



**UTMACH**

**FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD**

**CARRERA DE INGENIERIA QUIMICA**

**Concentración de Arsénico en sedimentos de ríos contaminados por la actividad minera en el Cantón Santa Rosa, 2023**

**CUENCA NAGUA DAMARIS ESTEFANIA  
INGENIERA QUIMICA**

**MANTILLA CRUZ ERIKA MISHHELL  
INGENIERA QUIMICA**

**MACHALA  
2023**



**UTMACH**

**FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD**

**CARRERA DE INGENIERIA QUIMICA**

**Concentración de Arsénico en sedimentos de ríos contaminados por  
la actividad minera en el Cantón Santa Rosa, 2023**

**CUENCA NAGUA DAMARIS ESTEFANIA  
INGENIERA QUIMICA**

**MANTILLA CRUZ ERIKA MISHHELL  
INGENIERA QUIMICA**

**MACHALA  
2023**



**UTMACH**

**FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD**

**CARRERA DE INGENIERIA QUIMICA**

**TRABAJOS EXPERIMENTALES**

**Concentración de Arsénico en sedimentos de ríos contaminados  
por la actividad minera en el Cantón Santa Rosa, 2023**

**CUENCA NAGUA DAMARIS ESTEFANIA  
INGENIERA QUIMICA**

**MANTILLA CRUZ ERIKA MISHHELL  
INGENIERA QUIMICA**

**GONZALEZ CARRASCO VICTOR HUGO**

**MACHALA  
2023**

# Concentración de Arsénico en sedimentos de ríos contaminados por la actividad minera en el Cantón Santa Rosa, 2023

*por* Damaris Estefania Cuenca Nagua

---

**Fecha de entrega:** 10-oct-2023 11:34a.m. (UTC-0500)

**Identificador de la entrega:** 2191523533

**Nombre del archivo:** TESIS\_-\_VERIFICAR\_PLAGIO.pdf (1.12M)

**Total de palabras:** 10304

**Total de caracteres:** 54972

# Concentración de Arsénico en sedimentos de ríos contaminados por la actividad minera en el Cantón Santa Rosa, 2023

## INFORME DE ORIGINALIDAD

5%

INDICE DE SIMILITUD

5%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

0%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="https://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Fuente de Internet	2%
2	<a href="https://dspace.ups.edu.ec">dspace.ups.edu.ec</a> Fuente de Internet	1%
3	<a href="https://es.scribd.com">es.scribd.com</a> Fuente de Internet	<1%
4	<a href="https://dspace.esPOCH.edu.ec">dspace.esPOCH.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1%
5	<a href="https://dspace.unl.edu.ec">dspace.unl.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1%
6	<a href="https://www.scielo.org.pe">www.scielo.org.pe</a> Fuente de Internet	<1%
7	<a href="https://repository.lib.ncsu.edu">repository.lib.ncsu.edu</a> Fuente de Internet	<1%
8	<a href="https://visorsig.oefa.gob.pe">visorsig.oefa.gob.pe</a> Fuente de Internet	<1%

## CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

Las que suscriben, CUENCA NAGUA DAMARIS ESTEFANIA y MANTILLA CRUZ ERIKA MISHELL, en calidad de autoras del siguiente trabajo escrito titulado Concentración de Arsénico en sedimentos de ríos contaminados por la actividad minera en el Cantón Santa Rosa, 2023, otorgan a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tienen potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

Las autoras declaran que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

Las autoras como garantes de la autoría de la obra y en relación a la misma, declaran que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asumen la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.



CUENCA NAGUA DAMARIS ESTEFANIA

0706114451



MANTILLA CRUZ ERIKA MISHELL

0750183808

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de titulación se lo dedico en primer lugar a mis padres Elva Nagua y Osman Cuenca por apoyarme incondicionalmente y ser mi inspiración para nunca rendirme a pesar de las adversidades. A mis hermanas/os Genesis, Keyra y Zabdiel por su amor incondicional y alegrar mis días cada que llegaba a casa.

A mis abuelitas Dorinda Espinoza y Lila Velepucha por su amor incondicional, sabiduría y apoyo constante. Cada momento que he compartido con ustedes ha sido un tesoro lleno de historias, consejos y cariño.

Finalmente, a mis abuelitos Carlos Cuenca y mi ángel Basilio Nagua, quién desde el cielo siempre me cuida, y a toda mi familia Cuenca Nagua por su cariño, consejos y apoyo durante mi vida y formación universitaria.

**- Damaris Estefania Cuenca Nagua -**

Dedico con infinito cariño y amor este trabajo de investigación a mis padres; Rocío Cruz y Alfredo Mantilla, quienes me han enseñado y han recorrido conmigo este largo camino, desde el día 1.

**- Erika Mishell Mantilla Cruz –**

## AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar a Dios por permitirme culminar mi formación universitaria y brindarme las fuerzas necesarias para no desvanecerme en el proceso. A mi familia que sin ellos no hubiera sido capaz de alcanzar mis metas pues son el pilar fundamental de mi vida.

También agradezco inmensamente a nuestro tutor de tesis el Dr. Víctor Hugo González, al Bqf. Sergio Valverde y al Ing. Quim. Daniel Paucar por guiarnos y contribuir con sus conocimientos a nuestro trabajo de titulación.

Finalmente, a las amistades excepcionales que la vida me ha brindado: Mónica, Erika, Nayeli, Kevin y Eduardo porque sin ellos mi etapa universitaria habría carecido de emoción y significado.

**- Damaris Estefania Cuenca Nagua -**

Agradezco por sobre todas las cosas a Dios, quien ha hecho posible mi vida misma. A mis padres, quienes nunca me han soltado de su mano, ni aún en los momentos más oscuros. Agradezco a mis hermanas; Yadira, Evelyn y Nicole, mis eternas compañeras. A mi bucha, mi abuela hermosa, la mujer que con su sabiduría me ha guiado siempre. Agradezco a mi padrino, William, un tío extraordinario. A mi tía Mayra por su incondicional aprecio. Mi primo Joe, mi hermano de vida por su inmenso afecto y apoyo. A mi enamorado Pablo, por su amor y siempre estar presente.

Agradezco de manera especial al Dr. Víctor Hugo González por ser mi guía durante todo el proceso de tesis. Su constante supervisión fue fundamental para alcanzar este importante logro académico. También deseo expresar mi agradecimiento a Sergio, quien siempre estuvo dispuesto a compartir sus conocimientos en cada etapa de esta investigación.

Para finalizar, a Damaris, Mónica, Kevin y Eduardo por su amistad incondicional a lo largo de esta travesía académica.

**- Erika Mishell Mantilla Cruz -**

## RESUMEN

El objetivo central de este estudio se enfoca en la cuantificación de la concentración de arsénico presente en los sedimentos de ríos que han sido impactados por la actividad minera en la parroquia Bella María, del Cantón Santa Rosa, donde se seleccionaron específicamente los ríos Chico y Birón como sitios de estudio durante los meses de julio y agosto del año 2023. Posteriormente, se efectuó una comparación exhaustiva de los resultados obtenidos con los estándares internacionales de referencia, como los establecidos por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US EPA) y el Consejo Canadiense de ministros del Medio Ambiente (CCME).

Los puntos de muestreo se ubicaron estratégicamente en cuatro diferentes lugares a lo largo del cauce del río Birón; mientras que el quinto punto se localizó en la parte alta del río Chico, este último punto fue tomado como referencia debido a que se estima que posee un bajo grado de contaminación minera por las limitaciones en su accesibilidad.

Es importante mencionar que por cada punto de muestreo se recolectaron tres submuestras de sedimento con una distancia de 50 m entre ellas y una profundidad de 30 cm, esto con la finalidad de generar una muestra compuesta que sea representativa de cada lugar. Posteriormente, las muestras fueron sometidas a un proceso de pretratamiento y almacenadas hasta su posterior análisis.

Durante la experimentación se analizaron los siguientes parámetros fisicoquímicos: pH, conductividad eléctrica y materia orgánica, obteniéndose resultados que resaltan la complejidad de las interacciones entre los factores fisicoquímicos y la concentración de arsénico en los sedimentos, subrayando la necesidad de abordar la contaminación por arsénico en el río Birón para proteger la salud de los ecosistemas acuáticos y de la población local del sitio Caluguro.

Se empleó la espectrofotometría de absorción atómica como técnica analítica para determinar la presencia y concentración de arsénico en las muestras de sedimentos; los resultados obtenidos revelan que todas las muestras analizadas exceden los límites

máximos permisibles establecidos por la normativa internacional de 5,9 mg/Kg en relación al arsénico. En el punto 1 ubicado en el sitio Piriguiña se detectó una concentración promedio de arsénico de 21,45 mg/Kg en el río Birón; lo cual contrasta con el punto 5 del río Chico donde su concentración promedio fue de 6,8 mg/Kg. Por lo anterior expuesto, se puede concluir que la calidad de los sedimentos del río Birón, y en un menor grado del río Chico (punto de referencia), representan un riesgo para los ecosistemas acuáticos y el ser humano.

**Palabras Clave:** Arsénico, sedimentos, parámetros fisicoquímicos, espectrofotometría, absorción atómica, contaminación minera.

## **ABSTRACT**

The central objective of this study focuses on the quantification of the concentration of arsenic present in the sediments of rivers that have been impacted by mining activity in the Bella María parish, in the Santa Rosa Canton, where the Chico and Birón rivers were specifically selected. as study sites during the months of July and August 2023. Subsequently, an exhaustive comparison of the results obtained was carried out with international reference standards, such as those established by the United States Environmental Protection Agency (US EPA). and the Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME).

The sampling points were strategically located in four different places along the Birón River bed; While the fifth point was located in the upper part of the Chico River, this last point was taken as a reference because it is estimated that it has a low degree of mining contamination due to the limitations in its accessibility.

It is important to mention that for each sampling point, three sediment subsamples were collected with a distance of 50 m between them and a depth of 30 cm, with the purpose of generating a composite sample that is representative of each place. Subsequently, the samples were subjected to a pretreatment process and stored until further analysis.

During the experimentation, the following physicochemical parameters were analyzed: pH, electrical conductivity and organic matter, obtaining results that highlight the complexity of the interactions between physicochemical factors and the concentration of arsenic in sediments, underlining the need to address arsenic contamination in the Birón River to protect the health of the aquatic ecosystems and the local population of the Caluguro site.

Atomic absorption spectrophotometry was used as an analytical technique to determine the presence and concentration of arsenic in the sediment samples; The results obtained reveal that all the samples analyzed exceed the maximum permissible limits established by international regulations of 5,9 mg/Kg in relation to arsenic. At point 1 located at the

Piriguiña site, an average arsenic concentration of 21.45 mg/Kg was detected in the Birón River; which contrasts with point 5 of the Chico River where its average concentration was 6.8 mg/Kg. From the above, it can be concluded that the quality of the sediments of the Birón River, and to a lesser extent the Chico River (reference point), represent a risk for aquatic ecosystems and humans.

**Keywords:** Arsenic, sediments, physicochemical parameters, spectrophotometry, atomic absorption, mining contamination.

## ÍNDICE

	Pág.
DEDICATORIA .....	I
AGRADECIMIENTO .....	II
RESUMEN .....	III
ABSTRACT .....	V
ÍNDICE.....	VII
ÍNDICE DE TABLAS .....	X
ÍNDICE DE FIGURAS .....	XI
ÍNDICE DE ANEXOS .....	XII
LISTA DE ABREVIATURAS.....	XIII
INTRODUCCIÓN.....	14
OBJETIVOS .....	16
Objetivo General.....	16
Objetivos Específicos .....	16
HIPÓTESIS .....	16
1.    MARCO TEÓRICO.....	17
1.1    Minería .....	17
1.1.1 Tipos de explotación minera.....	17
1.1.2 Contaminantes generados por la actividad minera. ....	17
1.2    Actividad minera en Ecuador.....	18
1.2.1 Actividad minera en el cantón Santa Rosa. ....	18
1.2.1.1 Plantas de beneficio aurífero.....	19
1.2.1.2 Relaveras.....	19
1.3 Metales como contaminantes en la minería .....	20
1.3.1 Plomo como contaminante en la minería.....	20
1.3.2 Cadmio como contaminante en la minería. ....	20

1.3.3 Mercurio como contaminante en la minería. ....	20
1.3.4 Arsénico como contaminante en la minería. ....	20
1.4 Arsénico .....	20
1.4.1 Tipos de arsénico. ....	21
1.4.1.1 Compuestos metilados de As .....	22
1.4.2 Propiedades fisicoquímicas.....	22
1.4.3 Fuentes y distribución del arsénico.....	23
1.4.3.1 Fuentes naturales de arsénico en el medio ambiente .....	23
1.4.3.2 Fuentes antropogénicas de arsénico y su liberación en la minería .....	23
1.4.3.3 Ciclo Biogeoquímico del Arsénico (As).....	23
1.4.4 Toxicidad. ....	24
1.4.5 Efectos en la salud humana.....	24
1.4.6 Efectos ambientales. ....	26
1.4.7 Efectos en la flora y fauna. ....	26
1.4.8 Acumulación y transporte del arsénico en la cadena alimentaria.....	26
1.5 Métodos de análisis de arsénico en sedimentos fluviales .....	27
1.5.1 Técnicas de muestreo de sedimentos fluviales en ambientes contaminados. ....	27
1.5.2 Métodos analíticos para la determinación de arsénico. ....	28
1.5.2.1 Espectrofotometría de absorción atómica.....	28
1.5.2.2 Espectrometría de Masa con Plasma Acoplado Inductivamente. ....	29
1.6 Normativas nacionales e internacionales. ....	30
1.6.1 A nivel mundial. ....	30
1.6.2 A nivel nacional. ....	31
2.    METODOLOGÍA .....	32
2.1.1 Tipo de investigación.....	32
2.1.2 Identificación de variables. ....	32
2.1.3 Población. ....	32

2.1.4 Muestra .....	32
2.2 Materiales y métodos .....	34
2.2.1 Materiales, reactivos y equipos.....	34
2.2.1.1 Materiales de laboratorio .....	34
2.2.1.2 Equipos .....	34
2.2.1.3 Reactivos.....	35
2.2.1.4 Reactivos.....	35
2.2.2 Métodos .....	35
2.2.2.1 Pretratamiento de sedimentos .....	35
2.2.2.2 Medición de parámetros fisicoquímicos .....	36
2.2.2.3 Digestión ácida asistida por microondas .....	37
2.2.2.4 Determinación de Arsénico .....	39
2.3 Proceso de recolección y análisis de los datos .....	39
2.3.1 Análisis de datos estadístico. ....	39
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN. ....	40
3.1 Análisis fisicoquímicos en muestras de sedimentos. ....	40
3.1.1 pH.....	41
3.1.2 Conductividad eléctrica. ....	42
3.1.3 Materia Orgánica. ....	43
3.2 Concentración de arsénico (mg/Kg) en sedimentos. ....	44
3.3 Comparación con las normas internacionales (CCME y US EPA).....	49
4. CONCLUSIONES .....	50
5. RECOMENDACIONES .....	51
BIBLIOGRAFÍA .....	52
ANEXOS .....	61

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
<b>Tabla 1.</b> Límites máximos permisibles de arsénico en sedimentos, según normativas internacionales. ....	31
<b>Tabla 2.</b> Límites máximos permisibles de arsénico en suelo y agua, según la normativa nacional (TULSMA).....	31
<b>Tabla 3.</b> Coordenadas de los puntos de muestreo. ....	33
<b>Tabla 4.</b> Equipos y métodos usados en los análisis fisicoquímicos. ....	36
<b>Tabla 5.</b> Resultados de parámetros fisicoquímicos de arsénico en sedimentos realizados en los meses de julio y agosto.....	40
<b>Tabla 6.</b> Resultados de concentración de arsénico en sedimentos realizados en los meses de julio y agosto por triplicado. ....	44
<b>Tabla 7.</b> Análisis de Varianza para concentración de arsénico (mg/Kg) en sedimentos. ....	46
<b>Tabla 8.</b> Análisis a posteriori. ....	48

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
<b>Figura 1.</b> Estructura química del arsénico inorgánico y orgánico. ....	21
<b>Figura 2.</b> Ciclo Biogeoquímico del Arsénico .....	24
<b>Figura 3.</b> Efectos de la exposición crónica al arsénico. ....	25
<b>Figura 4.</b> Transporte del arsénico en la cadena alimentaria. ....	27
<b>Figura 5.</b> Componentes de un equipo de absorción atómica. ....	29
<b>Figura 6.</b> Instrumentación básica de un ICP-MS. ....	30
<b>Figura 7.</b> Área de estudio. ....	34
<b>Figura 8.</b> Diagrama de flujo del procedimiento de digestión ácida asistida por microondas para muestras de sedimentos. ....	38
<b>Figura 9.</b> Resultados de pH en sedimentos para los distintos puntos de muestreo. ....	42
<b>Figura 10.</b> Resultados de conductividad eléctrica en sedimentos para los distintos puntos de muestreo. ....	43
<b>Figura 11.</b> Porcentaje de materia orgánica de sedimentos para los distintos puntos de muestreo. ....	44
<b>Figura 12.</b> Concentración de Arsénico entre localidades y periodos de tiempo. ....	47
<b>Figura 13.</b> Comparación de concentraciones. ....	48
<b>Figura 14.</b> Comparación de concentraciones de arsénico. ....	49

## ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
<b>Anexo A.</b> Certificado de acreditación del laboratorio ANAVANLAB y método a utilizar para determinar arsénico en sedimentos.....	61
<b>Anexo B.</b> Resultados de análisis de laboratorio de concentración de arsénico en sedimentos perteneciente al mes de julio.....	62
<b>Anexo C.</b> Resultados de análisis de laboratorio de concentración de arsénico en sedimentos perteneciente al mes de agosto.....	64
<b>Anexo D.</b> Pretratamiento de las muestras de sedimento. ....	67
<b>Anexo E.</b> Determinación de parámetros fisicoquímicos.....	67

## LISTA DE ABREVIATURAS

AAS	Atomic Absorption Spectrophotometry
ANOVA	Análisis de varianza
As	Arsénico
CCME	Canadian Council of Environment Ministers
CE	Conductividad Eléctrica
CQGIS	Canadian guidelines on sediment quality for the protection of aquatic life
ICP-MS	Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry
INIA	Instituto Nacional de Innovación Agraria
LSD	Least significant difference
mg/Kg	Miligramos sobre Kilogramos
MO	Materia orgánica
pH	Potencial de hidrógeno
SAE	Servicio de Acreditación Ecuatoriano
TULSMA	Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente
US EPA	United States-Environmental Protection Agency
$\mu\text{S/cm}$	MicroSiemens/centímetro

## INTRODUCCIÓN

En la presente investigación se aborda un estudio centrado en la evaluación de la concentración de arsénico en ríos de la parroquia Bella María, perteneciente al cantón Santa Rosa de la provincia de El Oro. Los ríos bajo análisis fueron el río Chico y río Birón.

Esta región en particular se caracteriza por ser una zona agrícola y por su intensa actividad minera, plantas de beneficio aurífero que incluyen relaveras, así mismo, existen varios asentamientos de extracción aurífera, principalmente de modo artesanal. que se ha convertido en una fuente económica atractiva para los habitantes locales debido a su accesibilidad y capacidad de generar ingresos significativos.<sup>1</sup>

Sin embargo, estas actividades extractivas mineras-metalúrgicas han traído consigo la contaminación del río Birón, ya que gran parte de estas operaciones se desarrollan en las cercanías de sus orillas. Los ríos en estudios desempeñan un papel fundamental en el suministro de agua tanto para el riego agrícola como para otros usos, lo que amplifica la preocupación sobre la contaminación de sus aguas con metales tóxicos, particularmente el arsénico.

El arsénico, un contaminante habitual en las aguas fluviales debido a la liberación de desechos sin tratamiento adecuado, plantea graves amenazas tanto para los ecosistemas acuáticos como para la salud humana. Su toxicidad conlleva riesgos significativos, ya que puede ser ingerido accidentalmente a través del consumo de agua no tratada o al ser absorbido por los cultivos circundantes.

El objetivo de este trabajo investigativo es cuantificar la concentración de arsénico en sedimentos de ríos contaminados del cantón Santa Rosa, utilizando el método analítico “espectrofotometría de absorción atómica”. A través de lo cual se podrá establecer el nivel de afectación de los ríos en mención, pues, las implicaciones que tiene la minería local (dada principalmente en su forma artesanal e ilegal) en las comunidades aledañas.

Además, se espera que esta investigación promueva una mayor conciencia sobre los riesgos asociados con la contaminación por arsénico y fomente la adopción de prácticas mineras más sostenibles y responsables.

Los sedimentos de los ríos resultan de gran interés en la investigación, por ello en este estudio el análisis químico descrito anteriormente se aplica a muestras de los sedimentos de los ríos referidos. Los sedimentos contienen los metales pesados que se depositan en el fondo de las aguas, luego que estas son contaminadas con desechos tóxicos de las actividades mineras. Los metales de los sedimentos se liberan en las aguas, afectando a la vida que en ellas se desarrolla, generando complicaciones en la estabilidad del ecosistema acuático.<sup>2</sup>

Para este trabajo de investigación se ha adoptado la metodología comparativa y descriptiva. Por consiguiente, se efectuará comparaciones entre los distintos resultados de los niveles de arsénico obtenidos, y las normativas correspondientes y sus niveles máximos permisibles. Del mismo modo describiremos, mediante análisis minucioso, el nivel de afectación real en las zonas de estudio.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo General**

Cuantificar la concentración de arsénico en sedimentos de ríos contaminados del cantón Santa Rosa, mediante espectrofotometría de absorción atómica para establecer el nivel de afectación por arsénico.

### **Objetivos Específicos**

- Evaluar las propiedades fisicoquímicas de las muestras de sedimentos extraídas de los ríos Chico y Birón.
- Determinar la concentración de arsénico en los sedimentos de ríos afectados por contaminación minera a través de la aplicación del método de espectrofotometría de absorción atómica.
- Comparar los valores de concentración de arsénico obtenidos con los límites máximos permisibles establecidos por las normativas internacionales.

## **HIPÓTESIS**

Se postula que la actividad minera-metalúrgica en el Cantón Santa Rosa guarda una relación directa con la concentración de arsénico en los sedimentos de los ríos en estudio del cantón santa rosa.

## CAPITULO I

### 1. MARCO TEÓRICO

#### 1.1 Minería

La minería se define como el conjunto de actividades técnicas, económicas y sociales involucradas en la extracción, procesamiento y comercialización de minerales y recursos geológicos valiosos presentes en la corteza terrestre. Esta actividad abarca desde la identificación y evaluación de yacimientos minerales hasta la obtención de productos útiles a través de métodos que pueden variar desde la extracción a cielo abierto hasta la explotación subterránea, impactando diversos aspectos del entorno natural y humano.<sup>3</sup>

*1.1.1 Tipos de explotación minera.* Según el banco central del Ecuador, las explotaciones mineras se pueden realizar por los siguientes tipos: Minería subterránea, minería de superficie, minería por paredones, minería submarina o dragado y minería fluvial.<sup>4</sup>

- Minería subterránea. Se realiza la explotación en el interior de la tierra, formando túneles horizontales o verticales.<sup>4</sup>
- Minería de superficie. Esta actividad se puede efectuar en la superficie de la tierra donde los minerales se encuentren a pocas profundidades.<sup>5</sup>
- Minería por paredones. Procedimiento en el que se crean niveles hacia abajo conforme avanza la excavación para su posterior obtención de minerales.<sup>4</sup>
- Minería submarina o dragado. Este trabajo se lo realiza bajo el océano o también en ríos.<sup>4</sup>
- Minería fluvial. Es realizada de forma más rápida y sin grandes inversiones, por lo cual es muy acogida por los mineros artesanales, no obstante, este tipo de minería causa diversos efectos negativos medioambientales al modificar las características hidráulicas y geométricas de los ríos de la zona de extracción, lo que resulta en un desequilibrio entre sedimentos transportados y capacidad de transporte natural de la corriente del río.<sup>6</sup>

*1.1.2 Contaminantes generados por la actividad minera.* Efectos adversos que se generan por la acción minera, involucrando procesos como la eliminación de bosques, la degradación del suelo, la polución y las modificaciones en las características de la tierra, la afectación de arroyos y zonas húmedas cercanas, así como un incremento en los niveles de ruido, partículas en suspensión y emisiones. Además, el cierre de minas, el

desmantelamiento y la reutilización pueden acarrear consecuencias medioambientales considerables similares, como la contaminación de las aguas y del suelo.<sup>7</sup>

## **1.2 Actividad minera en Ecuador**

En Ecuador se encuentran tres tipos de minería: artesanal, pequeña y mediana minería. La actividad minera artesanal se lleva a cabo en diversas regiones del país, siendo aplicada en gran medida en lechos fluviales. En cuanto a la pequeña minería, que representa a pequeñas empresas constituidas, se efectúa haciendo uso de equipos y maquinarias pero que no requieren tecnología de punta a gran escala. La mediana minería, por su parte, se ejecuta con mayor tecnología haciendo uso de equipos y maquinaria altamente sofisticada, así también involucra un alto número de personal. De estos tipos de minería, la minería artesanal representa la actividad de mayor aplicación, de acuerdo al número de explotaciones.<sup>8</sup>

La contaminación ambiental es una problemática que afecta gravemente a diversas zonas de Latinoamérica, principalmente por sus actividades económicas extractivistas de recursos minerales. En Ecuador, no siendo distinta la situación; la minería representa una fuente antrópica significativa de contaminación en el ambiente, fundamentalmente por aplicaciones ilegales de minería y ausencia de regulaciones estrictas en el control de la misma.

*1.2.1 Actividad minera en el cantón Santa Rosa.* En el cantón Santa Rosa, la actividad minera constituye la principal fuente económica de la provincia de El Oro, desarrollándose labores de extracción de material rocoso para la obtención de oro, plata y otros metales preciosos.<sup>9</sup>

La actividad minera en este cantón se efectúa a nivel artesanal, pequeña y mediana explotación. Siendo la minería artesanal la más atractiva entre los locales, puesto que no demanda de grandes inversiones económicas y se obtienen rentas considerables. Así también debido a la fácil aplicación de una extracción artesanal, esta ha constituido una rápida propagación de zonas contaminantes.<sup>10</sup>

Son diversas las regiones donde se han instalado grupos y empresas de extracción aurífera, siendo representativas las zonas aledañas a las cuencas hídricas, generando un grave impacto ambiental en ríos, lagunas, acequias y vertientes.<sup>1</sup>

*1.2.1.1 Plantas de beneficio aurífero.* Las plantas de beneficio aurífero, instalaciones industriales altamente especializadas, están diseñadas para llevar a cabo el procesamiento de minerales auríferos a una escala mediana o grande. Este proceso se centra en la extracción y concentración del oro contenido en el mineral extraído de la mina, empleando una gama diversificada de técnicas físicas, químicas y metalúrgicas. El objetivo primordial es la separación de los minerales valiosos, especialmente el oro, de los materiales no deseados presentes en la roca madre.<sup>11,12</sup>

El proceso de beneficio de minerales auríferos involucra múltiples etapas, que pueden abarcar desde la trituración y molienda hasta la flotación, cianuración, lixiviación y otras técnicas especializadas. Estas fases de procesamiento generan residuos sólidos finos, denominados relaves, que contienen partículas residuales y productos químicos utilizados en el proceso.<sup>11</sup>

La operación de las plantas de beneficio aurífero plantea una problemática significativa relacionada con la generación masiva de relaves, representa una fuente de contaminación ambiental e hídrica con un impacto adverso en la salud de la población.<sup>11</sup>

*1.2.1.2 Relaveras.* Las relaveras, estructuras de almacenamiento especialmente concebidas para albergar y gestionar los relaves generados en las plantas de beneficio aurífero, desempeñan un papel crucial en la gestión de los residuos de la minería aurífera. Estos depósitos de relaves se caracterizan por la acumulación de materiales sólidos finos resultantes del proceso de extracción y procesamiento de minerales auríferos, cuya composición sedimentaria varía notablemente en función de la naturaleza del mineral y las técnicas metalúrgicas aplicadas.<sup>11</sup>

El principal desafío vinculado a las relaveras radica en la excesiva acumulación de residuos sólidos, lo que conlleva un uso extensivo de tierras y recursos. A esto se suma la preocupación por la presencia de minerales pesados, como arsénico y cianuro, en los relaves, planteando un riesgo palpable de contaminación ambiental e hídrica. La filtración de las aguas residuales provenientes de los relaves y su posterior desembocadura en cursos de agua pueden ocasionar daños ambientales sustanciales, constituyendo una amenaza directa para la salud de la población y los ecosistemas adyacentes.<sup>11</sup>

### **1.3 Metales como contaminantes en la minería**

La potencial presencia de minerales durante el procesamiento de extracciones de minas conlleva a una peligrosa contaminación en las proximidades por metales pesados, entre los que destacan son el Plomo, Cadmio, Mercurio y Arsénico.<sup>13</sup>

*1.3.1 Plomo como contaminante en la minería.* El plomo (Pb) es un elemento altamente tóxico, se libera durante la extracción de minerales causando daños tanto para la salud humana como para los ecosistemas, inclusive en niveles de concentración reducidos.<sup>14</sup> Generalmente el (Pb) se acumula en plantas con sistemas radiculares y se absorbe en mayores proporciones por personas cuyas dietas presentan carencias nutricionales.<sup>15</sup>

*1.3.2 Cadmio como contaminante en la minería.* El Cadmio (Cd), es un metal resultante de la extracción de otros minerales como plomo, cobre o zinc, debido a que se libera al medio ambiente durante el procesamiento de las fuentes naturales de estos elementos. Está relacionado con daños ambientales y afectaciones a largo plazo en la cadena alimenticia.<sup>16</sup> En la salud humana puede producir cáncer, daño pulmonar, irritación estomacal y huesos frágiles.<sup>17</sup>

*1.3.3 Mercurio como contaminante en la minería.* El mercurio (Hg) es un metal líquido muy tóxico que puede estar presente de forma orgánica e inorgánica. Se lo emplea para la minería de Oro y Plata tanto para la artesanal y de pequeña escala, siendo liberado en forma de vapor al aire y a cuerpos de agua que se encuentren cercanos.<sup>18</sup>

*1.3.4 Arsénico como contaminante en la minería.* El Arsénico (As) es un metal que causa contaminación por su liberación no deseada al medio ambiente durante las actividades mineras. Es peligroso en concentraciones elevadas, puede afectar la calidad del agua, así mismo puede contaminar suelos y sedimentos.<sup>19</sup>

### **1.4 Arsénico**

El Arsénico (As) es un elemento metálico que se lo puede encontrar en diferentes estados de oxidación, por ejemplo: elemental (0), arsenito (III), arseniuros (-III) y arseniato (V); hallándose principalmente como arseniato o arsenito.<sup>20</sup>

Este metal se encuentra ampliamente distribuido por todo el planeta, proviniendo en gran porcentaje de fuentes naturales como: suelos, aguas, rocas y organismos orgánicos. Y otro

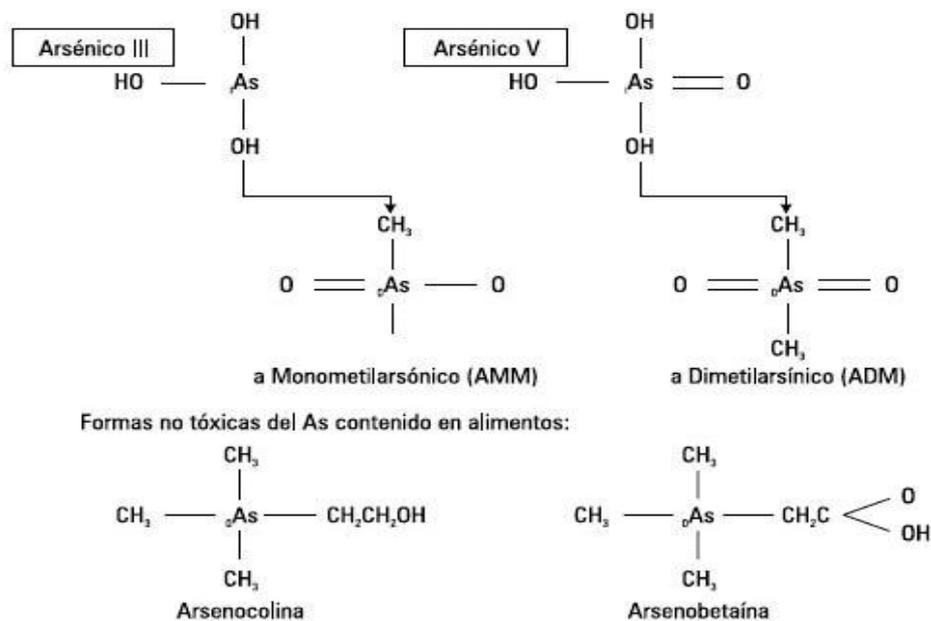
porcentaje de efectos antropogénicos, teniendo éste un gran incremento a través del desarrollo industrial de las ciudades.<sup>20</sup> El arsénico es también uno de los metales considerados de alta toxicidad, principalmente en su forma soluble como el arseniato y el arsenito.<sup>20</sup> Encontrándose estudios que indican al arseniato como uno de los principales contaminantes del agua, siendo utilizadas las nanopartículas de óxido de cobre (CuO) como adsorbentes para su eliminación.<sup>21</sup>

1.4.1 Tipos de arsénico. Los tipos de arsénico se dividen en orgánico e inorgánico:

- **Orgánicos:** son menos tóxicos que los inorgánicos, por lo general se lo encuentra en los alimentos.<sup>22</sup> Por ejemplo, la arsenopirita.<sup>20</sup>
- **Inorgánicos:** resulta el más tóxico y se da por ayuda geológica y aparece principalmente en aguas, aunque también se pueden presentar por el uso de plaguicidas. Por ejemplo, el arsenito y arseniato.<sup>22</sup>

En la figura 1, se observa la clasificación del arsénico (orgánico e inorgánico).

**Figura 1.** Estructura química del arsénico inorgánico y orgánico.



Adaptado de: Moyer TP, Testing for arsenic, Mayo Clin Proc, 1993;68:1210-1.

**Fuente:** <sup>23</sup>.

*1.4.1.1 Compuestos metilados de As.* El arsénico se encuentra principalmente de forma inorgánica (arsenito y arseniato) en los ambientes acuáticos; sin embargo, estos compuestos pueden experimentar un proceso de biotransformación en organismos acuáticos. Esta biotransformación implica la conversión del arsénico inorgánico en formas metiladas, entre las que se incluyen la arsenocolina y la arsenobetaina. Estos metabolitos metilados suelen exhibir una menor toxicidad o, en algunos casos, carecen de toxicidad en comparación con las formas inorgánicas de arsénico.<sup>24</sup>

Además, es relevante mencionar que entre las formas de arsénico orgánico metilado se encuentra el ácido monometilarsénico y ácido dimetilarsénico. Estos compuestos son producidos por diversos organismos acuáticos como el fitoplancton, bacterias y microalgas.<sup>24</sup>

*1.4.2 Propiedades fisicoquímicas.* Se lo puede encontrar en distintos estados de oxidación, como: elemental (0), trivalente (-3, +3) y pentavalente (+5). Tiene la capacidad de involucrarse en varias reacciones químicas y también en biológicas, no siendo excepción las reacciones de ácido-base, oxidación-reducción, desmetilación y metilación. Presenta un número atómico de 33. Y su peso atómico es de 74.921 g/mol. La mayor parte de los compuestos de arsénicos son de color blanco. No presentan olor ni sabor alguno en el ambiente.<sup>25</sup>

El estado de oxidación del arsénico elemental o también conocido como arsénico metálico, es característico por su tonalidad gris acero y por ser un material sólido, con una densidad de 5.73 g/cm<sup>3</sup>; al estar en presión atmosférica se sublima a una temperatura de 615°C.<sup>25</sup>

Este metal al combinarse con elementos como el azufre, cloro y oxígeno llegan a formar parte del grupo de arsénico inorgánico, siendo el arsenito y arseniato las formas más frecuentes en este estado; en cambio, cuando el arsénico se combina con hidrógeno y carbono forman parte del grupo de arsénico orgánico, siendo el ácido monometilarsénico, ácido dimetilarsénico, arsenopirita y arsenobetaina las formas más frecuentes en este último estado.<sup>25</sup>

### *1.4.3 Fuentes y distribución del arsénico*

*1.4.3.1 Fuentes naturales de arsénico en el medio ambiente.* La liberación de arsénico al suelo y al agua es resultado de procesos como la erosión, la disolución y la acción de la intemperie. La problemática de aguas subterráneas aluviales ricas en arsénico es un fenómeno global. Este elemento, de manera natural, está presente en trazas en el océano, el suelo, los alimentos y el aire. De hecho, su concentración media en la corteza terrestre se sitúa en torno a 1,5 a 5 mg/kg. Su presencia se manifiesta de manera variable en diversas concentraciones en rocas, sedimentos no consolidados y suelos. Las concentraciones de arsénico en los suelos varían entre 0,1 mg/kg y 40 mg/kg, mientras que en las rocas ígneas su presencia también está determinada por su concentración característica.<sup>26</sup>

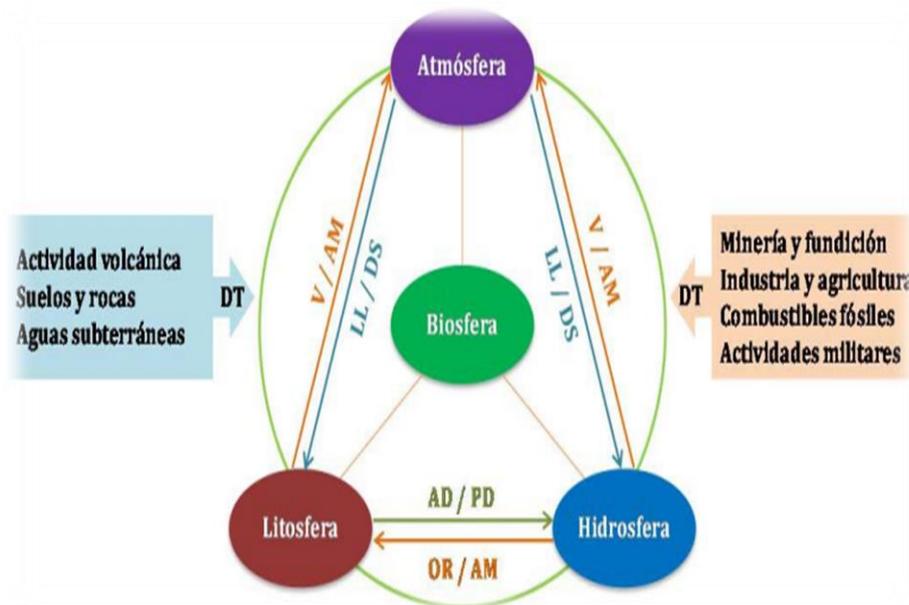
*1.4.3.2 Fuentes antropogénicas de arsénico y su liberación en la minería.* Actividades como la minería, la agricultura, el uso de químicos volátiles, acumulación de basura, etc., proporcionan grandes cantidades de arsénico hacia los suelos y fuentes hídricas.<sup>27</sup> El aire es una fuente potencial de exposición al As en áreas industriales principalmente debido a la emisión de partículas en el aire de la fundición de minerales y la combustión del carbón.<sup>28</sup>

*1.4.3.3 Ciclo Biogeoquímico del Arsénico (As).* El arsénico presente en el medio ambiente es considerado como un contaminante debido a su fácil movilización y alta toxicidad, aunque su concentración varía dependiendo de los factores geológicos y meteorológicos. Este metaloide a nivel de trazas puede ser transportado ya sea en estado gaseoso, disuelto o sólido por cuerpos de agua, suelo y aire. Esta distribución dependerá de su forma química, entre los cuales el As (III) y As (V) se consideran extremadamente solubles por lo que en medios acuosos se distribuyen con facilidad. De esta manera puede entrar a la cadena alimentaria debido a la absorción por medio de cultivos y plantas.<sup>29</sup>

Diversos microorganismos como hongos, levaduras y bacterias intervienen en este proceso del ciclo del arsénico ya que puede transformar el As (III) a As (V) y viceversa como un método de defensa.<sup>20</sup> En la figura 2 se puede observar el diagrama del ciclo biogeoquímico del arsénico indicando su distribución y emisión, ya sea por: actividad microbiana (AM), lluvia (LL), en forma gaseosa; volátil (V), deposición seca (DS),

adsorción-desorción (AD), precipitación-disolución (PD), oxidación-reducción (OR), descarga-transporte (DT).

**Figura 2.** Ciclo Biogeoquímico del Arsénico



**Fuente:** <sup>29</sup>.

*1.4.4 Toxicidad.* La toxicidad del arsénico está configurada en gran medida en consideración de la forma en que está presente el elemento, además de otras variables como la dosis y tiempo de exposición, el estado biológico y genético del individuo, comorbilidades (ocurre cuando un individuo posee dos o más enfermedades simultáneamente) y también por factores de nutrición.<sup>30</sup>

El efecto toxicológico está mediado por la metilación del arsénico que deriva en la formación de principios activos que actúan sobre el organismo. Estos principios activos o metabolitos dependen del estado de valencia, por cuanto su liberación, absorción, distribución y metabolismo variará en cada forma en que actúe.<sup>30</sup>

*1.4.5 Efectos en la salud humana.* El uso de agroquímicos, aerosoles, fungicidas, insecticidas, los desechos de la industria minera, de construcción, textil, de pinturas, alimentos procesados y ultra procesados, medicamentos, y un sinnúmero de químicos nocivos generan una alta exposición al arsénico. Considerándose la ingesta de aguas y alimentos como la forma de exposición más común.<sup>30</sup>

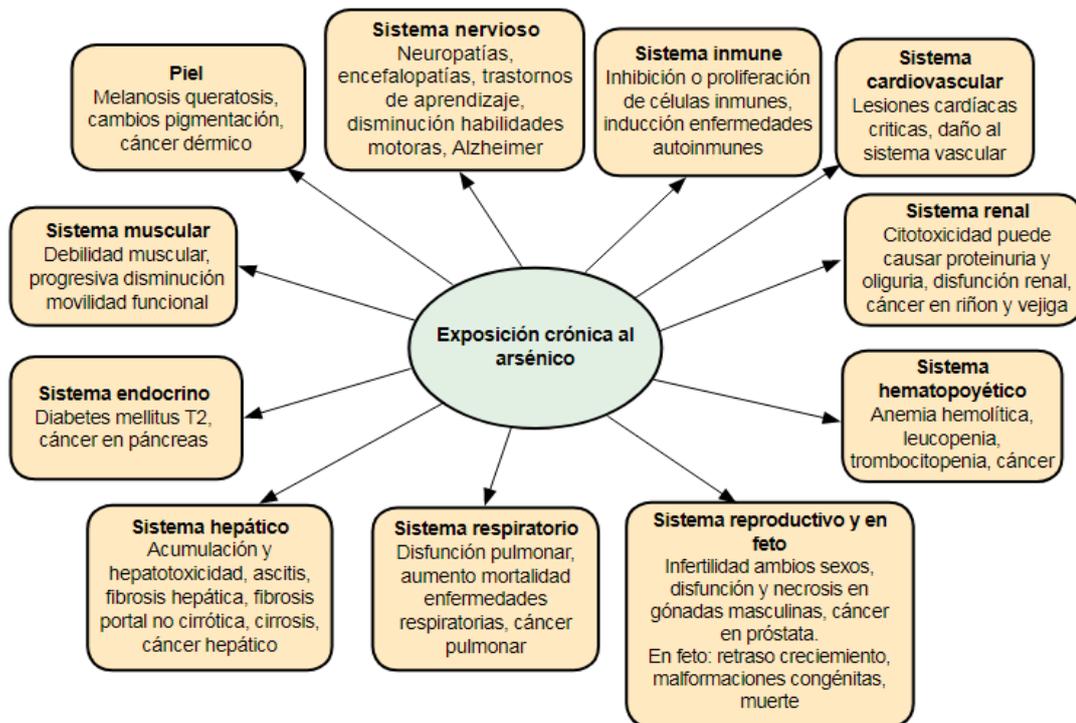
A nivel alimentario, el alto consumo de mariscos genera una importante exposición al arsénico, principalmente del consumo de pescados. El impacto del metal en la salud humana, a través de la exposición por consumo de pescado depende de la forma del arsénico y del tipo de pescado que se consuma.<sup>31</sup>

Una vez que el arsénico ha sido ingerido, se somete a un proceso de metabolización en el hígado, donde el glutatión actúa como cofactor esencial y la S-adenosilmetionina (SAM) como donante de grupos metilo. Esto da lugar a la formación del ácido monometilarsénico y ácido dimetilarsénico, los cuales no son perjudiciales y se excretan rápidamente a través de la orina.<sup>32</sup> Por consiguiente, la eficiencia de la metilación está directamente relacionada con las concentraciones de As ingeridas. En otras palabras, una menor eficiencia en la metilación se ha asociado con los efectos adversos del arsénico en la salud.

La ingesta de aguas contaminadas con este metal produce daños irreversibles a nivel neuronal, estomacal, hepático, cardiovasculares, renales y respiratorios. Estableciéndose el arsénico como un metal altamente carcinógeno, causante de tumores en pulmones y piel.<sup>33</sup>

En la figura 3 se muestra los efectos de la exposición crónica al arsénico:

**Figura 3.** Efectos de la exposición crónica al arsénico.



**Fuente:** <sup>30</sup>

*1.4.6 Efectos ambientales.* A nivel ambiental el arsénico produce grandes impactos negativos, sobre todo en cuencas hidrográficas. El arsénico degenera la composición biológica de las aguas, afectando gravemente su disponibilidad como un recurso óptimo.<sup>34</sup> Generando de este modo un gran impacto sobre la vida que se desarrolla en la naturaleza, tanto de plantas como de animales.<sup>27</sup>

*1.4.7 Efectos en la flora y fauna.* El arsénico contenido en las aguas subterráneas contaminadas se convierte en la principal fuente de exposición de los animales a este metal. En regiones impactadas por la presencia de (As), el ganado enfrenta niveles tóxicos de esta sustancia que son comparables a los que afectan a los seres humanos. Además del suministro de agua potable, las materias primas utilizadas en la alimentación animal también constituyen una fuente de arsénico en áreas donde la contaminación está presente.<sup>35</sup>

Un amplio espectro de animales, cuidados por individuos que conviven con la presencia de este metal tóxico, consumen agua potable, pasturas, alimentos, vegetales y cultivos de arroz que contienen niveles de este metal. La significativa cantidad ingerida puede permanecer en la sangre, la orina, los excrementos, el pelo y los tejidos de estos animales.<sup>35</sup>

Cuando el ganado se ve afectado, la contaminación ambiental por (As) se manifiesta a través del uso tanto doméstico como agrícola de los desechos orgánicos. Los animales, al habitar en zonas contaminadas con arsénico, se encuentran expuestos a esta sustancia.<sup>35</sup>

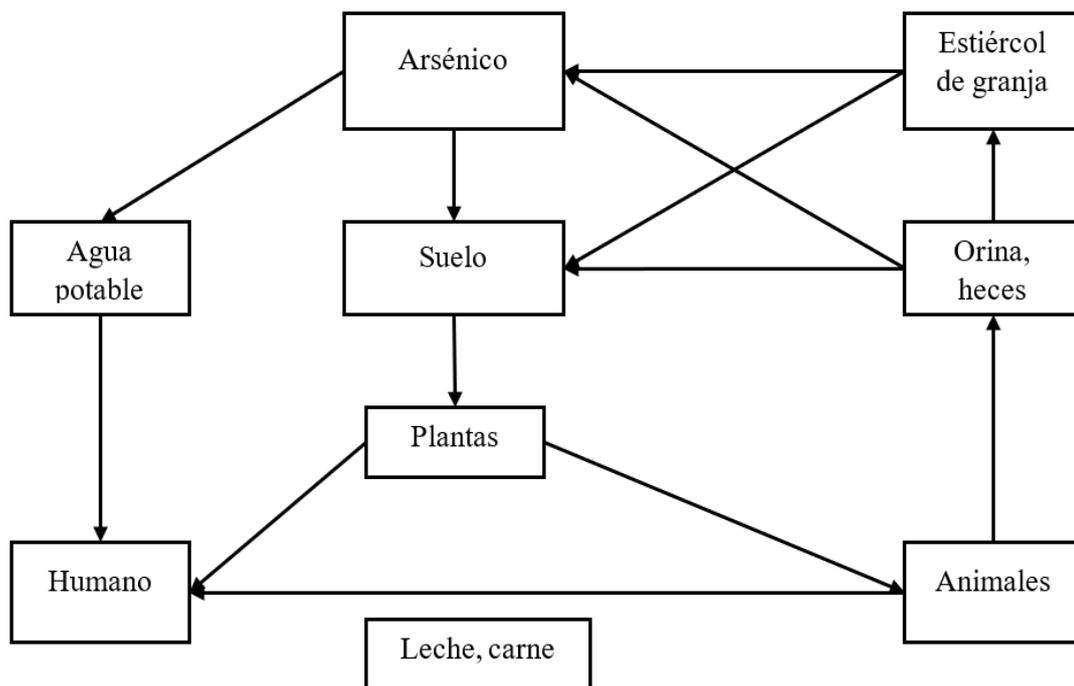
Es crucial tener en cuenta que la exposición del ganado al (As) tiene consecuencias no solo para la salud animal, sino que también contribuye a la contaminación ambiental en estas áreas afectadas por la presencia de esta sustancia.<sup>35</sup>

*1.4.8 Acumulación y transporte del arsénico en la cadena alimentaria.* El arsénico (As) tiene la capacidad de infiltrarse en la cadena alimentaria, lo que da lugar a una dispersión generalizada en tanto el mundo vegetal como el animal.<sup>35</sup> Este metal acumulado en la basura de las aves de corral entra directamente en el campo agrícola por su uso como fertilizante. Las contaminaciones arsénicas a través de carne animal y el residuo de (As) también se ha transmitido en los tejidos animales, como en la leche, carne de aves de corral, el huevo, el pescado, los camarones y los bivalvos en todo el mundo. Roxarsona (ROX) y Nitarsona son aditivos de alimentación basados en arsénico ampliamente

incorporados en la alimentación de las aves de corral. Los informes han demostrado que las aves de corral (pollos y patos) criadas en áreas contaminadas con (As) y el uso de alimentos ricos en arsénico provocan la acumulación de este metal en la carne de las aves y en los huevos.<sup>36</sup>

En la figura 4 se muestra un diagrama esquemático del transporte del arsénico en la cadena alimentaria:

**Figura 4.** Transporte del arsénico en la cadena alimentaria.



**Fuente:** <sup>35</sup>

## 1.5 Métodos de análisis de arsénico en sedimentos fluviales

*1.5.1 Técnicas de muestreo de sedimentos fluviales en ambientes contaminados.* El muestreo tiene la finalidad de extraer una muestra representativa que represente adecuadamente al material del que proviene; evitando que sufra alteraciones durante el proceso.<sup>37</sup>

La metodología de referencia adecuada para el muestreo de sedimentos fluviales es la norma ISO 5667-12: Calidad del agua. Muestreo. Parte 12 - Orientación sobre el muestreo de sedimentos del fondo de ríos, lagos y estuarios.<sup>38</sup>

Esta norma se fundamenta y detalla acerca del muestreo de sedimentos no consolidados, los cuales pueden ser obtenidos de dos tipos de ambientes como el límnic que proviene de ríos, arroyos y lagos; y el estuario que incluye puertos. Con la finalidad de que posteriormente puedan ser sometidos a análisis físicos, químicos o microbiológicos.<sup>38</sup>

El muestreo de sedimentos fluviales debe cumplir con los criterios que se detallan a continuación:<sup>37,39</sup>

- Los recipientes e instrumentos de muestreo deben estar totalmente pulcros para evitar contaminaciones de la muestra.
- El muestreo debe realizarse a contracorriente para impedir que se perturben los sedimentos.
- La masa de sedimento a recoger debe ser de aproximadamente 3 Kg.
- El tamaño de partícula debe ser pequeña para facilitar los análisis posteriores.

*1.5.2 Métodos analíticos para la determinación de arsénico.* Entre los métodos analíticos más usados para detectar metales pesados como arsénico, plomo, cadmio en muestras ambientales están la Espectrofotometría de Absorción atómica (AAS) y la Espectrometría de Masa con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-MS).<sup>40</sup> Por tal razón, sus generalidades se detallan a continuación:

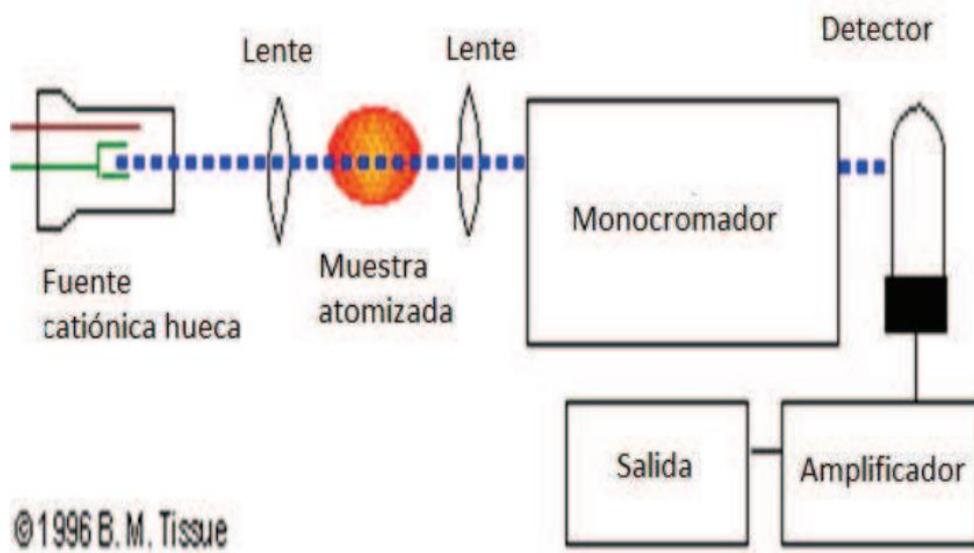
*1.5.2.1 Espectrofotometría de absorción atómica.* Técnica utilizada para cuantificar la concentración de aproximadamente 60 elementos metálicos, generalmente en unidades de ppm, µg/ml o ng/ml.<sup>41</sup>

Es un método de alta precisión para determinar metales pesados pues presenta un mayor límite de detección que otros métodos como la espectrometría de masas de plasma acoplado inductivamente (ICP-MS) y la espectrometría de absorción atómica en horno de grafito (GF-AAS).<sup>42</sup> Además, entre sus otras ventajas destacan que es simple, barato y rápido al proporcionar resultados en tan solo 10-15s por muestra.<sup>43,44</sup>

Sin embargo, este método también presenta algunos inconvenientes pues posee un nebulizador de baja eficiencia esto debido a que solo una escasa fracción de la muestra tiene contacto con la llama, y posteriormente, la muestra atomizada permanece un corto período de tiempo en la trayectoria de la luz.<sup>41,42</sup>

El espectrómetro de absorción atómica (AAS) consta de una fuente catiónica hueca (específica para cada elemento que se requiera analizar), un atomizador de llama de aire-acetileno cuya función es suministrar energía para disociar y producir átomos excitados del analito, un monocromador usado para elegir una longitud de onda de la radiación, un detector sensible a la radiación emitida por el monocromador, y un amplificador que aumente la señal para finalmente registrar las lecturas del analito.<sup>45</sup> Lo descrito anteriormente se ilustra en la figura 5 que se muestra a continuación.

**Figura 5.** Componentes de un equipo de absorción atómica.

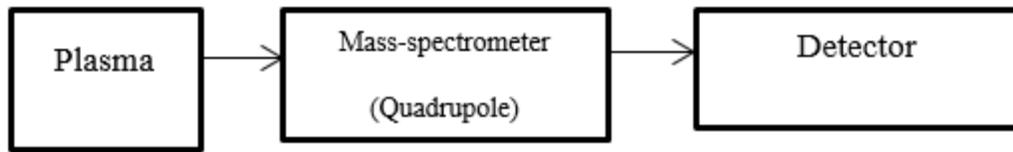


**Fuente:** <sup>45</sup>.

*1.5.2.2 Espectrometría de Masa con Plasma Acoplado Inductivamente.* Es un método rápido y sensible muy utilizado para determinar una variedad de elementos, incluyendo tierras raras, y metales preciosos.<sup>46</sup> La característica más relevante y que lo diferencia de otras técnicas como la AAS es su capacidad para analizar cuantitativamente varios elementos a la vez en un tiempo aproximado de 1 minuto por muestra.<sup>47</sup>

En la figura 6 se evidencia su instrumentación básica la cual consta de una fuente de plasma de argón cuya función es disociar los átomos de la muestra a tratar, un espectrómetro de masas cuádruple encargado de aislar los átomos de acuerdo a su masa y carga atómica; y un detector de iones metálicos.<sup>44</sup>

**Figura 6.** Instrumentación básica de un ICP-MS.



**Fuente:** <sup>44</sup>.

## 1.6 Normativas nacionales e internacionales.

*1.6.1 A nivel mundial.* Existen organismos reconocidos internacionalmente que velan por la protección de la salud pública y el medio ambiente, brindando diagnósticos para el control y la prevención de enfermedades, como la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (USEPA) y el Consejo Canadiense de Ministros de Medio Ambiente (CCME).<sup>48</sup>

Por su parte, la USEPA estableció en el año 2002 alrededor de 190 parámetros de calidad para sedimentos correspondientes a sustancias tóxicas y bioacumulativas, como el As, Cd y Cu, con la finalidad de establecer indicadores que nos permitan evaluar la salud del ecosistema acuático.<sup>49</sup>

En el año 1999 el CCME estableció las “directrices canadienses sobre la calidad de los sedimentos para la protección de la vida acuática” (CQGIS por sus siglas en inglés) con el propósito de proteger la vida acuática tanto de cuerpos de agua dulce como salada, siendo aplicables en la totalidad de su ciclo de vida acuático, sin restricción temporal, cuando existe exposición a sustancias presentes en los sedimentos del lecho.<sup>50</sup>

El arsénico, es uno de los parámetros fisicoquímicos evaluados de más relevancia, al ser considerado una sustancia química de gran toxicidad para la salud pública<sup>51</sup>; por tal razón, ambas instituciones, han establecido concentraciones límites de referencia para el As de 5.9 mg/Kg.<sup>52</sup>

En la tabla 1 se detallan los límites máximos permisibles de arsénico en sedimentos, según las normativas mencionadas anteriormente.

**Tabla 1.** Límites máximos permisibles de arsénico en sedimentos, según normativas internacionales.

<b>Normativa Internacional</b>	<b>Límite máximo permisible</b>	<b>Unidades</b>
USEPA	5,9	mg/Kg
CCME	5,9	mg/Kg

**Fuente:** <sup>53, 49</sup>.

*1.6.2 A nivel nacional.* Ecuador no dispone de una normativa nacional que regule la concentración de arsénico en sedimentos; por ende; esta limitación obliga al uso de la normativa nacional indicada en el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA) para los recursos agua y suelo, en sus Anexo 1 y 2 del Libro VI, respectivamente.<sup>54</sup> En la tabla 2 se detallan los límites máximos permisibles de arsénico en suelos y agua.

**Tabla 2.** Límites máximos permisibles de arsénico en suelo y agua, según la normativa nacional (TULSMA).

<b>Tabla</b>	<b>Límite máximo permisible de arsénico</b>	<b>Unidad</b>
Tabla 1. Criterios de calidad del suelo. Pág. 118	12	mg/Kg
Tabla 3. Criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuarios. Pág. 89	0,05	mg/L

**Fuente:** <sup>54</sup>.

## CAPÍTULO II

### 2. METODOLOGÍA

#### 2.1 Sujetos o unidades de análisis

*2.1.1 Tipo de investigación.* El presente trabajo de investigación adopta un enfoque comparativo y descriptivo. La naturaleza comparativa permite analizar la variación de los niveles de arsénico en sedimentos de diferentes puntos de muestreos en los ríos y que han sido afectadas por la actividad minera en el cantón Santa Rosa, y comparar con los niveles máximos permisibles dados por la normativa reguladora a nivel internacional, que indica un valor máximo de 5,9 mg/kg.

Por otro lado, la metodología descriptiva es esencial para proporcionar una caracterización detallada de los niveles de arsénico y contextualizar la magnitud de la afectación.

*2.1.2 Identificación de variables.* Se tomaron en cuenta las siguientes variables:

##### **Variables independientes**

- Ubicación geográfica
- Tiempo

##### **Variables dependientes**

- Concentración de Arsénico
- Parámetros fisicoquímicos (materia orgánica, pH, conductividad).

*2.1.3 Población.* El presente trabajo experimental se llevó a cabo en la parroquia Bella María perteneciente al Cantón Santa Rosa de la provincia de El Oro.

Se prospectaron áreas en:

- Balneario Piriguiña
- Balneario Los Tillos
- Río Birón
- Río Chico

*2.1.4 Muestra.* Los sedimentos recolectados para el trabajo experimental se desarrollaron de forma conjunta en el mes de julio del 2023, con la Universidad Técnica Particular de

Loja y la UTMACH en el proyecto “Estudio del desempeño en el laboratorio de filtros a base de materiales lignocelulósicos, adsorbente de cadmio en suelo” que se encuentran desarrollando, y en el mes de agosto 2023, los puntos de muestreo se realizaron en dos ríos del cantón Santa Rosa, los primeros cuatros puntos a lo largo del río Birón y el punto cinco como referencia en la parte alta del río Chico en la captación de agua. (Tabla 3).

Es importante mencionar que por cada punto de muestreo se recolectaron tres submuestras de sedimento a una profundidad de 30 cm con una distancia de 50 m entre ellas, empleando un muestreador de sedimentos de ríos, seguidamente estas se homogeneizaron en una funda ziploc con cierre hermético.

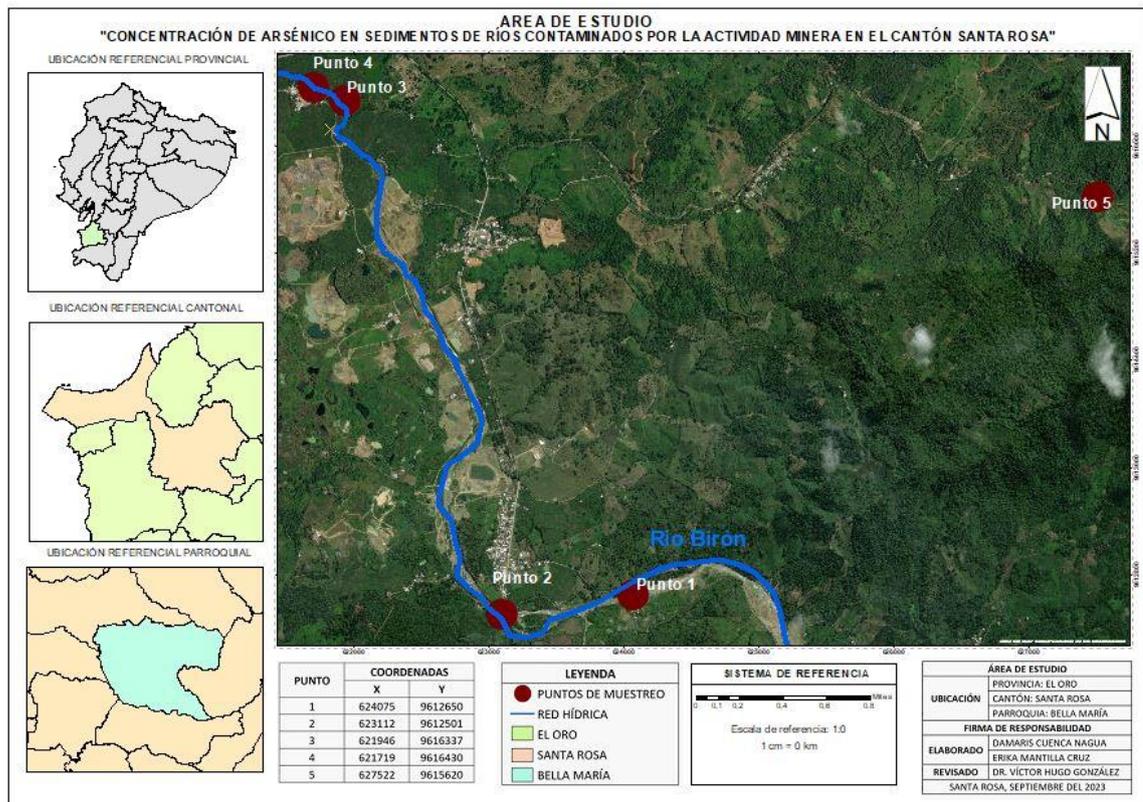
En la recolección de muestras se siguió el protocolo del Ministerio del Medio Ambiente<sup>37</sup>, para ello las muestras fueron almacenadas en fundas ziploc y seguidamente fueron transportados a las instalaciones del laboratorio de Toxicidad Ambiental de la Facultad de Ciencias Químicas y de la Salud perteneciente a la Universidad Técnica de Machala donde se almacenaron a una temperatura de 4°C. para su respectivo análisis. En la tabla 3 se indican las coordenadas de los puntos de muestreo seleccionados para la recolección de muestras de sedimentos:

**Tabla 3.** Coordenadas de los puntos de muestreo.

ID	Nombre de río	Descripción - Referencia	Coordenadas	
			X	Y
P1	Birón	Puente en el sitio Piriguiña	624075	9612650
P2	Birón	Balneario Los Tillos	623112	9612501
P3	Birón	Hacienda cacaotera	621946	9616337
P4	Birón	Sector Caluguro	621719	9616430
P5 (Referencia)	Chico	Captación de agua (Parroquia Bella María)	627522	9615620

**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 7.** Área de estudio.



**Fuente:** Elaboración propia

## 2.2 Materiales y métodos

### 2.2.1 Materiales, reactivos y equipos

#### 2.2.1.1 Materiales de laboratorio

- Vasos de precipitación de 150 y 100 ml.
- Espátula.
- Vidrio de reloj
- Cápsulas de porcelana
- Erlenmeyer 500 y 1000 ml.
- Tamiz de 2mm

#### 2.2.1.2 Equipos

- Estufa marca Rebelk
- Medidor multiparamétrico HQ40D marca HACH
- Espectrofotómetro de absorción atómica
- Refrigerador Electrolux
- Molino manual artesanal

- Mufla
- Balanza analítica
- Desecador
- Agitador magnético
- GPS Garmin 72H
- Muestreador de sedimentos

#### 2.2.1.3 *Reactivos*

- Agua destilada

#### 2.2.1.4 *Otros materiales*

- Bandejas de aluminio
- Papel Periódico.
- Fundas ziploc
- Papel Aluminio.
- Tijera
- Marcador permanente.
- Guantes de látex
- Mascarilla
- Toallas microfibra
- Papel absorbente

#### 2.2.2 *Métodos*

2.2.2.1 *Pretratamiento de sedimentos.* El procedimiento utilizado para el pretratamiento de sedimentos fue descrito en el año 2020 por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) en el instructivo de preparación de suelos y sedimentos para análisis.<sup>55</sup>

A continuación, se enumeran los pasos a seguir:

1. Eliminar manualmente el exceso de agua.
2. Colocar los sedimentos en bandejas de aluminio.
3. Secar las muestras en una estufa a una temperatura de 40°C durante 24 horas.
4. Tamizar las muestras en un tamiz de 2mm para eliminar partículas de gran tamaño.
5. Almacenar las muestras en fundas ziploc previamente rotuladas.

2.2.2.2 *Medición de parámetros fisicoquímicos.* Los análisis fisicoquímicos fueron realizados en el laboratorio de Toxicidad Ambiental de la Universidad Técnica de Machala aplicando procedimientos estandarizados redactados en el manual de procedimientos de análisis de suelo y agua del Instituto Nacional de Innovación Agraria – INIA, en el año 2017.<sup>56</sup> En la Tabla 4 se resumen los análisis fisicoquímicos con sus respectivos equipos y metodologías de referencia:

**Tabla 4.** Equipos y métodos usados en los análisis fisicoquímicos.

Análisis	Equipo	Metodología de referencia
pH	Medidor multiparamétrico HQ40D marca HACH	Potenciométrico
Conductividad eléctrica ( $\mu\text{S/cm}$ )	Medidor multiparamétrico HQ40D marca HACH	Potenciométrico
Materia orgánica (%MO)	Mufla	Calcinación

**Fuente:** Elaboración propia

- **Medición de pH**

Este parámetro indica el grado de alcalinidad o acidez del sedimento, esto se determina con una escala de pH, donde el rango de 6 a 9 se consideran admisibles, según lo especificado en la Tabla 3. Criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces por la normativa nacional TULSMA.<sup>54,57</sup> Además, algunos metales pesados son más tóxicos y solubles en agua cuando el pH es alcalino.<sup>58</sup> Para determinar el pH en los sedimentos se realizó una solución del sedimento en una proporción peso volumen de 1:10 con agua destilada. A continuación, se detalla el procedimiento:

1. Pesar 10 g de las muestras de sedimento en un vidrio de reloj.
2. Colocarlas en un vaso de precipitación de 150 ml.
3. Agregar 100 ml de agua destilada.
4. Agitar la solución en un agitador magnético durante 30 minutos.
5. Calibrar el multiparámetro marca Hach con una solución buffer, luego limpiar el electrodo con agua destilada.
6. Sumergir el electrodo en el líquido sobrenadante de la solución.
7. Registrar la lectura de pH cuando esta se estabilice.

- **Conductividad eléctrica**

Indica la capacidad para transferir la corriente eléctrica debido a la presencia de las sales ionizadas presentes en el medio.<sup>59</sup>

El procedimiento para determinar la conductividad eléctrica en sedimentos es el mismo que se utilizó para determinar pH utilizando el medidor multiparamétrico de la marca Hach.

- **Materia Orgánica**

Indica el contenido de carbono orgánico que ha sido producto de la descomposición de seres vivos, como plantas y animales, así como, la actividad biológica de los organismos que habitan en ella.<sup>60</sup> Existen dos métodos para determinar MO como el método Walkley-Black y el método de pérdidas por ignición o calcinación.<sup>60</sup>

En el trabajo experimental el contenido de materia orgánica en sedimentos se determinó mediante el método de calcinación, para ello se realizó el siguiente procedimiento:

1. Llevar a peso constante los crisoles, para ello se debe registrar el peso inicial de los crisoles.
2. Colocar en una mufla a 600°C por 24 horas.
3. Registrar nuevamente su peso donde la diferencia entre ambos pesos debe ser menor a 0,003g.

Para determinar Materia Orgánica (MO) se siguen los siguientes pasos:

1. Pesar 5g de las muestras de sedimento en los crisoles previamente pesados.
2. Calcinar las muestras de sedimento a 600°C por aproximadamente 5 horas.
3. Una vez acabada la calcinación, dejar los sedimentos dentro de la mufla por aproximadamente 24 horas hasta que se enfríe.
4. Retirar los sedimentos de la mufla con una pinza para crisol y pesar en una balanza analítica.
5. Calcular el % de materia orgánica de acuerdo a la ec. (1).

$$MO = \frac{\text{Peso inicial del sedimento} - \text{Peso de sedimento a } 600^{\circ}\text{C}}{\text{Peso inicial del sedimento}} * 100\% \quad (1)$$

2.2.2.3 *Digestión ácida asistida por microondas.* Para determinar arsénico en sedimentos mediante AAS es necesario realizar un procedimiento previo de preparación de muestras, el cual se denomina digestión ácida.

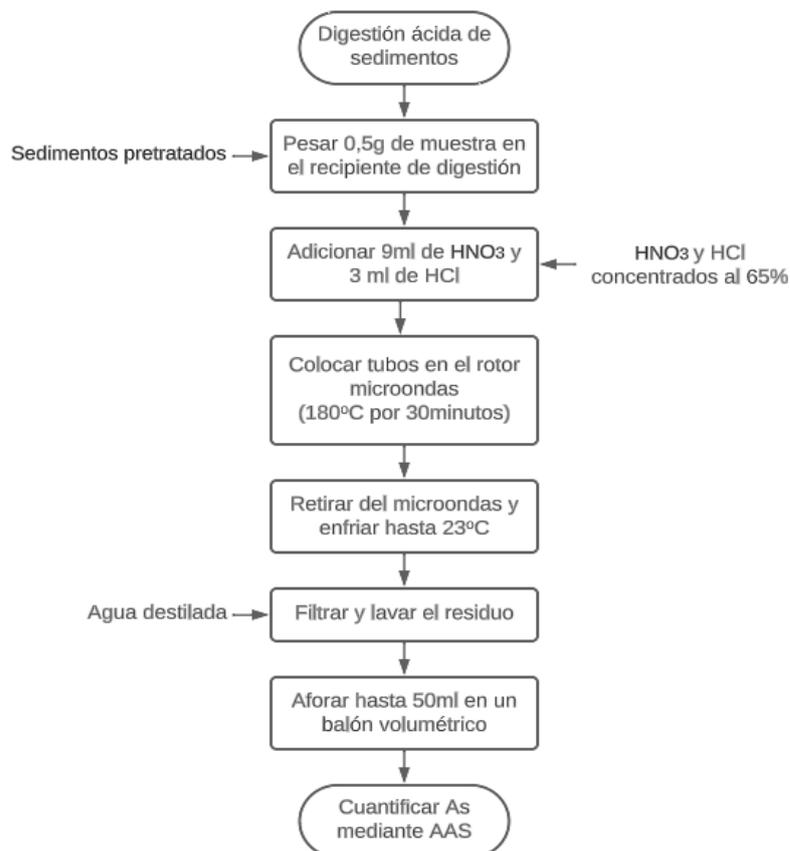
La digestión ácida tiene como objetivo descomponer y disolver el analito en estudio para obtener una solución homogénea que pueda ser analizada mediante una técnica analítica de determinación de metales, en nuestro caso la espectrofotometría de absorción atómica (AAS).<sup>61</sup>

Este método utiliza ácidos fuertes, como el ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) y ácido clorhídrico ( $\text{HCl}$ ), con el fin de liberar de la matriz sólida de la muestra los componentes solubles en ácido, como el arsénico.<sup>62</sup> La digestión ácida asegura que los componentes de interés estén en una forma adecuada para su cuantificación y elimina las interferencias que podrían afectar la precisión y exactitud de los resultados analíticos.<sup>61</sup>

La digestión ácida de las muestras de sedimentos fue realizada por el laboratorio acreditado ANAVANLAB, el cual usó la metodología de referencia descrita en el año 2007 por la US EPA en el método 3051, el cual describe el procedimiento de la digestión ácida asistida por microondas para sedimentos, lodos, suelos y aceites.<sup>63</sup>

A continuación, se resume el procedimiento en la figura 8.

**Figura 8.** Diagrama de flujo del procedimiento de digestión ácida asistida por microondas para muestras de sedimentos.



**Fuente:** Elaboración propia

*2.2.2.4 Determinación de Arsénico.* Los análisis de determinación de arsénico en las muestras de sedimentos se realizaron en el laboratorio de analítica avanzada ANAVANLAB CIA. LTDA mediante la técnica de espectrofotometría de absorción atómica por generación de hidruros perteneciente al método analítico AAA-PE-S016/ EPA 6020B/ EPA 3051. Este laboratorio cuenta con acreditación del Servicio de Acreditación Ecuatoriano (SAE) al cumplir la norma NTE INEN ISO/IEC 17025:2018. Cabe recalcar que para obtener mayor exactitud en la experimentación y reducir la posibilidad de errores aleatorios, la determinación de arsénico se realizó por triplicado.

### **2.3 Proceso de recolección y análisis de los datos**

*2.3.1 Análisis de datos estadístico.* Los análisis estadísticos se llevaron a cabo utilizando el software STATGRAPHICS Centurión 18, versión 18.1.13. Inicialmente, se aplicó un análisis exploratorio de datos a los resultados de concentración de arsénico. Posteriormente, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) de doble vía con un nivel de confianza del 95%. Además, los datos derivados del ANOVA se sometieron a un análisis mediante el método LSD de Fisher para la comparación de múltiples muestras y la evaluación de diferencias significativas entre sus medias.

## CAPITULO III

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

#### 3.1 Análisis fisicoquímicos en muestras de sedimentos.

Los análisis fisicoquímicos se llevaron a cabo en muestras de sedimentos extraídos en cinco puntos en dos tiempos julio y agosto. Los primeros cuatro puntos corresponden al río Birón, mientras que el quinto punto se ubica en el río Chico, designado como punto de referencia. Los resultados de estos análisis fisicoquímicos se resumen en la Tabla 5.

**Tabla 5.** Resultados de parámetros fisicoquímicos de arsénico en sedimentos realizados en los meses de julio y agosto.

Puntos de muestreo	Período	Parámetros físicos		Parámetros químicos		
		Color	Clase textural	pH	Conductividad eléctrica (μS/cm)	Materia orgánica (%MO)
Punto 1	Julio	Café	Arena	6,39	123,2	1,25
	Agosto	Café	Arena	6,54	125,7	1,3
	Promedio	-	-	6,47	124,45	1,28
Punto 2	Julio	Café	Arena	6,07	252	1,19
	Agosto	Café	Arena	6,15	241,2	1,27
	Promedio	-	-	6,11	246,6	1,23
Punto 3	Julio	Café	Arena	5,66	208,6	2,69
	Agosto	Café	Arena	5,78	212,5	2,73
	Promedio	-	-	5,72	210,55	2,71
Punto 4	Julio	Café claro	Limo arcilloso	6,04	58,5	2,85
	Agosto	Café claro	Limo arcilloso	6,14	45,6	2,92
	Promedio	-	-	6,09	52,05	2,89
Punto 5 (Referencia)	Julio	Café	Arena	6,14	43,2	5,95
	Agosto	Café	Arena	6,23	44,1	5,78
	Promedio	-	-	6,19	43,65	5,87

**Fuente:** Elaboración propia

3.1.1 pH. En la Figura 9, se observan los valores de pH que se sitúan en el rango de ligeramente ácidos en los puntos 1, 2, 4 y 5, con una variación insignificante entre estos puntos, ya que oscilan entre 6.09 en el punto 4 y 6.47 en el punto 1. Sin embargo, se destaca que el punto 3 exhibe un pH de 5.72, el cual se encuentra por debajo del límite permisible establecido por la normativa TULSMA<sup>54</sup> indicando condiciones ácidas en este punto específico.

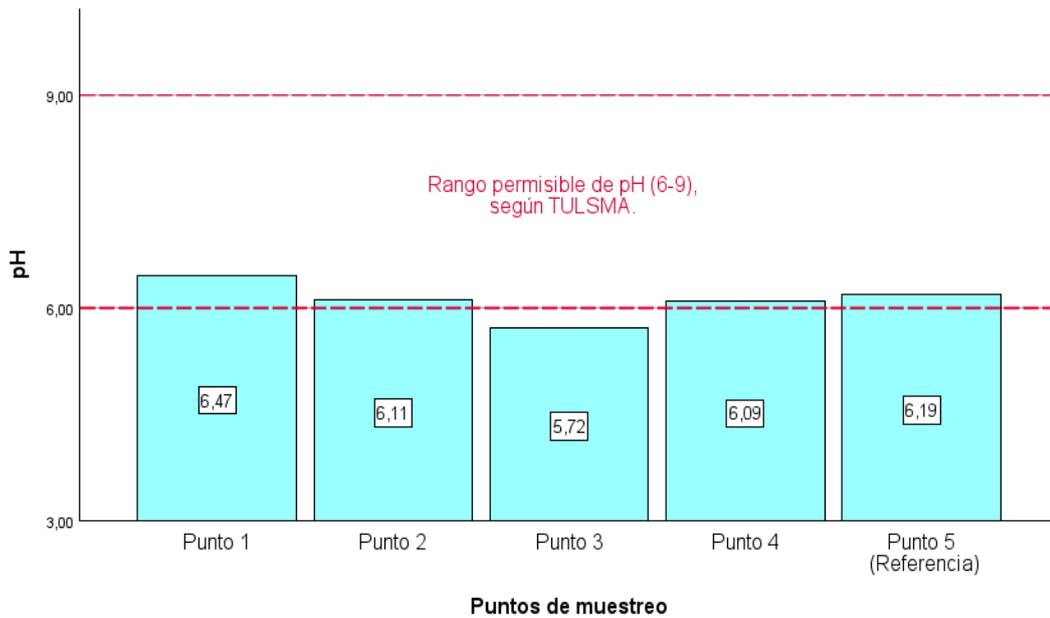
Según la investigación de Subramaniam Prabagar en 2023, titulada “Análisis de sedimentos y evaluación de la calidad del agua en variación espacial utilizando el índice de calidad del agua (NSFWQI) en el canal Moragoda en Galle, Sri Lanka”, plantea que los metales pesados como el arsénico, específicamente el ion arseniato ( $\text{AsO}_4^{3-}$ ), son más solubles en agua y tóxicos cuando su pH es alcalino.<sup>58</sup>

En contraste, cuando el pH es ácido el arsénico tiende a adsorberse más fuertemente en las partículas sólidas presentes en los sedimentos, formando precipitados sólidos insolubles, como el arsenito ( $\text{AsO}_3^{3-}$ ). Este fenómeno puede dar lugar a una concentración elevada de arsénico en los sedimentos, ya que es menos probable que se disuelva en el agua.<sup>58</sup>

Relacionando esta afirmación con los resultados obtenidos durante nuestra experimentación se puede concluir que la acidez registrada en el punto de muestreo 3 puede indicar condiciones que favorecen la adsorción y retención de arsénico en los sedimentos. Sin embargo, el pH de 5.72 perteneciente al punto 3 aunque es ácido, aún se considera moderadamente ácido y está cerca del rango de neutralidad (pH=7). En estas condiciones, la relación entre el pH y la concentración de arsénico en los sedimentos no es tan directa como en un entorno extremadamente ácido.

Esto podría explicar por qué el punto 3, a pesar de tener un pH más bajo, no necesariamente se correlaciona con una mayor concentración de arsénico en el agua, ya que el arsénico no solo depende del pH para su solubilidad y especiación en agua y sedimentos; sino que intervienen otros factores como la presencia de otros minerales y materia orgánica.

**Figura 9.** Resultados de pH en sedimentos para los distintos puntos de muestreo.



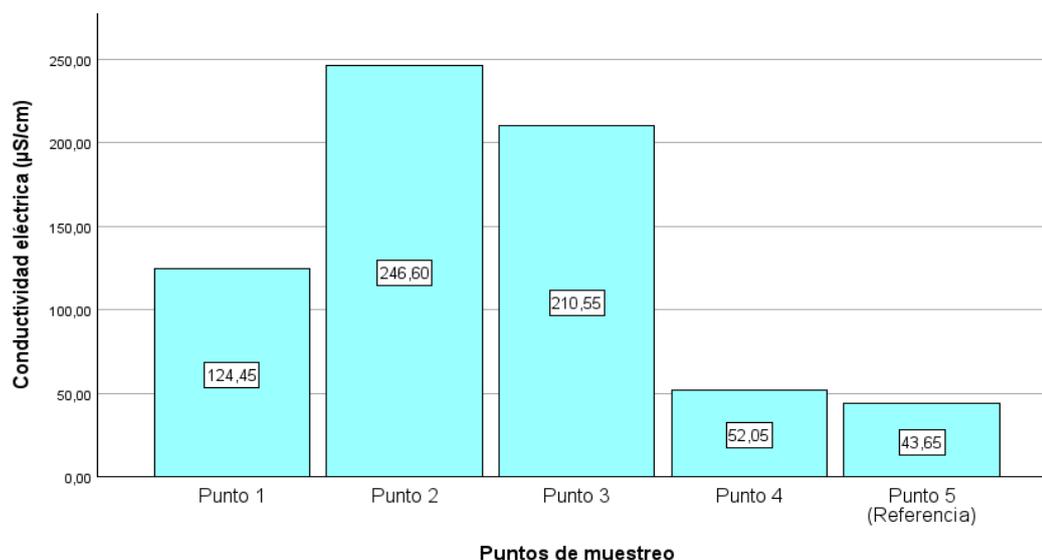
**Fuente:** Elaboración propia

**3.1.2 Conductividad eléctrica.** Este parámetro indica la capacidad para transferir la corriente eléctrica debido a la presencia de las sales ionizadas presentes en el medio.<sup>59</sup> En este estudio, es notable la diferencia de sus valores entre puntos esto se debe a que los datos promedios mínimos se registraron en los puntos 4 y 5 con 52,05  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y 43,65  $\mu\text{S}/\text{cm}$  respectivamente; sin embargo, estos valores resultan muy bajos a comparación de los obtenidos en los puntos 1, 3 y 2 donde existe un incremento progresivo de 124,45  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , 210,55  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y 246,60  $\mu\text{S}/\text{cm}$  respectivamente.

Resultados similares fueron reportados por Carlos Benjumea en 2017 en un estudio desarrollado en cuatro tramos del río Negro (Antioquia, Colombia), donde los valores de conductividad eléctrica oscilaron entre 46,9 a 170,3  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , en las estaciones Charco Manso y Puente Autopista, respectivamente. Estos resultados se atribuyeron a la ubicación y vertimientos de localidades cercanas.<sup>64</sup>

En virtud de lo anteriormente expuesto, se puede inferir que existen diferencias significativas en las condiciones químicas y ambientales a lo largo del área de estudio, lo cual podrían deberse a factores geográficos y la influencia de vertimientos provenientes de localidades cercanas. La presencia de vertimientos puede introducir componentes químicos o iones disueltos en el agua, ejerciendo un impacto directo en la conductividad eléctrica de la misma.

**Figura 10.** Resultados de conductividad eléctrica en sedimentos para los distintos puntos de muestreo.



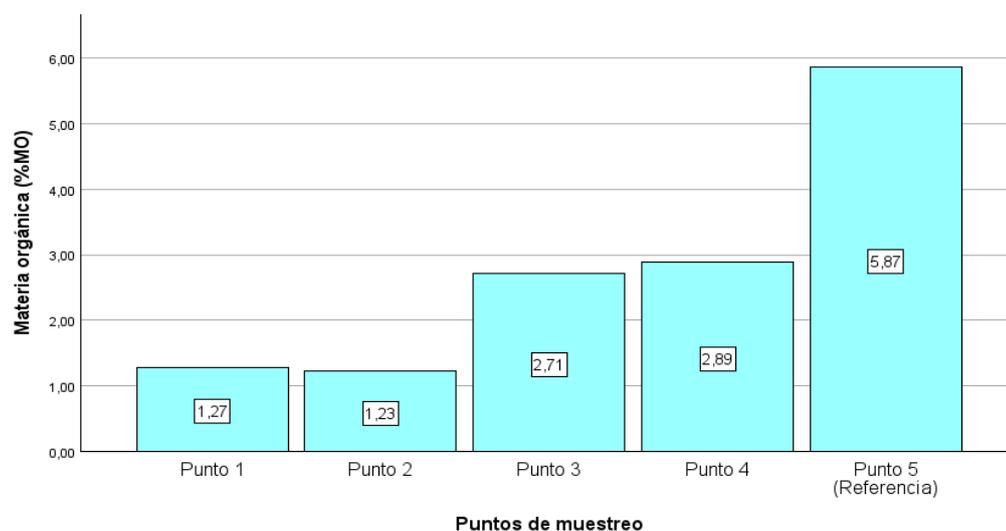
**Fuente:** Elaboración propia

**3.1.3 Materia Orgánica.** La figura 11 ilustra que la materia orgánica experimenta una disminución relativamente insignificante en los dos primeros puntos de muestreo, con porcentajes de materia orgánica que oscilan entre 1,27% hasta 1,23%. Por el contrario, en los puntos 3, 4 y 5 se evidencia un comportamiento creciente, alcanzando porcentajes de 2,71%, 2,89% y 5,87%, respectivamente.

Estos resultados pueden ser contrastados con los hallazgos de un estudio previo realizado por Carlos Benjumea en 2017 sobre la “Demanda de oxígeno por sedimentos en diferentes tramos del río Negro Rionegro, Antioquia, Colombia”. En este estudio se documentaron bajos porcentajes de materia orgánica, lo que sugiere que los sedimentos en el río Negro tienen a experimentar procesos de mineralización. Esta tendencia podría estar relacionada con la presencia de vertimientos de aguas residuales domésticas e industriales en la zona de estudio.<sup>64</sup>

En consecuencia, se puede inferir que la materia orgánica presente en los sedimentos de los ríos Birón y, en menor medida, del río Chico tienden a descomponerse en compuestos minerales. Esta tendencia podría atribuirse a la influencia de vertimientos de aguas residuales de carácter doméstico e industrial, lo que plantea preocupaciones acerca de la calidad de agua y sedimentos, lo que a su vez podrían ocasionar efectos adversos en los ecosistemas acuáticos y, potencialmente, en la salud humana.

**Figura 11.** Porcentaje de materia orgánica de sedimentos para los distintos puntos de muestreo.



**Fuente:** Elaboración propia

### 3.2 Concentración de arsénico (mg/Kg) en sedimentos.

Las concentraciones de arsénico en los cinco puntos de muestreo se encuentran detalladas en la Tabla 6, expresadas en mg/kg.

**Tabla 6.** Resultados de concentración de arsénico en sedimentos realizados en los meses de julio y agosto por triplicado.

CONCENTRACION DE ARSENICO (mg/kg)							
Muestra	Período	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	Media	Std	CV
Punto 1	Julio	21,00	21,80	21,40	21,40	0,40	1,869
	Agosto	21,50	21,50	21,50	21,50	0	0
Punto 2	Julio	13,10	12,00	12,55	12,55	0,55	4,382
	Agosto	13,90	12,50	13,20	13,20	0,70	5,303
Punto 3	Julio	9,10	10,20	9,65	9,65	0,55	5,699
	Agosto	10,35	10,10	10,23	10,225	0,125	1,222
Punto 4	Julio	15,90	16,10	16,00	16,00	0,10	0,625
	Agosto	16,50	15,60	16,05	16,05	0,45	2,804
Punto 5 (Referencia)	Julio	6,10	6,50	6,30	6,30	0,20	3,175
	Agosto	7,50	7,10	7,30	7,30	0,20	2,740

**Fuente:** Elaboración propia

Respecto a los valores de las concentraciones de arsénico en los sedimentos de los ríos Chico y Biron, en relación a las normativas canadiense (CCME) y de la US EPA, revela un escenario preocupante de contaminación por metales pesados en estos cuerpos de agua. Los resultados indican que las concentraciones de arsénico en los sedimentos exceden claramente los límites establecidos por ambas normas, lo que sugiere una contaminación significativa por arsénico en estas zonas.

Es importante destacar que no se dispone de límites de concentración de arsénico en sedimentos en las normativas nacionales, lo que dificulta la realización de una comparación más específica a nivel local. Sin embargo, podemos tomar como referencia investigaciones previas realizadas en otras regiones para contextualizar nuestros hallazgos.

Un estudio relevante es el realizado por Aveiga Ortiz Ana María en su artículo titulado “Distribución de arsénico en agua superficial y sedimento en la cuenca del río carrizal, Manabí - Ecuador”, que también evidenció concentraciones de arsénico por encima de los límites establecidos según la norma canadiense. Este hallazgo sugiere que la contaminación por arsénico en sedimentos no se limita a nuestra región, sino que es un problema que afecta a diversas zonas geográficas.<sup>65</sup>

Además, el artículo de investigación de Willy Baeyens en 2019, con el nombre “Enriquecimiento de arsénico en sedimentos y playas de aguas costeras brasileñas: una revisión”, también corrobora la presencia de concentraciones elevadas de arsénico en sedimentos, con un valor de 270 mg/kg.<sup>66</sup> Estos datos respaldan aún más la validez de nuestros resultados y demuestran que la contaminación por arsénico en sedimentos es un problema global.

En nuestra investigación, observamos que las concentraciones de arsénico varían según la ubicación y el mes de muestreo. El punto 1 muestra las concentraciones más altas tanto en julio (21,40 mg/kg) como en agosto (21,50 mg/kg), mientras que el punto 5 (referencial) registra las concentraciones más bajas, con 6,30 mg/kg en julio y 7,30 mg/kg en agosto. Esta variabilidad espacial y temporal en las concentraciones de arsénico puede estar relacionada con la actividad minera y otras fuentes de contaminación en la zona.

En resumen, nuestros resultados indican que los sedimentos de los ríos Chico y Biron presentan concentraciones de arsénico que exceden los límites establecidos por normativas internacionales, lo que refleja una problemática seria de contaminación por

arsénico en la región. Estos hallazgos son consistentes con investigaciones previas realizadas en otras áreas geográficas, lo que subraya la importancia de abordar de manera urgente esta cuestión y tomar medidas para mitigar la contaminación por metales pesados en los cuerpos de agua de nuestra región.

La Tabla VII presenta un análisis de varianza de doble vía diseñado para investigar diferencias estadísticas en las concentraciones de Arsénico (mg/Kg) entre diferentes localidades y períodos de tiempo.

**Tabla 7.** Análisis de Varianza para concentración de arsénico (mg/Kg) en sedimentos.

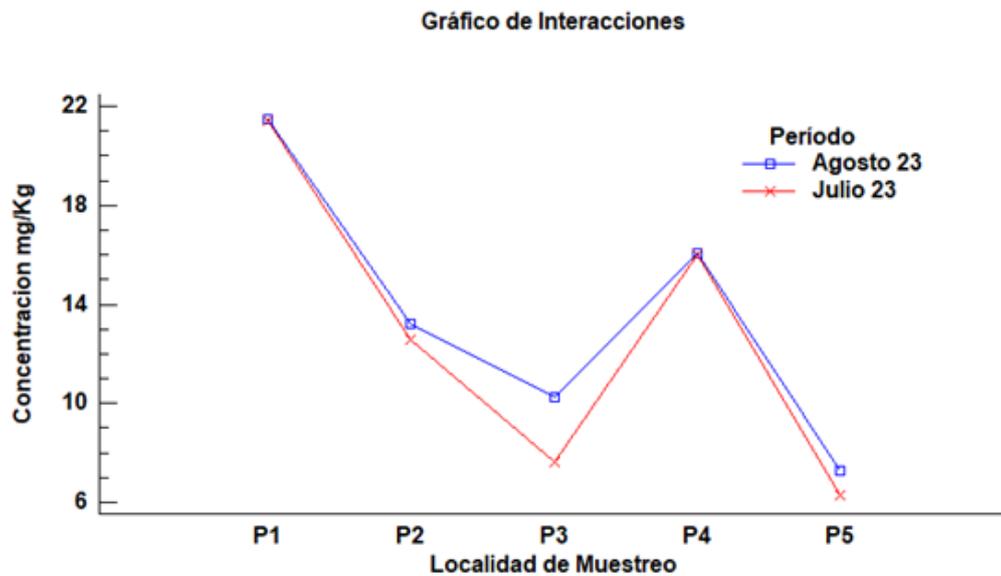
<b>Fuente</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Gl</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>Razón-F</b>	<b>Valor-P</b>
<b>EFFECTOS PRINCIPALES</b>					
A: Localidad	811,614	4	202,903	120,32	<b>0,0000</b>
B: Período	5,74656	1	5,74656	3,41	0,0797
<b>INTERACCIONES</b>					
AB	6,36475	4	1,59119	0,94	0,4593
RESIDUOS	33,7263	20	1,68631		
<b>TOTAL (CORREGIDO)</b>	<b>857,452</b>	<b>29</b>			

**Fuente:** Elaboración propia

Los resultados revelaron la presencia de diferencias estadísticas altamente significativas ( $p < 0.0001$ ) en las concentraciones de Arsénico entre las diferentes localidades. Por otro lado, no se observaron diferencias estadísticas significativas ( $p > 0.05$ ) entre los distintos períodos de tiempo, lo que sugiere la falta de interacción entre estos factores ( $p > 0.05$ ) (ver Figura 12).

La Figura 12 muestra la concentración de arsénico entre distintas localidades y períodos de tiempo correspondientes a los meses de agosto y julio del año 2023.

**Figura 12.** Concentración de Arsénico entre localidades y periodos de tiempo.

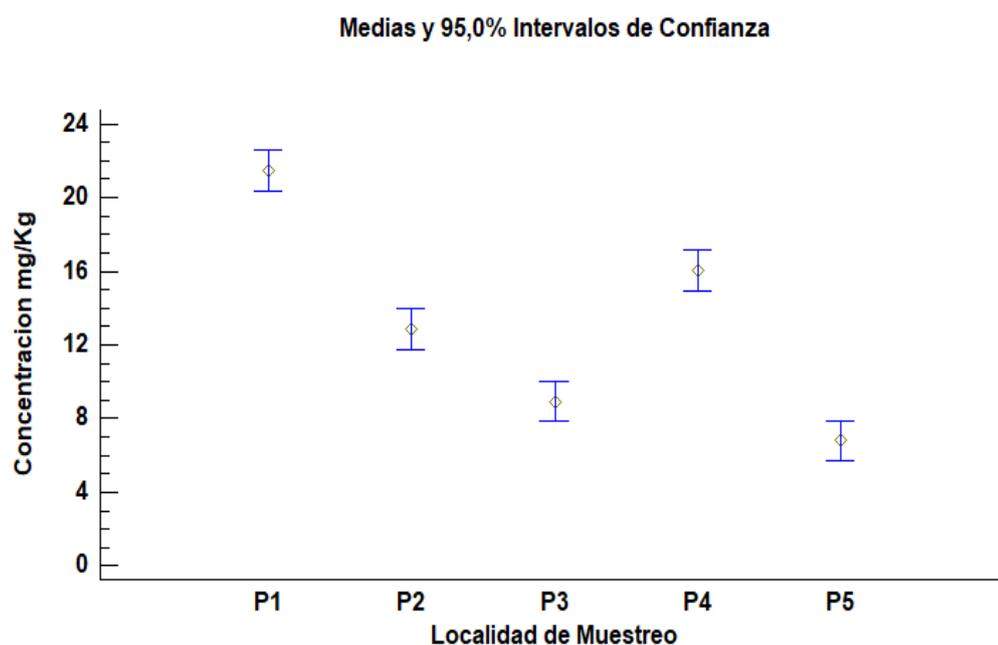


**Fuente:** Elaboración propia

Los datos gráficos revelan de manera evidente la presencia de diferencias estadísticas altamente significativas en las concentraciones de arsénico entre las diversas localidades sometidas a análisis. Sin embargo, no se identificaron diferencias estadísticas significativas entre los distintos periodos de tiempo evaluados. Estos hallazgos indican que la ubicación geográfica ejerce una influencia significativa en las concentraciones de arsénico, mientras que el factor temporal no tiene un impacto estadísticamente significativo en las variaciones observadas.

La Figura 13 ilustra el promedio de los límites de confianza al 95% de las concentraciones de Arsénico (mg/Kg) para cada una de las localidades evaluadas. Para determinar si existen diferencias significativas entre las medias.

**Figura 13.** Comparación de concentraciones



**Fuente:** Elaboración propia

Se realizó un análisis a posteriori mediante la prueba LSD de Fisher. Los resultados de esta prueba permitieron concluir que la concentración más baja de Arsénico se observó en la localidad de Captación de Agua del río Chico, seguida por la Hacienda Cacaotera, Balneario Los Tillos, Sector Caluguro y Puente Piriguiña. Estos resultados confirman de manera estadísticamente significativa que hay variaciones significativas en las concentraciones de arsénico entre las localidades evaluadas en el estudio (ver Tabla VIII).

La Tabla VIII indica el análisis a posteriori (LSD de Fisher) para verificar que medias difieren entre sí.

**Tabla 8.** Análisis a posteriori.

Localidad	Casos	Media	Sigma LS	Grupos Homogéneos
CAPTACIÓN DE AGUA	6	6,8	0,530144	X
HACIENDA CACAOTERA	6	8,93833	0,530144	X
BALNEARIO LOS TILLOS	6	12,875	0,530144	X
SECTOR CALAGURO	6	16,025	0,530144	X
PUENTE PIRIGUIÑA	6	21,45	0,530144	X

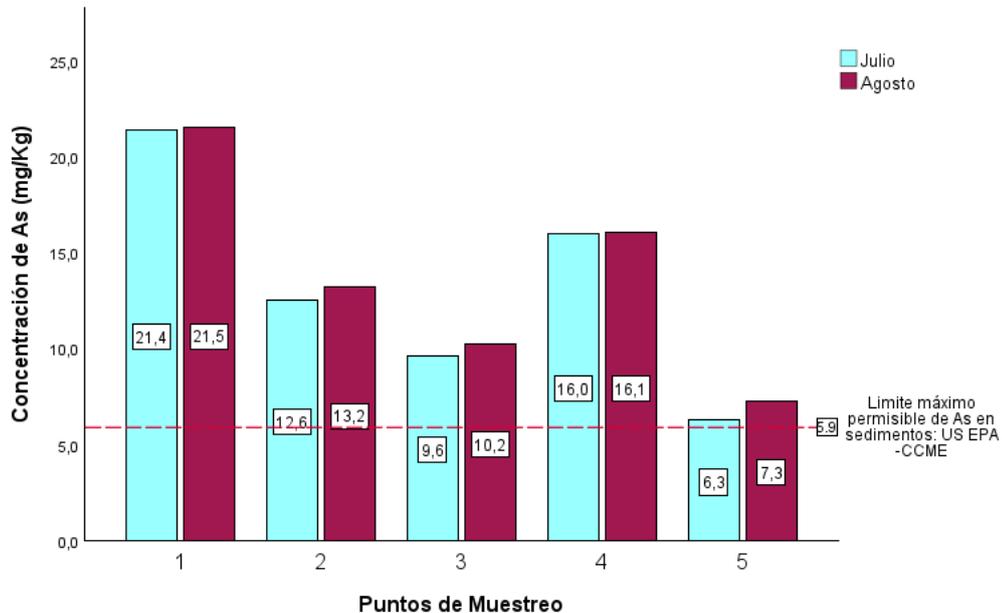
**Fuente:** Elaboración propia

Los resultados permiten establecer que, la menor concentración de Arsénico se observó en la localidad Captación de Agua seguido de la Hacienda Cacaotera, Balneario los Tillos, Sector Caluguro y Puente Piriguiña.

### 3.3 Comparación con las normas internacionales (CCME y US EPA)

En la Figura 14 se presenta una comparación de las concentraciones de Arsénico en los sedimentos con los estándares internacionales. Esta figura proporciona una visualización clara de cómo nuestras mediciones se comparan con las normas establecidas a nivel internacional.

**Figura 14.** Comparación de concentraciones de arsénico



**Fuente:** Elaboración propia

Todas las muestras analizadas en los diferentes puntos de muestreo presentan concentraciones de arsénico (As) que exceden el límite máximo permisible de 5.9 mg/Kg establecido por las normativas de la US EPA y CCME. Es importante destacar que la concentración más elevada de arsénico se observa en el punto 1, ubicado en el puente Piriguiña del río Birón, mientras que la concentración más baja se registra en el punto 5, designado como referencial y situado en una captación de agua del río Chico. Estos resultados indican que la presencia de arsénico en las muestras analizadas es preocupante y puede tener efectos negativos en la salud humana y el medio ambiente.

## CAPÍTULO IV

### 4. CONCLUSIONES

En consonancia con los objetivos establecidos, los resultados de la presente investigación han cumplido satisfactoriamente con las metas propuestas.

La evaluación de los parámetros fisicoquímicos, como el pH, la conductividad eléctrica y la materia orgánica, en los ríos Chico y Birón del Cantón Santa Rosa revela información importante sobre las condiciones ambientales y químicas de estos cuerpos de agua. Los resultados indican que, en general, los valores de pH se mantienen ligeramente ácidos en la mayoría de los puntos de muestreo, aunque el punto 3 muestra un pH más bajo que está por debajo de los límites permisibles, lo que podría influir en la retención de arsénico en los sedimentos.

La conductividad eléctrica varía significativamente entre los puntos de muestreo, posiblemente debido a factores geográficos y vertimientos locales que introducen componentes químicos en el agua. En cuanto a la materia orgánica, se observa un aumento en su concentración en algunos puntos, sugiriendo procesos de mineralización, posiblemente influenciados por vertimientos de aguas residuales.

Mediante la aplicación del método de espectrofotometría de absorción atómica, se logró determinar de manera precisa la concentración de arsénico en los sedimentos de los ríos evaluados en el Cantón Santa Rosa. Estos análisis revelaron concentraciones alarmantes de arsénico que exceden los límites máximos permisibles establecidos por las normativas internacionales.

Al comparar los valores obtenidos de concentración de arsénico con los niveles máximos permisibles según las normativas vigentes, se ha confirmado que todas las muestras analizadas superan estos límites, evidenciando así la gravedad de la contaminación por arsénico en las áreas de estudio.

Por todo lo anteriormente expuesto, se puede concluir que estos hallazgos resaltan la urgencia de intervenciones regulatorias y correctivas para abordar la contaminación por arsénico en estos ríos, y así proteger la salud de los ecosistemas acuáticos y de la población local.

## **CAPITULO V**

### **5. RECOMENDACIONES**

1. Se sugiere emprender investigaciones suplementarias en áreas no abordadas en el presente estudio, con el propósito de abarcar la totalidad de arroyos y ríos interconectados con los cauces del río Birón y río Chico.
  
2. Para futuras investigaciones, se recomienda definir con rigurosidad la demarcación geográfica próxima a las fuentes y las operaciones mineras colindantes al río Birón y río Chico.
  
3. Se plantea la necesidad de ampliar las indagaciones referentes a la actividad minera en el contexto ecuatoriano, otorgando una atención especial a sus impactos medioambientales y en la salud. A pesar de la condición de Ecuador como nación productora de petróleo, se ha registrado en años recientes un notable aumento en la explotación minera, justificando una evaluación exhaustiva de los daños correlacionados con esta práctica.
  
4. Es esencial dar continuidad a los trabajos de investigación enfocados en la identificación y cuantificación del arsénico en los sedimentos, dada su relevancia en el ámbito minero. Asimismo, se aboga por la implementación de programas educativos dirigidos a las entidades mineras, con el propósito de generar conciencia sobre el uso de sustancias químicas como el arsénico y sus efectos perjudiciales tanto para la población como para el entorno circundante.

## BIBLIOGRAFÍA

- (1) Ordoñez Vélez, L. E.; Burbano González, B. A.; Vilela Pincay, E. W. La Responsabilidad Penal Por Daño Ambiental a Causa de La Minería Ilegal En El Cantón Santa Rosa. *Revista Polo del conocimiento*. **2021**, 6 (8), 496–511.
- (2) Laino Guanes, R. M.; Bello Mendoza, R.; González Espinosa, M.; Ramírez Marcial, N.; Jiménez Otárola, F.; Musálem Castillejos, K. Concentración de Metales En Agua y Sedimentos de La Cuenca Alta Del Río Grijalva, Frontera México-Guatemala. *Tecnología y ciencias del agua* **2015**, 6 (4), 61–74.
- (3) Velásquez Zapata, G. Y. Problemas Medioambientales de La Minería Aurífera Ilegal En Madre de Dios (Perú). *Observatorio Medioambiental* **2020**, 23, 229–241. <https://doi.org/10.5209/obmd.73177>.
- (4) Vera, J. L. *La Minería Ecuatoriana*; Quito, 2015. <https://contenido.bce.fin.ec/documentos/Estadisticas/Hidrocarburos/cartilla00.pdf> (accessed 2023-09-28).
- (5) Brousett Minaya, M. A.; Rondan Sanabria, G. G.; Chirinos Marroquín, M.; Biamont Rojas, I. Impacto de La Minería En Aguas Superficiales de La Región Puno-Perú. *Revista de Difusión cultural y científica de la Universidad La Salle en Bolivia* **2021**, 21 (21), 187–208.
- (6) Torres, V. Y.; Ramírez, Y. M.; López, D. D. Sostenibilidad Ambiental En La Minería de Materiales Aluviales: El Caso de Rio Negro, Dibulla, Colombia. *Información tecnológica* **2021**, 32 (6), 85–92. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642021000600085>.
- (7) Haddaway, N. R.; Cooke, S. J.; Lesser, P.; Macura, B.; Nilsson, A. E.; Taylor, J. J.; Raito, K. Evidence of the Impacts of Metal Mining and the Effectiveness of Mining Mitigation Measures on Social–Ecological Systems in Arctic and Boreal Regions: A Systematic Map Protocol. *Environ Evid* **2019**, 8 (9), 1–11. <https://doi.org/10.1186/s13750-019-0152-8>.
- (8) Vásconez Carrasco, M.; Torres León, L. Minería En El Ecuador: Sostenibilidad y Licitud. *Revista Estudios del Desarrollo Social: Cuba y América Latina* **2018**, 6 (2), 83–103.

- (9) Rojas-Villacís, C. A.; Zúñiga-Arrobo, C. A. Análisis de La Actividad de Carguío y Transporte En Minería Artesanal En “El Guayabo”, Ecuador. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo* **2022**, *14* (2), 1–12. <https://doi.org/10.29166/revfig.v14i2.3854>.
- (10) Vilela Pincay, W.; Espinosa Encarnación, M.; Bravo González, A. La Contaminación Ambiental Ocasionada Por La Minería En La Provincia de El Oro. *Estudios de la Gestión. Revista Internacional de Administración* **2020**, No. 8, 210–228. <https://doi.org/10.32719/25506641.2020.8.8>.
- (11) Bravo González, D. O.; Romero Sigcho, J. E. Tratamiento y Disposición Final de Relaves Generados En La Planta de Beneficio EMINZA S.A., Ubicada En El Cantón Santa Rosa, Provincia El. Maestría en Minas Mención en Mineralurgia y Metalurgia Extractiva, Universidad Nacional de Loja, Loja, 2023. <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/27391/1/DavidOrlando-BravoGonzalez.pdf> (accessed 2023-10-07).
- (12) Rivera Sotelo, A. S.; Pardo Becerra, Á. L. ¿Qué Minería Aurífera, Por Quiénes Con Fines de Qué Desarrollo? Una Mirada a La Minería Aurífera La Zona Minera Indígena Chorrobocón. *Revista Opera* **2014**, No. 14, 95–117.
- (13) Lum, J. E.; Schoepfer, V. A.; Jamieson, H. E.; McBeth, J. M.; Radková, A. B.; Walls, M. P.; Lindsay, M. B. J. Arsenic and Antimony Geochemistry of Historical Roaster Waste from the Giant Mine, Yellowknife, Canada. *J Hazard Mater* **2023**, *458*, 132037. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.132037>.
- (14) González Morales, M.; Gago, I.; Urbano, J.; Fernández Pozo, L.; Rodríguez, M. A. Distribución Espacial de Metales Contaminantes Procedentes de La Minería. *Revista de Ciências Agrárias* **2022**, *2022* (4), 680–684. <https://doi.org/10.19084/rca.28761>.
- (15) Huaranga Moreno, F.; Méndez García, E.; Quilcat León, V.; Bernui Paredes, F.; Costilla Sánchez, N.; Huaranga Arévalo, F. Cuantificación de Cu, Pb, As y Cd Absorbidos Por El “Girasol” *Helianthus Annus L.* (Asteraceae) Presentes En Suelos Agrícolas Contaminados Por Relaves Mineros. *Arnaldoa* **2022**, *29* (1), 119–136.

- (16) Erostequi Revilla, C.; Oporto, C.; Zalles, L.; Sevilla, R.; Romero, A. M. Evaluación Del Daño Renal Por Cadmio En Población Expuesta a Contaminación Por Éste En Agricultores de Quila-Quila, Potosí. *Gaceta Medica Boliviana* **2020**, 43 (2), 143–146. <https://doi.org/10.47993/gmb.v43i2.191>.
- (17) Navarrete Forero, G.; Morales Baren, Lady; Dominguez Granda, L.; Pontón Cevallos, J.; Marín Jarrín, J. R. HEAVY METALS CONTAMINATION IN THE GULF OF GUAYAQUIL: EVEN LIMITED DATA REFLECTS ENVIRONMENTAL IMPACTS FROM ANTHROPOGENIC ACTIVITY. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* **2019**, 35 (3), 731–755. <https://doi.org/10.20937/RICA.2019.35.03.18>.
- (18) Beltrán Saavedra, L. F.; Loayza, O.; Salinas, M.; Albarracín, V.; Chincheros Paniagua, J.; Mollericon, J. L.; Rivera, S. J.; Wallace, R. B. Mercurio Total (THg) En Vicuñas (Vicugna Vicugna) En Áreas Mineras Del Noroeste Del Departamento de La Paz, Bolivia. *Mastozool Neotrop* **2020**, 27 (1), 257–262. <https://doi.org/10.31687/saremMN.20.27.1.0.05>.
- (19) Rodríguez Padilla, C. Intoxicación Por Arsénico. *Revista Medicina Legal de Costa Rica* **2021**, 38 (2), 4–16.
- (20) Rangel Montoya, E. A.; Montañez Hernández, L. E.; Luévanos Escareño, M. P.; Balagurusamy, N. Impacto Del Arsénico En El Ambiente y Su Transformación Por Microorganismos. *Terra Latinoamericana* **2015**, 33 (2), 103–118.
- (21) Saif, S.; Adil, S. F.; Khan, M.; Hatshan, M. R.; Khan, M.; Bashir, F. Adsorption Studies of Arsenic(V) by CuO Nanoparticles Synthesized by Phyllanthus Emblica Leaf-Extract-Fueled Solution Combustion Synthesis. *Sustainability* **2021**, 13 (4), 2017. <https://doi.org/10.3390/su13042017>.
- (22) Aragonés Sanz, N.; Palacios Diez, M.; Avello de Miguel, A.; Gómez Rodríguez, P.; Martínez Cortés, M.; Rodríguez Bernabeu, M. J. Nivel de Arsénico En Abastecimientos de Agua de Consumo de Origen Subterráneo En La Comunidad de Madrid. *Rev Esp Salud Pública* **2001**, 75 (5), 421–432.
- (23) Ramírez, A. Exposición Ocupacional y Ambiental al Arsénico. Actualización Bibliográfica Para Investigación Científica. *An Fac med* **2013**, 74 (3), 237–247.

- (24) Byeon, E.; Kang, H.-M.; Yoon, C.; Lee, J.-S. Toxicity Mechanisms of Arsenic Compounds in Aquatic Organisms. *Aquatic Toxicology* **2021**, *237*, 105901. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2021.105901>.
- (25) Peregrino Ibarra, C. P. Caracterización y Cuantificación de Las Especies de Arsénico Presentes En Acuíferos Que Abastecen de Agua Potable a La Ciudad de Chihuahua, Centro de investigación en materiales avanzados, S.C., Chihuahua, 2016.  
<https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/588/1/Tesis%20Claudia%20Patricia%20Peregrino%20Ibarra.pdf> (accessed 2023-01-31).
- (26) Raju, N. J. Arsenic in the Geo-Environment: A Review of Sources, Geochemical Processes, Toxicity and Removal Technologies. *Environ Res* **2022**, *203*, 111782. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111782>.
- (27) Bayona Penagos, L. V. Efecto y Mitigación de La Toxicidad Por Arsénico y Cadmio En Cultivo de Arroz. *Revista Ciencias Agropecuarias* **2020**, *6* (2), 49–70. <https://doi.org/10.36436/24223484.327>.
- (28) Patel, K. S.; Pandey, P. K.; Martín Ramos, P.; Corns, W. T.; Varol, S.; Bhattacharya, P.; Zhu, Y. A Review on Arsenic in the Environment: Bio-Accumulation, Remediation, and Disposal. *RSC Adv* **2023**, *13* (22), 14914–14929. <https://doi.org/10.1039/D3RA02018E>.
- (29) Pérez Mínguez, I. Ecotoxicología Del Arsénico En Suelos de La Comunidad de Madrid, Universidad Complutense de Madrid, Madrid, España, 2015. <https://docta.ucm.es/entities/publication/e830a782-0034-4afd-b86a-8aeaf268deaf> (accessed 2023-08-14).
- (30) Medina Pizzali, M.; Robles, P.; Mendoza, M.; Torres, C. Ingesta de Arsénico: El Impacto En La Alimentación y La Salud Humana. *Rev Peru Med Exp Salud Publica* **2018**, *35* (1), 93. <https://doi.org/10.17843/rpmesp.2018.351.3604>.
- (31) Taylor, V.; Goodale, B.; Raab, A.; Schwerdtle, T.; Reimer, K.; Conklin, S.; Karagas, M. R.; Francesconi, K. A. Human Exposure to Organic Arsenic Species from Seafood. *Science of The Total Environment* **2017**, *580*, 266–282. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.12.113>.

- (32) Chen, H.; Zhang, H.; Wang, X.; Wu, Y.; Zhang, Y.; Chen, S.; Zhang, W.; Sun, X.; Zheng, T.; Xia, W.; Xu, S.; Li, Y. Prenatal Arsenic Exposure, Arsenic Metabolism and Neurocognitive Development of 2-Year-Old Children in Low-Arsenic Areas. *Environ Int* **2023**, *174*, 107918. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2023.107918>.
- (33) Mendoza Cano, O.; Sánchez-Piña, R. A.; Barrón Quintana, J.; Cuevas Arellano, H. B.; Escalante Minakata, P.; Solano Barajas, R. Riesgos Potenciales de Salud Por Consumo de Agua Con Arsénico En Colima, México. *Salud Publica Mex* **2017**, *59* (1), 34. <https://doi.org/10.21149/8413>.
- (34) Morales Cabrera, D.; Avendaño Cáceres, E.; Zevallos Ramos, D.; Fernández Prado, J.; Mendoza Rodas, Z. Riesgo Ambiental Por Arsénico y Boro En Las Cuencas Hidrográficas Sama y Locumba de Perú. *MEDISAN* **2018**, *22* (4).
- (35) Mandal, P. An Insight of Environmental Contamination of Arsenic on Animal Health. *Emerg Contam* **2017**, *3* (1), 17–22. <https://doi.org/10.1016/j.emcon.2017.01.004>.
- (36) Das Sarkar, S.; Swain, P. R.; Manna, S. K.; Samanta, S.; Majhi, P.; Bera, A. K.; Das, B. K.; Mohanty, B. P. Arsenic Contamination in Food Chain - a Menace to Food Safety, Human Nutrition and Health. *J Environ Biol* **2022**, *43* (03), 339–349. <https://doi.org/10.22438/jeb/43/3/MRN-1973>.
- (37) Andreu Moliner, E.; Camacho Gonzáles, A. *Recomendaciones Para La Toma de Muestras de Agua, Biota y Sedimentos En Humedales Ramsar*; Barcelona, España, 2002. [https://www.sehumed.es/banco/archivos/recomendaciones\\_es.zip](https://www.sehumed.es/banco/archivos/recomendaciones_es.zip) (accessed 2023-08-10).
- (38) ISO. *ISO 5667-12:2017 Calidad del agua. Muestreo. Parte 12: Orientación sobre el muestreo de sedimentos del fondo de ríos, lagos y estuarios*. Plataforma de navegación en línea (OBP) .
- (39) Herranz, M.; Bolivar, J.; Liger, E.; Payeras, J.; Pinilla, J. *Procedimiento de Toma de Muestras de Sedimentos Para La Determinación de La Radiactividad Ambiental*; Madrid, España, 2007.
- (40) Yadav, N.; Maurya, B. M.; Chettri, D.; Pooja; Pulwani, C.; Jajula, M.; kanda, S. S.; babu, H. W. S.; Elangovan, A.; Velusamy, P.; Iyer, M.; Vellingiri, B. Artificial Intelligence in Heavy Metals Detection: Methodological and Ethical Challenges.

- Hygiene and Environmental Health Advances* **2023**, *7*, 1–16.  
<https://doi.org/10.1016/j.heha.2023.100071>.
- (41) Hidalgo Porras, J. M. Cuantificación de V, Ni, Zn y Fe En Por Espectroscopia de Absorción Atómica. *Revista Métodos y Materiales* **2017**, *7* (1), 19–28.
- (42) Büyükpınar, Ç.; Bodur, S.; Yazıcı, E.; Tekin, Z.; San, N.; Tarık Komesli, O.; Bakırdere, S. An Accurate Analytical Method for the Determination of Cadmium: Ultraviolet Based Photochemical Vapor Generation-Slotted Quartz Tube Based Atom Trap-Flame Atomic Absorption Spectrophotometry. *Measurement* **2021**, *176*, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2021.109192>.
- (43) Sulejmanović, J.; Memić, M.; Šehović, E.; Omanović, R.; Begić, S.; Pazalja, M.; Ajanović, A.; Azhar, O.; Sher, F. Synthesis of Green Nano Sorbents for Simultaneous Preconcentration and Recovery of Heavy Metals from Water. *Chemosphere* **2022**, *296*, 133971. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.133971>.
- (44) Helaluddin, A.; Khalid, R. S.; Alaama, M.; Abbas, S. A. Main Analytical Techniques Used for Elemental Analysis in Various Matrices. *Tropical Journal of Pharmaceutical Research* **2016**, *15* (2), 427. <https://doi.org/10.4314/tjpr.v15i2.29>.
- (45) Gallegos, W.; Vega, M.; Noriega, P. Espectroscopía de Absorción Atómica Con Llama y Su Aplicación Para La Determinación de Plomo y Control de Productos Cosméticos. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida* **2012**, *15* (1), 18–25.
- (46) Sánchez, E.; Mejía, F.; Vizcaíno, G.; Cipriani-Ávila, I. Análisis Mineralógico y Multielemental de La Ceniza Volcánica, Producto de La Erupción Del Cotopaxi En 2015, Por Difracción de Rayos X (XRD) y Espectrometría de Masas Con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-MS) y Sus Posibles Aplicaciones e Impactos. *infoANALÍTICA* **2018**, *6* (1), 9–23.
- (47) Davison, C.; Beste, D.; Bailey, M.; Felipe Sotelo, M. Expanding the Boundaries of Atomic Spectroscopy at the Single-Cell Level: Critical Review of SP-ICP-MS, LIBS and LA-ICP-MS Advances for the Elemental Analysis of Tissues and Single Cells. *Anal Bioanal Chem* **2023**. <https://doi.org/10.1007/s00216-023-04721-8>.
- (48) Ríos-Tobón, S.; Agudelo-Cadavid, R. M.; Gutiérrez-Builes, L. A. Patógenos e Indicadores Microbiológicos de Calidad Del Agua Para Consumo Humano.

- Revista Facultad Nacional de Salud Pública* **2017**, 35 (2), 236–247.  
<https://doi.org/10.17533/udea.rfnsp.v35n2a08>.
- (49) Macdonald, D. D.; Ingersoll, C. G. *EPA A Guidance Manual to Support the Assessment of Contaminated Sediments in Freshwater Ecosystems Volume III- Interpretation of the Results of Sediment Quality Investigations*; 2002.
- (50) Port of London Authority. *Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life*. Sediment Quality. <https://www.pla.co.uk/Environment/Canadian-Sediment-Quality-Guidelines-for-the-Protection-of-Aquatic-Life> (accessed 2023-09-13).
- (51) OMS. *Panorama General*; 2022. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/arsenic> (accessed 2023-01-29).
- (52) Mendoza-Cano, O.; Sánchez-Piña, R. A.; Barrón-Quintana, J.; Cuevas-Arellano, H. B.; Escalante-Minakata, P.; Solano-Barajas, R. Riesgos Potenciales de Salud Por Consumo de Agua Con Arsénico En Colima, México. *Salud Publica Mex* **2017**, 59 (1), 34. <https://doi.org/10.21149/8413>.
- (53) Canadian Council of Ministers of the Environment. *Canadian Environmental Quality Guidelines Canadian Council of Ministers of the Environment Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life: ARSENIC*; Winnipeg, 1999.
- (54) Ministerio del Ambiente. *Texto Unificado de Normativa Secundaria Ambiental*; Quito, 2015.
- (55) Delgado Beltrán, J. A.; Ruiz Araujo, L. A. *Instructivo de Preparación de Suelos y Sedimentos Para Análisis*; Bogotá, Colombia, 2020. <http://www.geologia.unam.mx/igl/deptos/edafo/lfs/MANUAL%20DEL%20LABORATORIO%20DE%20FISICA%20DE%20>
- (56) Bazán Tapia, R. *Manual de Procedimientos de Los Análisis de Suelos y Agua Con Fines de Riego*; Lima, Perú, 2017. [https://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/20.500.12955/504/1/Bazan-Manual\\_de\\_procedimientos\\_de\\_los.pdf](https://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/20.500.12955/504/1/Bazan-Manual_de_procedimientos_de_los.pdf) (accessed 2023-08-10).

- (57) Larrea Murrell, J. A.; Romeu Alvarez, B.; Lugo Moya, D.; Rojas Badía, M. M. Aspectos Fundamentales Del Monitoreo de Calidad de Las Aguas: El Río Almendares Como Caso de Estudio. *Revista CENIC Ciencias Biológicas* **2022**, *53* (2), 148–159.
- (58) Prabagar, S.; Thuraisingam, S.; Prabagar, J. Sediment Analysis and Assessment of Water Quality in Spacial Variation Using Water Quality Index (NSFWQI) in Moragoda Canal in Galle, Sri Lanka. *Waste Management Bulletin* **2023**, *1* (2), 15–20. <https://doi.org/10.1016/j.wmb.2023.05.002>.
- (59) Gualdrón Durán, L. E. Evaluación de La Calidad de Agua de Ríos de Colombia Usando Parámetros Fisicoquímicos y Biológicos. *Revista Dinámica Ambiental* **2018**, *1* (1), 83–102.
- (60) Arévalo, G. E.; Sánchez Amaya, J. M.; Guillen Marquina, I. Estudio Del Contenido Materia Orgánica Por Dos Métodos Analíticos En Suelos de Honduras. *Revista de Ciencias Ambientales* **2022**, *57* (1), 1–13. <https://doi.org/10.15359/rca.57-1.11>.
- (61) Adolfo, F. R.; do Nascimento, P. C.; Leal, G. C.; Bohrer, D.; Viana, C.; de Carvalho, L. M. Simultaneous Determination of Fe and Ni in Guarana (Paullinia Cupana Kunth) by HR-CS GF AAS: Comparison of Direct Solid Analysis and Wet Acid Digestion Procedures. *Journal of Food Composition and Analysis* **2020**, *88*, 103459. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2020.103459>.
- (62) Pinheiro, F. C.; Babos, D. V.; Barros, A. I.; Pereira-Filho, E. R.; Nóbrega, J. A. Microwave-Assisted Digestion Using Dilute Nitric Acid Solution and Investigation of Calibration Strategies for Determination of As, Cd, Hg and Pb in Dietary Supplements Using ICP-MS. *J Pharm Biomed Anal* **2019**, *174*, 471–478. <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2019.06.018>.
- (63) U.S. EPA. *Method 3051A: Microwave Assisted Acid Digestion of Sediments, Sludges, Soils, and Oils.*; Washington, DC, 2007.
- (64) Benjumea Hoyos, C. A.; Álvarez Montes, G. Demanda de Oxigeno Por Sedimentos En Diferentes Tramos Del Río Negro Rionegro, Antioquia, Colombia. *Producción + Limpia* **2017**, *12* (2), 131–146. <https://doi.org/10.22507/pml.v12n2a11>.

- (65) Aveiga Ortiz, A. M.; Noles Aguilar, P. J.; Peñarrieta Macías, F.; Murgueitio Herrera, E. Distribución de Arsénico En Agua Superficial y Sedimento En La Cuenca Del Río Carrizal, Manabí - Ecuador. *Revista de la Sociedad Química del Perú* **2020**, *86* (3), 260–275.
- (66) Baeyens, W.; Mirlean, N.; Bundschuh, J.; de Winter, N.; Baisch, P.; da Silva Júnior, F. M. R.; Gao, Y. Arsenic Enrichment in Sediments and Beaches of Brazilian Coastal Waters: A Review. *Science of The Total Environment* **2019**, *681*, 143–154. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.126>.

## ANEXOS

**Anexo A.** Certificado de acreditación del laboratorio ANAVANLAB y método a utilizar para determinar arsénico en sedimentos.



### ALCANCE DE ACREDITACIÓN

#### PARA LAS ÁREAS DE: LABORATORIO DE ENSAYO

LABORATORIO ANALÍTICA AVANZADA ASESORÍA Y LABORATORIOS ANAVANLAB CÍA. LTDA.

MATRIZ: Dirección: Leonardo Da Vinci S6-236 y Alberto Dureró, ciudadela Primavera I, Cumbaya. • Teléfono: 02-355-0122 • E-mail: alejandra.hidalgo@aalab.com.ec  
Quito - Ecuador

Certificado de Acreditación N°: SAE LEN 18-019  
Expediente N°: OAE LE 13-003  
Revisión N°: 07  
Acreditación Inicial/Renovación:: 2018-06-28  
Vigencia hasta: 2023-06-27

#### PARA CALIBRACIÓN

Está acreditado por el Servicio de Acreditación Ecuatoriano (SAE) de acuerdo con los requerimientos establecidos en la Norma NTE INEN ISO/IEC 17025:2018 "Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración", Criterios Generales de Acreditación de laboratorios que realizan calibración (CRGA01), Guías y Políticas del SAE en su edición vigente, para las siguientes actividades:

**Localización (oficina crítica, detallar ciudad, país):** Quito-Ecuador

**Sector:** Ensayos

**Responsable Técnico:** Ana Alejandra Hidalgo Álvarez

**CATEGORÍA:** 0 Ensayos en laboratorio permanente

**CAMPO DE ENSAYO:** Análisis Físico-químicos en suelos

PRODUCTO O MATERIAL A ENSAYAR (1)	ENSAYO, TÉCNICA Y RANGOS (2)	MÉTODO DE ENSAYO (Procedimiento interno y método de referencia) (3)
Suelos Lodos Sedimentos	Hidrocarburos totales de petróleo (TPHs), Espectrofotometría IR, (100 a 100 000) mg/kg	AAA-PE-S008 Método de referencia: Standard Methods, Ed. 23. 2017 5520 E. EPA 3550 B. 2004
	Metales espectrofotometría de absorción atómica - Llama, aire -acetileno, - Cadmio (Cd), (0,1 a 50) mg/kg - Cobalto (Co), (5 a 500) mg/kg - Cobre (Cu), (2,5 a 500) mg/kg - Cromo (Cr), (15 a 500) mg/kg	AAA-PE-S011 Método de referencia: Environmental Protection EPA 7000 A. 1992 Environmental Protection EPA 3051. 2007
	Metales Espectrofotometría de Absorción Atómica, Generación de Hidruros, Arsénico (As) (0,1 a 50) mg/kg Mercurio (Hg) (0,25 a 50) mg/kg Selenio (Se) (0,25 a 50) mg/kg	AAA-PE-S012 Método de referencia: Environmental Protection Agency 7061A / 7471 B, 1992, Environmental Protection Agency 3051, 2007.

**Anexo B. Resultados de análisis de laboratorio de concentración de arsénico en sedimentos perteneciente al mes de julio.**

• Punto 1

ANALITICA AVANZADA - ASESORIA Y LABORATORIOS ANAVANLAB CIA. LTDA.						
			Matriz: La Primavera 1, Leonardo da Vinci S6-236 y Alberto Durero, Cumbaya. Contactos: 3550852 / 5143303 / servicioalcliente@aanalab.com.ec Sucursal: Avenida 9 de Octubre y Miguel Gamboa esquina, El Coca			
			Orden No. 52280-52289 Muestra AAALab No. 52282 Página 1 de 1			
INFORME DE RESULTADOS No. 50352						
1.- DATOS GENERALES						
CLIENTE:	CUENCA NAGUA DAMARIS ESTEFANIA			TELEFONO:	0990426955	
DIRECCION:	SANTA ROSA			ATENCION A:	DAMARIS CUENCA	
2.- INFORMACION DE LA MUESTRA						
TIPO DE MUESTRA:	SEDIMENTO	INTEGRIDAD DE LA MUESTRA:	CUMPLE	LUGAR DE TOMA DE MUESTRA:	PUENTE EN EL SITIO PIRIGUIÑA	
IDENTIFICACION DE LA MUESTRA:	PUNTO 1 WGSB4 624075;9612650	FECHA DE TOMA DE MUESTRA:	04/07/2023			
FECHA DE RECEPCION MUESTRA:	10/07/2023	RESPONSABLE DE TOMA DE MUESTRA:	CLIENTE			
		PERIODO DE REALIZACION DE ANALISIS:	10/07/2023 al 21/07/2023			
3.- RESULTADOS						
AA	PARAMETRO	METODO ANALITICO		UNIDADES	RESULTADO	+/- % U**
1	Arsénico	AAA-PE-S012/ EPA 7061 A / 7471 B, 3051.		mg/kg	21,0	10,0%
AA (Acreditaciones):				NOTAS		
1: Ensayos dentro del alcance de acreditación N° SAE LEN 13-006 realizados en Matriz Quito.		2: Ensayos subcontratados acreditados. Ver observaciones.		*Interpretaciones fuera del alcance de acreditación SAE.		
3: Ensayos dentro del alcance de acreditación N° SAE LEN 13-006 realizados en Sucursal Coca.		4: Ensayos subcontratados no acreditados. Ver observaciones.		**INCERTIDUMBRE (U%): Los valores se han estimado con k=2, nivel de confianza 95,45%.		
(*) Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el Alcance de Acreditación SAE.		ANAVANLAB asume la responsabilidad por los análisis subcontratados.		Procedimiento de Toma de muestra utilizado por ANAVANLAB: AAA-PI-A003 / AAA-PI-S001		
El presente informe solo afecta a la muestra analizada. Si el cliente suministró la muestra, su información y sus resultados aplican a la muestra como se recibió.						
Este informe es de propiedad del cliente y se considera de carácter privado y confidencial. Los datos suministrados por el cliente se detallan en el apartado de Datos Generales, y en el de identificación de la muestra cuando aplique.						
4.- OBSERVACIONES			<b>INFORME REVISADO Y AUTORIZADO POR:</b> Lcda. Alejandra Hidalgo Gerente Técnica ANAVANLAB CIA. LTDA. Quito, 21/07/2023			

• Punto 2

ANALITICA AVANZADA - ASESORIA Y LABORATORIOS ANAVANLAB CIA. LTDA.						
			Matriz: La Primavera 1, Leonardo da Vinci S6-236 y Alberto Durero, Cumbaya. Contactos: 3550852 / 5143303 / servicioalcliente@aanalab.com.ec Sucursal: Avenida 9 de Octubre y Miguel Gamboa esquina, El Coca			
			Orden No. 52280-52289 Muestra AAALab No. 52288 Página 1 de 1			
INFORME DE RESULTADOS No. 50353						
1.- DATOS GENERALES						
CLIENTE:	CUENCA NAGUA DAMARIS ESTEFANIA			TELEFONO:	0990426955	
DIRECCION:	SANTA ROSA			ATENCION A:	DAMARIS CUENCA	
2.- INFORMACION DE LA MUESTRA						
TIPO DE MUESTRA:	SEDIMENTO	INTEGRIDAD DE LA MUESTRA:	CUMPLE	LUGAR DE TOMA DE MUESTRA:	BALNEARIO LOS TILLOS	
IDENTIFICACION DE LA MUESTRA:	PUNTO 2 WGSB4 623112;9612501	FECHA DE TOMA DE MUESTRA:	04/07/2023			
FECHA DE RECEPCION MUESTRA:	10/07/2023	RESPONSABLE DE TOMA DE MUESTRA:	CLIENTE			
		PERIODO DE REALIZACION DE ANALISIS:	10/07/2023 al 21/07/2023			
3.- RESULTADOS						
AA	PARAMETRO	METODO ANALITICO		UNIDADES	RESULTADO	+/- % U**
1	Arsénico	AAA-PE-S012/ EPA 7061 A / 7471 B, 3051.		mg/kg	13,1	10,0%
AA (Acreditaciones):				NOTAS		
1: Ensayos dentro del alcance de acreditación N° SAE LEN 13-006 realizados en Matriz Quito.		2: Ensayos subcontratados acreditados. Ver observaciones.		*Interpretaciones fuera del alcance de acreditación SAE.		
3: Ensayos dentro del alcance de acreditación N° SAE LEN 13-006 realizados en Sucursal Coca.		4: Ensayos subcontratados no acreditados. Ver observaciones.		**INCERTIDUMBRE (U%): Los valores se han estimado con k=2, nivel de confianza 95,45%.		
(*) Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el Alcance de Acreditación SAE.		ANAVANLAB asume la responsabilidad por los análisis subcontratados.		Procedimiento de Toma de muestra utilizado por ANAVANLAB: AAA-PI-A003 / AAA-PI-S001		
El presente informe solo afecta a la muestra analizada. Si el cliente suministró la muestra, su información y sus resultados aplican a la muestra como se recibió.						
Este informe es de propiedad del cliente y se considera de carácter privado y confidencial. Los datos suministrados por el cliente se detallan en el apartado de Datos Generales, y en el de identificación de la muestra cuando aplique.						
4.- OBSERVACIONES			<b>INFORME REVISADO Y AUTORIZADO POR:</b> Lcda. Alejandra Hidalgo Gerente Técnica ANAVANLAB CIA. LTDA. Quito, 21/07/2023			

• Punto 3



ANALITICA AVANZADA - ASESORIA Y LABORATORIOS  
ANAVANLAB CIA. LTDA.

Matriz: La Primavera I, Leonardo da Vinci S6-236 y Alberto Durero, Cumbaya.  
Contactos: 3550852 / 5143303 / servicioalcliente@aaalab.com.ec

Sucursal: Avenida 9 de Octubre y Miguel Gamboa esquina, El Coca

Orden No. 52280-52289  
Muestra AAALab No. 52286  
Página 1 de 1

INFORME DE RESULTADOS No. 50354

1.- DATOS GENERALES						
CLIENTE:	CUENCA NAGUA DAMARIS ESTEFANIA			TELEFONO:	0990426955	
DIRECCION:	SANTA ROSA			ATENCION A:	DAMARIS CUENCA	
2.-INFORMACION DE LA MUESTRA		INTEGRIDAD DE LA MUESTRA:	CUMPLE	LUGAR DE TOMA DE MUESTRA:	HACIENDA CACAOTERA, RÍO BIRÓN	
TIPO DE MUESTRA:	SEDIMENTO			FECHA DE TOMA DE MUESTRA:	04/07/2023	
IDENTIFICACION DE LA MUESTRA:	PUNTO 3 WGS84 621946;9616337			RESPONSABLE DE TOMA DE MUESTRA:	CLIENTE	
FECHA DE RECEPCION MUESTRA:	10/07/2023			PERIODO DE REALIZACION DE ANALISIS:	10/07/2023 al 21/07/2023	
3.-RESULTADOS						
AA	PARAMETRO	METODO ANALITICO		UNIDADES	RESULTADO	+/- % U**
1	Arsénico	AAA-PE-S012/ EPA 7061 A / 7471 B, 3051.		mg/kg	9,1	10,0%
AA (Acreditaciones):				NOTAS		
1: Ensayos dentro del alcance de acreditación N° SAE LEN 13-006 realizados en Matriz Quito.		2: Ensayos subcontratados acreditados. Ver observaciones.		*Interpretaciones fuera del alcance de acreditación SAE.		
3: Ensayos dentro del alcance de acreditación N° SAE LEN 13-006 realizados en Sucursal Coca.		4: Ensayos subcontratados no acreditados. Ver observaciones.		**INCERTIDUMBRE (U%): Los valores se han estimado con k=2, nivel de confianza 95,45%.		
(*) Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el Alcance de Acreditación SAE.		ANAVANLAB asume la responsabilidad por los análisis subcontratados.		Procedimiento de Toma de muestra utilizado por ANAVANLAB: AAA-PI-A003 / AAA-PI-5001		
El presente informe solo afecta a la muestra analizada. Si el cliente suministró la muestra, su información y sus resultados aplican a la muestra como se recibió.						
Este informe es de propiedad del cliente y se considera de carácter privado y confidencial. Los datos suministrados por el cliente se detallan en el apartado de Datos Generales, y en el de identificación de la muestra cuando aplique.						
4.-OBSERVACIONES			<b>INFORME REVISADO Y AUTORIZADO POR:</b> Lcda. Alejandra Hidalgo Gerente Técnica ANAVANLAB CIA. LTDA. Quito, 21/07/2023			

• Punto 4



ANALITICA AVANZADA - ASESORIA Y LABORATORIOS  
ANAVANLAB CIA. LTDA.

Matriz: La Primavera I, Leonardo da Vinci S6-236 y Alberto Durero, Cumbaya.  
Contactos: 3550852 / 5143303 / servicioalcliente@aaalab.com.ec

Sucursal: Avenida 9 de Octubre y Miguel Gamboa esquina, El Coca

Orden No. 52280-52289  
Muestra AAALab No. 52280  
Página 1 de 1

INFORME DE RESULTADOS No. 50355

1.- DATOS GENERALES						
CLIENTE:	CUENCA NAGUA DAMARIS ESTEFANIA			TELEFONO:	0990426955	
DIRECCION:	SANTA ROSA			ATENCION A:	DAMARIS CUENCA	
2.-INFORMACION DE LA MUESTRA		INTEGRIDAD DE LA MUESTRA:	CUMPLE	LUGAR DE TOMA DE MUESTRA:	RÍO BIRÓN, SECTOR CALUGURO	
TIPO DE MUESTRA:	SEDIMENTO			FECHA DE TOMA DE MUESTRA:	04/07/2023	
IDENTIFICACION DE LA MUESTRA:	PUNTO 4 WGS84 621719;9616430			RESPONSABLE DE TOMA DE MUESTRA:	CLIENTE	
FECHA DE RECEPCION MUESTRA:	10/07/2023			PERIODO DE REALIZACION DE ANALISIS:	10/07/2023 al 21/07/2023	
3.-RESULTADOS						
AA	PARAMETRO	METODO ANALITICO		UNIDADES	RESULTADO	+/- % U**
1	Arsénico	AAA-PE-S012/ EPA 7061 A / 7471 B, 3051.		mg/kg	15,9	10,0%
AA (Acreditaciones):				NOTAS		
1: Ensayos dentro del alcance de acreditación N° SAE LEN 13-006 realizados en Matriz Quito.		2: Ensayos subcontratados acreditados. Ver observaciones.		*Interpretaciones fuera del alcance de acreditación SAE.		
3: Ensayos dentro del alcance de acreditación N° SAE LEN 13-006 realizados en Sucursal Coca.		4: Ensayos subcontratados no acreditados. Ver observaciones.		**INCERTIDUMBRE (U%): Los valores se han estimado con k=2, nivel de confianza 95,45%.		
(*) Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el Alcance de Acreditación SAE.		ANAVANLAB asume la responsabilidad por los análisis subcontratados.		Procedimiento de Toma de muestra utilizado por ANAVANLAB: AAA-PI-A003 / AAA-PI-5001		
El presente informe solo afecta a la muestra analizada. Si el cliente suministró la muestra, su información y sus resultados aplican a la muestra como se recibió.						
Este informe es de propiedad del cliente y se considera de carácter privado y confidencial. Los datos suministrados por el cliente se detallan en el apartado de Datos Generales, y en el de identificación de la muestra cuando aplique.						
4.-OBSERVACIONES			<b>INFORME REVISADO Y AUTORIZADO POR:</b> Lcda. Alejandra Hidalgo Gerente Técnica ANAVANLAB CIA. LTDA. Quito, 21/07/2023			

- Punto 5



ANALITICA AVANZADA - ASESORIA Y LABORATORIOS  
ANAVANLAB CIA. LTDA.

Matriz: La Primavera I, Leonardo da Vinci S6-236 y Alberto Durero, Cumbaya.  
Contactos: 3550852 / 5143303 / servicioalcliente@aanalab.com.ec  
Sucursal: Avenida 9 de Octubre y Miguel Gamboa esquina, El Coca

Orden No. 52280-52289  
Muestra AAALab No. 52284  
Página 1 de 1

INFORME DE RESULTADOS No. 50356					
<b>1.- DATOS GENERALES</b>					
CLIENTE:	CUENCA NAGUA DAMARIS ESTEFANIA			TELEFONO:	0990426955
DIRECCION:	SANTA ROSA			ATENCION A:	DAMARIS CUENCA
<b>2.- INFORMACION DE LA MUESTRA</b>	INTEGRIDAD DE LA MUESTRA:	CUMPLE	LUGAR DE TOMA DE MUESTRA:	CAPTACIÓN DE AGUA, RÍO CHICO	
TIPO DE MUESTRA:	SEDIMENTO		FECHA DE TOMA DE MUESTRA:	04/07/2023	
IDENTIFICACION DE LA MUESTRA:	PUNTO 5 WGS84 627522;9615620		RESPONSABLE DE TOMA DE MUESTRA:	CLIENTE	
FECHA DE RECEPCION MUESTRA:	10/07/2023		PERIODO DE REALIZACION DE ANALISIS:	10/07/2023 al 21/07/2023	
<b>3.- RESULTADOS</b>					
AA	PARAMETRO	METODO ANALITICO		UNIDADES	RESULTADO +/- % U**
1	Arsénico	AAA-PE-S012/ EPA 7061 A / 7471 B, 3051.		mg/kg	6,1 10,0%
<b>AA (Acreditaciones):</b>				<b>NOTAS</b>	
1: Ensayos dentro del alcance de acreditación N° SAE LEN 13-006 realizados en Matriz Quito.		2: Ensayos subcontratados acreditados. Ver observaciones.		*Interpretaciones fuera del alcance de acreditación SAE.	
3: Ensayos dentro del alcance de acreditación N° SAE LEN 13-006 realizados en Sucursal Coca.		4: Ensayos subcontratados no acreditados. Ver observaciones.		**INCERTIDUMBRE (1%): Los valores se han estimado con k=2, nivel de confianza 95,45%.	
(*) Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el Alcance de Acreditación SAE.		ANAVANLAB asume la responsabilidad por los análisis subcontratados.		Procedimiento de Toma de muestra utilizado por ANAVANLAB: AAA-PI-A003 / AAA-PI-S001	
El presente informe solo afecta a la muestra analizada. Si el cliente suministró la muestra, su información y sus resultados aplican a la muestra como se recibió.					
Este informe es de propiedad del cliente y se considera de carácter privado y confidencial. Los datos suministrados por el cliente se detallan en el apartado de Datos Generales, y en el de identificación de la muestra cuando aplique.					
<b>4.- OBSERVACIONES</b>			<b>INFORME REVISADO Y AUTORIZADO POR:</b> Lcda. Alejandra Hidalgo Gerente Técnica ANAVANLAB CIA. LTDA. Quito, 21/07/2023		

Anexo C. Resultados de análisis de laboratorio de concentración de arsénico en sedimentos perteneciente al mes de agosto.

- Punto 1



ANALITICA AVANZADA - ASESORIA Y LABORATORIOS  
ANAVANLAB CIA. LTDA.

Matriz: La Primavera I, Leonardo da Vinci S6-236 y Alberto Durero, Cumbaya.  
Contactos: 3550852 / 5143303 / servicioalcliente@aanalab.com.ec

Sucursal: Avenida 9 de Octubre y Miguel Gamboa esquina, El Coca

Orden No. 52280-52289  
Muestra AAALab No. 52282  
Página 1 de 1

INFORME DE RESULTADOS No. 52282					
<b>1.- DATOS GENERALES</b>					
CLIENTE:	CUENCA NAGUA DAMARIS ESTEFANIA			TELEFONO:	0990426955
DIRECCION:	SANTA ROSA			ATENCION A:	DAMARIS CUENCA
<b>2.- INFORMACION DE LA MUESTRA</b>	INTEGRIDAD DE LA MUESTRA:	CUMPLE	LUGAR DE TOMA DE MUESTRA:	PUENTE EN EL SITIO PIRIGUIÑA	
TIPO DE MUESTRA:	SEDIMENTO		FECHA DE TOMA DE MUESTRA:	08/08/2023	
IDENTIFICACION DE LA MUESTRA:	PUNTO 1 WGS84 624075;9612650		RESPONSABLE DE TOMA DE MUESTRA:	CLIENTE	
FECHA DE RECEPCION MUESTRA:	15/08/2023		PERIODO DE REALIZACION DE ANALISIS:	15/08/2023 al 28/08/2023	
<b>3.- RESULTADOS</b>					
AA	PARAMETRO	METODO ANALITICO		UNIDADES	RESULTADO +/- % U**
1	Arsénico	AAA-PE-S012/ EPA 7061 A / 7471 B, 3051.		mg/kg	21,5 10,0%
<b>AA (Acreditaciones):</b>				<b>NOTAS</b>	
1: Ensayos dentro del alcance de acreditación N° SAE LEN 13-006 realizados en Matriz Quito.		2: Ensayos subcontratados acreditados. Ver observaciones.		*Interpretaciones fuera del alcance de acreditación SAE.	
3: Ensayos dentro del alcance de acreditación N° SAE LEN 13-006 realizados en Sucursal Coca.		4: Ensayos subcontratados no acreditados. Ver observaciones.		**INCERTIDUMBRE (1%): Los valores se han estimado con k=2, nivel de confianza 95,45%.	
(*) Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el Alcance de Acreditación SAE.		ANAVANLAB asume la responsabilidad por los análisis subcontratados.		Procedimiento de Toma de muestra utilizado por ANAVANLAB: AAA-PI-A003 / AAA-PI-S001	
El presente informe solo afecta a la muestra analizada. Si el cliente suministró la muestra, su información y sus resultados aplican a la muestra como se recibió.					
Este informe es de propiedad del cliente y se considera de carácter privado y confidencial. Los datos suministrados por el cliente se detallan en el apartado de Datos Generales, y en el de identificación de la muestra cuando aplique.					
<b>4.- OBSERVACIONES</b>			<b>INFORME REVISADO Y AUTORIZADO POR:</b> Lcda. Alejandra Hidalgo Gerente Técnica ANAVANLAB CIA. LTDA. Quito, 28/08/2023		

- Punto 2



**ANALITICA AVANZADA - ASESORIA Y LABORATORIOS  
ANAVANLAB CIA. LTDA.**

**Matriz:** La Primavera I, Leonardo da Vinci S6-236 y Alberto Durero, Cumbaya.  
Contactos: 3550852 / 5143303 / servicioalcliente@aanalab.com.ec  
**Sucursal:** Avenida 9 de Octubre y Miguel Gamboa esquina, El Coca

Orden No. 52280-52289  
Muestra AAALab No. 52288  
Página 1 de 1

INFORME DE RESULTADOS No. 52288						
<b>1.- DATOS GENERALES</b>						
CLIENTE:	CUENCA NAGUA DAMARIS ESTEFANIA			TELEFONO:	0990426955	
DIRECCION:	SANTA ROSA			ATENCION A:	DAMARIS CUENCA	
<b>2.- INFORMACION DE LA MUESTRA</b>		INTEGRIDAD DE LA MUESTRA:	CUMPLE	LUGAR DE TOMA DE MUESTRA:	BALNEARIO LOS TILLOS	
TIPO DE MUESTRA:		SEDIMENTO		FECHA DE TOMA DE MUESTRA:	08/08/2023	
IDENTIFICACION DE LA MUESTRA:		PUNTO 2 WGS84 623112;9612501		RESPONSABLE DE TOMA DE MUESTRA:	CLIENTE	
FECHA DE RECEPCION MUESTRA:		15/08/2023		PERIODO DE REALIZACION DE ANALISIS:	15/08/2023 al 28/08/2023	
<b>3.- RESULTADOS</b>						
AA	PARAMETRO	METODO ANALITICO		UNIDADES	RESULTADO	+/- % U**
1	Arsénico	AAA-PE-S012/ EPA 7061 A / 7471 B, 305 L.		mg/kg	13,9	10,0%
<b>AA (Acreditaciones):</b>				<b>NOTAS</b>		
1: Ensayos dentro del alcance de acreditación N° SAE LEN 13-006 realizados en Matriz Quito.		2: Ensayos subcontratados acreditados. Ver observaciones.		*Interpretaciones fuera del alcance de acreditación SAE.		
3: Ensayos dentro del alcance de acreditación N° SAE LEN 13-006 realizados en Sucursal Coca.		4: Ensayos subcontratados no acreditados. Ver observaciones.		**INCERTIDUMBRE (U%): Los valores se han estimado con k=2, nivel de confianza 95,45%.		
[*] Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el Alcance de Acreditación SAE.		ANAVANLAB asume la responsabilidad por los análisis subcontratados.		Procedimiento de Toma de muestra utilizado por ANAVANLAB: AAA-PI-A003 / AAA-PI-S001		
El presente informe solo afecta a la muestra analizada. Si el cliente suministró la muestra, su información y sus resultados aplican a la muestra como se recibió.						
Este informe es de propiedad del cliente y se considera de carácter privado y confidencial. Los datos suministrados por el cliente se detallan en el apartado de Datos Generales, y en el de identificación de la muestra cuando aplique.						
<b>4.- OBSERVACIONES</b>				<b>INFORME REVISADO Y AUTORIZADO POR:</b> Lcda. Alejandra Hidalgo Gerente Técnica ANAVANLAB CIA. LTDA. Quito, 28/08/2023		

- Punto 3



**ANALITICA AVANZADA - ASESORIA Y LABORATORIOS  
ANAVANLAB CIA. LTDA.**

**Matriz:** La Primavera I, Leonardo da Vinci S6-236 y Alberto Durero, Cumbaya.  
Contactos: 3550852 / 5143303 / servicioalcliente@aanalab.com.ec  
**Sucursal:** Avenida 9 de Octubre y Miguel Gamboa esquina, El Coca

Orden No. 52280-52289  
Muestra AAALab No. 52286  
Página 1 de 1

INFORME DE RESULTADOS No. 52286						
<b>1.- DATOS GENERALES</b>						
CLIENTE:	CUENCA NAGUA DAMARIS ESTEFANIA			TELEFONO:	0990426955	
DIRECCION:	SANTA ROSA			ATENCION A:	DAMARIS CUENCA	
<b>2.- INFORMACION DE LA MUESTRA</b>		INTEGRIDAD DE LA MUESTRA:	CUMPLE	LUGAR DE TOMA DE MUESTRA:	HACIENDA CACAOTERA, RÍO BIRÓN	
TIPO DE MUESTRA:		SEDIMENTO		FECHA DE TOMA DE MUESTRA:	08/08/2023	
IDENTIFICACION DE LA MUESTRA:		PUNTO 3 WGS84 621946;9616337		RESPONSABLE DE TOMA DE MUESTRA:	CLIENTE	
FECHA DE RECEPCION MUESTRA:		15/08/2023		PERIODO DE REALIZACION DE ANALISIS:	15/08/2023 al 28/08/2023	
<b>3.- RESULTADOS</b>						
AA	PARAMETRO	METODO ANALITICO		UNIDADES	RESULTADO	+/- % U**
1	Arsénico	AAA-PE-S012/ EPA 7061 A / 7471 B, 305 L.		mg/kg	10,35	10,0%
<b>AA (Acreditaciones):</b>				<b>NOTAS</b>		
1: Ensayos dentro del alcance de acreditación N° SAE LEN 13-006 realizados en Matriz Quito.		2: Ensayos subcontratados acreditados. Ver observaciones.		*Interpretaciones fuera del alcance de acreditación SAE.		
3: Ensayos dentro del alcance de acreditación N° SAE LEN 13-006 realizados en Sucursal Coca.		4: Ensayos subcontratados no acreditados. Ver observaciones.		**INCERTIDUMBRE (U%): Los valores se han estimado con k=2, nivel de confianza 95,45%.		
[*] Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el Alcance de Acreditación SAE.		ANAVANLAB asume la responsabilidad por los análisis subcontratados.		Procedimiento de Toma de muestra utilizado por ANAVANLAB: AAA-PI-A003 / AAA-PI-S001		
El presente informe solo afecta a la muestra analizada. Si el cliente suministró la muestra, su información y sus resultados aplican a la muestra como se recibió.						
Este informe es de propiedad del cliente y se considera de carácter privado y confidencial. Los datos suministrados por el cliente se detallan en el apartado de Datos Generales, y en el de identificación de la muestra cuando aplique.						
<b>4.- OBSERVACIONES</b>				<b>INFORME REVISADO Y AUTORIZADO POR:</b> Lcda. Alejandra Hidalgo Gerente Técnica ANAVANLAB CIA. LTDA. Quito, 28/08/2023		

• Punto 4



ANALITICA AVANZADA - ASESORIA Y LABORATORIOS  
ANAVANLAB CIA. LTDA.

Matriz: La Primavera I, Leonardo da Vinci 56-236 y Alberto Durero, Cumbaya.  
Contactos: 3550852 / 5143303 / servicioalcliente@aanalab.com.ec

Sucursal: Avenida 9 de Octubre y Miguel Gamboa esquina, El Coca

Orden No. 52280-52289  
Muestra AAALab No. 52280  
Página 1 de 1

INFORME DE RESULTADOS No. 52280					
<b>1.- DATOS GENERALES</b>					
CLIENTE:	CUENCA NAGUA DAMARIS ESTEFANIA			TELEFONO:	0990426955
DIRECCION:	SANTA ROSA			ATENCION A:	DAMARIS CUENCA
<b>2.-INFORMACION DE LA MUESTRA</b>		INTEGRIDAD DE LA MUESTRA:	CUMPLE	LUGAR DE TOMA DE MUESTRA:	RÍO BIRÓN, SECTOR CALUGURO
TIPO DE MUESTRA:	SEDIMENTO			FECHA DE TOMA DE MUESTRA:	08/08/2023
IDENTIFICACION DE LA MUESTRA:	PUNTO 4 WGS84 621719;9616430			RESPONSABLE DE TOMA DE MUESTRA:	CLIENTE
FECHA DE RECEPCION MUESTRA:	15/08/2023			PERIODO DE REALIZACION DE ANALISIS:	15/08/2023 al 28/08/2023
<b>3.-RESULTADOS</b>					
AA	PARAMETRO	METODO ANALITICO		UNIDADES	RESULTADO +/- % U**
1	Arsénico	AAA-PE-S012/ EPA 7061 A / 7471 B, 305 L.		mg/kg	16,5 10,0%
<b>AA (Acreditaciones):</b>				<b>NOTAS</b>	
1: Ensayos dentro del alcance de acreditación N° SAE LEN 13-006 realizados en Matriz Quito.		2: Ensayos subcontratados acreditados. Ver observaciones.		*Interpretaciones fuera del alcance de acreditación SAE.	
3: Ensayos dentro del alcance de acreditación N° SAE LEN 13-006 realizados en Sucursal Coca.		4: Ensayos subcontratados no acreditados. Ver observaciones.		**INCERTIDUMBRE (U%): Los valores se han estimado con k=2, nivel de confianza 95,45%.	
(*) Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el Alcance de Acreditación SAE.		ANAVANLAB asume la responsabilidad por los análisis subcontratados.		Procedimiento de Toma de muestra utilizado por ANAVANLAB: AAA-PI-A003 / AAA-PI-S001	
El presente informe solo afecta a la muestra analizada. Si el cliente suministró la muestra, su información y sus resultados aplican a la muestra como se recibió.					
Este informe es de propiedad del cliente y se considera de carácter privado y confidencial. Los datos suministrados por el cliente se detallan en el apartado de Datos Generales, y en el de identificación de la muestra cuando aplique.					
<b>4.-OBSERVACIONES</b>				<b>INFORME REVISADO Y AUTORIZADO POR:</b> Lcda. Alejandra Hidalgo Gerente Técnica ANAVANLAB CIA. LTDA. Quito, 28/08/2023	

• Punto 5



ANALITICA AVANZADA - ASESORIA Y LABORATORIOS  
ANAVANLAB CIA. LTDA.

Matriz: La Primavera I, Leonardo da Vinci 56-236 y Alberto Durero, Cumbaya.  
Contactos: 3550852 / 5143303 / servicioalcliente@aanalab.com.ec

Sucursal: Avenida 9 de Octubre y Miguel Gamboa esquina, El Coca

Orden No. 52280-52289  
Muestra AAALab No. 52284  
Página 1 de 1

INFORME DE RESULTADOS No. 52284					
<b>1.- DATOS GENERALES</b>					
CLIENTE:	CUENCA NAGUA DAMARIS ESTEFANIA			TELEFONO:	0990426955
DIRECCION:	SANTA ROSA			ATENCION A:	DAMARIS CUENCA
<b>2.-INFORMACION DE LA MUESTRA</b>		INTEGRIDAD DE LA MUESTRA:	CUMPLE	LUGAR DE TOMA DE MUESTRA:	CAPTACIÓN DE AGUA, RÍO CHICO
TIPO DE MUESTRA:	SEDIMENTO			FECHA DE TOMA DE MUESTRA:	08/08/2023
IDENTIFICACION DE LA MUESTRA:	PUNTO 5 WGS84 627522;9615620			RESPONSABLE DE TOMA DE MUESTRA:	CLIENTE
FECHA DE RECEPCION MUESTRA:	15/08/2023			PERIODO DE REALIZACION DE ANALISIS:	15/08/2023 al 28/08/2023
<b>3.-RESULTADOS</b>					
AA	PARAMETRO	METODO ANALITICO		UNIDADES	RESULTADO +/- % U**
1	Arsénico	AAA-PE-S012/ EPA 7061 A / 7471 B, 305 L.		mg/kg	7,5 10,0%
<b>AA (Acreditaciones):</b>				<b>NOTAS</b>	
1: Ensayos dentro del alcance de acreditación N° SAE LEN 13-006 realizados en Matriz Quito.		2: Ensayos subcontratados acreditados. Ver observaciones.		*Interpretaciones fuera del alcance de acreditación SAE.	
3: Ensayos dentro del alcance de acreditación N° SAE LEN 13-006 realizados en Sucursal Coca.		4: Ensayos subcontratados no acreditados. Ver observaciones.		**INCERTIDUMBRE (U%): Los valores se han estimado con k=2, nivel de confianza 95,45%.	
(*) Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el Alcance de Acreditación SAE.		ANAVANLAB asume la responsabilidad por los análisis subcontratados.		Procedimiento de Toma de muestra utilizado por ANAVANLAB: AAA-PI-A003 / AAA-PI-S001	
El presente informe solo afecta a la muestra analizada. Si el cliente suministró la muestra, su información y sus resultados aplican a la muestra como se recibió.					
Este informe es de propiedad del cliente y se considera de carácter privado y confidencial. Los datos suministrados por el cliente se detallan en el apartado de Datos Generales, y en el de identificación de la muestra cuando aplique.					
<b>4.-OBSERVACIONES</b>				<b>INFORME REVISADO Y AUTORIZADO POR:</b> Lcda. Alejandra Hidalgo Gerente Técnica ANAVANLAB CIA. LTDA. Quito, 28/08/2023	

**Anexo D. Pretratamiento de las muestras de sedimento.**



Eliminación manual de exceso de agua y colocación de sedimentos en bandejas de aluminio.



Secado de las muestras en una estufa a una temperatura de 40°C durante 24 horas.



Molienda de sedimentos.



Tamizado de las muestras de sedimento.

**Anexo E. Determinación de parámetros fisicoquímicos.**



Determinación de materia orgánica mediante calcinación en mufla.



Determinación de pH y conductividad eléctrica mediante un medidor multiparamétrico HQ40D.