



CARACTERIZACIÓN AMBIENTAL DEL YACIMIENTO MICROBIALÍTICO HOLOCENO “CARACHI PAMPA” (ANDES CENTRALES) CON SIG: APLICACIONES AL ESTUDIO DE REGISTROS ANÁLOGOS Y EL DESARROLLO DE ESTRATEGIAS DE DETECCIÓN DE VIDA

MÓNICA SEGARRA PÉREZ^{1*},
PATRICIO GUILLERMO VILLAFÁÑE^{1,2},
FRANCISCO JAVIER RUIZ-SÁNCHEZ¹

RESUMEN

Los microbialitos de los Ecosistemas Microbianos Andinos se desarrollan bajo unas condiciones ambientales extremas: alta salinidad, elevados niveles de radiación, etc. La información extraída mediante GIS del área donde se encuentran (La Puna de Catamarca, Argentina) puede ayudarnos a comprender la formación de estos microbialitos y servir de referencia con estructuras sedimentarias observadas en áreas concretas de Marte, que indican la presencia de agua líquida en el planeta hace millones de años. Esto podría ser un detalle muy importante en la búsqueda de vida pasada allí. En este artículo compararemos las condiciones ambientales bajo las que se han formado los microbialitos holocenos de Argentina con las condiciones que hubo en Marte cuando tenía agua líquida para ver si eran compatibles con la vida y así poder arrojar luz sobre la cuestión de la presencia de vida pasada en Marte y entender mejor la formación de estas estructuras en ambientes extremos.

Palabras clave: Microbialitos, AMEs, Condiciones extremas, GIS, Laguna.

1. INTRODUCCIÓN

Los carbonatos microbianos son aquellos minerales de composición carbonática, cuya precipitación es impulsada por la actividad metabólica de microorganismos (Riding, 2000; Dupraz *et al.*, 2009). La precipitación in-situ de carbonato biológicamente inducida es uno de los mecanismos

-
1. Departamento de Botánica y Geología, Área de Paleontología, Universitat de València, València, España. *sepemo@alumni.uv.es
 2. Instituto Superior de Correlación Geológica (INSUGEO), CONICET- Universidad Nacional de Tucumán, Tucumán, Argentina.

que pueden dar origen a las estructuras organo-sedimentarias denominadas microbialitos (Burne y Moore, 1987). Actualmente varios trabajos presumen la existencia de carbonato microbiano o estructuras microbialíticas en el registro geológico de Marte (ej. Bianciardi *et al.*, 2014, Joseph *et al.*, 2020; Rizzo 2020). Ambientes deposicionales marcianos como los del Cráter Jezero o el Crater Gale, son actualmente un objetivo atractivo para la exploración (Baucon *et al.*, 2021). Sin embargo, algunos autores sostienen que los ambientes marcianos fueron menos estables que en la Tierra, desafiados por parámetros como la radiación, la aridez, las temperaturas de congelación y los frecuentes cambios climáticos (Onstott *et al.*, 2019).

En los Andes Centrales, diversos cuerpos de agua como lagos, lagunas, canales y humedales presentan sistemas con precipitación de carbonato microbiano. Estos pertenecen a los denominados Ecosistemas Microbianos Andinos (AMEs, Andes Centrales) (Farías *et al.*, 2020; Vignale *et al.*, 2021). Muchos AMEs se encuentran en ambientes lacustres asociados a abanicos aluviales, suelos basálticos y zonas de aporte hidrotermal (Farías *et al.*, 2020). Un entorno muy similar a lo cartografiado en ambientes marcianos como los del Cráter Jezero y sus alrededores, interpretados como depósitos lacustres de sedimentación hidrodinámica). Esto aumenta el atractivo de algunos AMEs, como la Laguna Carachi Pampa (Catamarca, Argentina), donde se han reportado microbialitos Holocenos de composición carbonáticas asociados a un sistema lacustre, influenciado por la mezcla de aguas hipersalinas, meteóricas e hidrotermales. Este trabajo propone el estudio y caracterización del entorno deposicional de los microbialitos de Laguna Carachi Pampa (Andes Centrales), con la finalidad de determinar el potencial de este yacimiento Holoceno como registro de interés astrobiológico.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

La metodología adoptada comprendió una exhaustiva revisión bibliográfica enfocada tanto en el área de estudio como en el tema específico de investigación. El proceso de obtención de imágenes satelitales comienza con la localización del área de interés mediante el software SAS Planet. Una vez identificada, se busca alcanzar la mejor resolución disponible para garantizar la calidad de los datos, evaluando imágenes satelitales de distintos sensores de las misiones Landsat, Sentinel y ASTER, accesibles a través de plataformas como USGS Earth Explorer, Copernicus Open Access Hub y ESA Earth Online. Posteriormente, las imágenes obtenidas se procesan en el software Agisoft Metashape para generar un ortomosaico georreferenciado. Este ortomosaico se evalúa en el software ArcGIS junto con una imagen satelital de control y datos geológicos proporcionados por el Servicio Geológico Minero de Argentina (SEGEMAR) y la hoja geológica HG 2769-II Paso San Francisco.

La identificación de las estructuras volcánicas y abanicos aluviales se llevó a cabo mediante un exhaustivo análisis geoespacial que integró datos de topografía, litología, geomorfología e imágenes satelitales dentro del área

de estudio. Una vez identificadas estas unidades, se procedió a crear una capa vectorial de polígonos para cada una, en la cual se representa con precisión las características espaciales y geológicas de estas estructuras. Posteriormente se añadieron escalas numéricas y gráficas, junto con la cuadrícula de coordenadas, para crear una cartografía detallada a una escala de 1:200.000. Para la delimitación del cuerpo de agua hospedante se llevó a cabo un proceso geoespacial que integró el análisis de la topografía, imágenes satelitales e información geológica.

Finalmente, se procedió a demarcar la zona del cuerpo de agua habitada por los microbialitos (zonas de yacencia). Para esto se combinó la información topografía y de las imágenes satelitales con los datos de campos obtenidos de diversas publicaciones e informes medioambientales (e.j. Farías 2016; Farías *et al.*, 2020; Vignale *et al.* 2021). Por último, a cada elemento se le asignó una leyenda. Además, se incorporaron escalas numéricas y gráficas, así como la cuadrícula de coordenadas, generando una cartografía detallada a una escala de 1:100.000.

3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El análisis de ambientes terrestres, como los lagos y humedales de los Andes Centrales, puede ofrecer valiosa información para planificar misiones de exploración a Marte y mejorar nuestra comprensión de su geología, hidrología y posibilidad de habitabilidad. Sin embargo, la extrapolación en el ámbito de la exploración espacial presenta desafíos considerables debido a las disparidades ambientales entre la Tierra y otros cuerpos celestes, la intrincada complejidad de los sistemas naturales, las restricciones tecnológicas y la presencia de incertidumbres científicas.

Si comparamos simplemente el tamaño de ambos enclaves (subcuenca Carachi Pampa y cráter Jezero) encontramos que el cráter Jezero es mucho más grande en varios parámetros como la superficie cubierta por agua. La morfología (calculada mediante el coeficiente de Gravelius) también es dispar: la subcuenca Carachi Pampa tiene una forma más ovalada y el cráter es más circular y simétrico.

Las estructuras geológicas que evidencian transporte de agua también son diferentes en ambos lugares. En Carachi Pampa tenemos hasta 10 abanicos aluviales bien definidos que rodean la laguna formados por depósitos aluviales aterrazados del Pleistoceno; mientras que el cráter Jezero cuenta con un delta al oeste del cráter con litologías de arcillas Fe/Mg y carbonatos que datan entre el Noeico tardío y el Hespérico temprano, hace aproximadamente 3.700 millones de años.

A pesar de lo anteriormente expuesto, existe un aspecto crucial en común entre ambos lagos: la presencia de carbonatos asociados a facies evaporíticas. En la laguna Carachi-Pampa, se identifican carbonatos organosedimentarios compuestos principalmente por aragonito y dolomita, con una notable concentración de hierro (Lencina *et al.*, 2021). Por otro lado, las

señales espectrales obtenidas en Jezero sugieren la presencia de carbonatos enriquecidos con hierro y magnesio (Horgan *et al.*, 2020; Zastrow y Glotch, 2021). Además, los datos recopilados por CRISM indican que las señales de carbonato más intensas se encuentran en los carbonatos marginales ubicados dentro del área litoral percibida de la cuenca del paleolago (Ehlmann *et al.*, 2008; Horgan *et al.*, 2020; Zastrow y Glotch, 2021). Este hallazgo coincide con las áreas de deposición microbialítica identificadas en la laguna Carachi-Pampa, limitadas a las zonas marginales (Ehlmann *et al.*, 2008; Horgan *et al.*, 2020; Zastrow y Glotch, 2021).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Baucon A., de Carvalho C.N., Briguglio A., Piazza M., Felletti F. (2021). “A predictive model for the ichnological suitability of the Jezero crater, Mars: searching for fossilized traces of life-substrate interactions in the 2020 Rover Mission Landing Site”. *PeerJ*, 9: e11784.
- Bianciardi, G., Rizzo, V., & Cantasano, N. (2014). “Opportunity rover’s image analysis: Microbialites on Mars?” *International Journal of Aeronautical and Space Sciences*, 15(4), 419–433. <https://doi.org/10.5139/IJASS.2014.15.4.419>
- Burne R.V., Moore L.S. (1987) “Microbialites: organosedimentary deposits of benthic microbial communities.” *Palaios*, 2(3): 241-254.
- Dupraz, C., Reid, R. P., Braissant, O., Decho, A. W., Norman, R. S., & Visscher, P. T. (2009). “Processes of carbonate precipitation in modern microbial mats.” *Earth-Science Reviews*, 96(3), 141–162. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2008.10.005>
- Ehlmann, B. L., Mustard, J. F., Murchie, S. L., Poulet, F., Bishop, J. L., Brown, A. J., ... & Wray, J. J. (2008). “Orbital identification of carbonate-bearing rocks on Mars.” *Science*, 322(5909), 1828-1832.
- Fariás M.E. (2016). “Primer informe del Relevamiento de ecosistemas microbianos asociados a minerales, en zonas de interés minero Catamarca.” *Informe para la Secretaría de Minería de Catamarca*, Proyecto PIO UNCA, 20pp.
- Fariás, M. E., Villafañe, P. G., & Lencina, A. I. (2020). “Integral Prospection of Andean Microbial Ecosystem Project. Microbial Ecosystems in Central Andes Extreme Environments: Biofilms, Microbial Mats, Microbialites and Endoevaporites,” 245–260. https://doi.org/10.1007/978-3-030-36192-1_17
- Joseph, R. G., Armstrong, R., Latif, K., Elewa, A. M. T., Gibson, C. H., & Schild, R. (2020). “Metazoans on Mars? Statistical Quantitative Morphological Analysis of Fossil-Like Features in Gale Crater”. *Journal of Cosmology*, 29(1), 440–475.
- Horgan, B. H. N., Anderson, R. B., Dromart, G., Amador, E. S., & Rice, M. S. (2020). The mineral diversity of Jezero crater: Evidence for possible lacus-

trine carbonates on Mars. *Icarus*, 339, 113526. <https://doi.org/10.1016/j.icarus.2019.113526>

Lencina A.I. (2021). "Geología de los Sistemas de Microbialitos modernos Asociados e Humedales en la Puna de Catamarca". Tesis doctoral, Universidad Nacional de Tucumán (UNT), 220pp.

Onstott, T. C., Ehlmann, B. L., Sapers, H., Coleman, M., Ivarsson, M., Marlow, J. J., Neubeck, A., & Nilés, P. (2019). "Paleo-Rock-Hosted Life on Earth and the Search on Mars: A Review and Strategy for Exploration." *Astrobiology*, 19(10), 1230–1262. <https://doi.org/10.1089/ast.2018.1960>

Riding, R. (2000). "Microbial carbonates: The geological record of calcified bacterial-algal mats and biofilms." *Sedimentology*, 47(SUPPL. 1), 179–214. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3091.2000.00003.x>

Rizzo, V. (2020). Why should geological criteria used on Earth not be valid also for Mars? Evidence of possible microbialites and algae in extinct Martian lakes. *International Journal of Astrobiology*. <https://doi.org/10.1017/S1473550420000026>

Vignale, F. A., Lencina, A. I., Stepanenko, T. M., Soria, M. N., Saona, L. A., Kurth, D., Guzmán, D., Foster, J. S., Poiré, D. G., Villafañe, P. G., Albarracín, V. H., Contreras, M., & Farías, M. E. (2021). Lithifying and Non-Lithifying Microbial Ecosystems in the Wetlands and Salt Flats of the Central Andes. *Microbial Ecology*, 83(1). <https://doi.org/10.1007/s00248-021-01725-8>

Zastrow, A. M., & Glotch, T. D. (2021). "Distinct Carbonate Lithologies in Jezero Crater, Mars." *Geophysical Research Letters*, 48(9), 1–10. <https://doi.org/10.1029/2020GL092365>

USGS EarthExplorer 2023 <https://earthexplorer.usgs.gov/>

Copernicus Open Access Hub 2023 <https://scihub.copernicus.eu/>

ESA Earth Online – European Space Agency 2023 <https://earth.esa.int/eo-gateway>



ZUBÍA

42



IER

Instituto de
Estudios Riojanos