

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

Evaluación de la supervivencia de los tardígrados en anoxibiosis: límites de la criptobiosis en condiciones extremas

Luis Allcahuaman-Huauya^{1 2}

<https://orcid.org/0000-0001-7470-8579>

Jehoshua Macedo-Bedoya^{1 3 4}

<https://orcid.org/0009-0008-7958-5318>

Luisa Calderón Ayala⁵

<https://orcid.org/0009-0004-7665-5895>

Hugo L. Vicente Ruiz³

<https://orcid.org/0009-0004-3167-438X>

¹Asociación Peruana de Astrobiología, Lima, Perú

²Universidad Peruana Cayetano Heredia, Lima, Perú

³Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú

⁴Red de Investigadores en Biodiversidad, Ecología y Conservación

⁵Bioinorganic Chemistry in Medicine, Environmental and Technology, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú

Email: jehoshua.macedo@unmsm.edu.pe

Recibido: 02/03/2025 • Revisado: 19/03/2025 • Aceptado: 02/04/2025

Resumen

Los tardígrados son un grupo de micro invertebrados muy conocidos por la notable capacidad de sobrevivir en condiciones extremas y muchas veces hostiles para otros organismos, lo que los ha hecho muy importantes y recurrentes en estudios astrológicos. No existe ningún trabajo sobre la evaluación de la supervivencia de los heterotardígrados expuestos a la estratosfera. El objetivo del estudio fue estimar la viabilidad de los heterotardígrados enviados a la estratosfera, se utilizó el criterio de viabilidad para definir individuos vivos y muertos. Los individuos fueron transportados a la estratosfera (3500 m.s.n.m) por medio de 10 viales en una gradilla diseñada para este trabajo. Los resultados indican que los heterotardígrados no sobrevivieron ya que estos no realizaron algún movimiento corporal, lo que sugiere limitaciones en las estrategias de supervivencia de estos organismos en este ambiente y proporciona una nueva perspectiva sobre la resistencia a la vida en condiciones extremas.

Palabras clave: Astrobiología, extremófilos, tardígrados, estratósfera.

Citar como:

Allcahuaman-Huauya, L., Macedo-Bedoya, J., Calderón Ayala, L., & Vicente Ruiz, H. L. (2025). Evaluación de la supervivencia de los tardígrados en anoxibiosis: Límites de la criptobiosis en condiciones extremas. *Revista Científica de Astrobiología*, 2(1), 24–31. <https://doi.org/10.69976/aspast.v2n1.2>

RESEARCH ARTICLE

Evaluation of the survival of tardigrades in anoxybiosis: limits of cryptobiosis in extreme conditions

Luis Allcahuaman-Huauya^{1 2}

<https://orcid.org/0000-0001-7470-8579>

Jehoshua Macedo-Bedoya^{1 3 4}

<https://orcid.org/0009-0008-7958-5318>

Luisa Calderón Ayala⁵

<https://orcid.org/0009-0004-7665-5895>

Hugo L. Vicente Ruiz³

<https://orcid.org/0009-0004-3167-438X>

¹Asociación Peruana de Astrobiología, Lima, Perú

²Universidad Peruana Cayetano Heredia, Lima, Perú

³Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú

⁴Red de Investigadores en Biodiversidad, Ecología y Conservación

⁵Bioinorganic Chemistry in Medicine, Environmental and Technology, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú

Email: jehoshua.macedo@unmsm.edu.pe

Received: 02/03/2025 • Reviewed: 19/03/2025 • Accepted: 02/04/2025

Abstract

Tardigrades are a group of microinvertebrates well known for their remarkable ability to survive in extreme conditions, often hostile to other organisms, which has made them very important and recurrent in astrological studies. There is no work on the evaluation of the survival of heterotardigrades exposed to the stratosphere. The objective of the study was to estimate the viability of heterotardigrades sent to the stratosphere, the viability criterion was used to define live and dead individuals. The individuals were transported to the stratosphere (3500 m.a.s.l.) by means of 10 vials in a rack designed for this work. The results indicate that the heterotardigrades did not survive because they did not perform any body movement, which suggests limitations in the survival strategies of these organisms in this environment and provides a new perspective on the resistance to life in extreme conditions.

Keywords: Astrobiology, extremophiles, tardigrades, stratosphere.

Cite as:

Allcahuaman-Huauya, L., Macedo-Bedoya, J., Calderón Ayala, L., & Vicente Ruiz, H. L. (2025). Evaluación de la supervivencia de los tardígrados en anoxibiosis: Límites de la criptobiosis en condiciones extremas. *Revista Científica de Astrobiología*, 2(1), 24–31. <https://doi.org/10.69976/aspast.v2n1.2>

Introducción

Los tardígrados, también conocidos como “osos de agua”, son un grupo de invertebrados microscópicos con al menos 1488 especies descritas (Degma & Guidetti, 2024). Pertenecen al filo Tardigrada y presentan un cuerpo segmentado con cuatro pares de patas terminadas en garras o discos adhesivos (Nelson et al., 2015). Se agrupan en dos clases principales: Eutardigrada y Heterotardigrada (Nelson et al., 2015). Su distribución es cosmopolita, colonizando una amplia variedad de hábitats (Nelson et al., 2015). Se encuentran principalmente en ecosistemas terrestres entre musgos y líquenes (Schuster, & Greven, 2007; Anguas-Escalante et al., 2018), así como en ambiente marinos (Rubal et al., 2023) y dulceacuícolas (McFatter et al., 2007). Además, han sido registrados en ambientes extremadamente hostiles como glaciares (Zawierucha et al., 2019).

Estos organismos han ganado una gran atención debido a su notable resistencia a condiciones extremas en los ambientes que habitan, tales como altas dosis de radiación, amplios rangos de temperatura y la hipoxia (Møbjerg et al., 2011; McGrath, 2024). Pueden tolerar dosis letales de radiación (Horikawa et al., 2006; Fernandez et al., 2016), temperaturas y presiones extremas, así como la ausencia prolongada de oxígeno y agua (Rebecchi et al., 2020; Arakawa, 2022). Estas características han despertado un gran interés en la astrobiología, ya que sugieren que podrían sobrevivir en entornos extraterrestres (Jönsson, 2007; Weronika & Lukasz, 2017). Por ejemplo, el Proyecto TARSE consistió en la evaluación de la supervivencia de *Macrobiotus richtersi* en la Órbita Terrestre Baja, y los micro invertebrados resistieron por la síntesis de proteínas antioxidantes (Rebecchi et al., 2009), mientras el Proyecto TARDIKISS cuantificó las proteínas antioxidantes acumuladas en los individuos diferentes (*Paramacrobiotus richtersi* y *Ramazzottius oberhaeuseri*) comprobando sus efectos protectores en las condiciones extremas del Órbita Terrestre Baja (Risso et al., 2015); por último, la población *Macrobiotus* sp. anhidrobióticos sobrevivieron después de la exposición en la estratosfera (Allcahuaman & Porrás, 2023). Por otro lado, el proyecto RoTaRad (Rotíferos, Tardígrados y Radiación) fue el único trabajo sobre la evaluación de *Echiniscus testudo* enviados a la Órbita Terrestre Baja, comprobando la supervivencia de los heterotardígrados (Persson et al., 2011).

En la actualidad, no existe un trabajo peruano sobre la evaluación de heterotardígrados expuestos a las condiciones inhóspitas de la estratosfera, debido a la falta de conocimiento de la existencia de los osos de agua. En el presente estudio, investigamos la capacidad de supervivencia de los heterotardígrados en la estratosfera, una región atmosférica hostil caracterizada por temperaturas fluctuantes, bajas presiones y altos niveles de radiación.

METODOLOGÍA

Área de estudio: El estudio se llevó a cabo en la región de Ica, Perú, abarcando diversas localidades dentro de la provincia. El lanzamiento del globo se realizó en el distrito de Yauca del Rosario, su trayecto estuvo influenciado por las condiciones atmosféricas y la geografía del terreno. Finalmente, el globo cayó en el distrito de Santiago, ubicado en el sur de la provincia. Santiago es un distrito con un relieve accidentado presentando colinas que enmarcan valles y pampas (Municipalidad Distrital de Santiago, 2020).

Figura 1

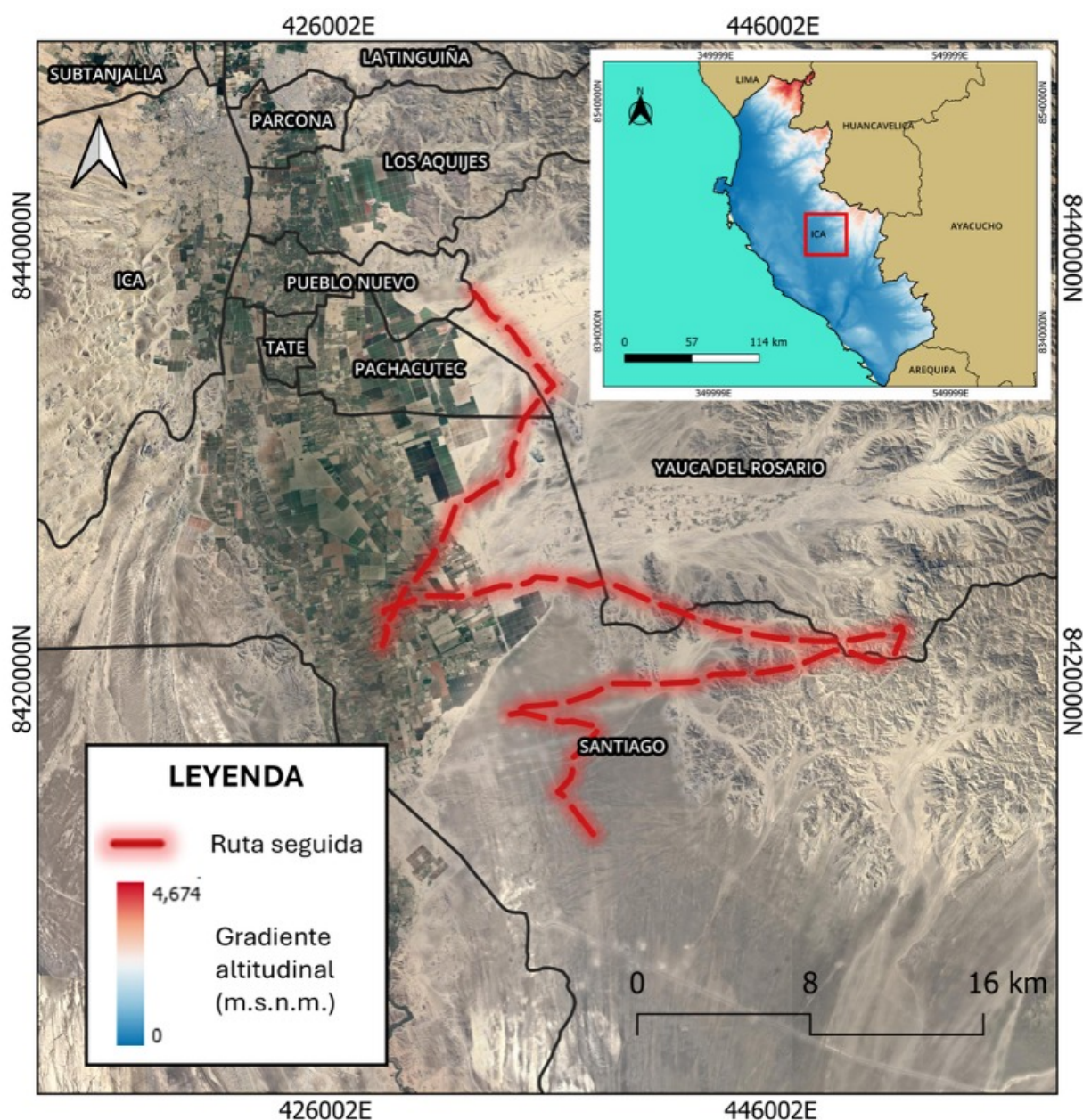


Figura 1. Trayectoria realizada por el globo estratosférico en la ciudad de Ica, Perú.

Materiales y métodos: Los tardígrados utilizados en este experimento fueron obtenidos de musgos recolectados en Huaschahura situado en la zona sur de la ciudad de Huamanga ($13^{\circ}9'55.20''S$, $74^{\circ}14'56.30''O$) a 3118 m.s.n.m., en el departamento de Ayacucho. El musgo fue cuidadosamente recolectado y empacado en condiciones estériles para su transporte al laboratorio. Una vez en el laboratorio, las muestras de musgo fueron cuidadosamente analizadas bajo el microscopio para identificar y extraer los tardígrados presentes que se encontraban en anoxibiosis. En la muestra de Ayacucho se encontró solamente clase Heterotardigrada. Se seleccionaron cuidadosamente 350 tardígrados, que se distribuyeron en 10 viales pequeños de 2 ml con agua y se diseñó una gradilla para sostener los tubos que contenían a las muestras de tardígrados que fue puesta en una cápsula, equipada con un solo medidor Strato Track 4, que permitió la medición y verificación de las temperaturas en distintas altitudes a lo largo del vuelo. El uso del medidor fue crucial para recopilar datos

precisos sobre las condiciones extremas (temperatura y presión). Una vez que la cápsula fue recuperada, se evaluó el estado de los tardígrados, utilizando el criterio de viabilidad donde los individuos con movimiento se consideran vivos, mientras que los invertebrados muertos son aquellos que se encuentran inmóviles (Persson et al., 2011).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Contrario a nuestras expectativas y a pesar de la resistencia conocida de los tardígrados a condiciones extremas en la Tierra, los tardígrados no lograron sobrevivir a las condiciones estratosféricas según el criterio de viabilidad, es decir, los individuos no realizaron ningún movimiento. Los individuos enviados a la estratósfera estuvieron expuestos a condiciones ambientales extremas, con temperaturas que descendieron hasta los -47°C y presiones cercanas a 1 hPa a altitudes de hasta 35,000 m s. n. m., factores que pudieron haber comprometido su viabilidad a pesar de su notable resiliencia (Sadowska-Bartosz & Bartosz, 2024). La altitud máxima alcanzada fue aproximadamente de 32,000 a 35,000 m s. n. m., donde la temperatura disminuyó cerca de -4°C a -25°C . Además de presentar cambios extremos durante el vuelo desde los 24 a -47°C . Asimismo otro factor crítico es la rápida variación térmica experimentada en el descenso del globo estratosférico. En general, los valores sugieren que los organismos estuvieron expuestos a temperaturas bajas por un tiempo prolongado, lo que podría haber inducido un estado de criptobiosis que se hace presente hasta temperaturas de -196°C , aunque también se puede explicar la presencia total de muertes a los daños metabólicos irreversibles debido a congelamiento intracelular irregular, lo que detuvo su metabolismo, por tal razón no se regularon las biomoléculas protectoras contra el choque frío (Hengherr & Schill, 2018; Joseph et al., 2022; Kaczmarek, 2021; Kamilari et al., 2019; Møbjerg et al., 2011; Vecchi et al., 2021). Este hallazgo subraya la importancia de la investigación continua sobre la resistencia de los tardígrados y otros organismos extremófilos a condiciones extremas, y apoyan la necesidad de una mayor investigación para entender completamente los límites de la supervivencia de la vida en entornos extremos y extraterrestres.

Figura 2

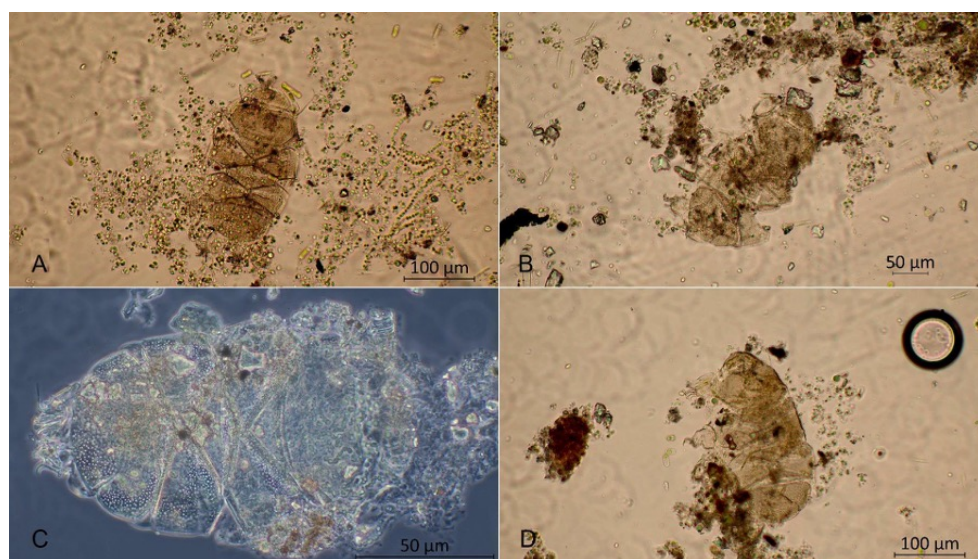


Figura 2. Ejemplares del Orden Echiniscoidea transportados a la estratósfera, este género es caracterizado por una serie de placas dorsales y ventrales lisas con pequeñas punteaduras

Conflictos de interés

Los autores declaran que no existe conflicto de interés entre ellos ni con terceros.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Todos los autores contribuyeron tanto en la realización de la investigación como en la redacción del presente manuscrito.

AGRADECIMIENTOS

Al profesor Octavio Chon Torres por organizar la salida a Ica, sin él esta investigación no se hubiera podido llevar a cabo. Además agradecemos a Alexandra Elbakyan por su contribución al acceso libre al conocimiento científico mediante Sci-Hub, facilitando la consulta de artículos clave para este trabajo.

FINANCIAMIENTO

Al Proyecto Estratósfera por brindarnos el transporte y los materiales necesarios para llevar a cabo nuestra investigación.

Referencias bibliográficas

- Anguas-Escalante, A., Pech, W. A. P., Guidetti, R., Cutz-Pool, L. Q., & León, H. O. (2018). Tardígrados asociados a una plantación de cítricos de traspatio en la comunidad de El Palmar en Quintana Roo, México. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, (73), 20–26.
- Arakawa, K. (2022). Examples of extreme survival: tardigrade genomics and molecular anhydrobiology. *Annual Review of Animal Biosciences*, 10(1), 17–37. <https://doi.org/10.1146/annurev-animal-021419-083711>
- Degma, P., & Guidetti, R. (2017). Actual checklist of Tardigrada species (2009–2024: 01-07-2024). Disponible en <https://iris.unimore.it/retrieve/8d15cef0-2c1a-4d90-a2e2-815dcf1404c5/Actual>
- Fernandez, C., Vasanthan, T., Kisson, N., Karam, G., Duquette, N., Seymour, C., & Stone, J. R. (2016). Radiation tolerance and bystander effects in the eutardigrade species *Hypsibius dujardini* (Parachaela: Hypsibiidae). *Zoological Journal of the Linnean Society*, 178(4), 919–923. <https://doi.org/10.1111/ZOJ.12481>
- Hagelbäck, P., & Jönsson, I. (2023). An experimental study on tolerance to hypoxia in tardigrades. *Frontiers in Physiology*, 14, 1–11. <https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1249773>
- Hengherr, S., & Schill, R. O. (2018). Environmental adaptations: Cryobiosis. *Springer Nature Link*, 295-310. https://doi.org/10.1007/978-3-319-95702-9_11
- Horikawa, D., Sakashita, T., Katagiri, C., Watanabe, M., Kikawada, T., Nakahara, Y., Hamada, N., Wada, S., Higashi, S., Kobayashi, Y., Okuda, T., & Kuwabara, M. (2006). Radiation tolerance in the tardigrade *Milnesium tardigradum*. *International Journal of Radiation Biology*, 82, 843–848. <https://doi.org/10.1080/09553000600972956>

- Joseph, K. M., O'Dell, H. M., Clark, T. A., Crislip, J. R., Smythers, A. L., Hicks, L. M., & Kolling, D. (2022). Physical and mechanistic characterization of tardigrade cryptobiotic states in response to environmental stressors. *The FASEB Journal*, *36*(S1). <https://doi.org/10.1096/FASEBJ.2022.36.S1.R3808>
- Jönsson, K. I. (2007). Tardigrades as a potential model organism in space research. *Astrobiology*, *7*(5), 757–766. <https://doi.org/10.1089/ast.2006.0088>
- Kaczmarek, Ł. (2021). Tardigrada: An emerging animal model to study the endoplasmic reticulum stress response to environmental extremes. *Progress in Molecular and Subcellular Biology*, *59*, 305–327. https://doi.org/10.1007/978-3-030-67696-4_14
- Kamilari, M., Jørgensen, A., Schiøtt, M., & Møbjerg, N. (2019). Comparative transcriptomics suggest unique molecular adaptations within tardigrade lineages. *BMC Genomics*, *20*(1), 607. <https://doi.org/10.1186/S12864-019-5912-X>
- McGrath, C. (2024). Highlight: Tardigrades and the science of extreme survival. *Genome Biology and Evolution*, *16*(1), evad234. <https://doi.org/10.1093/gbe/evad234>
- Mcfatter, M., Meyer, H., & Hinton, J. (2007). Nearctic freshwater tardigrades: A review. *Journal of Limnology*, *66*, 84–89. <https://doi.org/10.4081/jlimnol.2007.s1.84>
- Møbjerg, N., Halberg, K. A., Jørgensen, A., Persson, D., Bjørn, M., Ramløv, H., & Kristensen, R. M. (2011). Survival in extreme environments – on the current knowledge of adaptations in tardigrades. *Acta Physiologica*, *202*(3), 409–420. <https://doi.org/10.1111/J.1748-1716.2011.02252.X>
- Municipalidad Distrital de Santiago. (2020). Plan de acción distrital de seguridad ciudadana 2020 Santiago-Ica. https://www.munisantiagoica.gob.pe/assets/archivos/CODISEC/PLAN_DE_ACCION_DE_SEGURIDAD_CIUADADANA.pdf
- Nelson, D., Guidetti, R., & Rebecchi, L. (2015). Phylum Tardigrada. En *Reference Module in Life Sciences*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-385026-3.00017-6>
- Persson, D., Halberg, K., Jørgensen, A., Ricci, C., Møbjerg, N., & Kristensen, R. (2010). Extreme stress tolerance in tardigrades: Surviving space conditions in low earth orbit. *Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research*, *49*, 1–8. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0469.2010.00605.x>
- Pilato, G., & Binda, M. G. (2010). Definition of families, subfamilies, genera and subgenera of the Eutardigrada, and keys to their identification. *Zootaxa*, *2404*(1), 1–54. <https://doi.org/10.11646/ZOOTAXA.2404.1.1>
- Rebecchi, L., Boschetti, C., & Nelson, D. R. (2020). Extreme-tolerance mechanisms in meiofaunal organisms: A case study with tardigrades, rotifers and nematodes. *Hydrobiologia*, *847*(12), 2779–2799. <https://doi.org/10.1007/s10750-019-04144-6>
- Schuster, R., & Greven, H. (2007). A long-term study of population dynamics of tardigrades in the moss *Rhytidiadelphus squarrosus* (Hedw.) Warnst. *Journal of Limnology*, *66*, 141. <https://www.jlimnol.it/index.php/jlimnol/article/view/jlimnol.2007.s1.141>
- Rubal, M., Fontoura, P., & Veiga, P. (2023). New records of marine tardigrades (Arthotardigrada) from the Iberian Peninsula: Biogeographical implications. *Diversity*, *15*. <https://doi.org/10.3390/d15020210>
- Sadowska-Bartosz, I., & Bartosz, G. (2024). Antioxidant defense in the toughest animals on the earth: Its contribution to the extreme resistance of tardigrades. *International Journal of Molecular Sciences*, *25*(15), 8393. <https://doi.org/10.3390/IJMS25158393>
- Vecchi, M., Kossi Adakpo, L., Dunn, R. R., Nichols, L. M., Penick, C. A., Sanders, N. J., Rebecchi, L., & Guidetti, R. (2021). The toughest animals of the earth versus

- global warming: Effects of long-term experimental warming on tardigrade community structure of a temperate deciduous forest. *Ecology and Evolution*, 11(14), 9856–9863. <https://doi.org/10.1002/ECE3.7816>
- Vasanthan, T., Alejaldre, L., Hider, J., Patel, S., Husain, N., Umapathisivam, B., & Stone, J. (2017). G-equivalent acceleration tolerance in the eutardigrade species *Hypsibius dujardini*. *Astrobiology*, 17(1), 55–60. <https://doi.org/10.1089/AST.2015.1439>
- Yoshida, Y., Koutsovoulos, G., Laetsch, D. R., Stevens, L., Kumar, S., Horikawa, D. D., Ishino, K., Komine, S., Kunieda, T., Tomita, M., Blaxter, M., & Arakawa, K. (2017). Comparative genomics of the tardigrades *Hypsibius dujardini* and *Ramazzottius varieornatus*. *PLOS Biology*, 15(7), e2002266. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PBIO.2002266>
- Weronika, E., & Łukasz, K. (2017). Tardigrades in space research—Past and future. *Origins of Life and Evolution of Biospheres*, 47(4), 545–553. <https://doi.org/10.1007/s11084-016-9522-1>
- Zawierucha, K., Buda, J., Azzoni, R. S., Niškiewicz, M., Franzetti, A., & Ambrosini, R. (2019). Water bears dominated cryoconite hole ecosystems: Densities, habitat preferences and physiological adaptations of Tardigrada on an alpine glacier. *Aquatic Ecology*, 53(4), 543–556. <https://doi.org/10.1007/s10452-019-09707-2>