

Artículo original

Microbiología del agua perteneciente al lago cratérico volcánico Cuicocha. Imbabura. Ecuador: Estudio inicial.

Microbiology of the water in the lake crateric volcanic Cuicocha. Imbabura. Ecuador: Initial study.

González Marco¹, Alarcón Diego¹, Araque Judith^{1,4}, Viteri Francisco¹, Villacis Luis¹, Escobar Sandra^{2,4}, Araujo Liliana³, Medina Gerardo^{3,4}, Andueza Felix^{1,4*}.

¹Figempa. Universidad Central del Ecuador. Quito. CP. 170519. Ecuador. ²Facultad de Ciencias. Escuela Superior Politécnica del Chimborazo. Riobamba. CP. 060150 Ecuador. ³Facultad de Ciencias de la Salud. Universidad Nacional del Chimborazo. Riobamba. CP. 060150 Ecuador. ⁴Postgrado de Química de Medicamentos. Facultad de Farmacia y Bioanálisis. Universidad de los Andes. Mérida. CP. 5101. Venezuela.

Recibido: febrero de 2021 –Aceptado: mayo de 2021

RESUMEN

La microbiología del agua de los lagos crátericos volcánicos es un aspecto que se está investigando ampliamente, motivado a que su conocimiento puede ayudar a comprender el origen de la vida en la tierra, así como descubrir nuevas sustancias químicas de origen microbiano con distintas aplicaciones farmacéuticas e industriales. En Ecuador existen cinco lagos crátericos volcánicos, pero son muy pocos los estudios microbiológicos. Por ello, el objetivo del trabajo fue realizar un estudio preliminar sobre la microbiología del agua del lago cratérico Cuicocha, situado a 3072 m.s.n.m. en la Provincia de Imbabura-Ecuador. Se recolectaron muestras de agua provenientes de ocho sitios de muestreo según lo indicado por la norma ecuatoriana NTE-INEN-2169-2013. Se cuantificaron los grupos bacterianos mediante la técnica de filtración de membrana de acuerdo con lo indicado por Andueza (2007) utilizando el agar R₂A para las bacterias heterótrofas, el agar azul eosina de metileno para coliformes totales, agar cetrimida para *Pseudomonas*, agar manitol salado para *Staphylococcus* y el agar sabouraud con cloranfenicol para los hongos. En el análisis

microbiológico se logró contabilizar un valor promedio de bacterias heterótrofas de $1,65 \times 10^2$ UFC/mL, *Pseudomonas* de $1,25 \times 10$ UFC/mL, *Staphylococcus* de $0,6 \times 10$ UFC/mL y hongos de $0,4 \times 10$ UFC/mL. En ninguna de las muestras se detectaron coliformes. Los valores del recuento microbiológico indican que se trata de un agua no estéril con una población microbiana viable cultivable escasa, la cual debe ser identificada, caracterizada, estudiada y preservada.

PALABRAS CLAVE

Microbiología, lagos crátericos volcánicos, Cuicocha, Imbabura, Ecuador.

ABSTRACT

The microbiology of the water of volcanic crater lakes is an aspect that is being widely investigated, so that its knowledge and understanding can help to know the origin of life on earth, as well as find new chemical substances of microbial origin with different pharmaceutical and industrial applications. In Ecuador there are five volcanic crater lakes, but there are very few microbiological studies.

Therefore, the objective of the work was to carry out a preliminary study on the microbiology of the water of the Cuicocha crater lake, located at 3,072 meters above sea level. in the Province of Imbabura-Ecuador. Water samples were collected from eight sampling sites as indicated by the Ecuadorian standard NTE-INEN-2169-2013. Bacterial groups were quantified by means of the membrane filtration technique as indicated by Andueza (2007) using R₂A agar for heterotrophic bacteria, methylene blue eosin agar for total coliforms, cetrimide agar for *Pseudomonas*, salty mannitol agar for *Staphylococcus* and sabouraud agar with chloramphenicol for fungi. In the microbiological analysis, an average value of heterotrophic bacteria of 1.65×10^2 CFU/mL, *Pseudomonas* of 1.25×10 CFU/mL, *Staphylococcus* of 0.6×10 CFU/mL and fungi of 0.4×10 CFU/mL was recorded. Coliforms were not detected in any of the samples. The microbiological count values indicate that we are in the presence of a non-sterile water with a few viable culturable microbial populations, which must be identified, characterized, studied, and preserved.

KEY WORDS

Microbiology, volcanic crater lakes, Cuicocha, Imbabura, Ecuador.

INTRODUCCIÓN

La actividad volcánica ha jugado un papel importante en la formación de lagos y lagunas en varias regiones del mundo [1,2].

Los lagos crátericos son lagos volcánicos alojados en las calderas de volcanes. Estos volcanes pueden formar cráteres centrales o en la cima a través de procesos eruptivos explosivos. Luego de la conformación del cráter, debido a influencias climáticas, geoquímicas, procesos hidrogeológicos y de desgasificación, el cráter se va llenando de agua y forma un lago cráterico a lo largo de milenios [3].

Los lagos volcánicos crátericos son sitios con diversas condiciones extremas, tales como alta

incidencia de rayos UV, altas concentraciones de sales, ubicación en altitudes por encima de los 3000 m.s.n.m., temperaturas bajas y oligotrofia. A pesar de estas condiciones extremas para la vida, las investigaciones realizadas en varios lagos crátericos ubicados en diferentes partes del mundo, indican que estos ambientes no son estériles y en ellos se han detectado diversos tipos de comunidades microbianas que viven en estos ecosistemas acuáticos, siendo tolerantes a grandes fluctuaciones en los factores ambientales, así como con características fenotípicas y genotípicas especiales que les han permitido adaptarse a estos ecosistemas a través del tiempo [4, 5, 6, 7].

En Ecuador existen varios lagos crátericos, tales como los lagos Cuicocha, Chalpatan, Amarillo, Mojanda y el Quilotoa en donde se han realizado investigaciones de naturaleza geológicas, limnológicas y químicas [8, 9, 10, 11, 12, 13, 14], pero en muy pocos se ha realizado estudios sobre su microbiología [15].

Cuicocha es un lago cráterico ubicado en la cordillera occidental de los Andes ecuatorianos, localizado a unos 100 km al norte de Quito, cerca de la población de Otavalo, en la provincia de Imbabura. Está situado a una altura de 3072 metros sobre el nivel del mar, posee un diámetro de 3,2 km, una superficie de 3,78 km² con una profundidad máxima de 148 metros. Presenta en el centro del lago dos islas, la isla Yerovi de una superficie de 0,26 km² y la isla Wolf con una superficie de 0,41 km² [12, 13] (Figuras 1 y 2).

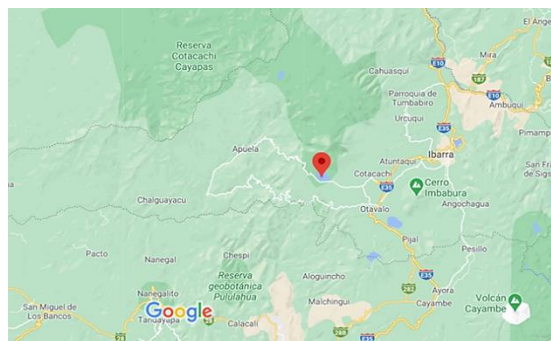


Fig. 1. Ubicación geográfica del lago cráterico volcánico Cuicocha. Imbabura. Ecuador Fuente: Google Maps, 2020.

Es un lago adyacente al volcán Cotacachi que de acuerdo con los datos geológicos que se disponen, el volcán donde se aloja sufrió una serie de erupciones intensas con emisión de cenizas,

lahares y el colapso de la caldera entre los años 2900 AC y 700 DC, llegándose a formar, ulterior a estos acontecimientos, un lago en la caldera que ha sido llenado tanto por agua de lluvia como por agua hidrotermal [12, 13].



Fig. 2. Fotografía del lago cratérico volcánico Cuicocha. Imbabura. Ecuador. Fuente: Alicia Flores, 2019

El mapa batimétrico del lago de Cuicocha muestra dos cuencas lacustres separadas, una con una profundidad máxima de 148 metros que se extiende al este de las islas, y la otra cuenca con una profundidad máxima de 78 metros, situada hacia la parte oeste del lago. La declinación de la zona litoral del lago es extremadamente alta [12, 13]

En base a lo señalado en los párrafos anteriores se realizó el presente trabajo preliminar de manera de cuantificar la población microbiana viable cultivable que pudiera habitar las aguas del lago Cuicocha.

MATERIALES Y MÉTODOS

Muestras: Para realizar el presente trabajo se realizaron dos campañas de muestreos en el lago cratérico volcánico Cuicocha, situado a 3072 m.s.n.m. en la Provincia de Imbabura. Ecuador.

Los muestreos se realizaron durante el año 2019. Se tomaron 32 muestras de agua del lago Cuicocha. Las muestras de agua se recolectaron en 8 sitios seleccionados a lo largo y ancho del lago a nivel de la superficie. Se identificaron las coordenadas geográficas de los sitios de recolección mediante un GPS (Garmin eTrex20).

En cada ocasión de muestreo, se recolectaron dos muestras de agua de un volumen de 1 litro, en cada uno de los sitios de muestreos seleccionados. Para la recolección de las muestras se utilizaron

frascos esterilizados y un muestreador de agua Van Dorn (Wildco Instruments y modelo: 3-1120-G45).

Las muestras se cubrieron con papel aluminio para evitar el paso de luz solar, se sellaron con cinta de embalaje previniendo el derrame y se etiquetaron con sus respectivas condiciones, trasladándose bajo refrigeración en una cava hasta el laboratorio, realizándose los análisis microbiológicos dentro de las 24 horas luego de la toma [16, 17].

Medios de cultivo: Los medios de cultivo que se utilizaron se prepararon a partir de las formas deshidratadas suministradas por las casas comerciales. Se reconstituyeron con agua destilada y posteriormente se esterilizaron en autoclave a 120 °C durante 20 minutos a 15 PSI de presión.

Siembra y recuento de bacterias heterótrofas: La siembra y el recuento de bacterias heterótrofas se realizó por la técnica de filtración por membrana de 0,45 µm de poro (Milipore). Se utilizó el agar R₂A (Oxoid) incubando a 30 °C durante un máximo de 7 días. El volumen de muestra de agua filtrada fue de 100 mL. Los resultados se expresaron como medias aritméticas de las unidades formadoras de colonias UFC por mililitro [18].

Siembra y recuento de coliformes: La investigación del grupo de bacterias coliformes se realizó por la técnica de filtración de membrana. Se filtraron 100 mL de las muestras de agua a través de un filtro de acetato de celulosa de 0,45 µm de poro (Milipore) que se transfirió al agar azul eosina de metileno (Oxoid), contenido en una placa Petri. Se incubaron a 37 °C durante 24-72 horas. Finalizado el tiempo de incubación se contaron las colonias típicas rojo ladrillo o naranja y se expresó el resultado en UFC por 100 mL de agua [18].

Siembra y recuento de *Pseudomonas*: Para estudiar la presencia de *Pseudomonas* se utilizó la técnica de filtración en membrana, filtrando un volumen de 100 mL de muestra de agua y utilizando filtros de 0,45 µm de poro (Milipore) los cuales se colocaron en agar cetrimida (Oxoid) y se incubaron a 37 °C durante 7 días. Finalizado el tiempo de incubación se contaron las colonias crecidas y se expresó el resultado en UFC por 100 mL de agua [18].

Siembra y recuento de *Staphylococcus*: Para la investigación de *Staphylococcus* se filtraron 100

mL de agua del lago, a través de un filtro de 0,45 μm de poro (Milipore). El filtro se introdujo en un matraz con 100 mL de caldo nutritivo, incubándose a 37° C durante 48 horas. Finalizado el tiempo de incubación, se tomó un asa de cultivo y se sembró por estría en superficie en el medio de agar manitol salado (Oxoid), el cual se incubó a 37 °C durante 5 días. Finalizado el tiempo de incubación se contaron las colonias crecidas y se expresó el resultado en UFC por 100 mL de agua [18].

Siembra y recuento de hongos: Para el estudio de los hongos se empleó la técnica de filtración en membrana. Se filtraron 100 mL de la muestra de agua, empleando filtros de 0,45 μm de poro (Milipore) que se depositaron en placas con medio de cultivo agar Sabouraud con cloranfenicol (Oxoid), las cuales se incubaron a 24 °C por 14 días. Al finalizar el período de incubación se

contaron las colonias típicas de hongos y se expresó el resultado en UFC por 100 mL de muestra [18].

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Son pocas las investigaciones que se han realizado en Ecuador sobre las características microbiológicas del agua de los lagos cratéricos volcánicos que existen en el país [15]. En este sentido, existen muy pocos trabajos con que comparar los datos obtenidos en los análisis microbiológicos.

En la tabla 1 se resumen los valores promedios obtenidos de cada uno de los grupos microbianos evaluados durante el primer muestreo, y en la tabla 2 los obtenidos durante el segundo muestreo.

TABLA 1.

Recuento promedio de bacterias heterótrofas, coliformes, *Pseudomonas*, *Staphylococcus* y hongos viables del agua del lago Cuicocha. Imbabura. Ecuador. Primer muestreo.

Punto	Longitud	Latitud	Bacterias heterótrofas (UFC/mL)	Coliformes (UFC/mL)	<i>Pseudomonas</i> (UFC/mL)	<i>Staphylococcus</i> (UFC/mL)	Hongos (UFC/mL)
1	794757,125	10035418,128	1,02 x 10 ²	0	1,0 x 10	0,7 x 10	0
2	794528,541	10033654,415	1,74 x 10 ²	0	1,8 x 10	0	1,2 x 10
3	794211,414	10034205,851	1,32 x 10 ²	0	1,6 x 10	0	0
4	793414,451	10033712,455	1,48 x 10 ²	0	1,9 x 10	0	0
5	792810,518	10033058,418	1,54 x 10 ²	0	1,5 x 10	0,5 x 10	0,6 x 10
6	792731,219	10033125,451	1,34 x 10 ²	0	1,1 x 10	0,6 x 10	0
7	792325,323	10033437,150	2,07 x 10 ²	0	1,2 x 10	1,4 x 10	0
8	792280,514	10033419,622	1,92 x 10 ²	0	1,0 x 10	0,8 x 10	0,3 x 10
Media	-	-	1,55 x 10 ²	0	1,4 x 10	0,5 x 10	0,3 x 10
Desviación estándar	-	-	34,36	-	3,60	4,93	4,37
Varianza	-	-	1032,73	-	11,36	21,25	16,73

Punto: Punto de muestreo. **UFC/mL:** Unidades formadoras de colonias/mililitro

Al observar los resultados de la tabla 1 se puede indicar que el número de bacterias heterótrofas estuvo en un rango de 1,02 x 10² a 2,07 x 10² UFC/mL, con un valor promedio de 1,55 x 10² UFC/mL. En el caso del segundo muestreo (ver tabla 2) los valores obtenidos estuvieron en el rango de 1,24 x 10² a 2,00 x 10² UFC/mL, con un valor promedio de 1,75 x 10² UFC/mL.

La enumeración de las bacterias heterótrofas provee una estimación del número total de bacterias viables y da información acerca de la calidad sanitaria del agua y del estado eutrófico de un ecosistema acuático [19, 20, 21]. Se interpreta

que cuando el resultado del número de bacterias heterótrofas viables es superior a 200 UFC/mL, se ha desarrollado algún problema bacteriano en el agua [22]. La academia nacional de ciencias de los Estados Unidos de Norteamérica recomienda que el límite de bacterias heterótrofas viables en un agua debe ser de un máximo de 300 UFC/mL [23].

Los resultados obtenidos en esta investigación son bajos y aunque no existe normativa en Ecuador que indique los valores máximos permitidos para este tipo de microorganismos en aguas de uso recreativo, como es el caso del agua del lago Cuicocha, si se toma en referencia y se compara

con lo indicado por la academia nacional de ciencia de los Estados Unidos de Norteamérica [23], quienes señalan que valores de microorganismos heterótrofos superiores a 300 UFC/mL, pueden

representar un riesgo sanitario, se podría indicar que las aguas del lago Cuicocha tienen una buena calidad microbiológica.

TABLA 2.

Recuento promedio de bacterias heterótrofas, coliformes, *Pseudomonas*, *Staphylococcus* y hongos viables del agua del lago Cuicocha. Imbabura. Ecuador. Segundo muestreo.

Punto	Longitud	Latitud	Bacterias heterótrofas (UFC/mL)	Coliformes (UFC/mL)	<i>Pseudomonas</i> (UFC/mL)	<i>Staphylococcus</i> (UFC/mL)	Hongos (UFC/mL)
1	794757,125	10035418,128	2,00 x 10 ²	0	1,0 x 10	0,7 x 10	0,5 x 10
2	794528,541	10033654,415	1,24 x 10 ²	0	0,6 x 10	0	0
3	794211,414	10034205,851	2,00 x 10 ²	0	1,2 x 10	0,7 x 10	0
4	793414,451	10033712,455	1,78 x 10 ²	0	2,0 x 10	0	0
5	792810,518	10033058,418	1,87 x 10 ²	0	0,7 x 10	1,8 x 10	1,4 x 10
6	792731,219	10033125,451	1,45 x 10 ²	0	1,0 x 10	0	0
7	792325,323	10033437,150	2,00 x 10 ²	0	0,7 x 10	1,0 x 10	1,0 x 10
8	792280,514	10033419,622	1,65 x 10 ²	0	1,4 x 10	1,0 x 10	0,7 x 10
Media	-	-	1,75 x 10 ²	0	1,1 x 10	0,7 x 10	0,5 x 10
Desviación estándar	-	--	28,36	-	4,62	6,37	5,45
Varianza	-	-	703,61	-	18,69	35,5	26

Punto: Punto de muestreo. **UFC/mL:** Unidades formadoras de colonias/mililitro

Las aguas de los lagos volcánicos cratéricos constituyen ecosistemas oligotróficos donde los niveles de materia orgánica son sumamente bajos y con una limitada biodisponibilidad. La población microbiana de estos ecosistemas son en su mayoría bacterias heterótrofas, que, debido a los problemas en la carencia de nutrientes, entran en un estado de sobrevivencia denominado “viables no cultivables” [24, 25, 26, 27] y por ello se consiguen valores muy bajos cuando se intenta aislarlas en medios de cultivos apropiados [18]. Un gran número de las bacterias que se encuentran en estas aguas oligotróficas presentan un crecimiento lento y requerimientos nutricionales muy específicos y sólo se detectan de un 5-10 % de las bacterias existentes en los sitios estudiados [28].

Al comparar los resultados obtenidos en el presente trabajo en relación con las bacterias heterótrofas, con los observados por otros autores en varias partes del mundo en diferentes tipos de lagos de alta montaña, entre ellos lagos cratéricos, se observan que los valores son similares y el número y variedad de microorganismos es bajo [15, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36].

Durante el desarrollo de la investigación en ninguna de las muestras estudiadas se pudo detectar la presencia de células pertenecientes al grupo de

bacterias coliformes, lo cual estaría indicando que la contaminación microbiana es escasa y que la calidad sanitaria de este ecosistema acuático es buena. Se ha indicado que las bacterias coliformes requieren de materia orgánica para crecer y en el caso del agua del lago Cuicocha, se está en presencia de un ecosistema oligotrófico, lo cual no permitiría la supervivencia y el crecimiento de los coliformes [37].

Las bacterias del género *Pseudomonas* fue otro de los grupos microbianos que se estudiaron. Los valores del conteo obtenido durante el primer muestreo variaron entre 1,00 x 10 a 1,90 x 10 UFC/mL, con un valor promedio de 1,40 x 10 UFC/mL (ver tabla 1). En el caso del segundo muestreo, los valores fluctuaron entre 0,60 x 10 a 2,00 x 10 UFC/mL, con un valor promedio de 1,10 x 10 UFC/mL (ver tabla 2).

Las bacterias del género *Pseudomonas* intervienen en diversos procesos ecológicos y son esenciales en los hábitats acuáticos ya que degradan la materia orgánica, siendo, además, una bacteria muy ubicua capaz de colonizar diversos ecosistemas acuáticos debido a su capacidad de sobrevivir en ambientes oligotróficos dada su versatilidad enzimática [38, 39, 40].

Miembros del género *Pseudomonas* se han aislados en diversos lagos cratéricos volcánicos del mundo, coincidiendo con los resultados obtenidos en el presente trabajo [15, 41, 42, 43, 44], así como en el agua de lagos de alta montaña [30, 31].

Además de las bacterias del género *Pseudomonas*, también se investigó la presencia de bacterias del género *Staphylococcus*, obteniéndose valores promedios en el recuento de este género bacteriano durante el primer muestreo fluctuantes entre valores de 0 y $1,40 \times 10$ UFC/mL, con un valor promedio de $0,50 \times 10$ UFC/mL (ver tabla 1). En el caso del segundo muestreo los valores obtenidos variaron entre $0,70 \times 10$ y $1,80 \times 10$ UFC/mL, con un valor promedio de $0,70 \times 10$ UFC/mL (ver tabla 2).

Los miembros del género *Staphylococcus* pueden vivir en concentraciones elevadas de sales, lo que hace posible que se encuentren en aguas con altos valores de concentración salina, como es el caso del agua del lago Cuicocha [12]. La presencia de este tipo de bacterias en aguas naturales ya ha sido indicada por otros autores en muestras de aguas de lagos de alta montaña, lagos volcánicos y aguas minerales naturales [15, 18, 30, 31, 42, 45, 46, 47].

Otro de los parámetros microbiológicos evaluados fue la cuantificación de células de hongos presentes en el agua del lago Cuicocha, obteniéndose durante el primer muestreo valores entre 0 y $1,20 \times 10$ UFC/mL, con un valor promedio de $0,30 \times 10$ UFC/mL (ver tabla 1). Durante el segundo muestreo los valores observados estuvieron entre 0 y $1,40 \times 10$ UFC/mL, con un valor promedio de $0,50 \times 10$ UFC/mL (ver tabla 2).

Existen muy pocos trabajos en donde se indique la presencia de células de hongos en ecosistemas de aguas naturales extremos, como es el caso del agua de los lagos cratéricos volcánicos. Estos microorganismos pueden vivir de la descomposición de residuos vegetales y su presencia, en número alto, indica una contaminación del agua [48, 49, 50, 51, 52]. Además, los hongos para su crecimiento requieren de altas concentraciones de nutrientes y en el caso del agua del lago volcánico Cuicocha se trata de un lago oligotrófico, por lo cual los bajos valores obtenidos coinciden con las condiciones fisicoquímicas y eutróficas del lago [12, 53].

En el presente estudio se pudo detectar la presencia de hongos, pero en muy baja cantidad, resultado similar a los obtenidos por investigadores en diferentes partes del mundo para este tipo de ecosistemas [15, 54, 55, 56].

CONCLUSIONES

Los lagos cratérico volcánicos no son ambientes estériles, en las aguas oligotróficas de estos ecosistemas se han adaptado diversos tipos de microorganismos, muchos de los cuales pueden crecer en medios de cultivos y ser cuantificados y caracterizados. En el agua del lago cratérico volcánico Cuicocha se pudo cuantificar, a través de técnicas tradicionales de microbiología, la existencia de una población microbiana viable cultivable perteneciente a microorganismos heterótrofos escasa en número, constituida principalmente por bacterias, aunque se evidencia también la presencia de células fúngicas.

AGRADECIMIENTOS

El agradecimiento a la Dirección de Investigaciones de la Universidad Central del Ecuador por facilitar los fondos económicos para el desarrollo del presente trabajo a través del proyecto senior 045 y a la Universidad Nacional del Chimborazo y a la Universidad de los Andes, por la colaboración y asesoramiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Roldán G. Fundamentos de limnología tropical.: Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia. 1992.
- [2] Salazar-Sánchez M, Naundorf-Sanz G, Medina-Tombe M. Composición, dinámica y abundancia de la comunidad fitoplanctónica de una laguna con aguas de origen volcánico. Revista Luna Azul, 2011; 33: 46-60.
- [3] Rouwet D, Christenson B, Tassi F, Vandemeulebrouck J. Volcanic Lakes, Advances in Volcanology. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 2015. DOI 10.1007/978-3-642-36833-2_1.

- [4] Demergasso C, Casamayor EO, Chong G, Galleguillos P, Escudero L, Pedros-Alio C. Distribution of prokaryotic genetic diversity in athalassohaline lakes of the Atacama Desert, Northern Chile. *FEMS Microbiol Ecol.* 2004; 48: 57-69.
- [5] Escudero L, Chong G, Demergasso C. Investigating microbial diversity and UV radiation impact at the high altitude lake Aguas Calientes, Chile Proc. SPIE. Conf. 2007; 6694: 1-12.
- [6] Dib J, Motok J, Fernández Zenoff V, Ordoñez O, Farías M. Occurrence of resistance to antibiotics, UV-B and arsenic in bacteria isolated from extreme environments in high altitude (above 4,400 m) Andean Lakes. *Curr Microbiol.* 2008; 56(5): 510-7.
- [7] Fernández Zenoff V, Heredia J, Ferrero M, Siñeriz F, Farías M. Isolation of UV resistant bacteria from high altitude Andean Lake bacterial community. *Curr. Microbiol.* 2006; 52: 359-362.
- [8] Barberi F, Coltelli M, Ferrara G, Innocenti F, Navarro JM, Santacroce R. Plio Quaternary volcanism in Ecuador. *Geol. Mag.* 1988; 125: 1-14.
- [9] Aguilera E, Chiodini G, Cioni R, Guidi M, Marini L, Raco B. Water chemistry of Lake Quilotoa (Ecuador) and assessment of natural hazards. *Journal of Volcanology and Geothermal Research.* 2000; 97: 271-285.
- [10] Coltorti M, Ollier CD. Geomorphic and tectonic evolution of the Ecuadorian Andes. *Geomorphology.* 2000; 32: 1-19.
- [11] Gunkel G, Viteri F, Beulker C, Grupe B. Accumulation of Carbon Dioxide in Deep Caldera Lakes of Ecuador: Evaluation and Monitoring of Possible Gas Eruptions. Investigation, Quito. Technical University of Berlin-Department of Water Quality Control. 2007.
- [12] Gunkel G, Beulker C, Grupe B, Viteri F. Hazards of volcanic lakes: analysis of Lakes Quilotoa and Cuicocha, Ecuador. *Advances in Geosciences, European Geosciences Union.* 2008; 14: 29-33.
- [13] Gunkel G, Beulker C, Grupe B, Viteri F. Survey, and assessment of post volcanic activities of a young caldera lake, Lake Cuicocha, Ecuador. *Natural Hazards and Earth System Sciences.* 2009; 9 (3): 699-712.
- [14] Orellana J. Volcán Quilotoa. Breve Resumen de su Historia, Geología y Actividad Eruptiva. Peligros Potenciales Asociados. En Instituto Geofísico Escuela Politécnica Nacional. 2009. [En línea]. Quito, disponible en: <https://www.igeepn.edu.ec/publicaciones-para-la-comunidad/comunidad-espanol/33triptico-quilotoa-historia-peligros-y-sistema-de-monitoreo>. [Acceso el día 23 de octubre del 2020].
- [15] González M, Acuña J, Escobar J, Viteri F, Villacis L, Araujo L, Araque, J, Andueza, F. Initial microbiological study of the water in the crateric volcanic lake Quilotoa. Cotopaxi. Ecuador. Abstract book ISME Virtual Microbial Ecology Summit. International Society for Microbial Ecology. South África. 2020.
- [16] INEN. NTE INEN 2169:2013. Agua. Calidad del Agua. Muestreo. Manejo y Conservación de Muestras. Instituto Ecuatoriano de Normalización 2169. Primera Edición. Quito-Ecuador. 2013.
- [17] INEN. NTE INEN 2176:2013. Agua. Calidad del Agua. Muestreo. Técnicas de Muestreo. Instituto Ecuatoriano de Normalización 2176. Primera Edición. Quito-Ecuador. 2013.
- [18] Andueza Félix. Diversidad Microbiana de las aguas mineromedicinales de los balnearios de Jaraba. [Tesis Doctoral]. Universidad Complutense de Madrid, España. 2007.
- [19] Rodier J. Análisis de las aguas: Aguas naturales, Aguas Residuales, Aguas de Mar. Omega. Barcelona. España. 1988.
- [20] Roldán G, Ramírez J. Fundamentos de Limnología Neotropical. Segunda Edición. Antioquia. Universidad de Antioquia. Antioquia. Colombia. 2008.
- [21] Allen M, Edberg S, Reasoner D. Heterotrophic plate count bacteria what is their significance in drinking water. *Int. J. Food Microbiol.* 2004; 92: 265-274.
- [22] Bartram J, Cotruvo J, Dufour A, Hazan S, Tanner B. Heterotrophic plate count. *Int. J. Food Microbiol.* 2004; 92: 239-240.
- [23] National Academy of Science. Drinking water and Health. Vol 1. National Academy of Science (NAS). National Academy Press. Washington. USA. 1977.
- [24] Morita R. Starvation-survival of heterotrophic in the marine environment. *Adv. Microbiol. Ecol.* 1982; 6: 117-198.
- [25] Byrd J, Xu H, Colwell R. Viable but non-culturable bacteria in drinking water. *Appl. Environ. Microbiol.* 1991; 57: 875-878.
- [26] Mukamolova G, Kaprelyants A, Kell D, Young M. Adoption of the transiently non-culturable state a bacterial survival strategy. *Adv. Microb. Physiol.* 2003; 47: 65-129.
- [27] Su X, Chen X, Hu J, Shen C, Ding L. Exploring the potential environmental functions of viable but non-culturable bacteria. *World J*

- Microbiol Biotechnol. 2013; 29, 2213–2218. <https://doi.org/10.1007/s11274-013-1390-5>.
- [28] Rappe M, Giovannoni S. The uncultured microbial majority. *Annu. Rev. Microbiol.* 2003; 57: 369-394.
- [29] Ordoñez OF. Factores ambientales extremos en ecosistemas microbianos de humedales altoandinos: mecanismos de adaptación. Ph.D. thesis from Universidad Nacional de Tucumán, Tucumán, Argentina. 2012.
- [30] Barranco C, Araque J, Andueza F. Bacterias heterótrofas del agua de lagunas de alta montaña de los Andes Venezolanos. *Revista portuguesa de Farmacia, Suplemento especial.* 2011; LII (5): 40.
- [31] Bravo D, Trimachi M, Loewenthal J, Araque J, Andueza F. Microbiota bacteriana viable cultivable del agua de lagunas de alta montaña en los Andes Venezolanos. *Revista Hechos en Microbiología.* 2014; 5 (2): 80.
- [32] Albarracín VH, Kurth D, Ordoñez OF, Belfiore C, Luccini E, Salum GM, Piacentini RD, Farías ME. High-up: a remote reservoir of microbial extremophiles in central Andean wetlands. *Front Microbiol.* 2015; 6: 1404.
- [33] Mapelli F, Marasco R, Rolli E, Daffonchio D, Donachie S, Borin S. Microbial Life in Volcanic Lakes. In: Rouwet D., Christenson B., Tassi F., Vandemeulebrouck J. (eds) *Volcanic Lakes. Advances in Volcanology.* Springer, Berlín, Heidelberg. 2015.
- [34] Albarracín VH, Gärtner W, Farias ME. Forged under the sun: life and art of extremophiles from Andean lakes. *Photochem Photobiol* 2016; 92: 14-28.
- [35] Albarracín VH, Galván FS, Farias ME. Extreme Microbiology at Laguna Socompa: A High-Altitude Andean Lake (3570 m.a.s.l.) in Salta, Argentina. In: Farías M. (eds) *Microbial Ecosystems in Central Andes Extreme Environments.* Springer, Cham. 2020 https://doi.org/10.1007/978-3-030-36192-1_14.
- [36] Farias M. Microbial ecosystem in central Andes, extreme environments. Springer. Switzerland. 2020.
- [37] Boulam M, Mathieu L, Fass S, Cavard J, Gatel D. Relationship between coliform culturability and organic matter in low nutritive waters. *Water Res.* 2002; 36: 2618-2626.
- [38] Campa M, Bendinelli M, Friedman H. *Pseudomonas aeruginosa* as an opportunistic pathogen. Ed. Plenum press. New York. USA. 1993.
- [39] Kurath G, Morita Y. Starvation-survival physiological studies of a marine *Pseudomonas* spp. *Appl. Environ. Microbiol.* 1983; 45: 1206-1211.
- [40] Verón M. *Pseudomonas*. In: *Bacteriologie Medicale.* Ed. Flammarion. Paris. France. 1989.
- [41] Gaidos E, Lanolil B, Thorsteinsson T, Graham A, Skidmore M, Han S, Rust T, Popp B. A Viable Microbial Community in a Subglacial Volcanic Crater Lake, Iceland. *Astrobiology.* 2004; 4(3): 1-7.
- [42] Demergasso C, Dorador C, Meneses D, Blamey J, Cabrol N, Escudero L, Chong G. Prokaryotic diversity pattern in high-altitude ecosystems of the Chilean Altiplano. *J. Geophys. Res.* 2010; 115: 2-14. doi:10.1029/2008JG000836.
- [43] Rincón-Molina C, Hernández-García J, Rincón-Rosales R, Gutiérrez-Miceli F, Ramírez-Villanueva D, González-Terreros E, Peña-Ocaña B, Palomeque-Domínguez H, Dendooven L, Ruíz-Valdiviezo V. Structure and Diversity of the Bacterial Communities in the Acid and Thermophilic Crater-Lake of the Volcano “El Chichón”, México, *Geomicrobiology Journal.* Vol. 2019; 36: 97-109. doi: 10.1080/01490451.2018.1509158.
- [44] Tapia-Vázquez I, Sánchez-Cruz R, Arroyo-Domínguez M, Lira-Ruan V, Sánchez-Reyes A, Sanchez-Carbente M, Padilla-Chacón D, Batista-García R, Folch-Mallol J. Isolation and characterization of psychrophilic and psychrotolerant plant-growth promoting microorganisms from a high-altitude volcano crater in México. *Microbiol Res.* 2020; 232: 1-12.
- [45] Queck SY, Otto M. *Staphylococcus epidermidis* and other coagulase-negative Staphylococci. In: Lindsay J (ed) *Staphylococcus: Molecular Genetics.* Caister Academic Press, Norfolk, pp 227–254. 2008.
- [46] Meldrum R. Survey of *Staphylococcus aureus* contamination in a hospital's spa hydrotherapy pools. *Commun. Dis. Public Health.* 2001; 4: 205-208.
- [47] Aguirre-Garrido JF, Ramírez-Saad HC, Toro N, Martínez-Abarca F. Bacterial Diversity in the Soda Saline Crater Lake from Isabel Island, México. *Microb. Ecol.* 2016; 71: 68–77. doi.org/10.1007/s00248-015-0676-6.
- [48] Niemi R.M, Knuth S, Lundstrom K. Actinomycetes and fungi in surface waters and in potable water. *Appl. Environ. Microbiol.* 1982; 43: 378-388.

- [49] Leclerc H, Moreau A. Microbiological safety of natural mineral water. *FEMS. Microbiol. Rev.* 2002; 26: 207-222.
- [50] Connell L, Staudigel H. Fungal Diversity in a Dark Oligotrophic Volcanic Ecosystem (DOVE) on Mount Erebus, Antarctica. *Biology.* 2013; 2: 798-809. doi:10.3390/biology2020798.
- [51] Wurzbacher C, Bärlocher F, Grossart H. Fungi in lake ecosystems. *Aquat Microb Ecol.* 2010; 59: 125-149.
- [52] Connell L, Barrett A, Templenton A, Staudigel H. Fungal Diversity Associated with an Active Deep Sea Volcano: Vailulu'u Seamount, Samoa. *Geomicrobiology Journal.* 2009; 26: 597-605.
- [53] Atlas R, Bartha R. *Ecología microbiana y Microbiología ambiental.* 4ta Ed. Pearson education. S A., Madrid. España. 2002.
- [54] Page K, Flannery M. Chytrid Fungi Associated with Pollen Decomposition in Crater Lake, Oregon. *Applied and environmental microbiology.* 2018; 4(1): 83-100.
- [55] Gonçalves V, Vaz A, Rosa C, Rosa L. Diversity, and distribution of fungal communities in lakes of Antarctica, *FEMS Microbiology Ecology.* 2012; 82(2): 459-471. doi.org/10.1111/j.1574-6941.2012.01424.x
- [56] Zhou Y, Jia B, Han P, Wang Q, Li, A, Zhou YG. *Wickerhamomyces kurtzmanii* sp. nov. An Ascomycetous Yeast Isolated from Crater Lake Water, Da Hinggan Ling Mountain, China. *Curr. Microbiol.* 2019 76: 1537-1544 doi.org/10.1007/s00284-019-01773-x.
- González Marco**, Orcid ID: 0000-0002-2072-4976
- Araque Judith**, Orcid ID: 0000-0002-6423-9622
- Viteri Francisco**, Orcid ID: 0000-0001-8698-7536
- Villacis Luis**, Orcid ID: 0000-0002-7383-4546
- Escobar Sandra**, Orcid ID: 0000-0002-3347-0282
- Araujo Liliana**, Orcid ID: 0000-0001-8762-1413
- Medina Gerardo**, Orcid ID: 0000-0002-4782-7924
- Andueza Felix**, Orcid ID: 0000-0002-9046-8883