



**Ciencia Latina**  
Internacional

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.  
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), mayo-junio 2024,  
Volumen 8, Número 3.

[https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v8i3](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i3)

**CONTAMINACIÓN POR TPH EN LAS MASAS  
DE AGUAS SUPERFICIALES EN LAS QUEBRADAS  
LOS MONOS Y CAIGUA, MUNICIPIO DE  
VILLA MONTES, BOLIVIA**

**TPH CONTAMINATION IN SURFACE WATER MASSES  
IN THE LOS MONOS AND CAIGUA STREAMS,  
VILLA MONTES MUNICIPALITY, BOLIVIA**

**Marcela Elizabeth Hoyos López<sup>1</sup>**

Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, Bolivia

**Julio César Mamani Alemán**

Universidad de Alcalá, España

**María Alejandra Leigue Fernández**

Universidad Católica Boliviana, Bolivia

**Gina Analía Palacios Méndez**

Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, Bolivia

**Mario Carmelo Gamarra Mendoza**

Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, Bolivia

DOI: [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v8i3.11453](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i3.11453)

## Contaminación por TPH en las Masas de Aguas Superficiales en las Quebradas los Monos y Caigua, Municipio de Villa Montes, Bolivia

**Marcela Elizabeth Hoyos López<sup>1</sup>**

[marcela.hoyos@uajms.edu.bo](mailto:marcela.hoyos@uajms.edu.bo)

<https://orcid.org/0009-0007-0231-6729>

Universidad Autónoma Juan Misael Saracho  
Bolivia

**Julio César Mamani Alemán**

[julio.mamani@edu.uah.es](mailto:julio.mamani@edu.uah.es)

<https://orcid.org/0009-0002-2523-9037>

Universidad de Alcalá  
España

**María Alejandra Leigue Fernández**

[aleigue@ucb.edu.bo](mailto:aleigue@ucb.edu.bo)

<https://orcid.org/0000-0002-0542-3729>

Universidad Católica Boliviana  
Bolivia

**Gina Analía Palacios Méndez**

[cariginia96@gmail.com](mailto:cariginia96@gmail.com)

<https://orcid.org/0009-0003-2840-6483>

Universidad Autónoma Juan Misael Saracho  
Bolivia

**Mario Carmelo Gamarra Mendoza**

[mcgamarramendoza@gmail.com](mailto:mcgamarramendoza@gmail.com)

<https://orcid.org/0000-0003-4486-4815>

Universidad Autónoma Juan Misael Saracho  
Bolivia

### RESUMEN

La explotación petrolera en Bolivia se inició en los años 30 y ha sido una actividad económica importante para el país. En particular, la Serranía Aguaragüe, ubicada en el departamento de Tarija, ha sido uno de los principales yacimientos de petróleo y gas natural, explotados desde los años 70. Sin embargo, esta actividad ha sido objeto de controversias y conflictos debido a sus impactos ambientales y sociales. A pesar de los esfuerzos del gobierno boliviano para regular y controlar la explotación petrolera en la Serranía Aguaragüe, se han evidenciado emanaciones de hidrocarburos en las fuentes de agua de esta serranía, lo que ha generado preocupación y debate. Por ello, el objetivo de este trabajo es describir las características de concentración de TPH (Total Petroleum Hydrocarbons) en las masas de agua superficiales de las quebradas Los Monos y Caigua, ubicadas en el municipio de Villa Montes. Los análisis de agua en Caigua indican una variabilidad significativa entre los puntos de muestreo. Mientras que el punto P1 tiene una concentración baja de contaminantes (<2 ppm), el P2 muestra una contaminación considerable (>20 ppm). En Los Monos, las muestras P1 y P2 tienen concentraciones superiores a 20 ppm, mientras que la P3 está por debajo de 2 ppm. Estos resultados, del 13 de diciembre de 2021, destacan la necesidad de medidas para abordar la contaminación en ambas zonas.

**Palabras clave:** masas de aguas superficiales, contaminación por TPH, hidrocarburos

---

<sup>1</sup> Autor principal

Correspondencia: [marcela.hoyos@uajms.edu.bo](mailto:marcela.hoyos@uajms.edu.bo)

# TPH Contamination in Surface Water Masses in the Los Monos and Caigua Streams, Villa Montes Municipality, Bolivia

## ABSTRACT

Oil exploitation in Bolivia began in the 1930s and has been an important economic activity for the country. In particular, the Serranía Aguaragüe, located in the department of Tarija, has been one of the main oil and natural gas deposits, exploited since the 1970s. However, this activity has been the subject of controversies and conflicts due to its environmental impacts and social. Despite the efforts of the Bolivian government to regulate and control oil exploitation in the Serranía Aguaragüe, hydrocarbon emissions have been evident in the water sources of this mountain range, which has generated concern and debate. Therefore, the objective of this work is to describe the concentration characteristics of TPH (Total Petroleum Hydrocarbons) in the surface water masses of the Los Monos and Caigua streams, located in the municipality of Villa Montes. Water analyzes at Caigua indicate significant variability between sampling points. While point P1 has a low concentration of contaminants (<2 ppm), P2 shows considerable contamination (>20 ppm). In Los Monos, samples P1 and P2 have concentrations greater than 20 ppm, while P3 is below 2 ppm. These results, from December 13, 2021, highlight the need for measures to address pollution in both areas.

**Keywords:** surface water bodies, TPH contamination, hydrocarbons

*Artículo recibido 20 abril 2024*

*Aceptado para publicación: 25 mayo 2024*



## INTRODUCCIÓN

La contaminación de las masas de aguas superficiales por hidrocarburos es un problema ambiental que puede tener graves consecuencias en la salud humana y en los ecosistemas acuáticos. Según estudios realizados por la Organización Mundial de la Salud (OMS), la exposición a hidrocarburos puede provocar problemas respiratorios, cardiovasculares y cáncer en los seres humanos (OMS, 2010).

Además, la contaminación por hidrocarburos en los ecosistemas acuáticos puede afectar la biodiversidad y la salud de los organismos que dependen del agua para sobrevivir (Sánchez-Adams et al., 2018). Los hidrocarburos son sustancias químicas que pueden provenir de diversas fuentes, como la industria petrolera, el transporte marítimo, la agricultura y la minería, entre otras.

Estos compuestos son altamente tóxicos y pueden ser perjudiciales para la salud de las personas y los animales que dependen de las fuentes de agua contaminadas. En los ecosistemas acuáticos, la contaminación por hidrocarburos puede tener un impacto significativo en la flora y fauna local. Según un estudio realizado por la Universidad Nacional de Colombia, la exposición a hidrocarburos puede provocar cambios en el comportamiento y la alimentación de los organismos acuáticos, así como en la composición y diversidad de las comunidades acuáticas (Villamarín et al., 2020).

### Planteamiento del problema

En Bolivia, la contaminación de las masas de aguas superficiales por hidrocarburos es una problemática ambiental preocupante que afecta a diversas regiones del país (Villaruel & Terrazas, 2019). Una de las zonas más afectadas por esta problemática es el municipio de Villa Montes, ubicado en el departamento de Tarija, donde se han reportado casos de contaminación por hidrocarburos en las quebradas Los Monos y Caigua (SERNAP, 2018).

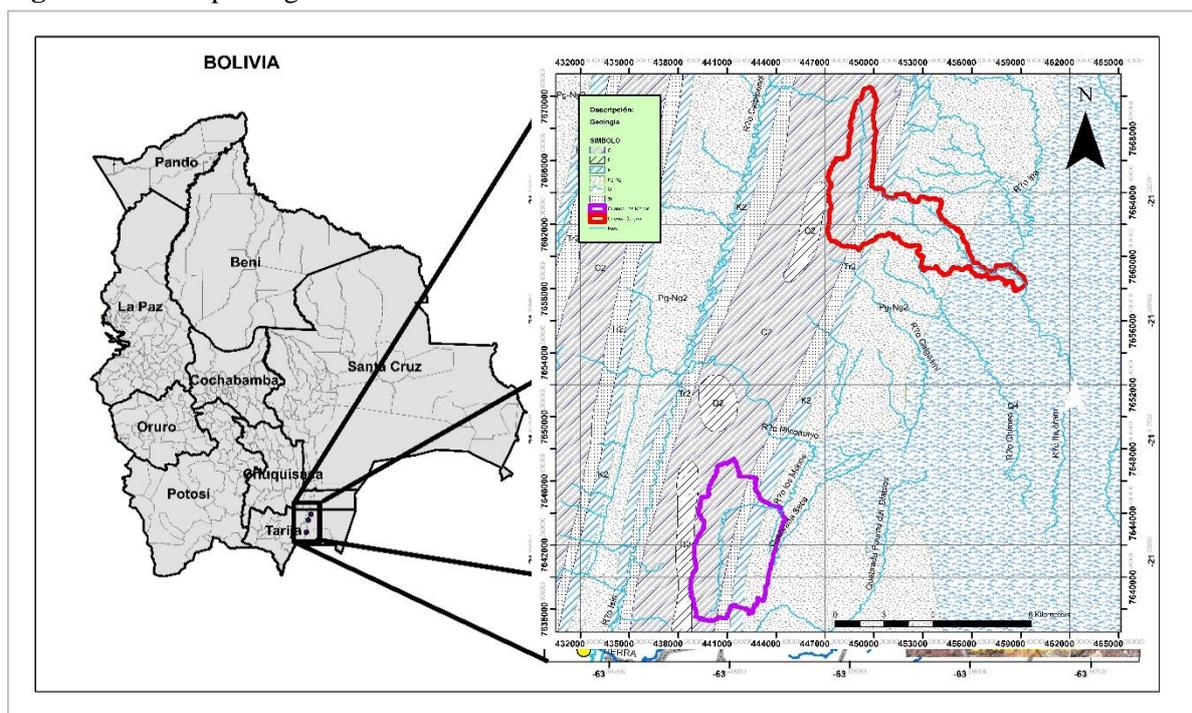
La contaminación por hidrocarburos en estas quebradas se debe principalmente a la actividad petrolera en la zona, que ha generado derrames y filtraciones de petróleo y otros hidrocarburos en las masas de agua superficiales (CEDLA, 2018).

Estos derrames y filtraciones afectan la calidad del agua y pueden tener un impacto negativo en la salud de las personas y los animales que dependen de estas fuentes de agua para su consumo y actividades diarias de los seres humanos que están en contacto con estas fuentes de agua.

Además, la contaminación por hidrocarburos en estas quebradas puede afectar gravemente la biodiversidad y los ecosistemas acuáticos de la zona, alterando el equilibrio natural de los ecosistemas y afectar la salud y supervivencia de los organismos que habitan en ellos (Pardo, Sánchez, & Llerena, 2017).

Es importante destacar que la problemática de la contaminación por hidrocarburos en las masas de aguas superficiales en Bolivia no es exclusiva de los municipios de Villa Montes y Yacuiba, sino que se extiende a otras regiones del país donde la actividad petrolera y otras actividades humanas generan impactos negativos en el medio ambiente, tomando en cuenta escenarios realistas como la presencia de personas con enfermedades complejas como el cáncer en poblaciones infantiles<sup>2</sup>.

**Figura 1.** Descripción general de la zona de estudio.



Fuente: Elaboración propia (ArcGis 10.4)

## MATERIALES Y MÉTODO

### ✓ Ubicación de las zonas de muestreo

#### Caigua:

Nuestro muestreo se llevó a cabo el 13 de diciembre de 2021. En el primer punto, situado en las coordenadas UTM (449362, 7662020) y a una altitud de 743 metros sobre el nivel del mar, se realizó

<sup>2</sup> El 50% de casos de cáncer infantil proviene del Chaco; [https://elpais.bo/tarija/20210523\\_el-50-de-casos-de-cancer-infantil-proviene-del-chaco.html](https://elpais.bo/tarija/20210523_el-50-de-casos-de-cancer-infantil-proviene-del-chaco.html)

la primera recolección de muestras siguiendo las directrices de la NB 496. Se observó la presencia de películas lipídicas en la superficie del agua, y los ensayos in situ revelaron un pH que oscilaba entre 8,00 y 8,30, así como una concentración de nitratos equivalente a 0,5 gramos en 10 ml de muestra y una alta presencia de dióxido de carbono.

De manera similar, en el punto número dos, con coordenadas (449164, 7662098) y a una altitud de 731 metros sobre el nivel del mar, se obtuvieron datos in situ de pH en el rango de 8,00 a 8,20, una concentración de nitratos de 0,5 gramos en 10 ml de muestra y una alta presencia de dióxido de carbono. Estos valores fueron muy similares a los del primer punto, y se observó que la distancia aproximada entre ambos puntos fue de 100 metros.

Posteriormente, se estableció un tercer punto de muestreo a una distancia de 100 metros del punto anterior. Los resultados obtenidos en este tercer punto fueron consistentes con los valores in situ anteriores. Las coordenadas UTM de este tercer punto son (449044, 7662449). Se siguió el mismo protocolo de colección siguiendo el protocolo de toma de muestras de la NB<sup>o</sup> 496.

### Los Monos

Aproximadamente a las 14:00 horas del 13 de diciembre, llegamos a la zona de interés y observamos una alta concentración de rastros de hidrocarburos en la superficie del agua de la quebrada Los Monos. Se llevaron a cabo tres muestreos en puntos específicos. Es importante destacar que el primer punto, vinculado al tercer punto de interés, estaba separado por aproximadamente 50 metros y arrojó resultados similares en las pruebas in situ. Se registró un pH en el rango de 8,00 a 8,80, presencia de nitratos equivalentes a 0,7 gramos en 10 ml de muestra, junto con una alta concentración de dióxido de carbono. Los protocolos de recolección de muestras fueron los mismos que se aplicaron anteriormente, siguiendo los mismos procedimientos de recolección y envío de muestras.

### Determinación de las concentraciones físicas-químicas

#### Análisis de laboratorio realizados

**Tabla 1.** Resultados de los análisis físicos químicos realizados.

| Parámetro     | Técnica o Método de Ensayo | Unidad | Los Monos | Caigua |
|---------------|----------------------------|--------|-----------|--------|
| Conductividad | Electrométrico             | μS/cm  | 2410,00   | 614,00 |
| pH            | Potenciometría             | --     | 7,90      | 6,67   |

|                             |                    |                                    |         |         |
|-----------------------------|--------------------|------------------------------------|---------|---------|
| DQO                         | Digestión ácida    | mg O <sub>2</sub> /l               | 1522,00 | 3837,00 |
| Oxígeno disuelto            | Medición directa   | mg O <sub>2</sub> /l               | 6,79    | 3,42    |
| Sólidos disueltos totales   | Sonda              | mg/L                               | 1296,00 | 315,00  |
| Fósforo (como orto fosfato) | Espectrofotometría | mg/l PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> | 0,31    | 0,62    |
| Nitrato                     | Espectrofotometría | mg/l N <sup>-</sup>                | 7,1     | 22,5    |
| Turbidez                    | Nefelométrico      | NTU                                | 53,9    | 724     |

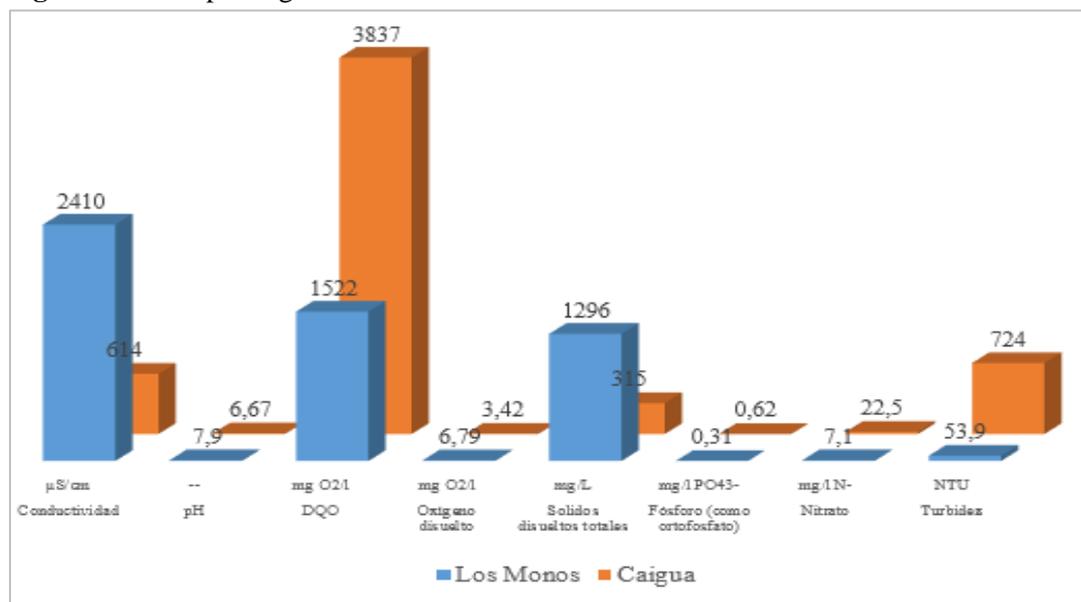
Fuente: Laboratorio de servicios ambientales (UCB)

**Tabla 2.** Resultados de análisis de TPH por espectrofotometría.

| Puntos    | Técnica            | Absorbancia | Resultados | Resultados referencial | Fecha      |
|-----------|--------------------|-------------|------------|------------------------|------------|
| P3 Caigua | Espectrofotometría | 0,438       | <2 ppm     | 1 ppm                  | 13/12/2021 |
| P2 Caigua |                    | 0,114       | >20 ppm    | 1 ppm                  | 13/12/2021 |
| P1 Caigua |                    | 0,484       | <2 ppm     | 1 ppm                  | 13/12/2021 |
| P3 Monos  |                    | 0,297       | <2 ppm     | 1 ppm                  | 13/12/2021 |
| P2 Monos  |                    | 0,151       | >20 ppm    | 1 ppm                  | 13/12/2021 |
| P1 Monos  |                    | 0,109       | >20 ppm    | 1 ppm                  | 13/12/2021 |

Fuente: Laboratorio de servicios ambientales (UCB)

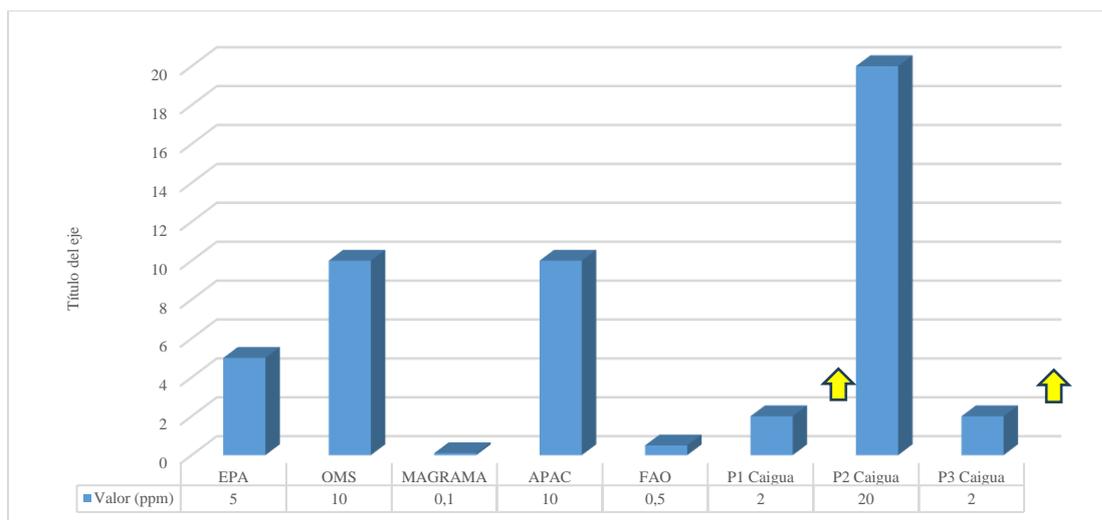
**Figura 2.** Descripción general de la zona de estudio.



Fuente: Elaboración propia.

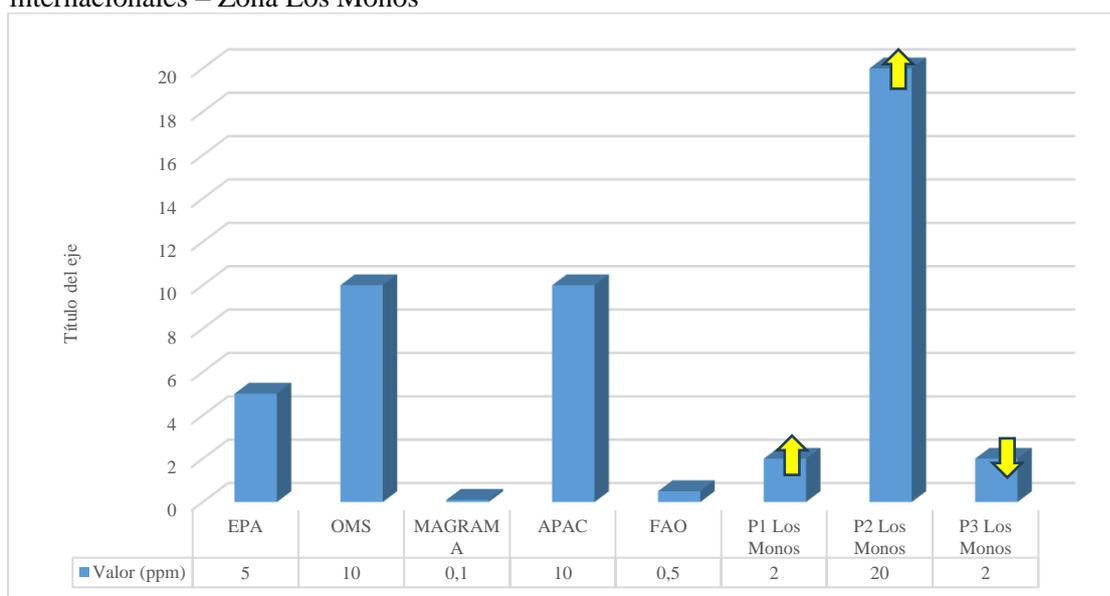
**Figura 3.** Comparación de los resultados obtenidos con los lineamientos referenciales de organismos internacionales – Zona Caigua





Nota: Elaboración propia.

**Figura 4.** Comparación de los resultados obtenidos con los lineamientos referenciales de organismos internacionales – Zona Los Monos



Nota: Elaboración propia.

## DISCUSIÓN

### Parámetros físico-químicos.

El análisis de los parámetros de calidad del agua en las quebradas Los Monos y Caigua proporciona información valiosa sobre la posible contaminación de estas zonas por materia orgánica e inorgánica. Los resultados obtenidos muestran una gran variabilidad en los valores de los diferentes parámetros en ambas quebradas, lo que sugiere diferencias significativas en las condiciones ambientales y de contaminación en cada lugar.

En la quebrada Los Monos, se observan valores relativamente altos de conductividad (2410  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), sólidos disueltos totales (1296 mg/L) y DQO (1522 mg O<sub>2</sub>/l), lo que indica la posible presencia de contaminación por materia orgánica e inorgánica, típicas de la presencia de TPH. Estos valores sugieren que la fuente de contaminación puede ser la actividad humana, como la agricultura, la minería, hidrocarburos y la industria.

El valor de pH en Los Monos es próximo a la neutralidad (7,90), lo que indica que el agua es ligeramente alcalina. La presencia de valores elevados de nitrato (7,1 mg/l N-) sugiere la posible presencia de contaminación por productos químicos y/o fertilizantes en la zona, lo que puede ser perjudicial para los organismos acuáticos y la salud humana. Además, el bajo nivel de oxígeno disuelto (6,79 mg O<sub>2</sub>/l) indica una posible degradación de la calidad del agua debido a la falta de oxígeno disponible para los organismos acuáticos.

En la quebrada Caigua, se observan valores más bajos en la mayoría de los parámetros analizados en comparación con la quebrada Los Monos, lo que apunta a una menor contaminación en esta zona. Sin embargo, la presencia de valores elevados de turbidez (724 NTU) y fósforo (0,62 mg/l PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>) indica la posible presencia de contaminación por materia orgánica e inorgánica en la zona, posiblemente debido a la actividad humana.

El valor de pH en Caigua es ligeramente ácido (6,67), lo que puede ser perjudicial para los organismos acuáticos y la salud humana. Además, el bajo nivel de oxígeno disuelto (3,42 mg O<sub>2</sub>/l) indica una posible degradación de la calidad del agua debido a la falta de oxígeno disponible para los organismos acuáticos.

## **TPH**

### **Caigua**

Los resultados de los análisis muestran una variabilidad significativa en los niveles de contaminación entre los diferentes puntos de muestreo en Caigua. Mientras que en el punto P1 se registró una concentración relativamente baja del compuesto, con menos de 2 partes por millón (ppm), el punto P2 mostró una presencia significativamente mayor, con más de 20 ppm, indicando una contaminación más alta en esa área específica. Por otro lado, el punto P3 presentó una concentración similar a la del punto P1. Estos hallazgos resaltan la importancia del monitoreo continuo de la calidad del agua, la

identificación de fuentes de contaminación y la implementación de medidas correctivas para proteger la salud humana y el medio ambiente.

### **Los Monos**

Los resultados de la tabla muestran los datos obtenidos de tres puntos de muestreo (P1, P2 y P3) en la zona de Los Monos, utilizando la técnica de espectrofotometría.

En el punto P1, la absorbancia de luz medida fue de 0.109 unidades, lo que indica una concentración de más de 20 partes por millón (ppm). Esto sugiere una presencia significativa del compuesto analizado, que supera el límite de referencia de 1 ppm.

En el punto P2, la absorbancia fue ligeramente mayor, registrando 0.151 unidades, también indicando una concentración de más de 20 ppm. Esta concentración también excede el límite de referencia de 1 ppm.

Por otro lado, en el punto P3, la absorbancia fue de 0.297 unidades, lo que corresponde a una concentración de menos de 2 ppm. Esta concentración está dentro del rango de referencia de 1 ppm, lo que sugiere una presencia relativamente baja del compuesto analizado en este punto.

### **CONCLUSIONES**

Podemos concluir los siguientes criterios.

La quebrada Los Monos presenta una mayor contaminación por materia orgánica e inorgánica en comparación con la quebrada Caigua. Los valores de conductividad, sólidos disueltos totales, DQO, nitrato y turbidez son más altos en Los Monos, lo que sugiere una posible contaminación por actividades humanas como la agricultura, la minería, hidrocarburos y la industria.

La quebrada Caigua presenta una menor contaminación en comparación con la quebrada Los Monos, aunque aún se observan valores elevados de fósforo y turbidez, lo que indica la posible presencia de contaminación por materia orgánica e inorgánica en la zona, posiblemente debido a la actividad humana.

En ambas quebradas, se observan bajos niveles de oxígeno disuelto, lo que indica una posible degradación de la calidad del agua debido a la falta de oxígeno disponible para los organismos acuáticos.

En la quebrada Los Monos, se observan niveles significativos de contaminación por hidrocarburos, mientras que en la quebrada Caigua se detectaron niveles muy bajos o nulos de TPH. Se recomienda realizar una evaluación más detallada y exhaustiva de la calidad del agua en ambas quebradas para determinar la fuente y la magnitud de la contaminación por hidrocarburos en estas zonas y definir acciones de gestión y prevención adecuadas.

Es importante tomar medidas para prevenir y mitigar la contaminación de las quebradas, como el tratamiento adecuado de aguas, la regulación de actividades humanas y la implementación de prácticas sostenibles en la agricultura y la minería y la explotación de hidrocarburos.

Se recomienda realizar monitoreos regulares de la calidad del agua en ambos sitios de muestreo para evaluar la eficacia de las medidas tomadas y detectar cualquier cambio en la calidad del agua.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

Centro de Estudios para el Desarrollo Laboral y Agrario (CEDLA). (2018). La industria petrolera en

Bolivia: entre la renta, la contaminación y la resistencia social. Recuperado de [https://cedla.org/sites/default/files/publicaciones/2018/2018\\_libro\\_petroleo.pdf](https://cedla.org/sites/default/files/publicaciones/2018/2018_libro_petroleo.pdf)

Environment and Climate Change Canada. (2019). Guidelines for Canadian Drinking Water

Quality: Guideline Technical Document – Petroleum Hydrocarbons (PHCs). Recuperado de <https://www.canada.ca/en/health-canada/services/environmental-workplace-health/water-quality/drinking-water/federal-provincial-territorial-committee-drinking-water/canadian-drinking-water-quality-guidelines/guideline-technical-document-petroleum-hydrocarbons-phcs.html>

Gonzáles, R., & Ríos, J. (2021). Plan de manejo del Parque Nacional y Área de Manejo Integrado

Aguaragüe: Propuesta de actualización y ampliación de los límites del área protegida. Tarija, Bolivia: Gobierno Autónomo Departamental de Tarija.

Mamani Q W. Suarez R. N. (2008) Contaminación del agua e impactos por actividad hidrocarburífera

en Aguaragüe. La Paz, Bolivia.

Organización Mundial de la Salud (2010). Chemical hazards in drinking-water - Polycyclic aromatic

hydrocarbons. Recuperado de

[https://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/chemicals/pah/en/](https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chemicals/pah/en/)

- Pardo, R., Sánchez, R., & Llerena, J. (2017). Contaminación del agua por hidrocarburos en la cuenca del río Pilcomayo, Bolivia. *Revista Ciencia y Tecnología*, 14(1), 39-46.
- Sánchez-Adams, J., Zavala-Nevárez, M. J., & Sánchez-Salazar, M. E. (2018). Hydrocarbon pollution in aquatic ecosystems: Sources, effects, and remediation. In *Environmental Risk Assessment of Soil Contamination* (pp. 111-133). Springer, Cham.
- Servicio Nacional de Áreas Protegidas (SERNAP). (2018). Informe Técnico de Evaluación Rápida de la Calidad del Agua en la Quebrada Caigua. Recuperado de <https://www.sernap.gob.bo/wp-content/uploads/2020/06/Informe-Tecnico-de-Evaluacion-Rapida-de-la-Calidad-del-Agua-en-la-Quebrada-Caigua.pdf>
- Villamarín, F., Angulo-Rodríguez, L. F., & Moreno-Quintero, M. (2020). Effects of hydrocarbon contamination on aquatic ecosystems: a review. *Chemosphere*, 261, 127803.
- Villarroel, M. L., & Terrazas, F. (2019). Contaminación de aguas superficiales por hidrocarburos en la región del Chaco boliviano. *Revista de Investigación Académica*, 28, 1-10.