

Respuestas metabólicas del pepino de mar (*Holothuria inornata*) a variaciones de pH, salinidad y temperatura

Metabolic responses of a sea cucumber (*Holothuria inornata*) to different levels of pH, salinity and temperature

Carlos Vergara-Chen^{1*}, Andreína Ríos², Nayliz Hidalgo¹, Diana Pérez³, Pablo Vergara³

¹Grupo de Investigación Ecología, Geoquímica y Sostenibilidad, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de Panamá, Ciudad de Panamá, Panamá.

²Facultad de Ciencias del Mar, Universidad Marítima Internacional de Panamá, Ciudad de Panamá, Panamá.

³Estación de Maricultura del Pacífico, Autoridad de los Recursos Acuáticos de Panamá (ARAP), Vacamonte, Panamá.

*Autor de correspondencia: carlos.vergara3@utp.ac.pa

RESUMEN. Los estresores abióticos impactan la fisiología de los organismos marinos, siendo crucial evaluar su efecto en la capacidad adaptativa. Este estudio analiza experimentalmente la influencia del pH (7.2, 7.6, 8.2), la salinidad (20, 35, 40) y la temperatura (20, 26, 34 °C) sobre el consumo de oxígeno y la excreción de amonio en el pepino de mar *Holothuria inornata*. Los resultados indican que el pH no afectó significativamente la respiración; sin embargo, esta aumentó a 34 °C, mientras que los valores moderados a salinidad 35 sugieren un punto isoosmótico cercano a dicho nivel. Por otro lado, la excreción de amonio se incrementó ante un pH bajo y altas temperaturas, pero disminuyó con mayor salinidad. En conjunto, las respuestas fisiológicas revelan una menor capacidad de adaptación de *H. inornata* ante el calentamiento, la acidificación y la baja salinidad.

Palabras clave. Equinodermos, estresores abióticos, fisiología ecológica, holoturoideos, metabolismo, tolerancia ambiental.

ABSTRACT. Abiotic stressors impact the physiology of marine organisms, making it crucial to evaluate their effect on adaptive capacity. This study experimentally analyzes the influence of pH (7.2, 7.6, 8.2), salinity (20, 35, 40), and temperature (20, 26, 34 °C) on oxygen consumption and ammonium excretion in the sea cucumber *Holothuria inornata*. The results indicate that pH did not significantly affect respiration; however, respiration increased at 34 °C, while moderate values at a salinity of 35 suggest an isoosmotic point close to this level. On the other hand, ammonium excretion increased at low pH and high temperatures but decreased with higher salinity. Overall, the physiological responses reveal a reduced capacity of *H. inornata* to adapt to warming, acidification, and low salinity.

Keywords. Abiotic stressors, echinoderms, ecological physiology, environmental tolerance, holothurians, metabolism.

1. Introducción

La respuesta fisiológica general que ayuda a mantener el equilibrio homeostático de los organismos cuando estos enfrentan situaciones amenazantes o perturbaciones se conoce como estrés. Una respuesta al estrés se inicia casi inmediatamente después de la percepción de un factor estresor [1], [2]. Los estresores abióticos son las acciones de estímulos intrínsecos o extrínsecos que

ejercen una variedad de efectos en las características y las respuestas biológicas, mostrando efectos interactivos sobre los organismos. Por lo tanto, existe la necesidad de comprender cómo los organismos marinos sobreviven bajo condiciones de estrés abiótico y conocer los mecanismos que les permiten responder a los cambios fisicoquímicos asociados con estos factores estresores y les ayudan a enfrentar éstas condiciones ambientales adversas a través de procesos fisiológicos [3], [4]. En el

Citación: C. Vergara, A. Ríos, N- Hidalgo, D. Pérez y P. Vergara, "Respuestas metabólicas del pepino de mar (*Holothuria inornata*) a variaciones de pH, salinidad y temperatura", *Revista de I+D Tecnológico*, vol. 21, no. 1, pp. (0), 2026.

Tipo de artículo: Original. **Recibido:** 27 de agosto de 2025. **Recibido con correcciones:** 1 de junio de 2026. **Aceptado:** 1 de junio de 2026.

DOI.

Copyright: 2025 C. Vergara, A. Ríos, N- Hidalgo, D. Pérez y P. Vergara. This is an open access article under the CC BY-NC-SA 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).

medio marino destacan la temperatura, la salinidad y el pH como estresores abióticos importantes jugando un papel importante en la fisiología de los organismos marinos en un ambiente que está siendo modificado rápidamente como consecuencia del cambio climático [5], [6].

La temperatura es reconocida como uno de los factores fundamentales que afectan los procesos biológicos de los pepinos de mar, como la alimentación, la respiración, el crecimiento, la reproducción y la respuesta inmune [7], [8], [9], [10], [11]. Del mismo modo, la salinidad es otro factor estresor importante que influye en los mecanismos fisiológicos de los pepinos de mar, como tasas metabólicas, el desarrollo larvario, el crecimiento, la osmoregulación, la expresión génica, y la respuesta inmune [7], [8], [12], [13], [14]. Por otra parte, la variación en el pH causa diferentes efectos perjudiciales en los pepinos de mar, resultando en alteraciones en la fertilización, el desarrollo embrionario, el crecimiento, el sistema antioxidante y finalmente en las tasas de supervivencia y mortalidad [7], [15], [16].

Holothuria inornata es un pepino de mar que se distribuye en el Pacífico Oriental Tropical desde el Golfo de California, Islas Revillagigedo, Pacífico mexicano, Isla del Coco, Costa Rica, Guatemala, El Salvador, Panamá y Ecuador, incluidas las Islas Galápagos [17], [18]. Estos organismos pueden alcanzar hasta 40 cm de longitud y en general habitan en aguas someras sobre fondos rocosos-arenosos, entre 0 a 18 m de profundidad [19]. No existe información sobre la biología básica del pepino de mar *H. inornata* con relación a sus respuestas fisiológicas a las fluctuaciones de temperatura, salinidad y pH, a diferencia de otras especies de pepino de mar mucho mejor estudiadas como *Apostichopus japonicus* [10], [12], [14], [15], [20], [21]. El conocimiento de las características metabólicas de *H. inornata* frente al estrés abiótico es relevante en los estudios ambientales con el fin de auxiliar la evaluación de su impacto en la funcionalidad y capacidad de adaptación de los organismos.

El objetivo de este trabajo fue determinar los efectos de las condiciones ambientales cambiantes en las características metabólicas del pepino de mar *H. inornata*. Utilizamos 3 experimentos de laboratorio para exponer a los pepinos de mar a tratamientos diferentes de salinidad, temperatura y pH, y registramos las tasas de consumo de oxígeno y excreción de amoníaco. Se

propone que el metabolismo fuese mayor en condiciones ambientales extremas y que las tasas de consumo de oxígeno y excreción de amoníaco se verían fuertemente afectadas, lo que reflejaría un mayor impacto del estrés abiótico. Los resultados de este estudio contribuirán a futuras investigaciones que examinen los efectos del cambio ambiental en los organismos marinos, incluidos los efectos causados por la contaminación, la eutrofización y el cambio climático (calentamiento y acidificación del océano) en zonas litorales someras.

2. Materiales y Métodos

Los pepinos de mar utilizados en esta investigación fueron recolectados de manera manual en la zona submareal de la costa rocosa de Río Mar, San Carlos, Pacífico de Panamá, durante marea baja. En el sitio de muestreo, los valores de salinidad del agua se registraron entre 32.25 y 35.06 ppt, la temperatura varió de 27 a 30°C, y el rango de pH se situó entre 7.82 y 7.96.

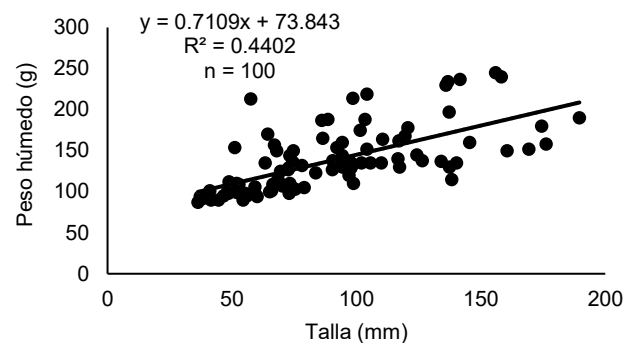


Figura 1. La relación entre la talla corporal y el peso corporal húmedo de los individuos de la especie de pepino de mar *Holothuria inornata* empleados en los experimentos de consumo de oxígeno y excreción de amoníaco.

Los animales fueron trasladados al laboratorio en tanques plásticos de 18 L, aclimatados durante 7 días en un tanque plástico de 250 L con agua de mar filtrada por arena con recambio diario (75% del volumen de agua en el tanque) y alimentados diariamente con una mezcla de microalgas (*Chaetoceros gracilis*, *Isochrysis galbana* y *Spirulina sp.*) a una densidad mínima de 12,000 células/ml a una ración de aproximadamente 10% de peso húmedo/día. La relación entre la talla corporal y el peso corporal de los organismos empleados en los experimentos se muestra en la Fig. 1. El estudio se realizó en los laboratorios de la Estación de Maricultura del

Pacífico, Autoridad de los Recursos Acuáticos de Panamá (ARAP).

Se llevaron a cabo experimentos a diferentes niveles de pH (7.2, 7.6, 8.2), salinidad (20, 35 y 40 ppt) y temperatura (20, 26 y 34°C) siguiendo los mismos procedimientos de tratamiento señalados a continuación. Para reducir las respuestas metabólicas asociadas, los pepinos de mar fueron privados de alimento durante 24 horas previas al inicio de los experimentos [21]. Los niveles de salinidad, temperatura y pH evaluados en este estudio reflejan la alta variabilidad ambiental característica de las costas rocosas intermareales, donde los organismos enfrentan fluctuaciones extremas debido a los ciclos de marea y la exposición atmosférica. Al replicar estas oscilaciones en los tratamientos, los resultados adquieren una mayor relevancia ecológica, permitiendo extrapolar las respuestas fisiológicas observadas a los desafíos reales de supervivencia y resiliencia que enfrentan estas especies en su hábitat natural.

Se emplearon métodos de respirometría de botella cerrada para determinar la tasa de consumo de oxígeno y la tasa de excreción de amonio. Los experimentos se realizaron en recipientes de vidrio de 1.3 L, con 3 réplicas (recipientes) en cada grupo. Los animales experimentales se colocaron cuidadosamente en cada recipiente y luego el recipiente se selló bajo el agua para evitar atrapar burbujas de aire. Al mismo tiempo, 3 recipientes llenos solo con agua de mar recolectada del mismo tanque sirvieron como controles. Al inicio y luego de 3 h, se recogieron muestras de agua de cada réplica para análisis de oxígeno y amonio, y la concentración se determinó mediante los métodos de Winkler e hipobromito, respectivamente. El consumo de oxígeno se calculó restando el nivel de oxígeno disuelto de cada recipiente de pepino de mar del nivel medio de oxígeno disuelto en los controles. Luego se corrigió el valor para permitir el volumen de los animales en el contenedor. Tras cada experimento, los mismos organismos fueron liberados en sus tanques originales, permitiendo un periodo de recuperación de 48 horas entre los distintos ensayos.

Las diferencias medias de las tasas de consumo de oxígeno y excreción de amonio entre los diferentes niveles de salinidad, pH y temperatura se determinaron mediante una prueba de Kruskal-Wallis, asumiendo que los datos no tienen una distribución normal confirmada, luego de aplicar una prueba normalidad de Shapiro-Wilk. Los análisis estadísticos se realizaron con el paquete R commander [22] implementado en el entorno y lenguaje de programación R [23].

3. Resultados y discusión

3.1 Resultados

3.1.1 Efecto del pH, salinidad y temperatura en el consumo de oxígeno

Los niveles de pH del agua de mar (7.2, 7.6, 8.2) no tuvieron efectos importantes en la tasa de consumo de oxígeno. Los cambios en la salinidad (20, 35 y 40) no causaron efectos significativos en la tasa de consumo de oxígeno a pesar de que se usó un valor de salinidad de hasta 40. Los valores moderados de respiración se encontraron a una salinidad de 35, lo que sugiere que el punto isoosmótico puede estar a aproximadamente a este valor. Los animales sometidos a temperaturas de 20°C y 26°C tuvieron un menor consumo de oxígeno comparado con la temperatura más alta de 34°C. En general, los cambios en el pH, salinidad y temperatura no causaron efectos significativos en la tasa de consumo de oxígeno de *H. inornata* ($p > 0.05$) (Fig. 2).

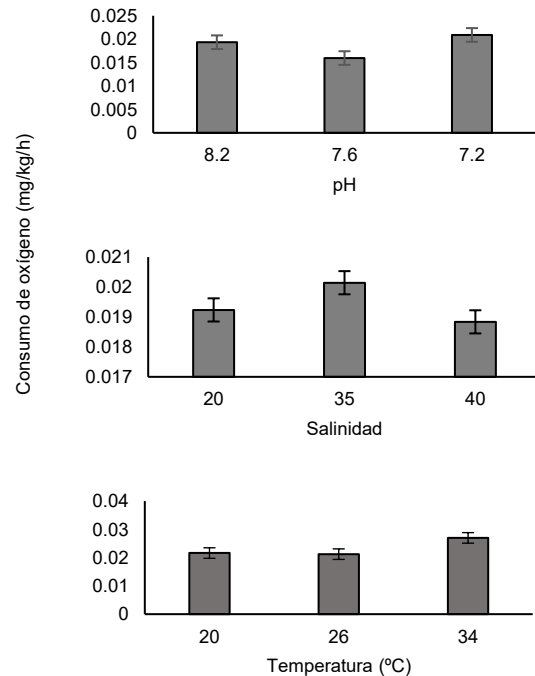


Figura 2. Efecto de tres niveles de pH, salinidad y temperatura en la tasa de consumo de oxígeno de la especie de pepino de mar *Holothuria inornata*, bajo condiciones experimentales.

3.1.2 Efecto del pH, salinidad y temperatura en la excreción de amonio

Se observó un incremento en la excreción de amonio al reducirse el pH y al aumentar la temperatura del agua, mientras que la salinidad impulsó una reducción en la

producción de amonio. De este modo, se destacó que los cambios en el pH ejercen efectos significativos en la tasa de excreción de amonio de *H. inornata* ($p < 0.05$), sin embargo, y a pesar de detectarse variaciones en la tasa de excreción de amonio, la salinidad y temperatura no provocaron consecuencias importantes en el pepino de mar ($p > 0.05$) (Fig. 3).

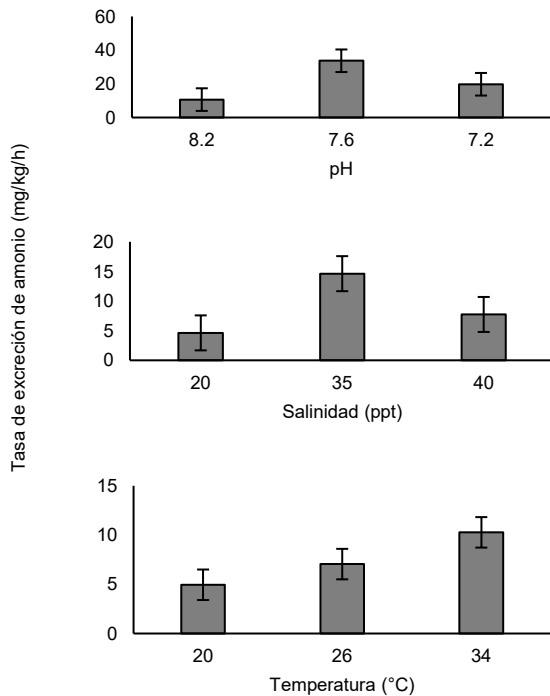


Figura 3. Efecto de tres niveles de pH, salinidad y temperatura en la excreción de amonio de la especie de pepino de mar *Holothuria inornata*, bajo condiciones experimentales.

3.2 Discusión

Este estudio representa la primera investigación en analizar las tasas de consumo de oxígeno y excreción de amonio en el pepino de mar *H. inornata*, así como el impacto de las variaciones de tres estresores abióticos, pH, salinidad y temperatura, sobre estos parámetros fisiológicos. Nuestros resultados indican que el metabolismo de *H. inornata* presenta diferentes respuestas ante condiciones ambientales extremas, lo que sugiere una afectación por el estrés abiótico [24], [25]. De esta forma, nuestra investigación llena un vacío en el conocimiento sobre la fisiología de los pepinos de mar en el Pacífico oriental tropical.

3.2.1 Efectos del pH

El pH no tuvo un efecto significativo sobre la tasa de consumo de oxígeno de *H. inornata*. Sin embargo, sí se observó un efecto significativo en la tasa de excreción de amonio. La tasa de excreción de amonio presenta una respuesta bifásica frente a la acidificación: la disminución en los valores de pH provocó un incremento en la producción, con un pico máximo a pH 7.6 que declina significativamente al alcanzar un umbral crítico de pH 7.2. Este hallazgo está en consonancia con estudios que sugieren que la reducción del pH puede afectar los procesos metabólicos de organismos marinos, aunque la respuesta es variable [4], [26]. Aunque algunas investigaciones en pepinos de mar han mostrado plasticidad fisiológica ante cambios en el pH, nuestros resultados coincidieron con la evidencia de que las disminuciones de pH, especialmente en combinación con una reducción de la temperatura, pueden tener efectos significativos [6], [16].

3.2.2 Efectos de la salinidad

La variación en la salinidad no generó efectos significativos en la tasa de consumo de oxígeno, lo que concuerda con la literatura que indica una ausencia de diferencias en la energía necesaria para la osmorregulación ante fluctuaciones de salinidad [12], [27]. En cuanto a la excreción de amonio, aunque se detectaron variaciones, los diferentes niveles de salinidad no tuvieron un impacto estadísticamente significativo. Los organismos mostraron una respuesta bifásica, caracterizada por un incremento en la excreción de amonio a 35 ppt, seguido de una disminución a 40 ppt. Esta fluctuación probablemente se relaciona con el cambio brusco de salinidad. [12], [13]. Otros estudios informan respuestas diversas, donde algunas especies incrementan su metabolismo con la salinidad [28], mientras que otras tienen indicadores metabólicos mínimos en la salinidad isoosmótica [29].

3.2.3. Efectos de la temperatura

La temperatura no causó efectos significativos en el metabolismo de *H. inornata*, si bien se observó una ligera tendencia al alza en el consumo de oxígeno y la excreción de amonio con el incremento térmico. Esto sugiere que las temperaturas elevadas pueden aumentar el metabolismo sin necesariamente inducir estrés en el organismo, lo cual se alinea con la comprensión de que

las tasas metabólicas de los organismos marinos típicamente aumentan con la temperatura hasta un punto óptimo [11], [27], [28], [29]. La disminución en la concentración de amoníaco con la temperatura se correlaciona con la reducción de su solubilidad en el agua [30].

3.2.4 Limitaciones y futuras investigaciones

A pesar de que los equinodermos son generalmente considerados como especies con baja adaptación a los cambios ambientales [24], [25], la capacidad de *H. inornata* para sobrevivir bajo condiciones extremas de estrés abiótico podría estar relacionada con su acervo genético, que posiblemente le confiere una mayor capacidad de adaptación [31].

En síntesis, los resultados obtenidos indican que *H. inornata* presenta una disminución en su capacidad adaptativa frente a escenarios de baja salinidad, elevadas temperaturas y valores reducidos de pH. Estas condiciones impactan negativamente en el metabolismo, considerado uno de los procesos biológicos claves afectados por el estrés ambiental [32], [33]. Para avanzar en este campo, se necesitan más estudios que exploren la biología básica de la especie y sus características metabólicas, lo que permitirá una mejor planificación de su aprovechamiento, manejo y conservación [33], [34]. La información generada en esta y futuras investigaciones podría ser vital para comprender los efectos del cambio climático, como el calentamiento y la acidificación del océano, en la fisiología de los pepinos de mar en los hábitats de aguas someras tropicales.

4. Conclusiones

Este estudio logró determinar los efectos de las condiciones ambientales cambiantes en las características metabólicas del pepino de mar *H. inornata*. Se determinó que en esta especie el consumo de oxígeno es resiliente a las variaciones de pH. No obstante, su metabolismo se ve comprometido por el estrés térmico a 34 °C, donde la respiración aumenta significativamente. A diferencia del oxígeno, la excreción de amonio es sensible a los tres estresores: se incrementa ante la acidificación y el calor, pero se reduce con el aumento de la salinidad. En resumen, esta especie presenta una respuesta diferencial, mientras que su consumo de oxígeno es tolerante al pH, la tasa respiratoria y la excreción de amonio revelan una vulnerabilidad fisiológica ante el calentamiento y los

cambios en la salinidad. Esta información es crucial para la conservación y el manejo de la especie frente a los efectos del estrés abiótico y del cambio climático.

AGRADECIMIENTOS

La Autoridad de los Recursos Acuáticos de Panamá (ARAP) proporcionó apoyo técnico y logístico para la realización de esta investigación. Los técnicos Laura Molina y Gustavo Collado de la Estación de Maricultura del Pacífico (ARAP) brindaron asistencia durante la recolección de organismos y el desarrollo de los experimentos. El Ministerio de Ambiente de Panamá (Miambiente) otorgó los permisos para la recolección de los organismos. Este trabajo fue financiado por la Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SENACYT) de Panamá bajo el contrato por mérito 11-20144-COL12-036 y con fondos del Sistema Nacional de Investigadores (SNI) de Panamá.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener algún tipo de conflicto de interés.

CONTRIBUCIÓN Y APROBACIÓN DE LOS AUTORES

Andréina Ríos realizó la recolección de datos y muestras en el campo, llevó a cabo los análisis de laboratorio, y participó en la interpretación y discusión de los resultados. Nayliz Hidalgo, Diana Pérez y Pablo Vergara participaron en el procesamiento de datos, la interpretación de resultados y redacción del manuscrito. Carlos Vergara-Chen concibió la investigación, participó en el análisis y la discusión de los resultados, y redactó el manuscrito. Todos los autores afirmamos que se leyó y aprobó la versión final de este artículo.

REFERENCIAS

- [1] G. P. Chrousos y P. W. Gold, "The concepts of stress and stress system disorders. Overview of physical and behavioural homeostasis", *The Journal of the American Medical Association*, vol. 267, pp. 1244–1252, 1992.
- [2] C. B. Schreck y L. Tort, "The concept of stress in fish", *Fish physiology*, vol. 35, pp. 1–34, 2016.
- [3] A. R. Gunderson, E. J. Armstrong, y J. H. Stillman, "Multiple stressors in a changing world: the need for an improved perspective on physiological responses to the dynamic marine environment", *Ann. Rev. Mar. Sci.*, vol. 8, pp. 357–378, 2016.
- [4] E. G. González Durán, M. Popoca Cuaya, M. Valencia Gutiérrez, y J. Ancona León, "Effects of temperature and pH

- on the oxidative stress of benthic marine invertebrates”, *Biology Bulletin*, vol. 45, num. 6, pp. 610–616, 2018.
- [5] G. Hoffmann y A. E. Todham, “Living in the now: physiological mechanisms to tolerate a rapidly changing environment”, *Annu. Rev. Physiol.*, vol. 72, pp. 127–145, 2010.
- [6] X. Yuan, S. J. McCoy, Y. Du, S. Widdicombe, y J. M. Hall-Spencer, “Physiological and Behavioral Plasticity of the Sea Cucumber *Holothuria forskali* (Echinodermata, Holothuroidea) to Acidified Seawater”, *Front. Physiol.*, vol. 9, sep. 2018, doi: 10.3389/fphys.2018.01339.
- [7] P. S. Asha y P. Muthilah, “Effects of temperature, salinity and pH on larval growth, survival and development of the sea cucumber *Holothuria spinifera* Theel”, *Aquaculture*, vol. 250, num. 3–4, pp. 823–829, 2005.
- [8] F. Wang, H. Yang, F. Gao, y G. Liu, “Effects of acute temperature or salinity stress on the immune response in sea cucumber, *Apostichopus japonicus*”, *Comp. Biochem. Physiol. A Mol. Integr. Physiol.*, vol. 151, num. 4, pp. 491–498, 2008.
- [9] E. Kamyab, H. Kühnhold, S. C. Novais, L. M. Alves, y L. Indiana, “Effects of thermal stress on the immune and oxidative stress responses of juvenile sea cucumber *Holothuria scabra*”, *Journal of Comparative Physiology B*, vol. 187, num. 1, pp. 51–61, 2017.
- [10] Q. L. Wang, Y. W. Dong, C. X. Qin, S. S. Yu, S. L. Dong, y F. Wang, “Effects of rearing temperature on growth, metabolism and thermal tolerance of juvenile sea cucumber, *Apostichopus japonicus* Selenka: critical thermal maximum (CT max) and hsp90 gene expression”, *Comp. Biochem. Physiol. A Mol. Integr. Physiol.*, vol. 44, num. 10, pp. 1550–1559, 2013.
- [11] H. Kühnhold *et al.*, “Thermal stress effects on energy resource allocation and oxygen consumption rate in the juvenile sea cucumber, *Holothuria scabra* (Jaeger, 1833)”, *Aquaculture*, vol. 467, pp. 109–117, ene. 2017, doi: 10.1016/j.aquaculture.2016.03.018.
- [12] X. L. Meng, Y. W. Dong, S. L. Dong, S. S. Yu, y X. Zhou, “Mortality of the sea cucumber, *Apostichopus japonicus* Selenka, exposed to acute salinity decrease and related physiological responses: osmoregulation and heat shock protein expression”, *Aquaculture*, vol. 316, num. 1–4, pp. 88–92, 2011.
- [13] Z. Yu, Z. Qi, C. Hu, W. Liu, y H. Huang, “Effects of salinity on ingestion, oxygen consumption and ammonium excretion rates of the sea cucumber *Holothuria leucospilota*”, *Aquaculture Research*, vol. 44, num. 11, pp. 1760–1767, 2012.
- [14] Y. , Bai *et al.*, “The effect of salinity on the growth, energy budget and physiological performance of green, white and purple color morphs of sea cucumber, *Apostichopus japonicus*”, *Aquaculture*, vol. 437, pp. 297–303, 2015.
- [15] W. Zhao, M. Liang, y P. Zhang, “Effect of yeast polysaccharide on the immune function of juvenile sea cucumber, *Apostichopus japonicus* Selenka under pH stress”, *Aquaculture international*, vol. 18, num. 5, pp. 777–786, 2010.
- [16] M. Gullian Klanian y M. Terrats Preciat, “Effect of pH on temperature controlled degradation of reactive oxygen species, heat shock protein expression, and mucosal immunity in the sea cucumber *Isostichopus badionotus*”, *PLoS One*, vol. 12, num. 4, p. e0175812, abr. 2017, doi: 10.1371/journal.pone.0175812.
- [17] F. A. Solís Marín y J. A. Arriaga Ochoa, “Holoturoideos (Echinodermata: Holothuroidea) del Golfo de California”, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, 2007.
- [18] J. J. Alvarado, F. A. Solís-Marín, y C. G. Ahearn, “Echinoderm (Echinodermata) diversity in the Pacific coast of Central America”, *Marine Biodiversity*, vol. 40, num. 1, pp. 45–56, mar. 2010, doi: 10.1007/s12526-009-0032-5.
- [19] J. J. Alvarado y F. A. Solís-Marín, “Echinoderm Research and Diversity in Latin America”, en *Echinoderm Research and Diversity in Latin America*, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2013, pp. 1–9. doi: 10.1007/978-3-642-20051-9_1.
- [20] H. Yang *et al.*, “Metabolic characteristics of sea cucumber *Apostichopus japonicus* (Selenka) during aestivation”, *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, vol. 330, num. 2, pp. 505–510, mar. 2006, doi: 10.1016/j.jembe.2005.09.010.
- [21] Y. Dong y S. Dong, “Growth and oxygen consumption of the juvenile sea cucumber *Apostichopus japonicus* (Selenka) at constant and fluctuating water temperatures”, *Aquac. Res.*, vol. 37, num. 13, pp. 1327–1333, sep. 2006, doi: 10.1111/j.1365-2109.2006.01570.x.
- [22] J. Fox, “The R Commander: A Basic-Statistics Graphical User Interface to R”, *J. Stat. Softw.*, vol. 14, num. 9, 2005, doi: 10.18637/jss.v014.i09.
- [23] R Core Team, “R: A language and environment for statistical computing”, R Foundation for Statistical Computing.
- [24] J. M. . Lawrence, *A functional biology of echinoderms*. Johns Hopkins University Press, 1987.
- [25] J. M. Lawrence, “The effect of stress and disturbance on echinoderms”, *Zoolog. Sci.*, vol. 7, pp. 17–28, 1990.
- [26] W. Liu y M. He, “Effects of ocean acidification on the metabolic rates of three species of bivalve from southern coast of China”, *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, vol. 30, num. 2, pp. 206–211, mar. 2012, doi: 10.1007/s00343-012-1067-1.
- [27] J. Fang *et al.*, “Tolerance, oxygen consumption and ammonia excretion of *Ophiopholis sarsii vadicola* in different temperatures and salinities”, *Journal of Ocean University of China*, vol. 14, num. 3, pp. 549–556, jun. 2015, doi: 10.1007/s11802-015-2513-4.
- [28] Y. Hong-sheng, W. Ping, Z. Tao, W. Jian, H. Yi-chao, y Z. Fu-sui, “Effects of reduced salinity on oxygen consumption and ammonia-N excretion of *Chlamys farreri*”, *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, vol. 17, num. 3, pp. 207–211, sep. 1999, doi: 10.1007/BF02842597.

- [29] B. Tang, B. Liu, H. Yang, y J. Xiang, "Oxygen consumption and ammonia-N excretion of *Meretrix meretrix* in different temperature and salinity", *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, vol. 23, numb. 4, pp. 469–474, dic. 2005, doi: 10.1007/BF02842693.
- [30] C. D. Moyes y P. M. Schulte, *Principles of animal physiology*. Pearson/Benjamin Cummings, 2008.
- [31] C. Vergara-Chen, M. González-Wangüemert, C. Marcos, y Á. Pérez-Ruzafa, "Genetic diversity and connectivity remain high in *Holothuria polii* (Delle Chiaje 1823) across a coastal lagoon-open sea environmental gradient", *Genetica*, vol. 138, num. 8, pp. 895–906, ago. 2010, doi: 10.1007/s10709-010-9472-x.
- [32] M. Kodama, J. G. Sumbing, M. Junemie, H. Lebata-Ramos, y S. Watanabe, "Metabolic rate characteristics and sediment cleaning potential of the tropical sea cucumber *Holothuria scabra*", *Japan Agricultural Research Quarterly: JARQ*, vol. 49, num. 1, pp 79-84, 2015, doi.org/10.6090/jarq.49.79
- [33] D. Huo, L. Sun, y L. Xing, "Sea cucumbers in a world of high temperature and low dissolved oxygen: An overview focusing on *Apostichopus japonicus*", en *The World of Sea Cucumbers*, Elsevier, 2024, pp. 493–504. doi: 10.1016/B978-0-323-95377-1.00025-4.
- [34] C. Vergara-Chen, Z. Guerra, y G. N. Collado, "El pepino de mar, *Isostichopus fuscus*, recurso marino en peligro con altas necesidades de manejo", *Tecnociencia (Panama)*, vol. 17, pp. 1–20, 2015.