

Artículo original

Calidad fisicoquímica de los lagos Colta y Cuicocha ubicados en la alta montaña del Ecuador.

Physicochemical quality of lakes Colta and Cuicocha located in the high mountains of Ecuador.

González Marco¹, Vásquez Paola¹, Alarcón Diego¹, Araque Judith¹, Viteri Francisco¹, Villacis Luis¹, Pinto Gustavo¹, Escobar Sandra², Medina Gerardo³, Andueza Félix^{1,3*}.

¹Facultad FIGEMPA, Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador. ²Facultad de Ciencias, Escuela Superior Politécnica del Chimborazo, Riobamba, Ecuador. ³Postgrado Química de Medicamentos mención Biotecnología, Facultad de Farmacia y Bioanálisis, Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela.

Recibido: 28 de junio de 2021 –Aceptado: 18 de septiembre de 2021

RESUMEN

Los lagos de alta montaña son ecosistemas muy frágiles sujetos a variaciones en las características fisicoquímicas que influyen en sus condiciones biológicas y ecológicas. En Ecuador existe una gran diversidad de lagos de alta montaña que se han estado investigando en los últimos años. En este sentido, se realizó el presente trabajo para conocer los factores fisicoquímicos actuales en los lagos Colta y Cuicocha situados en las provincias del Chimborazo e Imbabura del Ecuador. Se realizaron mediciones de conductividad eléctrica, pH, sólidos totales disueltos y temperatura por un periodo de dos años utilizando un equipo multiparámetro. Los resultados obtenidos indican para el lago Colta un pH con valores entre 8,69 y 9,10 y valor promedio de 8,87, temperatura entre 17,36 y 18,31 °C con un valor promedio de 17,91 °C, conductividad eléctrica con valores desde 1024 a 1123 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y valor promedio de 1085 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y para los sólidos totales disueltos valores entre 627 a 742 mg/L y valor promedio de 680 mg/L. Para el lago Cuicocha se obtuvo un pH con valores entre 7,88 y 7,99 y valor promedio de 7,96, temperatura entre 14,1 y 14,5 °C y valor promedio de 14,2 °C, conductividad eléctrica con valores desde 763 a 770 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y valor promedio de 766 $\mu\text{S}/\text{cm}$, sólidos totales disueltos entre 504 a 508 mg/L y valor promedio de 506

mg/L. Los resultados obtenidos indican características fisicoquímicas constantes a lo largo del espacio y del tiempo en ambos lagos, aunque difieren en algunas de ellas.

PALABRAS CLAVE

Lagos de alta montaña, calidad fisicoquímica, Colta, Cuicocha, pH, conductividad, sólidos totales disueltos.

ABSTRACT

High mountain lakes are very fragile ecosystems subject to variations in the physicochemical characteristics that influence their biological and ecological conditions. In Ecuador there is a great diversity of high mountain lakes that have been investigated in recent years. In this sense, the present work was carried out to know the physicochemical factors in the Colta and Cuicocha lakes located in the Chimborazo and Imbabura provinces of Ecuador. Measurements of electrical conductivity, pH, total dissolved solids and temperature were carried out for a period of two years using a multiparameter equipment. The results obtained indicate for lake Colta a pH with values between 8.69 and 9.10 and an average value of 8.87, temperature between 17.36 and 18.31 °C

with an average value of 17.91°C, electrical conductivity with values from 1024 to 1123 $\mu\text{S}/\text{cm}$ and average value of 1085 $\mu\text{S}/\text{cm}$ and for total dissolved solids values between 627 to 742 mg/L and average value of 680 mg/L. For lake Cuicocha, a pH was obtained with values between 7.88 and 7.99 and an average value of 7.96 temperature between 14.1 and 14.5°C and an average value of 14.2°C, electrical conductivity with values from 763 to 770 $\mu\text{S}/\text{cm}$ and average value of 766 $\mu\text{S}/\text{cm}$, total dissolved solids between 504 to 508 mg/L and average value of 506 mg/L. The results obtained indicate constant physicochemical characteristics throughout space and time in both lakes, although they differ in some of them.

KEY WORDS

High mountain lakes, physicochemical quality, Colta, Cuicocha, pH, conductivity, total dissolved solids.

INTRODUCCIÓN

Los lagos y lagunas como reservorios de agua son ecosistemas muy importantes para el equilibrio ecológico y el reciclado de los elementos químicos en el planeta. Son excelentes sensores o detectores tempranos de cambios climáticos o ambientales, proporcionan información sobre las tendencias del clima a escala regional o mundial [1,2].

Dentro de los ecosistemas lacustres encontramos los denominados lagos de alta montaña, ecosistemas acuáticos que se encuentran por encima de los 2200 m.s.n.m., estos lagos constituyen una red de amortiguación de caudales y sedimentos provenientes de las cuencas altas, constituyendo una importante reserva hídrica y de biodiversidad [3,4].

Los lagos de alta montaña son uno de los recursos más vulnerables a la contaminación y a los cambios fisicoquímicos [5]. En particular, los lagos altoandinos tropicales son ecosistemas acuáticos

con características especiales, de los cuales existen pocos estudios [5,6].

En Ecuador existe una gran variedad de lagos y lagunas, tanto de alta montaña, como lacustres, cratéricas y humedales, algunas de ellas de origen volcánico y se han realizado algunas investigaciones geológicas, hidrológicas, limnológicas, microbiológicas y químicas [7,8,9,10].

En este contexto, se presenta el presente estudio en donde se investigó desde el punto de vista de la calidad fisicoquímica de sus aguas, el lago Colta y el lago Cuicocha, situados en las provincias del Chimborazo e Imbabura del Ecuador, respectivamente.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de muestreo: El trabajo se realizó en el lago Colta en el Cantón Colta de la Provincia del Chimborazo, Ecuador (Figura 1). Esta localidad posee un clima mesotérmico seco que es característico de la región interandina donde el relieve juega un rol importante en las variaciones de la temperatura, observándose un rango de temperatura anual promedio en los flancos de la cordilleras que se encuentran entre los 1500 y 3200 m s. n. m., entre 12 y 19°C, mientras que, en la zona de los páramos, a una altura de 3200 a 4650 m s. n. m., la temperatura promedio anual oscila entre los 2 a 8°C. La cantidad de lluvia en esta zona es irregular durante el año, presentando valores en las precipitaciones entre 500 a 1600 mm anuales [9].



Fig. 1 Ubicación geográfica y vista del Lago Colta. Provincia del Chimborazo-Ecuador. (Google Maps, 2021, Sandra Escobar, 2019).

De igual forma, el estudio también se llevó a cabo en el lago Cuicocha, que es un lago craterico ubicado en la cordillera occidental de los Andes ecuatorianos, ubicados a unos 100 km al norte de Quito, cerca de la población de Otavalo [10,11]. 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 y una profundidad máxima de 148 metros (Figura 2).



Fig. 2 Ubicación geográfica y vista del lago Cuicocha. Provincia de Imbabura-Ecuador. (Google Maps, 2021, Paola Vásquez, 2021).

Muestras: Para realizar el presente trabajo se realizaron cuatro campañas de muestreos entre los años 2019 y 2021 en los lagos Colta y Cuicocha, en diferentes épocas del año, de manera de poder incluir muestreos en la época de lluvia y muestreos durante la época de verano. Las muestras de agua se recolectaron por duplicado en 5 sitios seleccionados a lo largo y ancho de cada uno de los lagos a nivel de la superficie. Se identificaron las coordenadas geográficas de los sitios de recolección mediante un GPS marca Hanna (Tabla 1 y 2).

TABLA 1.

Geolocalización de los puntos de muestreos en el lago Colta. Provincia del Chimborazo. Ecuador.

| Puntos de muestreo | Coordenadas X (m) | Coordenadas Y (m) |
|--------------------|-------------------|-------------------|
| P1 | 749313,6 | 9808261,5 |
| P2 | 749467,1 | 9808127,3 |
| P3 | 749565,3 | 9807537,5 |
| P4 | 749243,1 | 9808418,1 |
| P5 | 749719,4 | 9808849,8 |

TABLA 2.

Geolocalización de los puntos de muestreos en el lago Cuicocha. Provincia del Imbabura. Ecuador.

| Puntos de muestreo | Coordenadas X (m) | Coordenadas Y (m) |
|--------------------|-------------------|-------------------|
| L1 | 794757,125 | 10035418,128 |
| L2 | 794528,541 | 10033654,415 |
| L3 | 794211,414 | 10034205,851 |
| L4 | 793414,451 | 10033712,455 |
| L5 | 792325,323 | 10033437,150 |

En cada ocasión, se recolectaron muestras de agua 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 [12,13].

Análisis fisicoquímicos “in situ” del agua de los lagos Colta y Cuicocha. Provincia del Chimborazo e Imbabura. Ecuador: Los análisis fisicoquímicos se realizaron “In Situ” en el agua de los lagos Colta y Cuicocha, en cada uno de los puntos de muestreos seleccionados (Ver Tablas 1 y 2), utilizando para ello un equipo medidor multiparámetro de marca HANNA, calibrado de acuerdo con las indicaciones del fabricante.

RESULTADOS

En las Tabla 3 se muestran los valores promedios por punto de muestreo obtenidos durante los cuatro muestreos realizados entre los años 2019 y 2021 en el agua del lago Colta. Al observar los datos de la tabla 3 se puede indicar, de manera general, que el agua del lago Colta presenta un pH alcalino con valores entre 8,69 y 9,10 y un valor promedio de 8,87, una temperatura media entre 17,36 y 18,31°C con un valor promedio de 17,91°C, conductividad eléctrica apreciable con un rango de valores a lo largo de la laguna desde 1024 a 1123 µS/cm y un valor promedio de 1085 µS/cm, alta cantidad de sólidos totales disueltos que varían entre 627 a 742 mg/L y un valor promedio de 680 mg/L. En general no hay diferencias significativas en los valores obtenidos a lo largo del muestreo ($p > 0,05$).

Por otra parte, en la Tabla 4 se muestran los resultados promedios obtenidos durante los cuatro muestreos realizados entre los años 2019 y 2021 en el agua del lago Cuicocha. Al observar los datos de

la tabla 4 se puede indicar que el agua del lago Cuicocha presenta un pH ligeramente alcalino con valores entre 7,88 y 7,99 y un valor promedio de 7,96, una temperatura media entre 14,1 y 14,5°C con un valor promedio de 14,2°C, conductividad eléctrica apreciable con un rango de valores a lo

largo de la laguna desde 763 a 770 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y un valor promedio de 766 $\mu\text{S}/\text{cm}$, alta cantidad de sólidos totales disueltos que varían entre 504 a 508 mg/L y un valor promedio de 506 mg/L. En general no se observan diferencias significativas en los valores obtenidos a lo largo del muestreo ($p > 0,05$).

TABLA 3.

Valores promedios por punto de muestreo de los parámetros fisicoquímicos evaluados en el agua del lago Colta. Provincia del Chimborazo. Ecuador, entre los años 2019-2021.

| Parámetros fisicoquímicos/ | Puntos de muestreos | | | | | Promedio general | Estadístico ($p > 0,05$) |
|----------------------------------|---------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------------|----------------------------|
| | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | | |
| Temperatura (°C) | 18,11±0,3 | 18,31±0,4 | 17,78±0,3 | 18,01±0,2 | 17,36±0,6 | 17,91±0,4 | 0,057 |
| Conductividad eléctrica (us/cm) | 1079±70,8 | 1095±97,1 | 1104±14 | 1123±139 | 1024±51,4 | 1085±37,6 | 0,070 |
| pH | 8,94 ±0,2 | 9,10±0,2 | 8,72±0,1 | 8,69±0,1 | 8,91±0,2 | 8,87±0,17 | 0,075 |
| Sólidos totales disueltos (mg/L) | 718±71,2 | 742±93,6 | 635±54,9 | 680±107 | 627±51,4 | 680±50,3 | 0,068 |

TABLA 4.

Valores promedios por punto de muestreo de los parámetros fisicoquímicos evaluados en el agua del lago Cuicocha. Provincia del Imbabura. Ecuador entre, los años 2019-2021.

| Parámetros fisicoquímicos/ | Puntos de muestreos | | | | | Promedio general | Estadístico ($p > 0,05$) |
|----------------------------------|---------------------|-----------|----------|----------|----------|------------------|----------------------------|
| | L1 | L2 | L3 | L4 | L5 | | |
| Temperatura (°C) | 14,2±0,1 | 14,1±0,3 | 14,1±0,2 | 14,2±0,3 | 14,2±0,2 | 14,2±0,1 | 0,083 |
| Conductividad eléctrica (us/cm) | 768±2,3 | 765±9,9 | 770±10,4 | 765±4,3 | 763±17,4 | 766±2,3 | 0,071 |
| pH | 7,97±0,04 | 7,97±0,05 | 7,88±0,2 | 7,99±0,1 | 7,99±0,2 | 7,96±0,04 | 0,085 |
| Sólidos totales disueltos (mg/L) | 506±1,6 | 505±3,6 | 508±4,1 | 505±10,3 | 504±1,7 | 506±1,3 | 0,064 |

En relación con los valores de pH obtenidos, se puede observar que en el caso del agua del lago Colta se encuentra dentro de los límites máximos permisibles según la normativa ambiental ecuatoriana vigente, que establece valores entre 6,50-9,00 para cuerpos de agua utilizados con fines recreativos y para el agua del lago Cuicocha los valores de pH estarían de acuerdo con la normativa [14].

Autores en diversas partes del mundo y de Ecuador han indicado que las aguas de estos tipos de ecosistemas lacustres presentan valores de pH entre 6 y 9, valores similares a los encontrados en el presente estudio para ambos lagos investigados [7,10,15-17].

Una posible explicación para los valores pH alcalino observado el lago Colta pudiera estar en el

hecho de que una alta actividad fotosintética, debida a la comunidad de algas y de bacterias que se encuentran en la laguna, pudiera sobresaturar de oxígeno al sistema acuático, provocando agotamiento de dióxido de carbono y con ello un aumento de los valores del pH del agua, lo que implicaría un activo proceso de eutroficación [18]. En el caso del lago craterico Cuicocha se ha indicado que en términos generales que el pH de los lagos volcánicos cratericos en otras partes del mundo, varían desde los extremos acidos con pH cercano a 1, hasta alcalinos y neutros con pH entre 9 y 7, estos últimos similares a los encontrados en el trabajo [19,20].

La temperatura fue otro de los parámetros fisicoquímicos analizados, observándose un valor promedio global para el agua del lago Colta de

17,91°C, lo cual equivale a un agua con una temperatura media (Ver Tabla 3). Para el lago Cuicocha se logró determinar en el agua un valor mínimo de temperatura de 14,10°C y un valor máximo de 14,20°C, siendo el promedio de temperatura para el agua del lago de 14,20°C, correspondiendo a un agua con temperaturas ligeramente frías (Ver Tabla 4).

Los valores de temperatura obtenidos a lo largo de la investigación en los lagos indican un patrón térmico estable con pocas fluctuaciones anuales (Ver Tablas 3 y 4) con diferencias no significativas entre los valores obtenidos ($p > 0,05$). Una de las características más sobresalientes de las zonas tropicales es la poca variación que presenta la temperatura a lo largo del año, con variaciones determinadas por la altura en metros sobre el nivel del mar como es el caso de los lagos de Colta y Cuicocha, situados por encima de los 3000 m s. n. m., originando pisos térmicos con rangos de temperatura estable. Este hecho a su vez determina que en los lagos de estas zonas las fases de circulación y estratificación no sigan un ritmo anual, tal como ocurre en las zonas templadas, sino que varían de acuerdo con las condiciones locales [17,18]

Dentro de los factores fisicoquímicos investigados también estuvo la conductividad eléctrica. Los resultados obtenidos para el agua del lago Colta indican que el valor más alto fue de 1123 $\mu\text{S/cm}$ y el menor valor de 1024 $\mu\text{S/cm}$. El valor promedio para la conductividad eléctrica del agua del lago fue de 1085 $\mu\text{S/cm}$ (Ver Tabla 3). En lo que atañe a la conductividad eléctrica evaluada en el agua del lago Cuicocha se observa que el valor más alto fue de 770 $\mu\text{S/cm}$ y el menor valor de 763 $\mu\text{S/cm}$, con un valor promedio de 766 $\mu\text{S/cm}$ (Ver Tabla 4).

Los valores de los datos obtenidos en la conductividad eléctrica para ambos lagos fueron distintos ($p < 0,05$), siendo mayor para el caso del lago Colta, aunque para el lago Cuicocha se obtuvieron valores apreciables e indicando que, en ambos casos, se trata de aguas de mineralización alta y no serían aptas para consumo humano, sobre todo la del lago Colta [14,18].

Los datos de conductividad eléctrica para ambos lagos estarían indicando por una parte, una

alta concentración de sales presentes, y por la otra parte, posible actividad de procesos geoquímico y geo microbiológicos dentro de la estructura de los lagos [18,20,21].

Otro parámetro valorado fue el contenido de sólidos disueltos. Los valores encontrados para los sólidos disueltos resultaron muy semejantes ($p > 0,05$) en ambos lagos (Ver Tablas 3 y 4) y son similares a los observados para el lago San Pablo [7] y mucho menores a los obtenidos en los lagos Cube [22].

Los altos valores de sólidos disueltos observados en la laguna Colta pueden deberse probablemente a la descarga de desechos domésticos y al arrastre de la escorrentía de abonos agrícolas utilizados por los habitantes de la zona, situación que pudiera estar evidenciando un problema significativo de aumento de los niveles de eutroficación en el lago como han sido evidenciados en otros sistemas lacustres ecuatorianos [23,24].

En el caso del lago Cuicocha la presencia de una alta cantidad de sólidos disueltos pudiera estar evidenciando un proceso activo geoquímico en la caldera que ocupa el lago, influenciado posiblemente por procesos hidrotermales [25,26].

CONCLUSIONES

El rango de valores y los promedios obtenidos en los parámetros fisicoquímicos estudiados evidencian que los lagos Colta y Cuicocha son ecosistemas acuáticos con características fisicoquímicas estables en las diferentes zonas de los lagos, a lo largo del año y de las estaciones climáticas que se presentan en la región y estarían en procesos diferentes de eutroficación.

AGRADECIMIENTOS

El agradecimiento a la Dirección de Investigaciones de la Universidad Central del Ecuador por facilitar los fondos económicos para el desarrollo de parte del presente trabajo a través del proyecto senior UCE-045.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Granados I, Toro M. Conservación de los lagos y humedales de alta montaña de la Península Ibérica. Madrid (España): Servicio de Publicaciones de la Universidad Autónoma de Madrid; 2000. p 33-50.
- [2] Ventura M. Los lagos de alta montaña como sensores del cambio climático. Impactos en los ecosistemas acuáticos. Centro de Estudios Avanzados de Blanes, CSIC. [Página Web]. 2018. [Acceso el día 11 de agosto de 2021]. Disponible en:
<http://www.divulgameteo.es/fotos/lecturas/Lagos-alta-montaña-CC.pdf>.
- [3] Catalán J, Camarero L, Felip M, Pla S, Ventura M, Buchaca T, Bartumeus F, De Mendoza G, Miró A, Casamayor EO. High mountain lakes: extreme habitats and witnesses of environmental changes. *Limnetica*. 2006; 25 (1-2): 551-584.
- [4] Fuentes-Pérez JF, Navarro Hevia J, Ruiz Legazpi J, García-Vega A. Inventario y caracterización morfológica de lagos y lagunas de alta montaña en las provincias de Palencia y León (España). *Pirineos*. 2015; 170: 1-18. doi.org/10.3989/Pirineos.2015.170006.
- [5] Rascón J, Corroto F, Leiva-Tafur D, Gamarra O. Variaciones limnológicas espaciotemporales de un lago altoandino tropical al norte de Perú. *Ecol Austral*. 2021; 31: 343-356.
- [6] Aranguren-Riaño NJ, Shurin JB, Pedroza-Ramos A, Muñoz-López CL, López R, Cely O. Sources of nutrients behind recent eutrophication of Lake de Tota, a high mountain Andean lake. *Aquat Sci*. 2018; 80:39. doi.org/10.1007/s00027-018-0588-x
- [7] Casallas J, Gunkel G. Algunos aspectos limnológicos de un lago altoandino, el Lago San Pablo, Ecuador, *Limnetica*. 2002; 20: 29-46.
- [8] Steinitz-Kannan M, Colinvaux-Kannan P. Limnological studies in Ecuador. A survey of chemical and physical properties of Ecuadorian lakes. *Archiv. Hydrobiol*. 1983; 65 (Supplement): 61-105.
- [9] Guaminga-Cava ER. Caracterización del sistema hidrogeológico de la laguna de Colta, cantón Colta, provincia de Chimborazo. [Tesis de pregrado]. Guayaquil. Ecuador Universidad de Guayaquil; 2019.
- [10] González M, Acuña J, Escobar J, Viteri F, Villacis L, Parra Y, Araujo L, Araque J, Andueza F. Calidad fisicoquímica del agua de la laguna volcánica craterica Quilotoa. Cotopaxi. Ecuador. *Rev. Perspectiva*. 2020; 21(1): 71-83.
- [11] Gunkel G, Beulker C, Grupe B, Viteri F. Survey and assessment of post volcanic activities of a young caldera Lake Cuicocha, Ecuador. *Nat. Hazards Earth Syst Sci*. 2009; 9: 699-712.
- [12] Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). Agua. Calidad del Agua. Manejo y Conservación de Muestras. NTE INEN 2169:2013. Primera Edición. Quito-Ecuador. 2013.
- [13] Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). Agua. Calidad del Agua. Técnicas de Muestreo. NTE INEN 2176:2013. Primera Edición. Quito-Ecuador. 2013.
- [14] Tulsma. Anexo 1 del libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente. En: Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua. Registro Oficial. Quito. Ecuador. 2015. pp. 185-190.
- [15] Quirós R., Rosso JJ, Rennella A, Sosnovsky A, Boveri M. Análisis del estado trófico de las lagunas pampeanas (Argentina). *Interciencia*. 2002; 27(11): 584-591.
- [16] Minor EC, Tennant CJ, Brown ET. A seasonal to interannual view of inorganic and organic carbon and pH in western Lake Superior. *J Geophys*. 2019; 124: 405-419. doi.org/10.1029/2018JG004664.
- [17] Verma AK, Prakash S. Limnological Studies of Semara Taal, A wetland of District Siddharthnagar (U.P.). *J Fish Aquat Sci*. 2020; 5(1):15-19.
- [18] Roldan G, Ramírez JJ. Fundamentos de limnología neotropical. Segunda Edición. Medellín (Colombia): Editorial Universidad de Antioquia. 2008. pp. 180-235.
- [19] Christenson B, Németh K, Rouwet D, Tassi F, Vandemeulebrouck J, Varekamp J. Volcanic Lakes. *Advances in Volcanology*. Berlin (Alemania): Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 2015. pp 154-187.

- [20] Ohba T, Capaccioni B, Caudron C. Geochemistry and Geophysics of Active Volcanic Lakes. London (UK): The Geological Society of London. 2017; pp 53-89.
- [21] Ohba T, Ooki S, Oginuma Y, Yoshida H, Ntchantcho R, Ako A, Tawedi R, Ayissi M, Anyileke G, Hell J. Temperature and electrical conductivity of water in Lake Nyos transmitted by automatic observation buoy. *J African Earth Sci.* 2020; 172: 1-8.
- [22] Haro C, Freddy G. Caracterización fisicoquímica de la columna de agua en la Laguna Cube. [Tesis de pregrado]. Quito. Ecuador. Universidad Central del Ecuador. 2018.
- [23] Sierra CA. Calidad del agua: Evaluación y diagnóstico. Primera edición. Medellín (Colombia): Universidad de Medellín. 2011; pp 63-98.
- [24] Rosas Espinoza A. Análisis de la incidencia antrópica en el humedal Abras de Mantequilla del Cantón Vinces Provincia de los Ríos, mediante la generación de índices bióticos. [Tesis de Maestría]. Quito. Ecuador. Universidad Central del Ecuador. Quito. Ecuador. 2018.
- [25] Gunkell G, Viteri F, Beulker C, Grupe B. Accumulation of carbon dioxide in deep caldera lakes of Ecuador: Evaluation and monitoring of possible gas eruptions. Quito (Ecuador): FIGEMPA; 2007; pp 1-14.
- [26] Gunkel G, Beulker C, Grupe B, Viteri F. Hazards of volcanic lakes: Analysis of lakes Quilotoa and Cuicocha Ecuador. *Advances in Geoscience, European Geosciences Union.* 2008; 14: 29-33.
- 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
- Pinto Gustavo**, Orcid ID: 0000-0002-6912-8083
- Escobar Sandra**, Orcid ID: 0000-0002-3347-0282
- Medina Gerardo**, Orcid ID: 0000-0002-4782-7924
- Andueza Félix**, Orcid ID: 0000-0002-9046-8883