

Artículo original

Estudio preliminar de la microbiota bacteriana viable cultivable en suelos de la estación científica chilena Julio Escudero en la Antártida

Preliminary study of bacterial microbiota viable cultivable in soils of the Chilean scientific station Julio Escudero in Antarctica.

Andueza-Leal Félix^{1,2,3*}, León Yoleida¹, Apugllón Curi¹, Arciniegas-Ortega Susana¹, García-González Silvia¹, Pillajo Christian¹, Rodríguez-Fernández Carmina³, Cabrera Maldonado Elvia⁴, Stahl Ullrich⁴, Araujo-Granda Pablo⁴, Chiriboga-Gavidia Washington⁴, Araque-Rangel Judith⁴.

¹FIGEMPA, Universidad Central del Ecuador, Quito, CP 170521, Ecuador.

²Facultad de Farmacia y Bioanálisis, Universidad de los Andes, Mérida, CP 5101, Venezuela

³Doctorado en Ciencias Biológicas. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Complutense de Madrid, Madrid, CP 28040. España.

⁴Facultad de Ingeniería Química. Universidad Central del Ecuador, Quito, CP 170521, Ecuador.

Recibido: 16 de junio de 2025 –Aceptado: 16 de septiembre de 2025

RESUMEN

La microbiota del suelo tiene una influencia significativa en la absorción, descomposición y reciclaje de la materia orgánica e inorgánica por parte de la cadena alimentaria de los ecosistemas marinos. En este estudio se cuantificó la microbiota bacteriana viable cultivable del suelo de la estación científica Julio Escudero de Chile en la Antártida. Para el trabajo se cuantificaron los grupos de bacterias heterótrofas y de miembros del género *Pseudomonas*. Un total de 12 muestras de suelo fueron recolectadas en diversas localidades aledaña a la estación científica Julio Escudero, en Chile, durante la XXVII Expedición Antártica Ecuatoriana realizada en el mes de marzo de 2024. De cada una de las muestras se realizaron diluciones seriadas de 1/10, 1/100 y 1/1000 en agua peptonada estéril, las cuales se filtraron a través de filtros Millipore. Cada uno de los filtros fueron depositados en medios de cultivo específicos para cada grupo microbianos estudiados e incubados a una temperatura de 4 °C por un período de 1 a 12 semanas. Los resultados obtenidos indican valores promedio de $1,25 \times 10^3$ UFC/g para las bacterias heterótrofas y $0,20 \times 10^2$ UFC/g para el grupo de bacterias del género *Pseudomonas*. Dado que los valores observados en la cantidad de bacterias son inferiores a las cantidades encontradas en otros tipos de suelo en diferentes zonas de la Antártida y de la región polar ártica, se concluye que existe una microbiota bacteriana viable cultivable escasa en los suelos del área evaluada.

PALABRAS CLAVE

Microbiota bacteriana, suelo, viables cultivables, Antártida

ABSTRACT

The microbial population of soil has a very important influence on the absorption, decomposition, and recycling of organic and inorganic matter for the food chain of marine ecosystems. In this study, the viable cultivable bacterial microbiota of the soil of the Julio Escudero scientific station in Chile in Antarctica was quantified. For the work, the groups of heterotrophic bacteria and members of the *Pseudomonas* genus were quantified. A total of 12 soil samples were collected in various locations adjacent to the Chilean Julio Escudero scientific station, during the XXVII Ecuadorian Antarctic Expedition carried out in March 2024. The samples were processed in the Microbiology laboratory of the Faculty of Chemical Engineering of the Central University of Ecuador. Serial dilutions of 1/10, 1/100, and 1/1000 were made from each sample in sterile peptone water, which were filtered through Millipore filters. Each filter was placed in specific culture media for each of the microbial groups studied and incubated at a temperature of 4 °C for a period of 1 to 12 weeks. The results obtained indicate average values of 1.25×10^3 CFU/g for heterotrophic bacteria and 0.20×10^2 CFU/g for the group of bacteria of the genus *Pseudomonas*. Since the observed values of bacteria are lower than the quantities found in other types of

soil in Antarctica and the Arctic polar region, it is concluded that there is a scarce cultivable viable bacterial microbiota in the soils of the evaluated area.

KEY WORDS

Bacterial microbiota, soil, viable cultivable, Antártica.

INTRODUCCIÓN

La Antártida es una de las zonas más extremas de la Tierra, con condiciones que impiden la supervivencia de la mayoría de las formas de vida, excepto los microorganismos, los cuales constituyen los seres vivos dominantes en estos ecosistemas [1-3].

Solo el 0,34% del continente (44.000 km²) está estacional o permanentemente libre de hielo. Las áreas libres de hielo incluyen la península Antártica de latitudes más bajas en el lado oeste, los picos de montaña de gran altitud de las montañas Ellsworth y Transantárticas y de las montañas más altas de la Antártida Oriental, y los valles secos de McMurdo [2,4].

En ecosistemas marinos y costeros, las bacterias constituyen un componente esencial en la cadena trófica, las cuales, a través de su interacción con otros organismos, modifican los ambientes, y llegan a ser capaces de crecer en zonas con condiciones fisicoquímicas extremas. En los sedimentos marinos, las bacterias juegan un rol ecológico muy importante, ya que pueden degradar diferentes tipos de compuestos y contribuir de esta manera en el mantenimiento de la cadena trófica [5,6].

Las comunidades microbianas del suelo y sus actividades están muy influenciadas por los factores climáticos, fisicoquímicos y geológicos [7,8], lo cual representa un problema en ambientes extremos como el de la Antártida, dado a que la población microbiana disminuye, alterando de esta manera los procesos microbianos en los suelos, los cuales a su vez controlan la función ecológica y la fertilidad de estos. Además, las variables ambientales abióticas y bióticas pueden afectar los parámetros de crecimiento y reproducción microbianos [8].

La microbiota de los suelos antárticos parecen estar altamente especializadas y estructuradas, ello debido a la influencia de los factores abióticos y a interacciones bióticas extremadamente limitadas [4,9-12]. Estas comunidades tienen que hacer frente a una combinación de condiciones ambientales extremas, como bajas temperaturas, baja disponibilidad de agua y nutrientes, altas radiaciones solares y ultravioleta y frecuentes ciclos de congelación y descongelación, y han desarrollado muchas adaptaciones para poder sobrevivir en estos ecosistemas extremófilos [4].

Las especies de la población bacteriana de la antárticas

suelen ser endémicas, debido al aislamiento geográfico prolongado de la Antártida [13,14]. En las últimas décadas se han logrado avances significativos en la comprensión de la diversidad y funcionalidad de estas comunidades gracias al desarrollo de nuevos métodos moleculares independientes del cultivo [4]. A pesar de estos avances, los suelos antárticos siguen siendo un entorno poco explorado y aún no se tiene una idea clara de la mayor parte de la composición y función de las comunidades microbianas.

A pesar del gran número de trabajos existentes, muchos de ellos focalizados en áreas de muestreo dispersas, los parámetros que determinan la diversificación de las comunidades bacterianas en estos ambientes son aún poco conocidos [15,16].

La necesidad de profundizar nuestro conocimiento sobre la estructura y función de la comunidad bacteriana en los suelos antárticos es un tema muy importante para poder monitorear y predecir las respuestas ecológicas en estos ambientes a los efectos del cambio climático y la contaminación ambiental creciente

Los riesgos que conllevan las alteraciones en la estructura de las comunidades microbianas y la pérdida de biodiversidad, debido a la desaparición de especies endémicas e introducciones de otras no nativas ya han sido alertados por algunos investigadores [17,18]. Existe un riesgo real de que esto pueda suceder, ya que solo se conoce una parte de la microbiota bacteriana de los suelos y sedimentos de la Antártida, ya que la biodiversidad real aún no se conoce por completo. En este sentido, se planteó la presente investigación como un trabajo preliminar para obtener datos que permitan contribuir al conocimiento microbiológico de estos ecosistemas y posteriormente crear plataformas basadas en el uso de imágenes satelitales para su monitoreo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización geográfica. La investigación se llevó a cabo en la costa de la bahía Caleta Ardley y en los alrededores de la estación científica chilena Julio Escudero, la cual se ubica en la isla Rey Jorge, península Fildes, latitud 62° 12' 57" S y longitud 58° 57' 35" O (Ver figuras 1 y 2). Esta estación científica posee un área de 1.628 m² y se encuentra a 10 metros sobre el nivel del mar [19].

Toma y transporte de muestras. Se recolectaron doce muestras del suelo (100 gramos en cada sitio); según las técnicas de recolección aséptica de suelos recomendadas para los análisis microbiológicos de la APHA [20]. Para el almacenamiento de las muestras se utilizaron bolsas plásticas con cierre hermético previamente etiquetadas.

Las coordenadas de los sitios de muestreos se resumen en la Tabla 1.

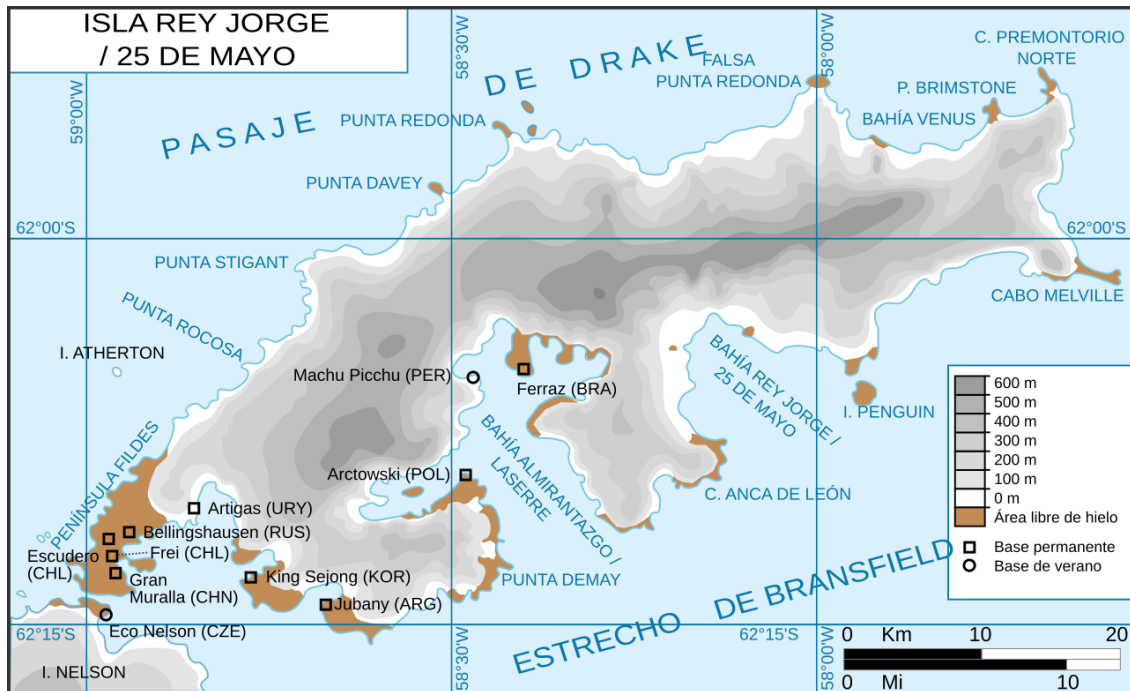


Fig.1. Ubicación geográfica de la base científica chilena Julio Escudero. (Fuente: Kgeorge_map.png: Giovanni Fattori)



Fig. 2. Ubicación sitios de muestreos en la base científica Chilena Julio Escudero en la Antártida. (Fuente: Google Map, 2024)

TABLA 1

Coordenadas de los sitios de toma de muestra en la zona costera aledaña a la estación científica chilena Julio Escudero en la Antártida

| Código de la muestra | UTMX | UTMY |
|----------------------|-----------|-----------|
| T1 | 58,957270 | 62,198367 |
| T2 | 58,956464 | 62,198279 |
| T3 | 58,955329 | 62,198301 |
| TA3 | 58,953242 | 62,193150 |
| TA4 | 58,958271 | 62,192421 |
| TA5 | 58,966534 | 62,191713 |
| TL1 | 58,955574 | 62,197241 |
| TL2 | 58,955196 | 62,198068 |
| TL3 | 58,955302 | 62,196324 |
| TH1 | 58,954222 | 62,197992 |
| TH2 | 58,953261 | 62,197869 |
| TH3 | 58,952347 | 62,197711 |

Metodología. El recuento de bacterias heterótrofas se realizó por el método de filtración en membranas, filtrando 100 mL. de cada una las diluciones seriadas 1/10, 1/100 y 1/1000 realizadas en agua peptonada al 0,1 % de las muestras de suelo recolectadas. La filtración se llevó a cabo a través de filtro de celulosa estériles de 47 mm de diámetro y 0,45 μm de tamaño de poro, colocándose los filtros en la superficie de cajas Petri contentivas de medio de cultivo R2A, siendo posteriormente incubadas por un tiempo de 15 a 90 días a una temperatura de 5 a 2 °C. Los resultados fueron reportados como unidades formadoras de colonias por gramo de suelo (UFC/gr). Las colonias bacterianas fueron posteriormente aisladas y purificadas en el medio R2A, realizando la coloración Gram de estas.

Para el recuento de las bacterias del género *Pseudomonas* se siguió la metodología indicada por APHA [20], mediante la técnica de filtración en membrana, filtrando un volumen de 100 mL. de cada una de las diluciones seriadas de las muestras de suelo recolectadas, a través de filtros de celulosa estéril de 47 mm de diámetro y 0,45 μm de tamaño de poro, siendo colocados en la superficie de cajas Petri de plástico desechables con Agar Cetrimide, llevándose a incubación por un tiempo de 15 a 90 días a una temperatura de 5 a 2 °C. Los resultados fueron reportados como unidades formadoras de colonias por gramo de suelo (UFC/gr). Las colonias bacterianas fueron posteriormente aisladas y purificadas en el medio R2A, realizando la coloración Gram de estas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en la cuantificación de las bacterias heterótrofas y del grupo de *Pseudomonas* se resumen en la tabla 2.

Se logró detectar y cuantificar la presencia de colonias pertenecientes a los grupos de bacterias heterótrofas y células pertenecientes al género *Pseudomonas*.

Al analizar los datos de la Tabla 2, se puede observar que los valores de bacterias heterótrofas variaron entre $0,30 \times 10^3$ a $2,0 \times 10^3$ UFC/gr y en el caso de las bacterias del grupo de *Pseudomonas* entre $0,10 \times 10^2$ a $0,40 \times 10^2$ UFC/gr de suelo.

Los resultados obtenidos indican valores promedio de $1,25 \times 10^3$ UFC/g para las bacterias heterótrofas y $0,20 \times 10^2$ UFC/g para el grupo de bacterias del género *Pseudomonas*.

La mayoría de las investigaciones sobre bacterias en los suelos de la Antártida se han centrado en la abundancia y diversidad de bacterias viables cultivables. Las cantidades de bacterias viables cultivables detectadas han variado de 0 a 10^7 Unidades Formadoras de Colonias por gramo de suelo, dependiendo de la localidad donde se recolecten las muestras y de las condiciones fisicoquímicas y climáticas de las mismas [15,21].

Los valores obtenidos en el número de bacterias de los grupos bacterianos estudiados en la presente investigación son inferiores a los señalados por diversos investigadores [15, 21-24] resaltando el bajo número de microorganismos viables cultivables en el suelo. Sin embargo, los resultados obtenidos en la presente investigación son similares a los indicado por Jara et al, en un trabajo realizado en las aguas costera aledañas a la estación científica Chilena Julio Escudero en el año 2020 [21].

TABLA 2.

Valores promedios de bacterias heterótrofas y de *Pseudomonas* aisladas de muestras de suelo de la estación científica chilena Julio Escudero en la Antártida

| Código de la muestra | Bacterias heterótrofas (Unidades formadoras de colonias por gramo) | <i>Pseudomonas</i> (Unidades formadoras de colonias por gramo) |
|----------------------|--|--|
| T1 | 2,00 x 10 ³ | 0,40 x 10 ² |
| T2 | 1,80 x 10 ³ | 0,20 x 10 ² |
| T3 | 1,95 x 10 ³ | 0,30 x 10 ² |
| TA3 | 0,60 x 10 ³ | 0,10 x 10 ² |
| TA4 | 0,40 x 10 ³ | 0,10 x 10 ² |
| TA5 | 0,30 x 10 ³ | 0,15 x 10 ² |
| TL1 | 1,40 x 10 ³ | 0,20 x 10 ² |
| TL2 | 1,10 x 10 ³ | 0,10 x 10 ² |
| TL3 | 1,00 x 10 ³ | 0,20 x 10 ² |
| TH1 | 1,40 x 10 ³ | 0,10 x 10 ² |
| TH2 | 1,50 x 10 ³ | 0,20 x 10 ² |
| TH3 | 1,60 x 10 ³ | 0,30 x 10 ² |
| Valores promedios | 1,25 x 10 ³ | 0,20 x 10 ² |

Es importante señalar que las técnicas microbiológicas dependientes del cultivo siguen siendo de mucha utilidad en los estudios de la biodiversidad microbiana para aislar y definir las características taxonómicas y metabólicas de cepas puras [10, 25], y también para entender cómo la variabilidad regional y local influye en el patrón espacial de diversidad en ecosistemas como la Antártida. Los métodos de cultivo son indispensables para este tipo de estudios, ya que permiten no solo clasificar las bacterias, sino también caracterizar la fisiología y la funcionalidad de las colonias obtenidas. Además, el aislamiento por cultivo también permite el análisis del gen ARNr 16S completo (~1500 pb), lo que proporciona suficiente capacidad de resolución para responder a la pregunta clave en los estudios de biodiversidad microbiana, además de ayudar al establecimiento de cepario para la conservación de estas especies [10, 21].

La baja cantidad de bacterias observadas en la investigación puede ser el reflejo de las extremas condiciones ambientales y fisicoquímicas de la Antártida, en donde las comunidades microbianas tienen que hacer frente a una combinación de condiciones extremas, como bajas temperaturas, baja disponibilidad de agua y nutrientes, altas radiaciones solares y de radiaciones ultravioleta, así como frecuentes ciclos de congelación y descongelación, todo lo cual ha influido para que exista una población microbiana reducida y que las especies prevalentes sean aquellas que desarrollaron a través de la evolución, adaptaciones

bioquímicas y fisiológicas que le han permitido sobrevivir en estos ecosistemas extremófilos [4].

Las bacterias heterótrofas psicrófilas aeróbicas aisladas y cuantificadas de los suelos alrededor de la estación chilena de Julio Escudero en la Antártida, fueron principalmente colonias pigmentadas Gram negativas del género *Pseudomonas*, aunque también se pudieron aislar, pero en menor proporción, colonias de bacterias Gram positivas, que, dada las características de la morfología colonial, pertenecen al grupo de bacterias *Actinomycetales*, resultados similares a los obtenidos por investigadores en muestras de agua de esta zona de la Antártida [21, 26, 27].

La presencia de una alta proporción de bacterias pigmentadas (Ver figura 3), podría estar indicando un mecanismo de protección a la radiación UV por parte de los microorganismos que habitan esta zona y coinciden con los resultados observados por otros autores en investigaciones realizadas en la Antártida [28, 29].

Los grupos taxonómicos bacterianos observados con mayor frecuencia en los suelos antárticos, aunque con diferentes abundancias relativas entre las diversas regiones, son Actinobacteria, *Actinomycetales* y Proteobacteria [11, 12, 15, 26, 30, 31], resultados similares a los observados en la presente investigación.

Sería necesario realizar nuevos estudios utilizando los métodos independientes del cultivo, como la secuenciación de nueva generación (NGS), lo que permite la secuenciación directa y la identificación de unidades taxonómicas

bacterianas y es mucho más eficaz para identificar la diversidad total presente en un ecosistema. Sin embargo, el aislamiento por cultivo permite una descripción y caracterización completa de las cepas, incluyendo la posible asignación de nuevas especies. No obstante, los resultados de la presente investigación, basados en métodos de cultivo, permitieron revelar la biodiversidad en el suelo de la estación Científica chilena Julio Escudero, representada por el grupo de colonias del género *Pseudomonas*.

También se ha señalado la presencia de otros grupos microbianos como hongos y algas unicelulares, tanto en la zona continental como en la Antártida marítima [4, 32-34], los cuales no fueron objeto de estudio en el presente trabajo.

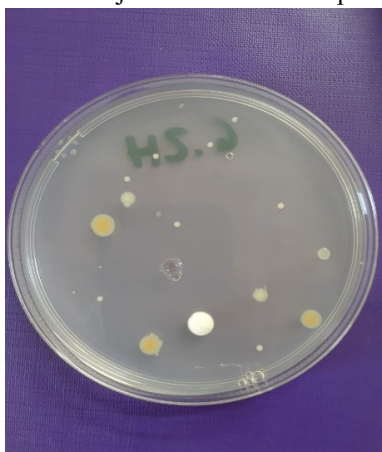


Fig. 3. Colonias bacterianas pigmentadas aisladas en muestras de suelo de la Antártida

Es importante resaltar que los estudios microbiológicos disponibles en diversas regiones de la Antártida informan de la presencia de una alta proporción de taxones no clasificados, desconocidos y posiblemente únicos [16], lo que sugiere la necesidad de realizar estudios más amplios, así como la caracterización microbiológica más profunda de estos ambientes, utilizando diversas metodologías a fin de conocer la microbiota de estos ecosistemas.

CONCLUSIONES

Se pudo aislar y cuantificar colonias bacterianas heterótrofas y del grupo de *Pseudomonas*. Resalta el bajo número de bacterias observadas en el suelo costero de la estación científica chilena Julio Escudero.

Los datos obtenidos son indicativos de que este suelo costero no es un suelo contaminado y que las características de éste, aunado a las condiciones fisicoquímicas del entorno, no permiten un crecimiento abundante de bacterias.

La alta presencia de bacterias pigmentadas puede estar indicando mecanismos evolutivos de protección contra los elevados índice de radiaciones de luz UV en la zona.

AGRADECIMIENTOS

El agradecimiento al Instituto Antártico de Chile (INACH), así como al personal de la base Chilena Julio Escudero por toda la ayuda, asesoramiento, colaboración y respaldo brindado durante la estancia en la base científica.

De igual forma, el agradecimiento al Instituto Oceanográfico y Antártico de la Armada de Ecuador (INOCAR) por todo el apoyo, facilidades y financiamiento otorgado a través del proyecto CIDi23007.

Así mismo, el agradecimiento a la Dirección de investigaciones de la Universidad Central del Ecuador (Proyecto DI-2022-045), a la Facultad de Ingeniería en Geología, Minas, Petróleos y Ambiental (FIGEMPA) y la Facultad de Ingeniería Química (FIQ) de la Universidad Central del Ecuador por la ayuda y colaboración prestada para poder desarrollar la presente investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Pearce DA. Extremophiles in Antarctica: life at low temperatures. In: Stan-Lotter H, Fendrihan S (eds). *Adaptation of Microbial Life to Environmental Extremes*. Vienna (Austria): Springer; 2012. 87–118. https://doi.org/10.1007/978-3-211-99691-1_5
- [2] Khadilkar J. *The Frozen Continent's Environment, Changing Logistics and Relevance to India*. New Delhi (India): Bloomsbury Publishing; 2017. 1-436. <https://doi.org/10.1017/S0954102018000196>
- [3] Abbott C and Pearce DA. Antarctic Bacteria as Astrobiological Models. In J. Seckbach and H. Stan-Lotter. *Extremophiles as Astrobiological Models*. New York (USA): Wiley online; 2020. 1-392. <https://doi.org/10.1002/9781119593096.ch6>
- [4] Hopkins DW, Dennis PG, Rushton SP, Newsham KK, O'Donnell TG. Lean and keen: microbial activity in soils from the Maritime Antarctic. *Eur J Soil Sci*. 2021; 72: 413–31. <https://bsssjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/ejss.12957>
- [5] Boschker HTS, Graaf de W, Köster M, Meyer-Reil LA, Cappenberg TE. Bacterial populations and processes involved in acetate and propionate consumption in anoxic brackish sediment. *Microbiology Ecology*. 2001; 35: 97-103. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6941.2001.tb00792.x>
- [6] Munn CB. *Marine Microbiology Ecology & Applications*. 3rd Edition. Boca de Ratón. (USA): CRC Press. 2020. 1-436. <https://doi.org/10.1201/9780429061042>
- [7] Rietz DN, Haynes RJ. Effects of irrigation-induced

- salinity and sodicity on soil microbial activity. *Soil Biol Biochem.* 2003; 35:845–854. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(03\)00125-1](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(03)00125-1)
- [8] Tate R.L. *Soil Microbiology*. London (UK): John Wiley & Sons. 2020. 1-592. <https://doi.org/10.1002/9781119114314>
- [9] Hogg ID, Cary SC, Convey P, Donnell, AGO, Adams, BJ, Aislabie J, Frati F, Stevens MI, Wall DH. Biotic interactions in Antarctic terrestrial ecosystems are a factor. *Soil Biol Biochem.* 2006; 38: 3035–40. <http://dx.doi.org/10.1016/j.soilbio.2006.04.026>
- [10] Chong CW, Pearce DA, Convey P. Emerging spatial patterns in Antarctic prokaryotes. *Frontiers in Microbiology.* 2015; 6:1058. <https://www.frontiersin.org/journals/microbiology/articles/10.3389/fmicb.2015.01058/full>
- [11] Van Goethem MW, Makhalanyane TP, Valverde A. Characterization of bacterial communities in lithobionts and soil niches from Victoria Valley, Antarctica. *FEMS Microbiol Ecol.* 2016; 92: fiw051. <https://doi.org/10.1093/femsec/fiw051>
- [12] Lee CK, Barbier BA, Bottos EM, McDonald IR, Craig CS. The inter-valley soil comparative survey: the ecology of dry valley edaphic microbial communities. *The ISME Journal.* 2012; 6:1046–57. <https://doi.org/10.1038/ismej.2011.170>
- [13] Vyverman W, Verleyen E, Wilmotte A, Hodgson DA, Willems A, Peeters K, Van de Vijver B, De Wever A, Leliaert F, Sabb K. Evidence for widespread endemism among Antarctic micro-organisms. *Polar Sci.* 2010; 4:103–13. <https://doi.org/10.1016/j.polar.2010.03.006>
- [14] Durieu B, Lara Y, Pessi IS, Wilmotte A, Willems A, Tytgat B, Sweetlove M, Pinseel E, Verleyen E, Vyverman W, Van der Vijver B, Van der Putte A, Convey P. Climate change and Antarctic microbial diversity ‘CCAMBIO’. Final report. Brussels (Belgian) Science Policy, 2019. <https://nora.nerc.ac.uk/id/eprint/522266>
- [15] Bottos EM, Scarrow JW, Archer SD, McDonald IR, Craig CS. Bacterial community structures of Antarctic soils. In: Cowan D. *Antarctic Terrestrial Microbiology*. Berlin (Germany): Springer. 9–33. 2014. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-45213-0_2
- [16] Tamang S, Sharma P, Kumar S, Thakur N. Bacterial community structure, adaptations and prevalence of antimicrobial resistance in bacteria from Antarctica: A review, *Polar Science.* 2024; 40: 101034. <https://doi.org/10.1016/j.polar.2023.101034>
- [17] Cowan D, Hughes K, Pointing S, Mataloni G, Blamey J, Kong W. Non-native microbial introductions: what risk to Antarctic ecosystems? *Antarctic Environments Portal.* 2018; 1-6. <https://doi.org/10.18124/D40S5T>
- [18] Convey P, Peck LS. Antarctic environmental change and biological responses. *Sci Adv.* 2019; 5: eaaz0888. <https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.aaz0888>
- [19] Instituto Antártico Chileno (INACH). Base Profesor Julio Escudero. <https://www.inach.cl/expedicion-antartica/bases-chilenas-en-antartica-2/base-profesor-julio-escudero/> (Consultado el 17 de abril 2024).
- [20] American Public Health Association. Standard methods for the examination of water and wastewater. 23rd ed. Washington DC. (USA): American Public Health Association; 2017.
- [21] Jara D, Bello-Toledo H, Domínguez, M, Cigarroa C, Fernández P, Vergara L, Quezada-Aguiluz M, Opazo-Capurro A, Lima CA, González-Rocha G Antibiotic resistance in bacterial isolates from freshwater samples in Fildes Peninsula, King George Island, Antarctica. *Sci Rep,* 2020; 10, 3145. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-60035-0>
- [22] Jiang P, Ren X, Wang W, Niu G, Li J. *Arthrobacter terrae* sp. Nov., a psychrophilic actinobacterium with multi copies of cap A gene isolated from Antarctic soil. *Antonie van Leeuwenhoek,* 2022; 115(5): 635-644. <https://doi.org/10.1007/s10482-022-01727-7>
- [23] Holmberg SM, Jørgensen NO. Insights into abundance, adaptation, and activity of prokaryotes in arctic and Antarctic environments. *Polar Biology,* 2023; 46(5): 381-396. <https://doi.org/10.1007/s00300-023-03137-5>
- [24] Varliero G, Lebre PH, Adams B, Chown SL, Convey P, Dennis P, Cowan DA. Biogeographic survey of soil bacterial communities across Antarctica. *Microbiome,* 2024; 12(1): 9. <https://doi.org/10.1186/s40168-023-01719-3>
- [25] Rosselló-Mora R, Amann R. The species concept for prokaryotes. *FEMS Microbiology Reviews.* 2001;25(1):39–67. pmid:11152940. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6976.2001.tb00571.x>
- [26] Wang NF, Zhang T, Zhang F, Wang ET, He JF, Ding H, Zhang BT, Liu J, Ran XB, Zang JY. Diversity and structure of soil bacterial communities in the Fildes Region (Maritime Antarctica) as revealed by 454 pyrosequencing. *Frontiers in Microbiology.* 2015;6. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.01188>

- [27] González-Rocha G, Muñoz-Cartes G, Canales-Aguirre CB, Lima CA, Domínguez-Yévenes M, Bello-Toledo H, Hernandez C. Diversity structure of culturable bacteria isolated from the Fildes Peninsula (King George Island, Antarctica): A phylogenetic analysis perspective. *PLoS ONE*, 2017; 12(6): e0179390. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0179390>
- [28] Dierer M, Greenwood M, Foreman CM. Carotenoid pigmentation in Antarctic heterotrophic bacteria as a strategy to withstand environmental stresses. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*. 2010; 42(4):396–405. <https://doi.org/10.1657/1938-4246-42.4.396>
- [29] Correa-Llantén DN, Amenábar MJ, Blamey JM. Antioxidant capacity of novel pigments from an Antarctic bacterium. *J Microbiol*. 2012;50(3):374–9. <https://doi.org/10.1007/s12275-012-2029-1>
- [30] Ji M, Van Dorst J, Bissett A, Brown MV, Palmer AS, Snape I, Siciliano S, Ferrari B. Microbial diversity at Mitchell Peninsula, Eastern Antarctica: a potential biodiversity “hotspot”. *Polar Biology*. 2015; 39: 237–49. <https://ouci.dntb.gov.ua/en/works/4N8pL3x9/>
- [31] Wei ST, Fernández-Martínez MA, Chan Y, Van Nostrand JD, De los Rios A, Chiu JMY, Ganeshram AM, Craig CS, Zhou J, Pointing SB. Diverse metabolic and stress-tolerance pathways in endolithic and soil communities of Miers Valley, McMurdo Dry Valleys, Antarctica. *Polar Biol*. 2015; 38: 433–43. <https://doi.org/10.1007/s00300-014-1598-3>
- [32] Rosa LH, da Silva TH, Ogaki MB, Bezerra-Pinto OH, Stech M, Convey P, Carvalho-Silva M, Rosa CA, Câmara P. DNA metabarcoding uncovers fungal diversity in soils of protected and non-protected areas on Deception Island, Antarctica. *Sci Rep*. 2020; 10:1–9. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-78934-7>
- [33] Canini F, Geml J, D'Acqui LP, Buzzini P, Turchetti B, Onofri S, Ventura S, Zucconi L. Fungal diversity and functionality are driven by soil texture in Taylor Valley, Ant *Fungal Ecol*. 2021; 50:101041. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1754504821000039>
- [34] Newsham KK, Davey ML, Hopkins DW, Dennis PG. Regional Diversity of Maritime Antarctic Soil Fungi and Predicted Responses of Guilds and Growth Forms to Climate Change. *Front. Microbiol*. 2021 ; 11 :615659. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.615659>
- Andueza Leal Félix:** Doctor. Profesor titular. Universidad Central del Ecuador. Profesor titular Facultad de Farmacia y Bioanálisis. Universidad de los Andes. Doctorado en Ciencias Biológicas Universidad Complutense de Madrid. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9046-8883>
- León Yoleida Cacuango:** Estudiante Carrera de Ingeniería Ambiental. Universidad Central del Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-5993-7395>
- Apugllon Curi Zuna:** Estudiante Carrera de Ingeniería Ambiental. Universidad Central del Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-4627-5708>
- Arciniegas Ortega Susana:** Doctora. Profesora titular. Universidad Central del Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0878-2612>
- García González Silvia:** Doctora. Profesora titular. Universidad Central del Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8583-1537>
- Pillajo Christian Llushca:** Ingeniero. Estudiante Maestría Economía Circular. Universidad Central del Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3214-4370>
- Rodríguez Fernández Carmina:** Doctora. Profesora Titular. Facultad de Farmacia. Universidad Complutense de Madrid. Doctorado en Ciencias Biológicas. Universidad Complutense de Madrid. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4396-4016>
- Cabrera Maldonado Elvia:** Doctora. Profesora titular. Facultad de Ingeniería Química. Universidad Central del Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2685-4624>
- Stahl Ullrich:** Doctor. Profesor titular. Facultad de Ingeniería Química. Universidad Central del Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6252-1205>
- Araujo Granda Pablo:** Doctor. Profesor titular. Facultad de Ingeniería Química. Universidad Central del Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8323-4827>
- Chiriboga Gavidia Washington:** Doctor. Profesor titular. Facultad de Ingeniería Química. Universidad Central del Ecuador. <https://orcid.org/0000-0002-3595-189>
- Araque Rangel Judith:** Magister. Técnico de laboratorio. Facultad de Ingeniería Química. Universidad Central del Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6423-9622>