

Los microorganismos: una pieza clave para comprender los glaciares andinos en un planeta que se calienta

Microbes: A key piece to understanding Andean glaciers on a warming planet

John Flores^{1*}, Héctor Aponte² y Cynthia Jo-Rivero³

- 1 Wageningen University, Wageningen, Países Bajos. Editor asociado de la revista *South Sustainability*.
- 2 Carrera de Biología Marina, Universidad Científica del Sur, Lima, Perú. Editor jefe de la revista *South Sustainability*.
- 3 Carrera de Biología Marina, Universidad Científica del Sur, Lima, Perú.



Citar como: Flores, J., Aponte, H. y Jo-Rivero, C. (2023). «Los microorganismos: una pieza clave para comprender los glaciares andinos en un planeta que se calienta». *South Sustainability*, 4(2), e084. DOI: 10.21142/SS-0402-2023-e084



© Los autores, 2023. Publicado por la Universidad Científica del Sur (Lima, Perú)

*E-mail de correspondencia:
Johnlifa@gmail.com

América del Sur alberga glaciares andinos tropicales que cubren países como Colombia, Ecuador, Perú, Argentina, Chile, Bolivia y Venezuela. Estos ecosistemas están compuestos por una serie de lagos y arroyos, los cuales abastecen de agua a las poblaciones aledañas y crean diversos ecosistemas a lo largo de su recorrido, hasta desembocar en los océanos Atlántico y Pacífico. Las investigaciones más recientes han demostrado que esta región es importante a nivel de biodiversidad y que posee un nivel desconocido de endemismo (Rabatel *et al.*, 2013; Rahbek *et al.*, 2019). En ese mismo escenario, la evidencia indica que el clima ejerce una alta presión selectiva sobre animales y plantas (Flores Alvarez *et al.*, 2018; Battin *et al.*, 2023). El persistente aumento de las temperaturas ha tenido un impacto visible en las áreas naturales y urbanas, al exacerbar las inundaciones y las sequías (Potter *et al.*, 2023). Por ejemplo, en el Pacífico oriental, los eventos convectivos extremos de El Niño (ENSO) se están volviendo comunes y provocan inundaciones. El impacto de este fenómeno en los Andes está tomando relevancia para los investigadores por el efecto directo que generan en el clima, así como por los patógenos potencialmente nocivos que puedan liberarse (Morera *et al.*, 2017; Xia *et al.*, 2020).

Un enfoque más reciente también analiza la diversidad microbiana en este ecosistema (Busi *et al.*, 2023). Los microbios representan una gran biomasa en la Tierra y contribuyen significativamente a los cambios biogeoquímicos en nuestra atmósfera (Stevens *et al.*, 2022). El derretimiento de los glaciares provoca asimismo la liberación de nuevos microorganismos; su impacto en el ciclo biogeoquímico es aún poco conocido (Anesio *et al.*, 2013; Liu *et al.*, 2022). Investigadores de todo el mundo se apresuran a explorar estos ecosistemas a medida que avanza el calentamiento global (Battin *et al.*, 2023; Rosentreter *et al.*, 2021). En América Latina se ha comenzado a investigar en esta área y así generar datos que nos ayudarán a tomar decisiones basadas en evidencia científica. Uno de los avances más recientes indica que el derretimiento de los glaciares afectará directamente los niveles de liberación de metano a la atmósfera, como consecuencia de los cambios más frecuentes en el nivel del agua (Rosentreter *et al.*, 2021). Las estimaciones actuales indican que los embalses de agua emiten más de 400 Tg CH₄ año⁻¹ (Rosentreter *et al.*, 2021), lo que podría aumentar potencialmente por cambios en el ecosistema glaciar. Debido a que el metano es uno de los principales gases de efecto invernadero, las consecuencias de esta liberación es preocupante. Enfoques recientes en tecnologías de secuenciación y análisis metagenómicos han permitido revelar con mayor precisión la composición microbiana, y brindar más detalles sobre el papel que desempeñan en el ecosistema. Por ejemplo, se



presume que la actividad microbiana en los glaciares está asociada con el metabolismo de CO₂, CH₄ (Guo y Zhang, 2023). Algunas bacterias fotosintéticas tienen la capacidad de utilizar CO₂ para producir oxígeno, mientras que las bacterias anaeróbicas emplean CH₄ como fuente de energía. Además, se tiene evidencia científica de que estas bacterias contribuyen a la formación de depósitos de CO₂ y CH₄, lo que se plantea como un mecanismo para fortalecer los ecosistemas, operarlos como sumideros de carbono en los suelos, y ayudar así a mitigar el cambio climático (Wilhelm *et al.*, 2013; Zhong *et al.*, 2021; Tran *et al.*, 2021; y Jansson, 2023). La investigación de microbiomas en las regiones alpinas ha permitido explorar la contribución de los microorganismos a los ciclos biogeoquímicos, al poseer prevalentemente un ciclo quimiolitotrófico (Battin *et al.*, 2023). Actualmente, sabemos que las biopelículas de los arroyos alimentadas por los glaciares desempeñan un papel crucial en nuestros ecosistemas; su retroceso podría poner en riesgo el suministro de agua y la biodiversidad en la región andina (Hotaling, Hood y Hamilton, 2017). Esta diversidad microbiana también contiene microorganismos conocidos como «materia oscura microbiana», término utilizado para referirse a microorganismos que no han sido cultivados en laboratorio (Bernard, 2018). Estos organismos no se han descrito adecuadamente hasta la fecha y resulta complicado aprovechar su potencial. Además, su impacto individual sigue siendo desconocido para los glaciares tropicales. En ese sentido, la secuenciación genética nos

da la posibilidad de estimar su abundancia, lo que, a su vez, nos permitiría evaluar de manera más precisa su impacto en términos de biomasa. Adicionalmente, las ciencias ómicas han permitido tener los primeros avances sobre su ciclo de vida y el impacto que podrían ocasionar, así como comprender los cambios evolutivos a consecuencia de los cambios de clima en la región (García-López *et al.*, 2022; Hotaling, Price y Hamilton, 2022).

En este contexto, es fundamental aumentar los esfuerzos por evaluar los cambios en la composición microbiana, no solo a escala regional, sino también global. Creemos que aprovechar el potencial genético del microbioma de los glaciares podría servir para mitigar los efectos del cambio climático. Instamos a los institutos de investigación y universidades de la región a dedicar su experiencia y recursos de investigación al campo de los microorganismos. Esto servirá para desarrollar estrategias de adaptación a las condiciones ambientales cambiantes y facilitará una mejor toma de decisiones respecto al uso de la tierra. En el contexto local del ecosistema andino peruano, el Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña juega un rol crucial en la determinación de políticas de investigación en estos ecosistemas; conocemos de sus esfuerzos por estudiar todos los componentes biológicos (incluyendo el componente microbiano) y lo instamos a continuar con ellos.

Referencias bibliográficas

- Anesio, A. M., Lutz, S., Christmas, N. A. M. y Benning, L. G. (2017).** «The microbiome of glaciers and ice sheets». *NPJ Biofilms and Microbiomes*, 3(10). Disponible en: <https://doi.org/10.1038/s41522-017-0019-0>
- Battin, T. J., Ezzat, L., Peter, H., Bourquin, M., Michoud, G., Fodelianakis, S., Kohler, T., Lamy, T., Busi, S. B., Daffonchio, D. y Deluigi, N. (2023).** «Towards a global biogeography of the glacier-fed stream benthic microbiome». Disponible en: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2697617/v1>
- Bernard, G., Pathmanathan, J. S., Lannes, R., Lopez, P. y Bapteste, E. (2018).** «Microbial dark matter investigations: How microbial studies transform biological knowledge and empirically sketch a logic of scientific discovery». *Genome Biology and Evolution*, 10(3), pp. 707-715. Disponible en: <https://doi.org/10.1093/gbe/evy031>
- Busi, S. B., de Nies, L., Pramateftaki, P., Bourquin, M., Kohler, T. J., Ezzat, L., Fodelianakis, S., Michoud, G., Peter, H., Styllas, M. y Tolosano, M. (2023).** «Glacier-fed stream biofilms harbor diverse resistomes and biosynthetic gene clusters». *Microbiology Spectrum*, 11(1), p. e04069-22.
- Flores-Alvarez, J. L., Ladd, B., Velez-Azañero, A., de Mola, U. L. y Bonser, S. (2018).** «Using knowledge of plant persistence traits to optimize strategies for post-mine ecological restoration on the Peruvian Altiplano». *Mountain Research and Development*, 38(2), pp. 135-142.
- García-Lopez, E., Ruiz-Blas, F., Sanchez-Casanova, S., Peña Perez, S., Martín-Cerezo, M. L. y Cid, C. (2022).** «Microbial communities in volcanic glacier ecosystems». *Frontiers in Microbiology*, 13, p. 825632. Disponible en: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.825632>
- Guo, Y. y Zhang, S. (2023).** «Potential effects of methane metabolic microbial communities on the glacial methane budget in the Northwestern Tibetan Plateau». *Sustainability*, 15(9), p. 7352. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/su15097352>
- Hotaling, S., Hood, E. y Hamilton, T. L. (2017).** «Microbial ecology of mountain glacier ecosystems: biodiversity, ecological connections and implications of a warming climate». *Environmental Microbiology*, 19(8), pp. 2935-2948. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/1462-2920.13766>
- Hotaling, S., Price, T. L. y Hamilton, T. L. (2022).** «Summer dynamics of microbial diversity on a mountain glacier». *mSphere*, 7(6), e0050322. Disponible en: <https://doi.org/10.1128/msphere.00503-22>
- Jansson, J. K. (2023).** «Microorganisms, climate change, and the Sustainable Development Goals: progress and challenges». *Nature Reviews Microbiology*, 21, pp. 622-623.
- Liu, Y., Fang, P., Guo, B., Ji, M., Liu, P., Mao, G., Xu, B., Kang, S. y Liu, J. (2022).** «A comprehensive dataset of microbial abundance, dissolved organic carbon, and nitrogen in Tibetan Plateau glaciers». *Earth System Science Data*, 14(5). Disponible en: <https://essd.copernicus.org/articles/14/2303/2022/>
- Morera, S. B., Condom, T., Crave, A., Steer, P. y Guyot, J. L. (2017).** «The impact of extreme El Niño events on modern sediment transport along the western Peruvian Andes (1968-2012)». *Scientific Reports*, 7(1), p. 11947.
- Potter, E. R., Fyffe, C. L., Orr, A., Quincey, D. J., Ross, A. N., Ramagecroft, S., Medina, K., Burns, H., Llacza, A., Jacome, G. y Hellström, R. Å. (2023).** A future of extreme precipitation and droughts in the Peruvian Andes. *NPJ Climate and Atmospheric Science*, 6(96). Disponible en: <https://www.nature.com/articles/s41612-023-00409-z>
- Rabatel, A., Francou, B., Soruco, A., Gomez, J., Cáceres, B., Ceballos, J., Basantes, R., Vuille, M., Sicart, J.-E., Huggel, C., Scheel, M., Lejeune, Y., Arnaud, Y., Collet, M., Condom, T., Consoli, G., Favier, V., Jomelli, V., Galárraga-Sánchez, R. y Wagnon, P. (2013).** Current state of glaciers in the tropical Andes: A multi-century perspective on glacier evolution and climate change. *The Cryosphere*, 7, pp. 81-102. Disponible en: <https://tc.copernicus.org/articles/7/81/2013/>
- Rahbek, C., Borregaard, M. K., Antonelli, A., Colwell, R. K., Holt, B. G., Noguez-Bravo, D., Rasmussen, C. M., Richardson, K., Rosing, M. T., Whittaker, R. J. y Fjeldså, J. (2019).** Building mountain biodiversity: Geological and evolutionary processes. *Science*, 365(6458), pp. 1114-1119.
- Rosentreter, J. A., Borges, A. V., Deemer, B. R., Holgerson, M. A., Liu, S., Song, C., Melack, J., Raymond, P. A., Duarte, C. M., Allen, G. H. y Olefeldt, D. (2021).** Half of global methane emissions come from highly variable aquatic ecosystem sources. *Nature Geoscience*, 14(4), pp. 225-230.
- Stevens, I. T., Irvine-Fynn, T. D., Edwards, A., Mitchell, A. C., Cook, J. M., Porter, P. R., Holt, T. O., Huss, M., Fettweis, X., Moorman, B. J. y Sattler, B. (2022).** «Spatially consistent microbial biomass and future cellular carbon release from melting Northern Hemisphere glacier surfaces». *Communications Earth & Environment*, 3(275).
- Seehaus, T., Malz, P., Sommer, C., Lippl, S., Cochachin, A. u Braun, M. (2019).** Changes of the tropical glaciers throughout Peru between 2000 and 2016—mass balance and area fluctuations. *The Cryosphere*, 13(10), pp. 2537-2556.
- Tran, P. Q., Bachand, S. C., McIntyre, P. B., Kraemer, B. M., Vadeboncoeur, Y., Kimirei, I. A., Tamatamah, R., McMahon, K. D. y Anantharaman, K. (2021).** Depth-discrete metagenomics reveals the roles of microbes in biogeochemical cycling in the tropical freshwater Lake Tanganyika. *The ISME Journal*, 15(7), pp. 1971-1986.
- Wilhelm, L., Singer, G. A., Fasching, C., Battin, T. J. y Besemer, K. (2013).** Microbial biodiversity in glacier-fed streams. *The ISME Journal*, 7(8), pp. 1651-1660.
- Xia, Y., Dang, C. y Li, X. (2020).** Nanopore sequencing-based metagenomic study on high-altitude permafrost and glacier aquatic microbiome. En *AGU Fall Meeting Abstracts* (vol. 2020, pp. GC028-0003).
- Zhong, Z. P., Tian, F., Roux, S., Gazitúa, M. C., Solonenko, N. E., Li, Y. F., Davis, M. E., Van Etten, J. L., Mosley-Thompson, E., Rich, V. I. y Sullivan, M. B. (2021).** Glacier ice archives nearly 15,000-year-old microbes and phages. *Microbiome*, 9(1), pp.1-23.

