas. Por ejemplo, Rosas *et al.* (2002) y Valdez *et al.* (2008) reportaron en juveniles de *Litopenaeus vannamei*, diferencias estadísticas significativas en la tasa de ingestión de alimento en distintas salinidades (20, 26 y 32 UPS), siendo mayor en aquella cercana al punto isosmótico reportada la especie (26 UPS). Esto no concuerda con lo reportado en este trabajo, posiblemente se deba a que *M. tenellum* cuando es adulto, permanece en agua dulce, por lo que la mayor ingestión de alimento puede ser una estrategia compensatoria por el gran consumo de energía que implica osmorregular en ese medio. Urbina *et al.* (2010), estudiaron el efecto de la salinidad (5, 13, 21 y 30 UPS) en el balance de energía en cangrejos adultos de *Hemigrapsus crenulatus*. Los autores usaron el potencial de crecimiento y la relación oxígeno:nitrógeno como índices de estrés y encontraron que las tasas de ingestión, excreción y respiración tienen una dependencia significativa de la salinidad, siendo más altas a bajas salinidades. Sin embargo, esto se compensa con un incremento en la tasa de ingestión, lo que contribuye al buen desarrollo de *H. crenulatus* en hábitats dinámicos, como los estuarios. También se ha demostrado que en el palemonido *Palaemon peringueyi* puede haber un aumento en tasa de consumo de oxígeno asociado a un incremento de la salinidad (5, 15, 25, 35 y 45 UPS) aunque sin diferencias estadísticas significativas entre 5 y 15 UPS, ni entre 25 y 35 UPS, pero sí entre todas las anteriores con 45 UPS (Allan *et al.*, 2006). Es posible que el cambiante hábitat marino-salobre de

esta especie, sea la razón de las diferencias encontradas con esta investigación.

Con respecto al amonio (U) la producción registrada en esta investigación es consistente con lo reportado por Freire *et al.* (2017) en *M. acanthurus*, donde señalaron que la producción de amonio disminuye al aumentar la salinidad. Los autores evaluaron esto en salinidades de 0, 5, 10, 15 y 20 UPS y atribuyen esta respuesta al hecho de que en estas circunstancias la energía metabólica se dirige al control de la homeostasis extracelular e intracelular, al detener la captación de sal en las branquias y reducir el catabolismo de proteínas y aminoácidos. Por su parte Augusto *et al.* (2007a, b) demostraron que; en salinidades elevadas, las concentraciones de osmolitos aumentan en los tejidos de *Dilocarcinus pagei*, *M. olfersii* y *M. amazonicum*. Esto provoca que el catabolismo de aminoácidos disminuya, lo cual sugiere que existe un mecanismo para retener aminoácidos o compuestos nitrogenados para mantener la hidratación de los tejidos en salinidades altas (Freire *et al.*, 2017).

Hay pocos antecedentes para este fenómeno en el género *Macrobrachium*. Entre, éstos, Huong *et al.* (2010) evaluaron el crecimiento, osmorregulación y contenido de agua en tejidos de *M. rosenbergii* en distintas salinidades (0, 15 y 25 UPS). El crecimiento fue mayor en 0 y 15 UPS sin diferencias significativas, y significativamente menor en 25 UPS. En otros grupos taxonomicos, Valdez *et al.* (2008), reportaron que en juveniles de *Litopenaeus vannamei*, la energía derivada a la excreción de amonio fue mayor en los expuestos a la salinidad de 20, que en los mantenidos a 26 y 32 UPS (punto isosmótico: 26 UPS). Esto difiere del presente trabajo donde se encontró que la pérdida de energía en forma de heces fue mayor en agua dulce que en 15 UPS (Tabla 2). Es muy probable que las diferentes adaptaciones al medio marino y dulceacuícola de ambas especies, causen estas diferencias. En *Cherax tenuimanus* (Smith) se obtuvo que la producción de heces presentó una relación inversa con la talla y con la cantidad de alimento consumido (Villarreal, 1991). Díaz *et al.* (2006), reportaron para juveniles de *Cherax quadricarinatus* alimentados con dos alimentos comerciales (Purina y Rangen®) y en régimen constante y fluctuante de temperatura (28 y 25-33°C), que la energía expulsada en forma de heces fue menor en los mantenidos en régimen constante de temperatura y con dieta Rangen ($P < 0.05$). Díaz-Herrera *et al.* (2012), encontraron que en juveniles de *C. quadricarinatus* alimentados con dos dietas artificiales, la energía pérdida en las heces representó el 1.13% para la dieta Rangen y de 1.18% para la otra dieta experimental, con diferencias significativas ($P < 0.05$). Valdez *et al.* (2008), encontraron que en *Litopenaeus vanammei* la energía contenida en las heces fue menor en el punto isosmótico reportado para esta especie (26 UPS),

aunque sin presentar diferencias estadísticas significativas con otras dos salinidades (20 y 32 UPS), lo cual coincide con lo encontrado en esta investigación. Esto soporta la premisa de que en condiciones isosmóticas el estrés es mínimo y el organismo invierte muy poca energía en la osmorregulación.

Por otro lado, el potencial de crecimiento en *M. tenellum* parece ser mejor cerca de su punto isosmótico (Tabla 2), tal como ocurre en crustáceos marinos. Por ejemplo, Valdez *et al.* (2008), obtuvieron casi el doble de potencial de crecimiento en juveniles de *Litopenaeus vannamei* en la salinidad donde se determinó su punto isosmótico (26 UPS). Esto, reafirma el hecho de que mantener a los organismos en salinidades donde pueden osmorregular sin estrés, optimiza su desempeño. A este respecto, Guerin y Stickle (1992) reportaron en juveniles de *Callinectes sapidus* colectados en dos ambientes salinos distintos (salobre e hipersalino) un aumento en la tasa de excreción y respiración con la disminución de la salinidad. Sin embargo; se obtuvo la mayor cantidad de energía destinada al crecimiento en salinidades diferentes: 25 UPS en ambiente salobre y 50 UPS en hipersalino. Posiblemente estos valores estén cercanos al punto isosmótico de la especie, pues esta respuesta es similar al observado en este trabajo cuando los organismos no son mantenidos en su punto isosmótico. En estos casos, se observa un mayor consumo de energía que produce el aumento del gasto energético de los procesos respiratorio y de excreción.

Todo lo anterior reafirma la importancia de estudiar el fenómeno osmoregulatorio de las especies acuáticas que tienen un potencial para ser cultivadas, en virtud de que el estrés causado por salinidades inadecuadas puede incrementar sustancialmente el costo energético que los organismos necesitan para osmoregular sin estrés. Por lo que, estudios futuros deben ser orientados a explorar diferentes fuentes alimenticias con el fin de dilucidar si un alimento muy nutritivo pudiera en algún momento, contribuir a contrarrestar este efecto sin afectar costos productivos.

CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos, *Macrobrachium tenellum* usa la energía contenida en el alimento de manera más eficiente en condición isosmótica (15 UPS) que en hiposmótica (dulceacuícola), y canaliza mayor cantidad de energía hacia el crecimiento en esta condición salina. Tanto el consumo de oxígeno disuelto como la producción de amonio, son más eficientes cuando el organismo se encuentra cerca de su condición isosmótica. Se recomienda el cultivo en esta salinidad para el intervalo de peso utilizado en esta investigación.

Agradecimientos

Los autores agradecen a los grupos de trabajo de las instituciones participantes, especialmente a los biólogos Jesús R. Alanís Escalante y Aline Ruiz Hernández, por su apoyo en la realización de los bioensayos, obtención y manejo de datos y a revisores anónimos que contribuyeron en la mejora de este manuscrito.

Funding. This project was funded by UAdeO-PIFIP2019.

Conflict of interests. The authors declare that there is no conflict of interest related to this publication.

Compliance with ethical standards. The authors affirm that all the procedures that contributed to the realization of this work comply with the ethical standards of the institutions where it was carried out.

Data availability. Data is available with the corresponding author (pedro.hernandez@uadeo.mx) upon reasonable request.

REFERENCIAS

- Aguilar, M., Diaz, F., and Bückle, L.F., 1998. The effect of salinity on oxygen consumption and osmoregulation of *Macrobrachium tenellum*. *Marine and Freshwater Behaviour and Physiology*, 31, pp. 105-113. <https://doi.org/10.1080/10236249809387066>
- Allan, E.L., Froneman, P.W., and Hodgson, A.N., 2006. Effects of temperature and salinity on the standard metabolic rate (SMR) of the caridean shrimp *Palaemon peringueyi*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 337, pp. 103-108. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2006.06.006>
- Anger, K. 2003. Salinity as a key parameter in the larval biology of decapod crustaceans. *Invertebrate Reproduction and Development*, 43, pp. 29-45. <https://doi.org/10.1080/07924259.2003.9652520>
- Augusto, A., Greene, L.J., Laure, H.J., and McNamara, J.C., 2007a. Adaptive shifts in osmoregulatory strategy and the invasion of freshwater by brachyuran crabs: evidence from *Dilocarcinus pagei* (Trichodactylidae). *Journal of Experimental Zoology*, 307, pp. 688-698. <https://doi.org/10.1002/jez.a.422>
- Augusto, A, Greene, L.J., Laure, H.J., and McNamara, J.C., 2007b. The ontogeny of isosmotic intracellular regulation in the diadromous, freshwater palaemonid shrimps, *Macrobrachium amazonicum* and *M. olfersi* (Decapoda). *Journal of Crustacean Biology*, 27, pp. 626-634. <https://doi.org/10.1651/S-2796.1>
- Bayne, B.L. 1976. Marine mussels: their ecology and physiology. Cambridge University Press.
- Boeuf, G., and Payan, P., 2001. How should salinity influence fish growth? *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 130, pp. 411-423. [https://doi.org/10.1016/S1532-0456\(01\)00268-X](https://doi.org/10.1016/S1532-0456(01)00268-X)
- Boudour-Boucheker, N., Boulo, V., Lorin-Nebel, C., Elguero, C., Grousset, E., Anger, K., Charmantier-Daures, M., and Charmantier, G., 2013. Adaptation to freshwater in the palaemonid shrimp *Macrobrachium amazonicum*: comparative ontogeny of osmoregulatory organs. *Cell Tissue Research*, 353, pp. 87-98. <https://doi.org/10.1007/s00441-013-1622-x>
- Clifford, H.C., and Brick, R.W., 1979. A physiological approach to the study of growth and bioenergetics in the freshwater shrimp *Macrobrachium rosenbergii*. *Proceedings of the World Mariculture Society*, 10, pp. 710-719. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.1979.tb00069.x>
- Conover R.J., 1966. Assimilation of organic matter by zooplankton. *Limnology and Oceanography*, 11, pp. 338-345. <https://doi.org/10.4319/lo.1966.11.3.0338>
- Chand, B.K., Trivedi, R.K., Dubey, S.K., Rout, S.K., Bega, M.M., and Das, U.K., 2015. Effect of salinity on survival and growth of giant freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii* (de Man). *Aquaculture Reports*, 2, pp. 26-33. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2015.05.002>
- Charmantier, G., and Anger, K., 2011. Ontogeny of osmoregulatory patterns in the South American shrimp *Macrobrachium amazonicum*: loss of hypo-osmoregulation in a land-locked population indicates phylogenetic separation from estuarine ancestors. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 396, pp. 89-98. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2010.10.013>
- Cheng, W., Liu, CH., Cheng, CH., and Chen, J.C., 2003. Osmolality and ion balance in giant river prawn *Macrobrachium rosenbergii* subjected to changes in salinity: role of sex. *Aquaculture Research*, 34, pp. 555-560.

- <https://doi.org/10.1046/j.1365-2109.2003.00853.x>
- Chung, K.S., 2001. Adaptabilidad ecofisiológica de organismos acuáticos tropicales a cambios de salinidad. *Revista de Biología Tropical*, 49, pp. 9-13. <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/rbt/article/view/16737/16231>
- Díaz, H.F., Juárez-Castro, G., Pérez-Cruz, E., and Buckle, F.R., 1992. Balance energético de postlarvas y juveniles del langostino malayo *Macrobrachium rosenbergii* De Man (Crustacea: Palaemonidae). *Ciencias Marinas*, 18(2), pp. 19-32. <https://doi.org/10.7773/cm.v18i2.895>.
- Díaz, H. F., Escalante, G., Re, A.D., and Sierra, E., 2006. Fisiología Energética de *Cherax quadricarinatus* (von Martens) alimentado con dos dietas, expuesto a un régimen constante y fluctuante de temperatura. *Hidrobiológica*, 16 (1), pp. 35-44. <http://www.scielo.org.mx/pdf/hbio/v16n1/v16n1a4.pdf>.
- Díaz, F., Re, A. D., González, R. A., Sánchez, L. N., Leyva, G., and Valenzuela, F., 2007. Temperature preference and oxygen consumption of the largemouth bass *Micropterus salmoides* (Lacepede) acclimated to different temperatures. *Aquaculture Research*, 38, pp. 1387-1394. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2007.01817.x>.
- Díaz-Iglesias, E., Meza Castillo, V., Báez-Hidalgo, M., Re-Araujo, and Silva-Loera, A., 2012. Bioenergetics of juvenile red claw lobster, *Cherax quadricarinatus*, fed two artificial diets. *Hidrobiológica*, 22(2), pp. 147-160. <https://hidrobiologica.izt.uam.mx/index.php/revHidro/article/view/700/291>.
- Elliot, J.M., and Davison, W., 1975. Energy equivalents of oxygen consumption in animal energetics. *Ecología*, 19, pp. 195-201. <https://doi.org/10.1007/BF00345305>.
- Ern, R., Do, H., Huong, T., Cong, N., Wang, T., and Bayley, M., 2013. Effects of salinity on standard metabolic rate and critical oxygen tension in the giant freshwater prawn (*Macrobrachium rosenbergii*). *Aquaculture Research*, 44, pp. 1259-1265. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2012.03129.x>
- Espinosa-Chaurand, L. D., Vargas-Ceballos, M., Guzmán-Arroyo, M., Nolasco-Soria, H., Carrillo-Farnés, O., Chong-Carrillo, and Vega-Villasante., 2011. Biología y cultivo de *Macrobrachium tenellum*: Estado del arte. *Hidrobiológica*, 21, pp. 99-117. <https://hidrobiologica.izt.uam.mx/index.php/revHidro/article/view/741/333>.
- Freire, C. A., Rios, L. de P., Giaretta, E. P., y Castellano, G. C. 2017. Oxygen consumption remains stable while ammonia excretion is reduced upon short time exposure to high salinity in *Macrobrachium acanthurus* (Caridae: Palaemonidae), a recent freshwater colonizer. *Zoologia (Curitiba)*, 34, pp. 1-9. <https://doi.org/10.3897/zoologia.34.e20173>.
- Gasca-Leyva, J. F. E., Martínez-Palacios, C.A., and Ross, L.G., 1991. The respiratory requirements of *Macrobrachium acanthurus* (Wiegmann) at different temperatures and salinities. *Aquaculture*, 93, pp. 191-197. [https://doi.org/10.1016/S0300-9629\(97\)00016-9](https://doi.org/10.1016/S0300-9629(97)00016-9).
- Guerin, J. L., and Stickle, W.B., 1992. Effects of salinity gradients on the tolerance and bioenergetics of juvenile blue crabs (*Callinectes sapidus*) from waters of different environmental salinities. *Marine Biology*, 114, pp. 391-396. <https://doi.org/10.1007/BF00350029>.
- Hernández-Sandoval, P., Díaz, F., Re-Araujo, A.D., López-Sánchez, A., Martínez-Valenzuela, M.C., García-Guerrero, and Rosas, C., 2018. Thermal preference, critical thermal limits, oxygen routine consumption and active metabolic scope of *Macrobrachium tenellum* (Smith, 1871) maintained at different acclimation temperatures. *Latin American Journal Aquatic Research*, 46(3), pp. 558-569. <https://doi.org/10.3856/vol46-issue3-fulltext-9>.
- Hernandez-Sandoval, P., 2018. Aspectos ecofisiológicos de la termorregulación y osmorregulación de *Macrobrachium tenellum* (DECAPODA: PALAEMONIDAE). Tesis de doctorado. Universidad Autónoma de Nayarit. 112 p.
- Huang, Y., Wu, D., Li, Y., Chen, Q., and Zhao, Y., 2020. Characterization and expression of arginine kinase 2 from *Macrobrachium nipponense* in response to salinity stress. *Developmental & Comparative Immunology*, 113, pp. 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.dci.2020.103804>.
- Huang, Y.H., Zhang, M., Li, Y.M., Wu, D.L., Liu, Z.Q., Jiang, Q.Ch., and Zhao, Y.L., 2018. Effects of salinity acclimation on the growth performance, osmoregulation and energy

- metabolism of the oriental river prawn, *Macrobrachium nipponense* (De Haan). *Aquaculture Research*, 50, pp. 685–693. <https://doi.org/10.1111/are.13950>.
- Huong, D.T.T., Wang, T., Bayley, M., and Phuong, N.T., 2010. Osmoregulation, growth and moulting cycles of the giant freshwater prawn (*Macrobrachium rosenbergii*) at different salinities. *Aquaculture Research*, 41, pp. 35–43. <https://doi.org/10.1111/j.13652109.2010.02486.x>.
- Intanai, I., Taylor, E. W., and Whiteley, N.M., 2009. Effects of salinity on rates of protein synthesis and oxygen uptake in the post-larvae and juveniles of the tropical prawn *Macrobrachium rosenbergii* (de Man). *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 152(3), pp. 372–378. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2008.11.006>
- Ivelev, V.S., 1939. Transformation of energy by aquatic animals. *Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie und Hydrographie*. 38, pp. 449-458. <https://doi.org/10.1002/iroh.19390380126>.
- Jalihal, D. R., Sankolli K.N. and Shenoy, S., 1993. Evolution of larval developmental patterns and the process of freshwaterization in the prawn genus *Macrobrachium* Bate, 1868 (Decapoda: Palaemonidae). *Crustaceana*, 65, pp. 363-376. <https://www.jstor.org/stable/20104910?seq=1>.
- Klekowski R.Z., and Duncan, A., 1975. Physiological approach to ecological energetics. In: Grodzinski, Z.R. & A. Duncan. (Eds.). *Methods for ecological bioenergetics*. IBP. Blackwell Scientific Publications, Oxford. pp. 15-64.
- McNamara, J.C., Moreira, S.G., and Souza, S.C.R., 1986. The effect of salinity on respiratory metabolism in selected ontogenetic stages of the freshwater shrimp *Macrobrachium olfersii* (Decapoda, Palaemonidae). *Comparative Biochemistry and Physiology*, 83, pp. 359-363. [https://doi.org/10.1016/0300-9629\(86\)90590-6](https://doi.org/10.1016/0300-9629(86)90590-6).
- McNamara, J.C., and Moreira, G.S., 1987. O₂ consumption and acute salinity exposure in the fresh-water shrimp *Macrobrachium olfersii* (Wiegmann) (Crustacea, Decapoda) – Whole animal and tissue respiration. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 113, pp. 221–230. [https://doi.org/10.1016/0022-0981\(87\)90102-X](https://doi.org/10.1016/0022-0981(87)90102-X).
- Moreira, G.S., McNamara, J.C., Shumway, S.E., and Moreira, P.S., 1983. Osmoregulation in Brazilian *Macrobrachium* (Decapoda, Palaemonidae). *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology*, 74A, pp. 57-62. [https://doi.org/10.1016/0300-9629\(83\)90711-9](https://doi.org/10.1016/0300-9629(83)90711-9).
- Navarro, J.M., and González, C.M., 1998. Physiological responses of Chilean scallop, *Argopecten purpuratus*, to decreasing salinity. *Aquaculture*, 167, pp. 315–327. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(98\)00310-X](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(98)00310-X).
- Péqueux, A., 1995. Osmotic regulation in crustaceans. *Journal of Crustacean Biology*, 15, pp. 1–60. <https://doi.org/10.2307/1549010>.
- Ponce-Palafox, J. T., Arana-Magallon, F. C., Cabanillas-Beltrán, H., and Esparza, H., 2002. Bases biológicas y técnicas para el cultivo de los camarones de agua dulce nativos del Pacífico americano *Macrobrachium tenellum* (Smith, 1871) y *M. americanum* (Bate, 1968). I Congreso Iberoamericano Virtual de Acuicultura. 534-546 pp. https://www.researchgate.net/publication/260908851_Bases_biologicas_y_tecnicas_para_el_cultivo_de_los_camarones_de_agua_dulce_nativos_del_Pacifico_Americano_Macrobrachium_tenellum_Smith_1871_y_M_americanum_Bate_1968.
- Reicheldt-Saavedra, A., 1992. Efecto de la salinidad sobre la bioenergética de postlarvas del langostino *Macrobrachium rosenbergii*. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. 26 p. <http://132.248.9.195/pmig2016/0186095/0186095.pdf>.
- Rodier, J., 1981. Análisis de las aguas: aguas naturales, aguas residuales, agua de mar. Omega, Barcelona. 138-140 p.
- Rosas, C., Cuzon, G., Gaxiola, G., Pascual, C., Taboada, G., Arena, L., and Wormhoudt, A.V., 2002. An energetic and conceptual model of the physiological role of dietary carbohydrates and salinity on *Litopenaeus vannamei* juveniles. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 268, pp. 47-67. [https://doi.org/10.1016/S0022-0981\(01\)00370-7](https://doi.org/10.1016/S0022-0981(01)00370-7).

- Rosas, C., Brito, R., Sánchez, A., and Gaxiola, G., 2003. Bioenergética de crustáceos decápodos con énfasis en camarones peneidos. I JORNADAS IBEROAMERICANAS DE NUTRICIÓN EL ACUICULTURA. Centro de Formación de la Cooperación Española en Cartagena de Indias. Colombia, 7 a 11 de julio del 2003. 30 p.
- Ruiz-Hernández, B.A., 2018. Efecto de la salinidad en el consumo de oxígeno y producción de desechos nitrogenados de *Macrobrachium tenellum*. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma de Occidente. 45 pp.
- Schiff, H., and Hendrickx, M.E., 1997. An introductory survey of ecology and sensory receptors of tropical eastern pacific crustaceans. *Italian Journal of Zoology*, 64(1), pp. 13-30. <https://doi.org/10.1080/11250009709356168>.
- Shuhong, Z., 2006. The influence of salinity, rhythm and day length on feeding behavior in *Meretrix meretrix* Linnaeus. *Aquaculture*, 252, pp. 584-590. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.07.036>.
- Singh, T., 1980 the Isosmotic concept in relation to the acuaculture of the giant prawn, *Macrobrachium rosenbergii*. *Aquaculture*, 20, pp. 251-256. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(80\)90115-5](https://doi.org/10.1016/0044-8486(80)90115-5).
- Stern, S., Borut, and Cohen, D., 1984. The effect of salinity and ion composition on oxygen consumption and nitrogen excretion of *Macrobrachium rosenbergii* (De Man). *Comparative Biochemistry and Physiology*, 79A, pp. 271-274. [https://doi.org/10.1016/0300-9629\(84\)90428-6](https://doi.org/10.1016/0300-9629(84)90428-6).
- Urbina, M., Paschke, K., Gebauer, P., and Chaparro, O., 2010. Physiological energetics of the estuarine crab *Hemigrapsus crenulatus* (Crustacea: Decapoda: Varunidae): responses to different salinity levels. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 90(2), pp. 267-273. <https://doi.org/10.1017/S0025315409990889>.
- Urbina, M.A., and Glover, C.N., 2015. Effect of salinity on osmoregulation, metabolism and nitrogen excretion in the amphidromous fish, inanga (*Galaxias maculatus*). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 473, pp. 7-15. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2015.07.014>.
- Valdez, G., Díaz, F., Re, A.D., and Sierra, E., 2008. Efecto de la salinidad sobre la fisiología energética del camarón blanco *Litopenaeus vannamei* (Bone). *Hidrobiológica*, 18, pp. 105-115. <https://hidrobiologica.izt.uam.mx/index.php/revHidro/article/view/891/481>.
- Valdez-Flores, C.M., and Soto Domínguez., 2019. Análisis de la diversidad y abundancia de crustáceos del río Fuerte. Sinaloa, México. Tesis Licenciatura. Universidad Autónoma de Occidente. 48 p.
- Vega-Villasante, F., Galavíz-Parada, J.D., Guzmán-Arroyo, M., Flores-Zepeda, C.A, and Espinosa-Chaurand, L.D., 2011. Efecto de diferentes salinidades sobre el crecimiento y supervivencia de juveniles del langostino de río *Macrobrachium tenellum* (Smith, 1871). *Zootecnia Tropical*, 29(4), pp. 467-473.
- Villarreal, H., 1991. A partial energy budget for the Australian crayfish *Cherax tenuimanus*. *Journal of the World Aquaculture Society*, 22, pp. 252-259. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.1991.tb00742.x>.
- Willmer, P., Stone, G., and Johnston, I., 2000. Environmental physiology of animals. Oxford, UK: Blackwell Science Ltd.
- Winberg, G.G., 1960. Rate of metabolism and food requirements of fishes. *Fisheries Research Board of Canada, Translation Series*, 194, pp. 1-253. <https://doi.org/10.2307/1440948>.
- Zar, H. J., 1999. Biostatistical analysis. Prentice-Hall Inc., New Jersey, 996 p.