

DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO CALDERA, BOQUETE, CHIRIQUÍ

DETERMINATION OF THE WATER QUALITY OF THE CALDERA RIVER, BOQUETE, CHIRIQUÍ

Daniel Dejud ¹, Vincky Mou ², Paúl Acosta ³, Kathia Broce ⁴

<https://doi.org/10.52109/cyp2022321>

¹ University of Alberta

² Beijing International Studies University

³ Departamento de Ciencias, Academia Internacional Boquete. <https://orcid.org/0000-0003-3592-5655>

⁴ Centro de Investigaciones Hidráulicas e Hidrotécnicas, Universidad Tecnológica de Panamá.
<https://orcid.org/0000-0003-2845-9350>

REGISTROS

Recibido el 16/10/2021

Aceptado el 27/01/2022

Publicado el 31/01/2022



PALABRAS CLAVE

Bioacumulación, calidad de agua, concentración, metales pesados, reglamentos técnicos.

KEYWORDS

Bioaccumulation, water quality, concentration, heavy metals, technical regulations.

RESUMEN

El presente estudio evaluó la calidad del agua del río Caldera, uno de los ríos más importantes de la provincia de Chiriquí, el cual abastece al distrito de Boquete, tanto para consumo humano, como para fines agrícolas y ganaderos. Fueron medidos tres sitios del río Caldera (parte alta, media y baja), obteniéndose los promedios de parámetros de temperatura del agua (20,55 °C), conductividad eléctrica (69,37 $\mu\text{S cm}^{-1}$) y pH (7,5). Comparando los datos obtenidos con los valores del Reglamento Técnico DGNTI-COPANIT 23- 395 -99 de agua potable: los niveles de pH mantienen un rango permisible (6,5 - 8,5), los TDS indican un agua de poca mineralización (<100 mgL^{-1}), la conductividad menor al límite estipulado (850 μScm^{-1}) y la temperatura inferior a 28 °C es óptima. Los resultados indican una buena calidad de agua según los parámetros estudiados; sin embargo, de los cinco metales estudiados (Al, Cd, Cr, Cu y Pb), la mayoría presentó concentraciones menores a los límites establecidos; a excepción del cadmio, el cual sobrepasa el límite de 0,003 mgL^{-1} de acuerdo con la legislación establecida.

ABSTRACT

This study evaluated the water quality of the Caldera River, one of the most important rivers in the province of Chiriqui, which supplies the district of Boquete, for human consumption as well as for agricultural and livestock purposes. Three sites of the Caldera River were measured (upper, middle and lower part), obtaining the average water temperature (20.55 °C), electrical conductivity (69.37 $\mu\text{S cm}^{-1}$) and pH (7.5) parameters. Comparing the data obtained with the values of the Technical Regulation DGNTI-COPANIT 23- 395 -99 for drinking water: the pH levels maintain a permissible range (6.5 - 8.5), the TDS indicate water with low mineralization (<100 mgL^{-1}), the conductivity is lower than the stipulated limit (850 μScm^{-1}) and the temperature below 28 °C is optimal. The results indicate good water quality according to the parameters studied; however, of the five metals studied (Al, Cd, Cr, Cu and Pb), most showed concentrations below the established limits, except for cadmium, which exceeds the limit of 0.003 mgL^{-1} according to the established legislation.

INTRODUCCIÓN

El Río Caldera se extiende a través del distrito de Boquete, al norte de la provincia de Chiriquí, al oeste del país y fluye a lo largo del Parque Nacional Volcán Barú en Chiriquí. Este es considerado uno de los ríos más importantes en el país, el cual se caracteriza por ser un río caudaloso con fuertes corrientes de agua, en donde su agua es utilizada para muchas aplicaciones diarias del pueblo boqueteño que van desde la producción de energía hidroeléctrica hasta el consumo local. Este río fluye por una zona de origen volcánico que cuenta, además con un clima templado junto a una abundante biodiversidad, el área es apta para el desarrollo de sectores tanto agrícolas como ganaderos, al igual que permite que este se convierta en un destino turístico. En general, las aguas panameñas obtienen un tratamiento para eliminar los microorganismos que se encuentran en ellas, sin embargo, estos no son los únicos elementos perjudiciales que se encuentran en dicha agua consumida o utilizada por los habitantes del distrito. Puesto que la presencia de dichos componentes o materiales pueden ser dañinos en concentraciones elevadas, es decir, que expone la seguridad pública a una serie de amenazas o peligros (Briffa, 2020), por lo que los estudios de ciertos parámetros en la calidad de agua son fundamentales para asegurar que la población no desarrolle efectos adversos a causa de una baja calidad de la misma o debido a un nivel elevado de metales pesados en esta, pues una exposición prolongada a estos podría alterar desde los ecosistemas hasta la salud humana (Hazrat, 2019).

Los metales pesados son componentes naturales de la corteza terrestre. De acuerdo con la tabla periódica son elementos químicos que cuentan con una alta densidad (mayor a 4 g cm^{-3}), masa y peso atómico por encima de 20, y son tóxicos en concentraciones bajas (Londoño-Franco, 2016). Al ser pertenecientes a un grupo de elementos con propiedades metálicas, generalmente, son caracterizados por su conducción metálica, peso molecular, número atómico o por sus múltiples propiedades físicas, las cuales pueden variar.

Estos elementos son esenciales en la sociedad humana, específicamente, en áreas industrializadas, el medio ambiente y el cuerpo humano. Algunos de ellos mantienen estabilidad en cuanto a los niveles fisiológicos y bioquímicos del sistema tanto el humano como el de la vida, en general (Hazrat, 2019), es decir que su exceso o déficit podría alterar el funcionamiento de un individuo, asimismo guiando a una serie de afecciones y condiciones anormales. Cabe destacar que también existen metales pesados innecesarios que no ejercen un papel beneficioso o biológico en el ente.

El hallazgo de pequeñas cantidades de metales pesados en aguas naturales es posible, los cuales pueden ser de origen tanto antrópico como natural (Reyes, 2016). Sin embargo, este se torna en un problema que podría afectar la seguridad y salud pública por falta de un tratamiento adecuado de las aguas. Tomando en consideración que los metales pesados se vuelven tóxicos debido a la

bioacumulación, es decir que no son metabolizados, de manera que, se acumulan en ciertas áreas, ya sea de un organismo o sistema (Vhahangwele, 2018).

La presencia de estos componentes representa una amenaza para los ecosistemas acuáticos y terrestres, pues, a través de estos, ocurre la contaminación de los cuerpos de agua, los sedimentos y suelos (Hazrat, 2019). Así las altas concentraciones de metales exponen a múltiples organismos causando que la cadena trófica sufra de alteraciones que, eventualmente, tendrán implicaciones en la salud del ser humano debido a un alto grado de bioacumulación (Briffa, 2020). Puesto que la cadena alimenticia guarda una relación estrecha entre todos los organismos o seres vivos, muchos problemas de salud y mortalidad se harían presentes (Vhahangwele, 2018) por lo que se reflejarían en el humano por medio de la bioacumulación o exposición prolongada de metales pesados, que se transfiere de un nivel trófico a otro por la ingesta de alimentos (Hazrat, 2019) u otras razones, las cuales favorecen el desarrollo de afecciones que van desde daños en órganos vitales hasta desarrollos cancerígenos (Londoño- Franco, 2016).

Además, que se puede entrar en contacto mediante actividades como la ingesta de agua y alimentos o inhalar el aire contaminado (Ming-Ho, 2005). Y como antes mencionado, el desarrollo de enfermedades se puede dar en distintas partes del organismo como lo sería el metabolismo humano, el cual se expone a la aparición de daños oxidativos o especies reactivas de oxígeno (Fu, 2019). En adición a que estos al entrar en el organismo y acumularse, se distribuyen en el cuerpo desde la sangre hasta los tejidos y otras áreas, en las cuales logran pasar por desapercibidos y son detectados en etapas avanzadas por condiciones anormales en cuanto al funcionamiento de órganos o sistemas.

Por lo tanto, se pueden desarrollar o provocar daños en el cerebro, los riñones, los pulmones, sangre, etc., en donde, gradualmente, a una exposición prolongada, daños más severos se pueden presentar, así como las degeneraciones musculares, físicas y neurológicas, y otras enfermedades (Godwill, 2019). Los metales pesados encontrados en los cuerpos de agua pueden variar entre ellos pudiéndose encontrar el aluminio, arsénico, cadmio, cobre, cromo, hierro, mercurio, níquel, plomo y un sinnúmero de metales. De esta forma, también se destaca que cada metal pesado cuenta con una variación en cuanto a las afecciones en la salud, por lo que no todas provocan las mismas alteraciones o daños.

Es por lo antes expuesto que el objetivo de este estudio fue determinar la calidad de agua del Río Caldera, Boquete, Chiriquí mediante la medición de parámetros principales como temperatura, pH y conductividad, al igual que cuantificar la concentración de metales, incluyendo algunos pesados, (Al, Cd, Cr, Cu y Pb) en el agua, los cuales guardan relación directa con los parámetros antes mencionados.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

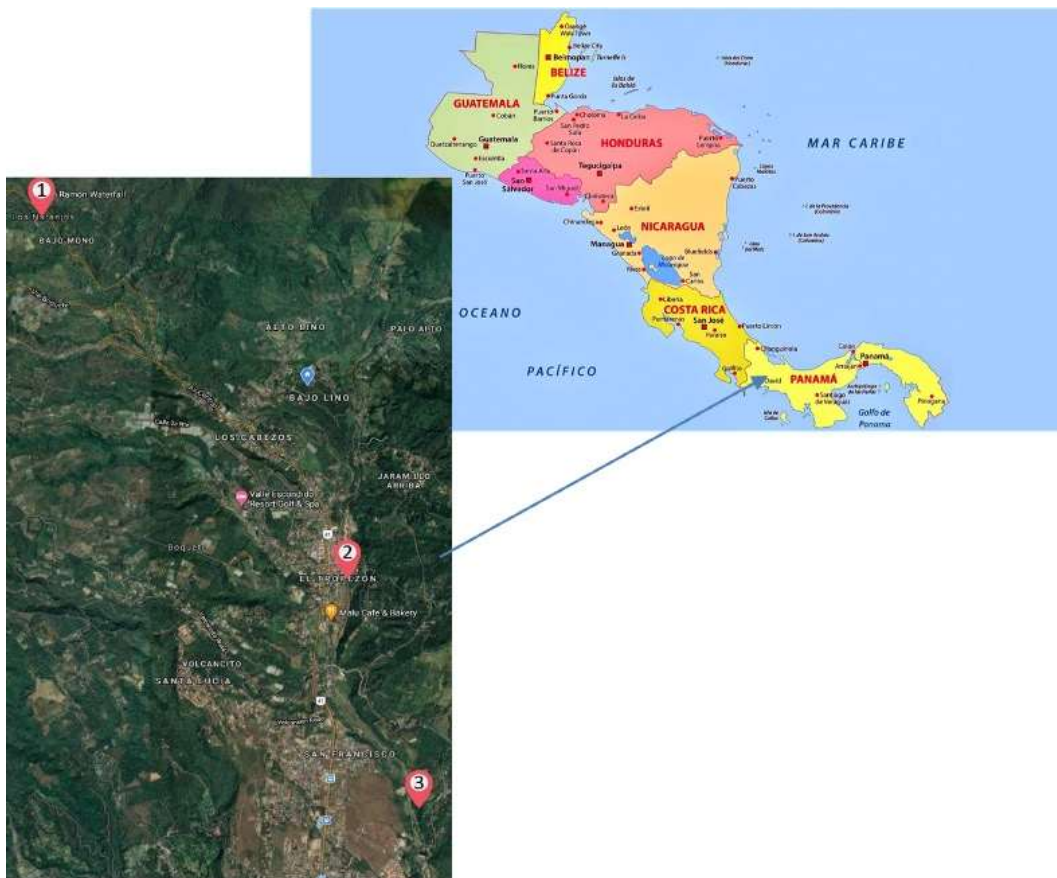
El estudio se llevó a cabo en la provincia de Chiriquí, específicamente en el distrito de Boquete. El mismo cuenta con seis corregimientos, los cuales son: Bajo Boquete, Alto Boquete, Jaramillo, Los Naranjos, Caldera y Palmira. De los anteriores, la toma de muestras fue limitada a cauces del Río Caldera que se ubican en Los Naranjos, Bajo Boquete y Alto Boquete, respectivamente.

Sitios de estudio

Se escogieron tres puntos de muestreo (Ver figura 1), los cuales se encuentran distribuidos a lo largo del Río Caldera: Sitio alto ($8^{\circ}49'02,3''N$ $82^{\circ}27'55,8''W$), sitio medio ($8^{\circ}46'25,0''N$ $82^{\circ}25'48,3''W$) y sitio bajo ($8^{\circ}44'51,5''N$ $82^{\circ}25'23,5''W$).

Figura 1

Puntos de muestreo a lo largo del río caldera



Nota: Vista satelital de los sitios de estudio (1: Sitio alto, 2: Sitio medio y 3: Sitio bajo) y mapa de América Central.
Fuentes: Google Maps y <https://mapaamerica.top/america-central-centroamerica/>

Muestras de campo

Los parámetros fisicoquímicos fueron obtenidos en el sitio de estudio, con el uso de sondas precalibradas. Los valores para los sólidos disueltos totales (TDS) y la

conductividad eléctrica (EC) fueron obtenidos utilizando la sonda TRACER de LaMotte, modelo 1749; por otro lado, los niveles de pH y los grados de temperatura se tomaron con la sonda TRACER de LaMotte, modelo 1741. Por último, los valores de los metales pesados (Al, Cd, Cr, Cu y Pb) fueron obtenidos mediante la técnica de espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP).

Colección de datos de parámetros fisicoquímicos

Se tomaron muestras semanales los miércoles, jueves y viernes durante once semanas. En estos días, se extraían 20 mL de agua en tres puntos distintos de los cauces antes descritos; el volumen de agua posteriormente era utilizado para obtener los valores con las sondas pre calibradas. Este proceso se repitió en los tres cauces.

Colección de muestras para estudio de metales pesados

En la primera y cuarta semana, se rellenaron botellas de 1L con agua. Posteriormente, se llevaron a un pH de $1 \pm 0,05$ con ácido nítrico y se mantuvieron refrigeradas para su preservación. Seguidamente, fueron transportadas en un enfriador hasta la ciudad de Panamá, en donde fueron analizadas por el método de ICP en los laboratorios del Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales (STRI).

Análisis de datos

Para el análisis de los valores obtenidos, todos los datos fueron comparados con los valores límite contemplados dentro de la legislación panameña dentro del Reglamento Técnico DGNTI-COPANIT 21-2019: Tecnología de los Alimentos, Agua Potable, Definiciones y Requisitos Generales. De la misma manera, se utilizaron los valores presentados en el documento de GUIDELINES FOR DRINKING-WATER QUALITY de la Organización Mundial de la Salud (OMS).

RESULTADOS

Tabla 1

Valores promedios, desviación estándar (SD), máximos y mínimos de temperatura, conductividad y pH, medidos en los tres cauces del Río Caldera durante las 11 semanas de muestreo.

Parámetros	Valores	Sitio Alto	Sitio Medio	Sitio Bajo
Temperatura (°C)	Promedio	18,22	21,01	22,42
	SD	0,44	0,84	1,14
	Mínimo	17,50	19,77	19,33
	Máximo	19,07	22,30	23,97

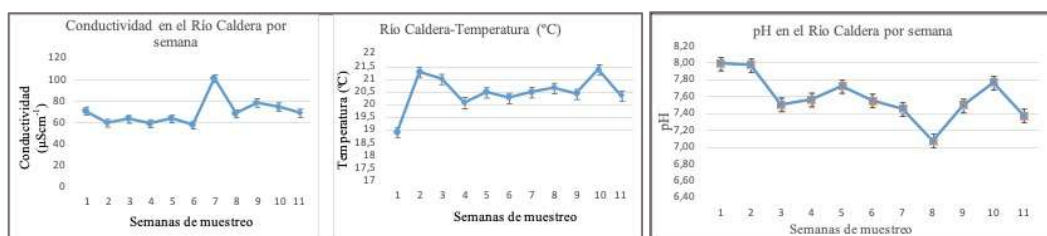
Parámetros	Valores	Sitio Alto	Sitio Medio	Sitio Bajo
Conductividad (μScm^{-1})	Promedio	63,73	69,22	75,15
	SD	11,43	14,12	13,98
	Mínimo	53,33	55,00	62,67
	Máximo	94,23	99,03	110,30
	Promedio	7,60	7,58	7,54
pH	SD	0,39	0,20	0,32
	Mínimo	6,88	7,30	7,02
	Máximo	8,10	7,89	8,03

Nota: Elaboración propia

En la tabla 1, se muestran estadísticas representativas de los parámetros fisicoquímicos resultantes (conductividad eléctrica, temperatura y pH, respectivamente) del estudio de campo realizado al agua del Río Caldera. De la misma manera, en las figuras 2a, 2b y 2c se presentan las variaciones por semana de los tres parámetros antes mencionados.

Figura 2

Valores promedios, desviación estándar (SD), máximos y mínimos de temperatura, conductividad y pH, medidos en los tres cauces del Río Caldera durante las 11 semanas de muestreo.



Con referencia a la conductividad eléctrica (figura 2a), se resalta que esta se mantiene en un rango aproximado de entre 60-80 μScm^{-1} ; siendo la única excepción la semana 7, en la que se denota un pico que sobrepasa los 100 μScm^{-1} . Respecto a la temperatura (figura 2b), se mantiene en un rango de entre 20-21,5 °C; a excepción de la primera semana, que presentó un valor promedio de 19 °C. Finalmente, el pH del agua del Río Caldera (figura 2c) se mantuvo entre 7,40 y 8,00; salvo las semanas 8 y 11, en las que se presentó un pH de 7,10 y de 7,37, respectivamente.

Tabla 2

Valores promedios de las concentraciones en mgL⁻¹, de los metales pesados estudiados (aluminio, cadmio, cromo, cobre y plomo).

Unidad	Al	Cd	Cr	Cu	Pb
mgL ⁻¹	0,140	0,004	Por debajo del límite de detección	0,007	0,002

Nota: Elaboración propia

Los resultados obtenidos de los análisis realizados mediante el uso de ICP para determinar la concentración de metales pesados (ver tabla 2) fueron comparados con los límites de presencia de cada metal en el agua potable según los reglamentos antes descritos (DGNTI-COPANIT 21-2019 y GUIDELINES FOR DRINKING-WATER QUALITY). De los cinco metales estudiados, la mayoría presentó concentraciones menores a los límites establecidos; con la única excepción del cadmio, el cual sobrepasó el límite de 0,003 mgL⁻¹ denotado en la literatura.

Tabla 3

Valores promedio, por sitio, de los sólidos disueltos totales en el agua del Río Caldera.

Sitio	TDS (mgL ⁻¹)
Alto	38,96
Medio	48,89
Bajo	51,11

Nota: Elaboración propia

La tabla 3 muestra las estadísticas para el TDS del río. Cabe destacar que, a diferencia de los demás parámetros, este sólo fue medido en las últimas tres semanas de la recolección de datos.

Los datos presentados se mantienen muy por debajo del límite mostrado en el reglamento DGNTI-COPANIT 21-2019 (500 mgL⁻¹), lo que indica que existe poca mineralización.

DISCUSIÓN

El suelo es la fuente principal de metales pesados y las plantas son las reguladoras del ecosistema, en otras palabras, estas equilibran los procesos químicos de la vida en la tierra. El destino de estos metales depende tanto de las propiedades del suelo como los factores ambientales que prevalecen en el lugar (Seshadri, 2015).

De esta forma, la toxicidad de estos elementos no sólo depende de ellos mismos, sino de las características del suelo. Entre ellas el pH es un factor fundamental que define la movilidad del catión y la precipitación, ya que la mayoría de los metales

pesados tienden a estar más disponibles a un potencial de hidrógeno ácido, a excepción a algunos.

Mediante la conductividad del agua, la estimación de concentración de sales minerales y los sólidos disueltos totales es factible; el oxígeno disuelto, permite el control de la calidad del agua; la temperatura, define su efecto en otras propiedades.

El agua es esencial para todo ser vivo en la tierra, al igual que el carbón. Estos se complementan para brindar un soporte a la vida en donde sus moléculas brindan tanto propiedades físicas como químicas, de manera que, el agua aporta un sinnúmero de beneficios a todos los organismos pues da lugar a un sostenimiento y provee vitalidad, mientras que el carbón permite la estabilización de vínculos entre otros elementos para la construcción de la vida (Westall, 2018) entre muchas otras reacciones y procesos.

Según el Reglamento DGNTI- COPANIT 21- 2019, los resultados de metales pesados obtenidos mediante el análisis de muestras logran demostrar que se encuentran en el rango permisible establecido. Es decir que no presentan alguna amenaza de contaminación tanto antrópica como natural para estos; salvo el cadmio, el cual se excede del límite de 0,003 mgL⁻¹. Al no haberse realizado un análisis de sedimentos para la determinación de valores de fondo o background, el origen de dicho elemento no queda del todo claro; se desconoce si la presencia de este elemento pueda ser de origen litogénico, o bien, producto de las actividades desarrolladas en el área.

Este elemento no esencial puede derivarse de una fuente geogénica o antropogénica y en efecto, sin importar su proveniencia, sus altas concentraciones pueden amenazar a los suministros, tanto alimenticios, como al agua utilizada en las distintas actividades (Kubier, 2019).

La presencia del cadmio puede deberse a diversas actividades humanas que se llevan a cabo cerca del área: la liberación de desechos, el uso de fertilizantes químicos y pesticidas que contienen Cd o incluso podrían derivarse de lodos de depuradoras en tierras agrícolas (Shen, 2018). La contaminación por este tipo de metal es común en áreas agroecológicas, por lo que se convierte en una preocupación al tener efectos teratogénicos, cancerígenos y mutagénicos. Pues, fácilmente, ingresa al cuerpo humano a través de la cadena trófica, así aumentando el riesgo de padecimiento de cáncer, trastorno endocrino, insuficiencia renal y anemia crónica en los humanos (Cai, 2019).

Por ejemplo, la lechuga es un producto vegetal producido y consumido mundialmente, esta brinda fibras, vitaminas y otros elementos necesarios en nuestra salud. No obstante, se ha reportado que esta tiene una alta acumulación de cadmio en sus hojas, por lo cual se ha propuesto como una planta indicadora para análisis de suelos y tejido vegetal contaminado; además, aumenta el riesgo dietético humano (Shen, 2018).

Por otro lado, existen las plantas hiperacumuladoras que son capaces de crecer en suelos con altas cantidades de metales pesados, es decir que cuentan con una tolerancia y adaptación alta a los oligoelementos como el cadmio (Verbruggen, 2013). El café es una de estas plantas que concentra el metal pesado en las raíces u hojas de la planta (Tezotto, 2012). El tomate también es tolerante al cadmio en distintos niveles, pues depende también de la variedad de la hortaliza (Amaral-Carvalho, 2019).

Por lo antes descrito, se cree que la presencia del metal pesado en el río podría deberse a algunas de las actividades que se realizan de forma cotidiana: cultivos de café, plantaciones de hortalizas en la tierra, uso de algunos fertilizantes, desecho de lodos agrícolas. Sin embargo, no se descarta que pueda tener un origen geogénico del área. En general, la presencia de metales pesados en frutas y vegetales es posible en distintos rangos de concentración, lo cual representaría un riesgo para la salud (Shaheen, 2016).

CONCLUSIONES

Según los valores para los parámetros organolépticos y físicos para el agua potable del Reglamento Técnico DGNTI-COPANIT 23-395-99 sobre los requisitos generales del agua potable: los niveles de pH (potencial de hidrógeno) obtenidos se encuentran en un rango permisible (6,5 - 8,5) indicando así que su nivel de alcalinidad es seguro. En cuanto a los parámetros químicos orgánicos, los sólidos disueltos (500 mgL⁻¹) indican que el agua es muy blanda o de poca mineralización, es decir que contiene una concentración relativamente baja de carbonato de calcio, magnesio u otros minerales; la conductividad se mantiene en un valor óptimo por debajo del límite de 850 μScm^{-1} lo cual demuestra que la concentración total de iones disueltos en el agua es estable de acuerdo con el Reglamento Técnico DGNTI-COPANIT 21-2019. En adición, la temperatura del Río Caldera en Boquete se encuentra normalmente inferior a los 28° C y puede presentar variaciones que se deben a las estaciones durante el año, en donde esta cambia por el viento y movimiento de la corriente tomando en consideración que el clima del distrito de Boquete es templado. Las variables indicadoras, como las aquí presentadas, están estrechamente relacionadas con la disponibilidad de metales pesados y, según los parámetros estudiados, indican una buena calidad de agua tanto para los consumidores humanos, como para las especies acuáticas que habitan en el cuerpo de agua.

Por otro lado, al ser los metales pesados componentes naturales de la corteza terrestre, se hace imprescindible la realización de monitoreos periódicos con la finalidad de determinar sus concentraciones en las fuentes hídricas, ya que, es esencial verificar que estas concentraciones no sobrepasen los límites permisibles recomendados por la legislación, pues cantidades extremadamente altas podrían conducir al envenenamiento u otras afecciones. Dentro de los resultados de los metales pesados obtenidos, estos indican que la calidad de agua del Río Caldera es óptima a excepción del cadmio, que se encuentra 0,001 mgL⁻¹ sobre el límite

especificado en la literatura; como fue mencionado anteriormente, que este elemento sobre pase los límites permisibles se podría deber a distintas causas; sin embargo, es de vital importancia que, las autoridades de salud y ambiente de la república de Panamá revisen esta información, y tomen las medidas pertinentes para la protección tanto de la salud pública, como de los ecosistemas que componen la región de Boquete.

AGRADECIMIENTOS

Deseamos agradecer a la Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SENACYT), por los fondos otorgados para el desarrollo de la presente investigación, a través del Programa de Jóvenes Científicos, a la Lic. Dariana Silvera, docente de Química en la Academia Internacional Boquete y al Mgtr. Luis Montero, investigador del Departamento de Química de la Universidad Nacional Autónoma de Chiriquí (UNACHI) por su apoyo incondicional durante la realización del proyecto.

Al mismo tiempo, queremos extender nuestros más sinceros agradecimientos al Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales (STRI), específicamente a la Lic. Dayana Agudo por el análisis de metales pesados y a la Universidad Tecnológica de Panamá (UTP), especialmente al Lic. Javier Lloyd.

REFERENCIAS

- Amaral-Carvalho, M.E., Piotto, F.A., Franco, M.R., Lanzoni-Rossi, M., Pinheiro-Martinelli, A., Cuypers, A., Antunes-Azevedo, R. (2019). Relationship between Mg, B and Mn status and tomato tolerance against Cd toxicity. *Journal of environmental management*, 240, 84–92.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.03.026>
- Briffa, J., Sinagra, E., & Blundell R. (2020). Heavy metal pollution in the environment and their toxicological effects on humans. Recuperado el 1 de Diciembre de 2020, de Endeavour Scholarship Scheme (Malta) Sitio web: [https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440\(20\)31534-6?_returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS2405844020315346%3Fshowall%3Dtrue](https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440(20)31534-6?_returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS2405844020315346%3Fshowall%3Dtrue)
- Cai, K., Yu, Y., Zhang, M., & Kim, K. (2019). Concentration, Source, and Total Health Risks of Cadmium in Multiple Media in Densely Populated Areas, China. *International journal of environmental research and public health*, 16(13), 2269. <https://doi.org/10.3390/ijerph16132269>
- Fu, Z., & Xi, S. (2019). The effects of heavy metals on human metabolism. Recuperado el 1 de diciembre de 2020, de National Natural Science Foundation of China (NSFC) Sitio web: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/15376516.2019.1701594>
- Godwill Azeh Engwa, Paschaline Udoka Ferdinand, Friday Nweke Nwalo and Marian N. Unachukwu. (2019). Mechanism and Health Effects of Heavy Metal Toxicity in Humans, Poisoning in the Modern World - New Tricks for an Old Dog? Ozgur

- Karcioglu and Banu Arslan, IntechOpen, DOI: 10.5772/intechopen.82511. Available from: <https://www.intechopen.com/books/poisoning-in-the-modern-world-new-tricks-for-an-old-dog-/mechanism-and-health-effects-of-heavy-metal-toxicity-in-humans>
- Grey, A., Domínguez, V., & Castellero, M. (1). Determinación de Indicadores Físicoquímicos y Microbiológicos de calidad del agua superficial en la Bahía de Manzanillo. *I+D Tecnológico*, 10(1), 16-27. Recuperado a partir de <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/id-tecnologico/article/view/10>
- Hazrat Ali, Ezzat Khan, Ikram Ilahi, "Environmental Chemistry and Ecotoxicology of Hazardous Heavy Metals: Environmental Persistence, Toxicity, and Bioaccumulation", *Journal of Chemistry*, vol. 2019, Article ID 6730305, 14 pages, 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/6730305>
- Kubier, A., Wilkin, R. T., & Pichler, T. (2019). Cadmium in soils and groundwater: A review. *Applied geochemistry: journal of the International Association of Geochemistry and Cosmochemistry*, 108, 1– 16. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2019.10438>
- Londoño-Franco, L. F., Londoño-Muñoz, P. T., & Muñoz-García, F. G.. (2016). Los Riesgos de los Metales Pesados en la Salud Humana y Animal. Recuperado el 3 de diciembre de 2020, de *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* Sitio web: <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v14n2/v14n2a17.pdf>
- Ming-Ho, Y. (2005) *Environmental Toxicology: Biological and Health Effects of Pollutants*, Chap. 12, 2nd Edition, CRC Press LLC, Boca Raton.
- Reyes, Y.C., Vergara, I., Torres, O.E., Díaz-Lagos, M., & González, E.E. (2016). Contaminación por metales pesados: Implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. *Revista Ingeniería Investigación y Desarrollo*, 16 (2), pp. 66-77
- Seshadri, B, Bolan, N.S, & Naidu, R. (2015). Rhizosphere-induced heavy metal(loid) transformation in relation to bioavailability and remediation. *Journal of soil science and plant nutrition*, 15(2), 524- 548. Epub 30 de abril de 2015. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162015005000043>
- Shaheen, N., Irfan, N. M., Khan, I. N., Islam, S., Islam, M. S., & Ahmed, M. K. (2016). Presence of heavy metals in fruits and vegetables: Health risk implications in Bangladesh. *Chemosphere*, 152, 431– 438. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.02.060>
- Shen, T., Kong, W., Liu, F., Chen, Z., Yao, J., Wang, W., Peng, J., Chen, H., He, Y. Rapid Determination of Cadmium Contamination in Lettuce Using Laser-Induced Breakdown Spectroscopy. *Molecules* 2018, 23, 2930.
- Tezotto, Tiago & Favarin, Tiago & Azevedo, José & Alleoni, Ricardo & Mazzafera, Luis & Mazzafera, Paulo. (2012). Coffee is highly tolerant to cadmium, nickel and zinc: Plant and soil nutritional status, metal distribution and bean yield. *Field Crops Research*. 125. 10.1016/j.fcr.2011.08.012.
- Verbruggen, N., Juraniec, M., Baliardini, C., & Meyer, C. L. (2013). Tolerance to cadmium in plants: the special case of hyperaccumulators. *Biometals: an international journal on the role of metal ions in biology, biochemistry, and medicine*, 26(4), 633–638. <https://doi.org/10.1007/s10534-013-9659-6>

- Vhahangwele Masindi and Khathutshelo L. Muedi. (2018). Environmental Contamination by Heavy Metals, Heavy Metals, Hosam El-Din M. Saleh and Refaat F. Aglan, IntechOpen, DOI: 10.5772/intechopen.76082. Available from: <https://www.intechopen.com/books/heavy-metals/environmental-contamination-by-heavy-metals>
- Westall, Frances & Brack, Andre. (2018). The Importance of Water for Life. Space Science Reviews. 214. 10.1007/s11214-018-0476-7.