

República Dominicana
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DEL CIBAO ORIENTAL
Universidad Patrimonio de la Comunidad



Facultad de Postgrado y Educación Continuada
Departamento de Postgrado

Trabajo de Postgrado para Optar por el Título de Magister en Química

Título

Análisis de los Metales Pesados Presentes en las Aguas del Arroyo Hicaco del
Municipio de Cotuí año 2023.

Sustentantes

Rokilania Belén Belén
Waleska Anyelik Díaz Robles

Asesor

Laura Méndez

Cotuí, Prov. Sánchez Ramírez
Año Académico 2023

TÍTULO

**ANÁLISIS DE LOS METALES PESADOS PRESENTES EN LAS AGUAS DEL
ARROYO HICACO DEL MUNICIPIO DE COTUÍ AÑO 2023.**

Hoja de Evaluación

Título: Análisis de los Metales Pesados Presentes en las Aguas del Arroyo Hicaco del municipio de Cotuí año 2023.

Por:

Rokilania Belén Belén
Waleska Anyelik Díaz Robles

Trabajo de postgrado sometido a la Universidad Tecnológica del Cibao Oriental (UTECO). Como requisito parcial para obtener el título de Maestría en Química.

Miembro de Comité Evaluador.

Laura Méndez
Asesor(a)

Lolymar Romero
Miembro de Comité Evaluador

Rosa A. Recio
Miembro de Comité Evaluador

Bélgica López
Miembro de Comité Evaluador

Lic. Yuderka Reyes
Directora de Postgrado

Dr. Dionicio Ripoll
Decano de Postgrado y Educación Continuada

Calificación _____

Declaración de Autoría

TÍTULO: Análisis de los Metales Pesados Presentes en las Aguas del Arroyo Hicaco del Municipio de Cotuí año 2023.

Por:

Rokilania Belén Belén

Waleska Anyelik Díaz Robles

Los conceptos emitidos en el presente trabajo de postgrado son responsabilidad de los sustentantes de este. Las citas, consultas bibliográficas se han realizado respetando el derecho de autor; por tanto, se libera a la Universidad Tecnológica del Cibao Oriental (UTECO) de su responsabilidad, sin embargo, para la reproducción total o parcial se requiere de su autorización.

Índice

AGRADECIMIENTOS.....	i
DEDICATORIA.....	ii
Resumen	v
CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Planteamiento del Problema	4
1.3 Justificación e importancia	6
1.4 Objetivos.....	7
1.4.1 Objetivo general.....	7
1.4.2 Objetivos específicos	7
1.5 Variables e indicadores	8
1.6 Definición de términos.....	8
1.7 Marco contextual	12
1.8 Alcance y límites de la investigación.....	17
CAPÍTULO II REVISIÓN DE LITERATURA.....	18
2.1 Introducción.....	18
2.2 Metales pesados	18
2.3 Propiedades químicas de los metales pesados	20
2.4 Plomo.....	21
2.5 El plomo y sus efectos a la salud	22
2.6 Propiedades químicas del plomo	22
2.7 Mercurio	22
2.8 Propiedades químicas del mercurio	23
2.9 Pruebas químicas para identificar metales pesados en el agua.....	23
2.10 Espectrofotometría de absorción atómica (EAA)	23
2.11 Espectrometría de emisión óptica con plasma acoplado inductivamente (ICP-OES)	24
2.12 Espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS)	25
2.13 Cromatografía de intercambio iónico:	25
2.14 Detención de metales pesados	26
2.15 Espectrómetro	26

2.16 El agua	26
2.17 Propiedades químicas del agua	28
2.18 Potencial de hidrogeno (pH)	28
2.19 Propiedades físicas del agua	29
2.20 Densidad	29
2.21 Dureza.....	30
2.22 Ciclos del agua.....	30
CAPÍTULO III METODOLOGÍA	32
3.1 Introducción.....	32
3.2 Diseño y tipo de investigación.....	32
3.2.1 Tipo de investigación.....	32
3.2.2 Enfoque investigativo	33
3.2.3 Método de investigación.....	33
3.3 Población y muestra.....	33
3.3.1 Puntos de muestreo en la aplicación Google Maps.....	34
3.4 Técnicas de recolección de muestras	35
3.4.1 Metodología.....	35
3.4.2 Instrumentos	36
3.4.3 Cuadro con herramientas, reactivos y equipos para identificación del plomo	37
3.4.4 Esquema para representar el análisis metodológico de la muestra de plomo de las aguas superficiales del Arroyo Hicaco	38
3.4.5 Herramientas, equipos y reactivos utilizados para el análisis de la muestra de mercurio en las superficiales del Arroyo Hicaco.....	40
3.4.6 Procedimiento para el análisis de la muestra de mercurio de las aguas superficiales del Arroyo Hicaco.	41
3.4.7 Cuadro con los materiales, equipos y reactivos utilizados en la muestra para el análisis de la muestra de cadmio.	42
3.4.8 Procedimiento para el análisis de la muestra de muestra de cadmio de las aguas superficiales del Arroyo Hicaco	43
3.4.9 Herramientas y equipos para la identificación de Aluminio.....	44
3.4.10 Procedimiento para el análisis de la muestra de muestra de aluminio de las aguas superficiales del Arroyo Hicaco	45
3.5 Validez y confiabilidad	46
3.6 Procedimientos	46
3.7 Análisis de los datos	47

CAPÍTULO IV PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	48
4.1 Introducción.....	48
4.2 Aspectos Organolépticos al instante del monitoreo de las aguas.	48
4.3 Condición química del agua.....	50
4.4 Tabla de comportamiento del pH.....	50
4.5 Comportamiento de la temperatura.....	51
4.6 Condición de la Dureza.....	51
4.7 Conductividad.....	52
4.8 Contenido de Metales Pesados Plomo, Mercurio, Aluminio y Cadmio en las aguas del Arrollo Hicaco Cotuí Provincia Sánchez Ramírez.....	52
4.9 Contenido de Plomo (Pb) en las aguas del Arroyo Hicaco	52
4.10 Contenido de Cadmio en las aguas del Arroyo Hicaco.....	53
4.11 Contenido de Mercurio en las aguas del Arroyo Hicaco.....	53
4.12 Contenido de Aluminio en las aguas del Arroyo Hicaco	54
CAPÍTULO V DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	55
5.1 Introducción.....	55
5.2 Análisis de los resultados.....	55
5.2 Conclusiones.....	57
5.3 Recomendaciones	58
Referencias	60
ANEXOS	67

Índice de Cuadros y Gráficos

No.	Descripción	Página
Cuadro 1	Aspectos Organolépticos al instante del monitoreo de las aguas	48
Cuadro 2	Comportamiento del pH	50
Cuadro 3	Comportamiento de la temperatura	51
Cuadro 4	Condición de la Dureza	51
Cuadro 5	Comportamiento de la Conductividad	52
Cuadro 6	Contenido de Plomo (Pb) en las aguas del Arroyo Hicaco	52
Cuadro 7	Contenido de Cadmio (Cd) en las aguas del Arroyo Hicaco	53
Cuadro 8	Contenido de Mercurio (Hg) en las aguas del Arroyo Hicaco	53
Cuadro 9	Contenido de Aluminio (Al) en las aguas del Arroyo Hicaco	54

AGRADECIMIENTOS

A Dios

Por permitirnos la vida y darnos la fuerza para lograr esta meta tan importante y soñada.
Por ser el soporte en cada paso, en cada dificultad y darnos la sabiduría para superar cada una de estas circunstancias.

A la Universidad Tecnológica del Cibao Oriental (UTECO)

Por abrirnos sus puertas y recibirnos como ente importante para la superación profesional y personal.

A nuestra asesora Laura Méndez

Por su dedicación y entrega, por siempre estar pendiente de cada detalle para que nuestra investigación tuviera la calidad requerida.

Rokilania Belén Belén
Waleska Anyelik Díaz Robles

DEDICATORIA

A Dios

Por darme la fortaleza para siempre seguir, por creer que cada obstáculo por difícil que parezca siempre tiene una solución, por poner en mí, fortaleza, fe, perseverancia, amor y pasión por cada cosa que hago.

A mi padre: Regino Belén Vázquez (Fallecido)

Gracias porque, aunque no estás conmigo hoy más que nunca te quiero y te respeto hay que jugar todas las bases como padre para poder entender un poco lo difícil que fue desde tu posición ser el padre ejemplar, responsable, y dedicado con tus hijos, te agradezco eternamente tu entrega y tu amor.

Agradezco los valores que nos inculcaste, hoy que no tengo forma humanamente posible de verte es cuando más extraño tu rostro, tu sonrisa, y la forma de bailar, increíble pensar que recuerdo como ayer, como me enseñaste a bailar, pero también aprendí de ti la responsabilidad y el estar ahí siempre para mi familia, tengo la fe de que te vere algún día en la otra vida, te amo hasta el infinito mi ángel.

A mi madre: Seferina Belén Sánchez

De ti aprendí la integridad, la seriedad y lo que implica ser madre, gracias por siempre estar ahí cuando te necesito, gracias por la devoción a tus hijos y nietos te amo vida mía.

A mi esposo: Oscarlin M. Figueroa

Por estar ahí apoyándome en cada proceso.

A mis hijos: Cristopher, Amin y Orlin

Espero que un día me vean con orgullo, yo solo pido para ustedes que en la vida nunca les falten amor, prosperidad, buenos valores y oportunidades para que puedan desarrollarse. Cristopher que cada uno de tus sueños sea logrado y que en la vida encuentres tanto amor como sea posible amor mío, Amin que en la vida nunca te falte amor y confianza en ti mismo porque eres capaz de lograr todo lo que te propongas, Orlin mi pequeñín, mi nidal viniste a completar mi mundo con tu fuerza y tu rebeldía siempre luchas por lo que sabes que mereces, espero que nunca cambies ese dulce corazón que tienes y que siempre pelees por tus sueños. Los amo más que a nadie en la vida.

A mis hermanos Ramon A. y Oliver Belén

Hermanos por casualidad, amigos por elección, tengo la certeza que si mi tocara elegir compartir vida sería con ustedes de nuevo.

Rokilania Belén Belén

DEDICATORIA

A Dios

Por darme la fortaleza de para cumplir con este proceso, a pesar de que muchas veces pensé que no lo lograría renunciar por las circunstancias de salud y de otras dificultades que atravesé, y sigo atravesando que en su momento suponían un obstáculo.

A Darlenia Altagracia Robles

Gracias por el apoyo en la etapa final de este proceso, sin ello no lo habría podido lograr.

A Arlet Castillo Moya

Tu existencia cambio mi vida, ser tu tía implica para mí el tener que hacer los esfuerzos necesarios para ser un buen ejemplo para ti; Tu hermosa sonrisa y tu presencia fueron un impulso para continuar en muchas ocasiones donde no creí que podría seguir. Quiero que crezcas feliz y que sepas que tú puedes lograr todo lo que te propongas.

A Ordania Polanco y Francisca Toribio

Gracias por su ayuda, por llevarme a cada clase de la maestría, por ser tan amables y por confiar en mí. Admiro el esfuerzo que hicieron y que sé que seguirán haciendo, ya que sin importar la distancia ustedes siempre se esforzaban por cumplir con cada requisito. Son grandes mujeres, madres y excelentes profesionales del área de la química, son un ejemplo de que cuando queremos lograr una meta las adversidades son solo excusas.

Waleska Anyelik Díaz Robles

Resumen

Título:

Análisis de los Metales Pesados Presentes en las Aguas del Arroyo Hicaco del municipio de Cotuí año 2023

Sustentantes:

Rokilania Belén Belén

Waleska Anyelik Díaz Robles

Asesor:

Laura Méndez

La presente investigación se llevó a cabo en el Arroyo Hicaco, del municipio de Cotuí Provincia Sánchez Ramírez, con el objetivo de comprobar la presencia de metales pesados en sus aguas además de evaluar las condiciones físicas y químicas de este durante el año 2023. Para lograr el cumplimiento de estos objetivos se llevaron a cabo dos muestreos probabilísticos.

Dichos muestreos se llevaron a cabo el 17 y el 24 de julio del año en curso en horario de la mañana, tomando como punto de muestra la zona más afectada y con signos visibles de contaminación.

Los parámetros para analizar la condición física y química se tomaron en cuenta los parámetros de pH, Temperatura, Dureza y Conductividad eléctrica (CE), en cuanto a los aspectos de los metales pesados se tomaron en cuenta para detectar el Plomo (Pb), Cadmio (Cd), Mercurio (Hg), y el Aluminio (Al).

En cuanto a las propiedades físicas químicas del agua, se analizaron diferentes aspectos como fueron la turbidez del agua, olor, color y sólidos en dos diferentes muestreos, para el parámetro de la turbidez los valores de hallazgos fueron medios con relación al patrón de referencia, mientras que las demás mencionada obtuvieron valores bajos.

En el estudio realizado a las propiedades químicas, se estudiaron el comportamiento del potencial de hidrógeno (pH) en la primera toma de muestra los valores fueron de 8.10 y en la segunda de 7.81, estando ambos dentro de los parámetros normales que son de 6.5 a 8.5, y correspondiente un pH alcalino, otro aspecto evaluado fue la temperatura entre sus valores 28.8 °C y 28.5°C, en la segunda muestra el parámetro de referencia establece ± 3 .

Este parámetro representa la variación de temperatura que pueden presentar los sistemas hídricos ya que la temperatura las de las aguas son una cualidad propia de cada una de ellas, es decir, que no tienen un valor de referencia fijo.

Entre las mismas propiedades químicas están la dureza con valores 222 mg/L y en la segunda muestra 239 mg/L para medir estos valores atizamos el manual de análisis de aguas superficiales y costeras en la república dominicana, pero encontramos que no existen valores referenciales, del mismo modo ocurrió con la conductividad eléctrica sus hallazgos fueron 851 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en la primera muestra y para la segunda 869 $\mu\text{S}/\text{cm}$. De acuerdo con los resultados obtenidos en los metales pesados estudiados Plomo, Cadmio, Mercurio, Aluminio los resultados arrojados fueron bajos, a pesar de esto si se detectó su presencia lo cual es relevante ya que, aunque no se registraron valores peligrosos el simple hecho de detectar su presencia es un signo importante ya que los niveles de los mismo pueden variar en el tiempo, con lo cual se hace necesario el monitoreo de estas aguas en el futuro.

El diseño de esta investigación fue la experimental, porque comparamos los resultados con los valores aceptables en la República Dominicana, el tipo de investigación fue exploratorio, porque los hallazgos sobre el tema objeto de estudio son insuficiente, en el mismo orden utilizamos el enfoque cuantitativo puesto que trabajamos con datos numéricos. Aunque se ha determinado que no existe contaminación por metales pesados en este arroyo, se han encontrado diferentes contaminantes químicos, y su aspecto físico muestra que sus aguas no son potables.

Palabras clave

Metales pesados en agua, Propiedades fisicoquímicas del agua, Contaminación de aguas superficiales.

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Álvarez y Amancio (2014), determinaron la concentración de metales totales en el agua del Río Santa y en la Laguna Chinancocha Llanganuco en Perú, con la finalidad de comparar los niveles de bioacumulación de metales pesados en los peces que viven en cada una de estas regiones para lograr tal propósito establecieron 11 estaciones (puntos de muestreo) tomando en cuenta para esto la época creciente de la cuenca, y la época vaciante. Para esta investigación emplearon la técnica de espectrometría de emisión atómica mediante plasma de acoplamiento inductivo conocido por sus siglas como ICP.

Como resultado final se obtuvo que: el (Pb) Plomo (Cr) Cromo y (Zn) Zinc superan los límites máximos permisibles y de tolerancia normales establecidos. Producto de sus hallazgos concluyeron que la toxicidad de estos metales pesados en el agua y sedimentos del Río Santa representa un serio problema para la flora y fauna que los habita, así como para las poblaciones que tienen una relación directa con estos afluentes mediante la actividad ganadera, la pesca y otras actividades para su desarrollo económico.

Gómez (2004), pudo identificar la calidad del agua superficial del Río San Pedro (Sonora, México) el cual tuvo como objetivo la evaluación de los niveles de metales pesados totales de Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb y Zn en el agua superficial de dicho afluente, desde su origen (cerca de la Ciudad de Cananea, Sonora) hasta el lugar conocido como Los Corrales cerca de la frontera con EE. UU.

El muestro se llevó a cabo en 8 estaciones y los monitoreos se hicieron en dos etapas: En la primera se realizaron cuatro muestreos en los meses de febrero, mayo, agosto y noviembre; y en la segunda, se realizaron dos muestreos en abril y agosto. Para esta investigación se utilizó el método de espectroscopía de absorción atómica por flama con los siguientes límites de detección: Cd 0.01 mg/l, Co 0.04 mg/l, Cr 0.01mg/l, Cu 0.02 mg/l, Fe 0.04 mg/l, Mn 0.02 mg/l, Ni 0.10 mg/l, Pb 0.07 mg/l y Zn 0.01 mg/l encontraron valores

por encima de los límites detección y superiores a los permitidos por los Criterios Ecológicos de Calidad de Agua (SEDEU 1989) siendo estos los siguientes: Cd (0.255 mg/l), Cu (1.12 mg/l), Fe (3.02 mg/l), Mn (3.39 mg/l), Ni (0.43 mg/l), Pb (0.30 mg/l) y Zn (11.19 mg/l).

Herrera (2021), estudio el contenido de metales pesados en el agua subterránea para uso en actividades productivas en la zona baja de la provincia de El Oro en Lima Perú, utilizando el Espectrofotómetro de Absorción Atómica, y las correspondientes lámparas para cada elemento como método de análisis de las muestras, según los criterios para la metodología de Cadmio, Plomo, Manganeseo, Mercurio, Hierro y Cobre de Métodos Estándar para el Examen de Agua y Aguas Residuales. Las muestras de agua fueron extraídas de los pozos a través de bombas de presión y de caudal, a una profundidad de 6 metros, recolectando dos muestras de aguas en cada una de las estaciones de muestreo (Pozos) de la siguiente forma: Una muestra de agua luego de haber encendido la bomba y otra seguida después de manar cinco minutos.

Se encontraron a partir de los resultados que los valores de los metales pesados cadmio, mercurio, y hierro, presentes en las aguas subterráneas analizadas se encontraron en niveles por debajo de los límites permisibles, mientras que los niveles de cobre y manganeso fueron superiores a los límites máximos permisibles para uso humano y agrícola en los sitios que se encontraron los elementos.

García (2016), en su investigación determinaron grado de concentración del metal pesado Plomo en el agua y en la sangre de los pobladores para el estudio se trataron 9000 personas de la población de rica Playa Tumbes, considerada el 5% de muestra .El agua del Río Puyango Tumbes está con niveles altos de plomo, por encima de los ECA (Entandares de Calidad del Agua), estos niveles en la sangre están aún debajo de los niveles críticos y las enfermedades de los pobladores están relacionadas con plomo. Concluyéndose que la concentración de plomo en el agua está en promedio en 0.3174 ug/dL, el 26.74% por encima del ECA, en niveles que van entre 0.10 ug/dL a 0.81 ug/dL y el tipo de enfermedades relacionadas al plomo que padecen los pobladores son: Enfermedades al

riñón, dolores de estómago, dolores de huesos, gripes, presión arterial alta y dolores del corazón.

De igual forma Contreras, Mendoza y Gómez (2003), realizaron 8 monitoreos en el Río Haina (República Dominicana) entre octubre del 2002 y septiembre del 2003, para determinar la calidad del agua superficial del río. Se realizó un muestreo con 3 puntos para la recolección. Para ellos utilizaron la técnica de espectrometría de absorción atómica, encontrándose niveles elevados de contaminación por metales pesados en los sedimentos del río, los resultados obtenidos fueron: Cu (82.365 mg/kg), Pb (51.95 mg/kg), Cr (157.41 mg/kg).

A su vez Herrera et al (2017), indagaron sobre los niveles de concentración de metales pesados en la Cuenca Mashcón Cajamarca Perú, en los meses de septiembre y diciembre, 2016. La cual tuvo como objetivo general medir la concentración Aluminio, Cadmio, Zinc, y Hierro. Se empleó el método EPA (Espectrometría de Adsorción Atómica). Los resultados que se obtuvieron en todas las estaciones monitoreadas fueron: en Época de Estiaje el parámetro Aluminio (Al) tuvo una concentración de 0.615 mg/L, y en Época Creciente una concentración de 0.086 mg/L.

El parámetro Cadmio (Cd) en Época de Estiaje y en Época Creciente tuvieron un resultado menor a la concentración del analito del laboratorio. El parámetro Fierro (Fe) en Época de Estiaje tuvo una concentración de 1.021 mg/L; y en Época Creciente una concentración de 1.680 mg/L. El parámetro Plomo (Pb) en Época de Estiaje tuvo una concentración de 0.004 mg/L; y en Época Creciente un valor menor a la concentración del analito del laboratorio; El parámetro Zinc (Zn) en Época de Estiaje tuvo una concentración de 0.06 mg/L; y en Época Creciente una concentración de 0.027 mg/L. Por lo tanto, el único metal que se encontró por encima de los parámetros normales en ambas épocas de monitoreo fue el Fe.

Salas et al. (2014), determinaron los niveles de concentración de metales pesados de la calidad del agua superficial del Río Ananea Región Puno, en Perú. La determinación

de la concentración de Cu, Zn, Pb, Cd Hg y Cr, la realizaron por espectrofotometría de absorción atómica EPA 2da. Generación. Para ello se ubicaron tres puntos de muestreo a lo largo del río Ananea durante la época de estiaje (marzo, junio y agosto del 2010). Donde se recolectaron las muestras de agua en recipientes de un 1 litro de capacidad y se refrigeraron a 4° C hasta su análisis. Los análisis arrojaron los siguientes resultados: de los cuáles se concluyeron todos los metales, a excepción del mercurio (Hg) superan los límites máximos permisibles, lo cual podría afectar la biología y la ecología de los organismos asociados del río Ananea, sin dejar a un lado a la población cercana al río. Por lo tanto, se sugiere hacer investigaciones.

1.2 Planteamiento del Problema

La República Dominicana está conformada por varios ríos y afluentes los cuales son un recurso natural muy valioso; Son muchos de estos recursos los que han sido objeto de contaminación por los cambios que han experimentado a causa de las actividades invasivas propias del ser humano, las cuales desde el punto de vista socioeconómico parecerían inofensivas y por ende se ignora el riesgo salubre y ambiental que podrían representar a lo largo del tiempo.

El agua es un recurso indispensable para nuestra economía y para el abastecimiento de la población, además de ser uno de los recursos naturales más importantes, junto con el aire, la tierra y la energía, constituyen los cuatro recursos básicos en que se apoya el desarrollo (Reyes 2012).

En el municipio de Cotuí, Provincia Sánchez Ramírez existe una fuente natural que lleva por nombre Arroyo Hicaco, el mismo durante décadas se ha visto invadido por la contaminación producto de las actividades humanas, en diferentes puntos de este arroyo lo cual se evidencia, ya que sus aguas se ven expuestas a la ganadería, la agricultura y el vertido de sustancias por parte de sus pobladores más cercanos.

La vertida contante de aguas residuales y otras sustancias en este afluente provoca que los componentes biológicos que se desarrollan en él se vean afectados por los compuestos químicos que generalmente están presente en las aguas residuales, como son carbohidratos, fenoles, diferentes tipos de residuos de aceites, pesticidas y demás, además de químicos inorgánicos como fósforo y materiales pesados, a su vez también cabe resaltar la introducción de desechos sólidos tales como embaces plásticos, desperdicios o sobras de comida entre otros elementos que incrementan el nivel de contaminación de estas aguas.

De acuerdo con Castillo (2021), la contaminación por metales pesados es un problema ambiental muy extendido porque los metales pesados no son biodegradables y pueden presentar una acumulación en el cuerpo de las personas y los animales. La mayoría de los metales pesados son extremadamente tóxicos, incluso a bajas concentraciones, dependiendo de la solubilidad de los compuestos de metales pesados en el agua. Por lo tanto, se requiere el desarrollo de tecnologías de remediación rentables y amigables con el medio ambiente para el agua, los sedimentos y los suelos contaminados con metales pesados. Al tener contacto con el agua.

Según lo descrito por Geffard et al (2002), gran parte de los metales pesados son movilizados por las corrientes (advección, difusión) o disueltos en diferente medida, mientras que otra porción se almacena en los componentes ambientales como suelo y sedimento por precipitación y absorción.

Tenorio (2011), afirma que los metales pesados se encuentran entre los contaminantes ambientales hídricos más tóxicos de los últimos tiempos, debido a su permanencia y tendencia a acumularse en los organismos acuáticos. La introducción de metales en medio acuático puede tener origen natural o antropogénico, los metales pesados no pueden ser degradados o destruidos, pueden ser disueltos por agentes físicos y químicos y ser lixiviados.

Según Londoño y Muñoz (2016), Algunos metales pesados son capaces de formar complejos solubles y son transportados y distribuidos a los ecosistemas hasta incorporarse

en la cadena trófica (suelo, agua, plantas, semillas y forrajes), primordialmente aquellos procedentes de áreas contaminadas, La erosión y la lixiviación química de suelos y roca constituyen la aportación más importante por procesos de origen natural. Sin embargo, actualmente la cantidad de metales procedentes de la actividad industrial y minera iguala o excede a la liberada al medio acuático por procesos naturales.

Considerando todo lo ya planteado es de suma importancia el estudio y la posterior intervención de las aguas del Arroyo Hicaco, para que como recurso vital pueda ser utilizada en las actividades diarias de los individuos que residen en sus alrededores de una forma segura y con pleno conocimiento de que no represente un riesgo de intoxicación o migración no deseada. En virtud de la situación es certero plantearse la siguiente interrogante:

¿Cuál es el nivel de contaminación por metales pesados en las aguas del Arroyo Hicaco?

1.3 Justificación e importancia

Actualmente uno de los mayores problemas a nivel ambiental es la contaminación de las fuentes hídricas del mundo por metales pesados, ya que es debido a la toxicidad que presentan los metales pesados en el agua de los ríos, que son considerados como un serio problema para los habitantes de las poblaciones que se abastecen de dichos ríos, en especial si se considera que el incremento en la concentración de estos metales en las fuentes hídricas procede de las diversas actividades antropogénicas, elevando además los efectos potencialmente nocivos sobre los diferentes sistemas ecológicos y el ambiente, los cuales son el soporte de la vida humana, lo cual acarrea serios problemas a nivel económico, tanto a nivel local, como nacional, debido al aumento en los costos de los tratamientos médicos y una disminución en la productividad de los habitantes de la zona (Benítez et al 2020).

A su vez Catillo (2021), señala que la mayoría de los metales pesados son extremadamente tóxicos, incluso a bajas concentraciones, dependiendo de la solubilidad de los compuestos de metales pesados en el agua. Por lo tanto, se requiere el desarrollo de tecnologías de remediación rentables y amigables con el medio ambiente para el agua, los sedimentos y los suelos contaminados con metales pesados.

La presente investigación tiene como finalidad analizar la presencia de Plomo, Mercurio, Cadmio y Aluminio presentes en las aguas del Arroyo Hicaco, este estudio es de suma importancia, ya que el agua es uno de los recursos más importantes para la vida en el planeta. Los seres humanos dependemos de su disponibilidad no sólo para el consumo doméstico, sino también para el funcionamiento y la continuidad de las actividades agrícolas e industriales.

Conocer el estado del agua del Arroyo Hicaco será muy beneficioso para el municipio de Cotuí, sobre todo para aquellos pobladores que recién en los alrededores del Arroyo Hicaco, ya que por medio de los resultados que se obtengan se podrán tomar medidas para el saneamiento de estas aguas y que su uso doméstico y para la agricultura sea seguro.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Determinar el nivel de contaminación por metales pesados en las aguas del Arroyo Hicaco del municipio de Cotuí en el año 2023.

1.4.2 Objetivos específicos

- Evaluar las características Fisicoquímicas de las aguas del Arroyo Hicaco.
- Cuantificar la concentración de Plomo (Pb), Mercurio (Hg), Cadmio (Cd) y Aluminio (Al) en las aguas del arroyo Hicaco del municipio de Cotuí en el año 2023.

1.5 Variables e indicadores

Objetivos	Variables	Indicadores
Cuantificar la concentración de Plomo (Pb), Mercurio (Hg), Cadmio (Cd), Aluminio (Al) en las aguas del arroyo Hicaco del municipio de Cotuí en el año 2023.	Concentración de Plomo, Mercurio, Cadmio, y Aluminio en las aguas del arroyo Hicaco del municipio de Cotuí.	Resultados arrojados Mediante la Espectrometría de Absorción Atómica.
Evaluar las características Físicoquímicas del Arroyo Hicaco.	Condición química y físicas del agua.	pH Temperatura Conductividad Dureza

1.6 Definición de términos

Metales pesados

Los metales se definen en base a sus propiedades físicas en el estado sólido como son: alta reflectividad, alta conductividad eléctrica, alta conductividad térmica, propiedades mecánicas como fuerza y ductilidad. Otra definición más práctica, desde el punto de vista de la toxicidad, se basa en sus propiedades cuando están en solución: “metal

es un elemento que bajo condiciones biológicas puede reaccionar perdiendo uno o más electrones para formar un catión” (Cornelis y Nordberg, 2007).

Eróstegui (2009), define a los metales pesados como sustancias propias de la naturaleza de peso molecular alto; los cuales tienen efectos negativos en la salud y en el medio ambiente cuando se encuentran en concentraciones altas. Para el autor, cada metal pesado tiene un mecanismo de acción y un lugar de acumulación tanto en la salud como en el ambiente.

Agua

El agua es una sustancia tan común en la Tierra que a menudo se desprecia su naturaleza única. Para comprender por qué el agua es diferente se tiene que examinar la estructura electrónica de la molécula de H_2O . La estructura del electrón orbital de un átomo de hidrógeno aislado es $1S^1$, mientras que la del átomo de oxígeno aislado es $1S^2 2S^2 2P^2$ x $2P^1$ y $2P^1$ z. La molécula del agua posee la estructura: $H - O - H$, formándose dos enlaces covalentes σ (cada uno con un aporte iónico del 40%) y con una entalpía de disociación de 110,2 Kcal/mol por cada uno de los enlaces, lo cual confiere a la molécula del de agua una gran estabilidad, especialmente en la naturaleza (López Sánchez, Romano Mendoza 2005).

Toxicidad

La toxicología puede ser definida como la rama de la ciencia que se ocupa de los venenos. Una vez dicho esto, los intentos para definir los diversos parámetros conducen a algunas dificultades. Un tóxico es toda radiación física o agente químico que, tras generarse internamente o entrar en contacto, penetrar o ser absorbido por un organismo vivo, en dosis suficientemente alta, puede producir un efecto adverso directo o indirecto en el mismo (Roldán Reyes 2016).

Plomo

Plomo es el elemento químico de número atómico 82, cuyo símbolo es Pb. Se trata de un metal que se encuentra en la cerusita, la anglesita y la galena, pero que resulta escaso en la corteza terrestre, es blando, maleable y resistente a la corrosión. Está entre los metales pesados, es dúctil y se funde a bajas temperaturas (RAE 2014).

El plomo es un metal pesado que se ha utilizado durante muchos años debido a su resistencia a la corrosión, ductilidad, maleabilidad y facilidad para formar aleaciones. El plomo es absorbido por inhalación, ingestión y a través de la piel (Nava Ruíz & Méndez Armenta 2011).

Toxicidad del plomo

El plomo puede penetrar en el organismo por tres vías: respiratoria, digestiva y cutánea, siendo ésta última de escasa entidad. El plomo que atraviesa la piel pasa a través de los folículos pilosos y glándulas sebáceas y sudoríparas directamente al torrente circulatorio. En la especie humana la absorción de plomo por vía inhalatoria es mínima en comparación con la vía digestiva. En el caso de penetrar por vía respiratoria se combina con proteínas o con el CO_2 espirado, formándose PbCO_3 soluble. Por vía respiratoria, la más importante en el medio laboral, se llega a absorber el 40 % del plomo. Parte de este Pb se fija en la saliva y se traga. Por todo lo cual la vía respiratoria está considerada como la más peligrosa. Respecto a la absorción digestiva, mientras los adultos absorben el 10%, los niños absorben hasta el 50% del Pb ingerido. Por otra parte, los niños tienden a retener mayor concentración del plomo absorbido que los adultos, en porcentaje se puede cuantificar respectivamente en un 30% y 5% (Gutiérrez et al 2004).

Cadmio

El cadmio es un elemento natural que se encuentra en la corteza terrestre. Todos los suelos y las rocas, entre ellos el carbón y los fertilizantes minerales, contienen algo de cadmio. La mayor parte del cadmio que se usa en Estados Unidos se extrae durante la

producción de otros metales tales como zinc, plomo y cobre. El cadmio no se corroe con facilidad y se ha usado para fabricar baterías, pigmentos, revestimientos de metal y plásticos (Instituto nacional del cáncer 2015).

Toxicidad del Cadmio

Ramírez (2002) Afirma que uno de los mayores agentes tóxicos asociado a contaminación ambiental e industrial es el cadmio, tiene como características principales la bioacumulación y la facilidad de Viajar a grandes distancias con el viento y en los cursos de agua. El cadmio entra en la alimentación humana con los vegetales y productos animales. Se fija a las plantas más rápidamente que el plomo. Los frutos y semillas contienen menos cadmio que las hojas. El pescado, los crustáceos, el riñón e hígado de animales acumulan cadmio en grado relativamente elevado. El agua potable contribuye en menor grado, pues debe contener un máximo de 1 mg Cd/ L.

Mercurio

El mercurio es un elemento químico que pertenece al grupo de los metales de transición. Su uso data desde la antigüedad y por lo tanto hoy día tiene una amplia distribución en el medio ambiente. El mercurio también se reconoce como un elemento tóxico que puede provocar contaminación a gran escala. Por ser bioquímicamente activo, bioacumulable y persistente es altamente tóxico para el medio ambiente y los seres vivos (Zambrano et al. 2017).

Toxicidad del Mercurio

Según la Organización Panamericana de la Salud (2015), la exposición al mercurio incluso a pequeñas cantidades puede causar graves problemas de salud y es peligrosa para el desarrollo intrauterino y en las primeras etapas de vida. El mercurio puede ser tóxico para los sistemas nervioso e inmunitario, el aparato digestivo, la piel y los pulmones riñones y ojos. Una vez liberado el mercurio al medio, ciertas bacterias pueden transformarlo en

metilmercurio. Este se acumula entonces en peces y mariscos (se entiende por bioacumulación una concentración de la sustancia más elevada en el organismo que en su entorno). El metilmercurio pasa también por un proceso de biomagnificación. Los grandes peces depredadores, por ejemplo, tienen más probabilidades de presentar niveles elevados de mercurio por haber devorado a muchos peces pequeños que a su vez lo habrán ingerido al alimentarse de plancton.

Aluminio

El aluminio es el metal más abundante sobre la corteza terrestre, y el tercer elemento más abundante después del oxígeno y el silicio. El aluminio es un metal plateado muy ligero. Su masa atómica es 26,9815, tiene un punto de fusión de 660°C y un punto de ebullición de 2.467°C, y una densidad relativa a 2,7 kg/m³. Es un metal muy electropositivo y extremadamente reactivo (Klein et al 2003).

Arroyo

Los arroyos son flujos de agua casi continuos, pero a diferencia de los ríos, su longitud es menor, así como su caudal, entendiendo este como el volumen de agua que contiene; esto alude al hecho de poseer “mucha agua”, lo que no sucede con los arroyos (Geo enciclopedia 2022).

Es una corriente natural de agua con escaso caudal que fluye de manera continua y, al igual que los ríos, suele ser afluente de otro río, del mar o de un lago, es decir, desemboca en ellos (Guerrero 2021).

Cuenca

Una cuenca es un territorio cuyas aguas fluyen todas hacia un mismo río, lago o mar, y a esta clase de cuencas se les llama cuencas hidrográficas (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 2019).

1.7 Marco contextual

Periódico El Nacional (2022), la provincia Sánchez Ramírez, y su capital Cotuí, fue fundada en el año 1505, por orden del Comendador de Lares, Don Nicolás de Ovando. El asentamiento fue realizado por Don Rodrigo Mejías de Trujillo, quien fundó la Villa de Cotuí, a la que dio el título de La Mejorada, conociéndose durante el período colonial, y como parroquia del Partido de La Vega. Sin embargo, cuando se produjo la colonización, en octubre del año 1492, la zona de Cotuí era un Nitaíno del cacicazgo de Magua.

Durante el período comprendido entre los años 1810 y 1821, conocido como España Boba, Cotuí conservó el carácter de parroquia dependiente del Partido de La Vega, que tenía antes. Desde el 9 de febrero de 1822, cuando comenzó el período de la ocupación haitiana, Cotuí fue erigida en común del Departamento del Cibao, y en fecha 11 de julio de 1843 fue convertida, por decreto de esa fecha, en común dependiente del Cantón Santiago del Departamento del Cibao. Cuando se produjo la Independencia, el 27 de Febrero de 1844, la Junta Central Gubernativa, por su decreto número 14 del 24 de julio de 1844, la hizo común del Departamento de La Vega y Ley No. 40 de «Organización Provincial», de fecha 9 de junio de 1845, dictada en virtud de la primera Constitución de la República, la consagró como común de la provincia de La Vega (Periódico el Nacional 2022).

Cuando se produjo la Anexión a España, mediante la resolución del 24 de agosto de 1861, dictada por el general Pedro Santana, a nombre de la Corona de España, sobre la división política del territorio de la República Dominicana que él había convertido en provincia de española, la común de Cotuí fue erigida en Comandancia de Armas del Gobierno Político y Militar de La Vega; volviendo a adquirir su condición de Común por el decreto número 812 de fecha 1865, dictado por el Gobierno Provisional de la República establecido en Santiago de los Caballeros.

La provincia adquirió la denominación Sánchez Ramírez en honor a uno de sus hijos, el héroe de la reconquista Juan Sánchez Ramírez. Con la Ley No. 3208 de fecha 3 de marzo del 1952 es elevada a provincia.

La Ley No. 5220 sobre División Territorial, del 21 de septiembre de 1959, mantuvo su estatus de provincia con el nombre Sánchez Ramírez, constituida con los territorios de los municipios de Cotuí y Cevicos, con la ciudad Cotuí como capital del municipio cabecera. El sistema montañoso de la provincia Sánchez Ramírez está conformado por la cordillera Central y Sierra Prieta; y sus elevaciones son La Trinchera con 592 metros y La Naviza con 681 metros. Sus recursos mineros son los yacimientos de oro, plata, sílice, caolín, feldepasto, cobre y zinc.

Según el portal web del Ayuntamiento municipal de Cotuí (2023) La provincia Sánchez Ramírez también tiene una hidrografía conformada por los ríos Yuna, Camú, Grande, Piedra, Cuayá, Payabo, Chacuey, Maguaca, Cevicos, Blanco y El Cercado. Sus arroyos son Pontón, Guanito, Barranca, Llagal, Ceboruco y Porquero. Cuenta también con la presa de Hatillo. Su clima es tropical húmedo de bosque, con temperatura de 25°C y pluviometría de 1,787 mm³ anual.

La provincia Sánchez Ramírez está situada en la región Cibao Sur; su común cabecera es el municipio Cotuí. Limita al Norte con la provincia Duarte, al Este y al Sur con la provincia Monte Plata, al Oeste con la provincia Monseñor Nouel y al Noroeste con La Vega. Su extensión territorial es de 1,185.80 km².

La población de Sánchez Ramírez, según el Censo 2010, es de 151,392 habitantes, con una densidad poblacional 128 Hab/km². Es la provincia número 24, y está constituida por 4 municipios, 9 distritos municipales, 39 secciones, 327 parajes, así como 96 barrios y 116 sub-barrios. Sus municipios son Cotuí, Cevicos, Fantino y La Mata. Sus distritos municipales son Platanal, Quita Sueño. Caballero. Comedero Arriba, Zambrana, La Bija, Angelina, Hernando Alonzo y La Cueva.

En los deportes, los atletas más sobresalientes son Ramón Ortiz, Duaner Sánchez, Rafael Rodríguez, Pedro Liriano, Wilton Abreu y José Capellán; así como también Willy Otáñez.

Presa de Hatillo

Ramírez Merejo (2018), establece que la presa de Hatillo está ubicada en la comunidad del mismo nombre, a seis kilómetros al Suroeste del municipio de Cotuí y a 113 km al Noroeste de Santo Domingo. Su construcción se inició en agosto de 1977 y concluida en el año 1984, a un costo de 41 millones de solares, financiada con recursos propios del Gobierno Dominicano. La fuente de abastecimiento de la presa es el río Yuna, con una longitud de 138,6 kilómetros.

El dique de esta presa es un muro con una longitud de 1,800 metros que se compone de una estructura del tipo de tierra y enroscamiento con profundidad de pantalla de 28 metros y un volumen total de 11.5 millones de m³. Su altura máxima neta es de 60 metros y su cota en la coronación es de 102. 75m.s.n.m. El vertedero de Hatillo es de tipo orificio, con dos salidas de 8 x 4 metros. Su capacidad máxima es de 650 m³/seg. Tiene un ancho de 60 metros y la longitud de su canal de descarga es de 800 metros, incluyendo la zona del dissipador. Lacasa de máquinas y la casa de válvulas son dos edificaciones diferentes ubicadas a pie de presa. La casa de válvulas aloja dos válvulas del tipo chorro hueco que descargan 82 m³/seg. La presa de Hatillo que almacena las aguas del río Yuna tiene múltiples propósitos, pero su prioridad es servir como control de inundaciones. Esta también garantiza el riego de 198,612 tareas de tierra, en su parte media y 401,088 tareas en la parte baja.

Producción

La economía de Sánchez Ramírez tiene su base en la producción de arroz, piña y cítricos. La provincia Sánchez Ramírez cuenta con un sin número de factorías de arroz, y varias empacadoras de frutas, donde se logra un comercio, aunque un poco tímido de exportación de piña.

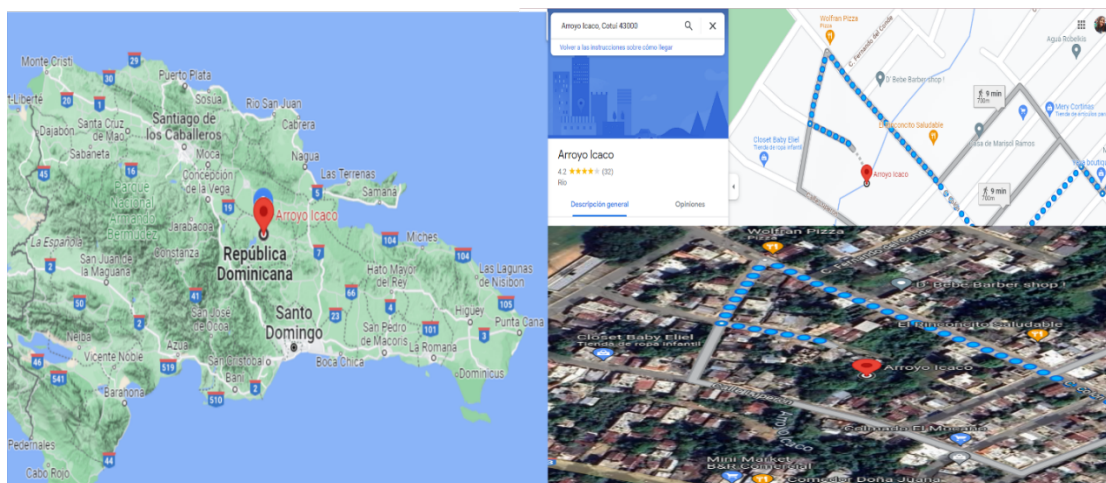
Sus principales autoridades son el Senador Ricardo de los Santos, del PRM; la Gobernadora Cristiana Rodríguez y el alcalde Bienvenido Antonio Lázala Fabián. Los Diputados son Geraldo Antonio Concepción Vargas, Verónica María Contreras de Jesús y

Sadoky Duarte Suárez. Entre sus principales figuras están Vicente Sánchez Baret y el ex senador Félix Vásquez (Periódico el Nacional 2022).

Arroyo Hicaco

El Arroyo Hicaco nace en la provincia Sánchez Ramírez en el municipio de Cotuí específicamente en el sector las cruces, es uno de los principales arroyos de la provincia, sus aguas desembocan en el río Maguaca y posteriormente son depositadas en el agua del río Yuna. Este pasa por diferentes barrios como son: La Altagracia, Las cruces, La libertad, sector Hicaco, y Vista del Valle.

Sus aguas ya no son aptas para el consumo humano, puesto que la contaminación a la que se exponen por diferentes tipos de residuos sólidos y vertidos de aguas residuales como resultado de las diferentes actividades humanas, hace que sean perjudiciales para la salud, pero las mismas al desembocar en el río Maguaca y este en Yuna no son tratadas y la contaminación lo que hace es que se acumula en otros cuerpos acuíferos más grandes. Gran parte de esta contaminación que es producida por metales pesado, estos al no biodegradarse se acumulan en la cadena trófica de los organismos vivos, por donde pasa hasta llegar a los seres humanos.



Imágenes satelitales del Arroyo Hicaco tomadas de Google Maps.

1.8 Alcance y límites de la investigación.

Esta investigación se centró en comprobar la presencia de metales pesados presentes en las aguas del arroyo Hicaco del municipio de Cotuí año 2023.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Introducción

En el siguiente capítulo se describen los aspectos teóricos que darán sustento a nuestra investigación, aquí podremos abordar lo concerniente a las descripciones generales de los metales pasados y a las variables e indicadores de este proyecto.

2.2 Metales pesados

Los metales pesados son elementos químicos que poseen una densidad alta, está mayor a 5g/cm^3 , cuyas concentraciones elevadas pueden ser tóxicos para los seres vivos. Estos metales tienen la capacidad de bioacumularse en los tejidos de los seres vivo y pasar de un organismo a otro a través de la cadena trófica.

González (2006), afirma que en cuanto a sus características los metales pesados son de elevada densidad y su peso atómico es alto, estos se encuentran naturalmente en la corteza terrestre, tienen importantes aplicaciones en la vida industrial pero sus efectos secundarios son muy tóxicos para la salud.

En el mismo orden los metales pesados tienen la particularidad de que se pueden acumular en los cuerpos de agua y también el suelo esto hace que ellos sean altamente peligrosos para los seres humanos, pero de igual forma para los ecosistemas en donde se encuentren depositados. La mayoría de estos metales son muy tóxicos aun cuando la concentración en la que se encuentran sea muy bajas, por lo que es recomendable cuando se trabaje en las industrias buscar métodos alternativos para eliminar las altas concentraciones liberadas en los cuerpos de agua.

Nordberg (2023), afirma que la búsqueda de diferentes autores sobre los metales se han evidenciado que estos son utilizados desde tiempos antiguos para mejorar la calidad de vida de las personas y aun que todos no son considerados dañinos y tóxicos estos tienen

consecuencias para el medio ambiente y la salud de las personas por ejemplo metales como el Plomo, Aluminio, Cadmio, Mercurio y el Cadmio son altamente dañinos cuando se encuentran depositados en cuerpos de agua dulce ya que pueden dañar o alterar el funcionamiento correcto de la fauna y flora presente en el agua.

La contaminación del agua por mercurio (Hg) puede causar en los organismos acuáticos daños en su sistema reproductor deficiencia para desarrollarse, daño en el sistema nervioso y problemas renales. De la misma forma, cuando en el agua se encuentran los demás metales pesados citados anteriormente pueden causar dificultades hepáticas en los organismos acuáticos y daños permanentes en el sistema nerviosos central. (Herrera, 2021).

Castillo (2021), describe que los metales son esenciales para la salud de los seres humanos porque contribuyen al correcto funcionamiento del organismo, en sus funciones de macronutrientes como lo es el caso del hierro (Fe) que ayudan a mantener los niveles de anemias y mantener altas las defensas del cuerpo, existen otros elementos metálicos que nuestro cuerpo necesita para para mantenerse optimo, pero en pequeñas cantidades conocidos como oligoelementos que si se ingieren en grandes cantidades resultan altamente tóxicos.

De acuerdo con Franco (2016), no todos los metales que poseen un nivel alto de densidad son precisamente tóxicos, en sus concentraciones normales de hecho muchos de ellos son vitales para el desarrollo de los seres humanos. Existe una cantidad de metales pesados que identificados como peligros esto por su alto nivel de riesgos para la salud, el medio ambiente y los ecosistemas dentro de estos metales podemos encontrar (Hg), (Pb), (Cd), (Ti), (Cu), (Zn), (Cr). Gran parte de lo negativo de estos metales radica en no son degradado por la naturaleza y tampoco por método biológicos, y que debido a su capacidad de acumulación en los organismos vivos trasciende en la cadena trófica lo que significa que pueden provocar múltiples afecciones en los organismos vivo y alterar su biología.

En la República Dominicana de acuerdo con el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales las aguas superficiales “son aquellas que fluyen o pueden almacenarse

en las superficie de los terrenos, como son ríos, lago, lagua, arroyos, y embalses”, mientras que el estudios de las aguas y posible contaminación al cuerpo receptor será responsabilidad de la persona o empresa que contamine, los hallazgos en las muestras deberán estar entre los parámetros permitidos y consultar los resultados con el Ministerio De Medioambiente y Recursos Naturales y si los mismos sobrepasan los límites permitidos, alterando la calidad del agua las daciones a tomar será decisión del ministerio ya mencionado. (Naturales, 2012).

Cuadro 1. Valores máximos de metales pesados en agua dulce en aspectos físicos, químicos y biológicos en la Republica Dominicana

Parámetros	Límites permitidos
Plomo (Pb)	0.05 mg/L
Cadmio (Cd)	0.005 mg/L
Mercurio (Hg)	0.01 mg/L
Aluminio (Al)	0.2 mg/L

Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2012). Los datos para la realización de este cuadro de valores tolerables de metales pesados son extraídos de la Norma Medio Ambiental Para la Calidad de Aguas Superficiales y Costeras de la República Dominicana del año.

2.3 Propiedades químicas de los metales pesados

Petrucci y Herring (2010), afirman que las transformaciones químicas una o más partes de las muestras se transforman en otra distinta. En los metales hace referencia a aquellas propiedades que están presente en las reacciones químicas. En la actualidad, los metales pesados son aquellos que se encuentran en la naturaleza con características de que poseen alta densidad, alto nivel de toxicidad y son por excelencia buenos conductores del calor y la electricidad, esas informaciones se pueden apreciar en la tabla 2.

Cuadro 2. Propiedades de los metales, estas informaciones fueron extraídas de la tabla periódica de los elementos

Elementos	Conductividad eléctrica (s/m)	Densidad (g/cm ³)	Toxicidad
Aluminio	37.7×10^6	2.7	No es considerado muy tóxico
Plomo	4.81×10^6	11.3	Altamente tóxico y muy peligrosos para la salud.
Mercurio	1.01×10^6	13.5	Altamente tóxico y peligro para la salud
Cadmio	15.9×10^6	8.65	Altamente tóxico y peligroso para la salud.

Es importante resaltar que la toxicidad de los metales pesados depende varios factores dentro de los cuales podemos mencionar la cantidad, el nivel de exposición, el tiempo que se dure expuesto a este metal, entre otros.

2.4 Plomo

Klaassen y Watkins (2013), indican que el plomo es un elemento químico que corresponde a los metales pesados en la tabla periódica lo ubicamos en Z 82 con su símbolo Pb entre sus características encontramos que es un metal blando, maleable, y resistente a la corrosión, uno de sus usos es en la producción de baterías y en las soldaduras, por lo que si una persona se expone excesivamente puede desarrollar patología porque es muy tóxico, en el mismo orden causa daños al medio ambiente.

En el mismo orden Klaassen y Watkins (2013), afirman que este se encuentra en pequeñas cantidades y de forma natural en la corteza terrestre. Este es uno de los elementos más dañinos para el medio ambiente en la tierra este se puede encontrar en una concentración aproximada del 1,6 g por cada 100g de suelo, la producción total de plomo

es de uno 43 millones de toneladas al año, al liberar este al aire se transporta con gran facilidad lo que provoca que contamine el suelo, y en tiempos de escorrentía, las lluvias las arrastren hacia los mantos acuíferos y posteriormente son absorbidos por los árboles acumulándose así en los organismos productores de esta forma pasan a ser parte de la cadena trófica. Este material es insoluble en agua.

2.5 El plomo y sus efectos a la salud

Navas Acien et al (2008), plantea que la exposición al plomo también se ha relacionado con efectos negativos en el sistema cardiovascular entre las patologías producidas por plomo encontramos que esta afecta los órganos, tejidos y sistemas del cuerpo, en infantes los síntomas son muchos más severos, esto es así porque el proceso de su desarrollo esta más activos que en las personas adultas y también porque absorben mayor cantidad de este metal. En la mayoría de los adultos el plomo es ingerido por vía de absorción, aunque la cantidad absorbida dependerá de la edad de la persona, su estado nutricional y su salud en general.

2.6 Propiedades químicas del plomo

El plomo de numero atómico 82, peso atómico 207,2, su radio atómico es de 180/147 este posee un punto de fusión de 327. 46 grados C mientras que su punto de ebullición es de 1749 C, en la naturaleza este se encuentra en estado sólido, sus estados de oxidación son 2,4.

2.7 Mercurio

El mercurio es un elemento químico que está situado en la tabla periódica en el grupo 12 cuyo número atómico es 80, a temperatura ambiente es líquido y es altamente toxico su símbolo de representación es Hg, este se encuentra natural en la corteza terrestre es utilizado en las industrias de las fábricas fluorescente, en la fabricación de dispositivos electrónico, y en la medicina en la fabricación de termómetros de mercurios.

El mercurio es altamente tóxico y puede causar grande daño a la salud de los seres humanos y a los animales si es ingerido o permanece en contacto con la piel, los síntomas más comunes por intoxicación de mercurio pueden causar, dolores de cabeza, pérdida de memoria, temblores, insomnio y perdida o problemas de visión.

Para determinar la presencia del mercurio en los ecosistemas acuáticos, es determinar el ciclo del Hg. La entrada de este en los ecosistemas acuáticos puede ocurrir por diferentes fuentes como escorrentías, aguas superficiales y subterráneas, sedimentos de aguas en planta de tratamientos etc.

2.8 Propiedades químicas del mercurio

Los estados de oxidación de este son 1,2 el mismo presenta una electronegatividad de 2, oo presenta un punto de fusión de 38,83 grados C y su punto de ebullición es de 356,73 grados C. La densidad de este es de es aproximadamente de 13,6 g/cm³ a temperatura ambiente, su alta densidad ayuda a qué esta sustancia sea utilizada en la fabricación de interruptores eléctricos.

2.9 Pruebas químicas para identificar metales pesados en el agua

Los metales pesado presente en el agua muchos de ellos pasan a ser vitales para el desarrollo del ciclo biológico, gran parte de estos metales por su concentración se consideran muy tóxicos, con impactos negativos para la naturaleza. Existen diferentes tipos de pruebas químicas para identificar los metales pesados en las aguas es importante resaltar que al momento de la elección de cualquiera que sea la técnica elegida, dependerá de el o los metales que específicamente se van a medir, la precisión y la sensibilidad.

2.10 Espectrofotometría de absorción atómica (EAA)

Esta prueba se encarga de medir la cantidad de un metal específico presente en muestras de agua.

Por su parte Razmilic (2016), la espectroscopía de absorción atómica la define como el método más utilizado para detectar metales en una gran variedad de matrices. Es tan conocido debido a su sensibilidad, y las facilidades que presenta para su opcionalidad. En este método la solución de muestra es aspirada en una llama de flujo laminar.

Los primeros estudios de la prueba de EAA fueron pronunciados para el año de 1840 por Kirchhoff y Bunsen por los fenómenos narrados como auto absorción en los espectros de metales con características alcalina.

Los componentes básicos para un equipo de absorción atómica pueden ser la fuente radiante, el atomizador, monocromador, detector, amplificador y el sistema de presentación.

De igual forma Pabón y Benítez (2018), sostienen que como tal esta técnica presenta la particularidad de permitir la atomización de la muestra a analizar por medio de tres procesos diferentes los cuales son: espectrometría de absorción atómica por flama (FAAS), por atomización electrotérmica y por generación de vapores químicos o de hidruros”.

2.11 Espectrometría de emisión óptica con plasma acoplado inductivamente (ICP-OES)

Utiliza un plasma de alta energía para ionizar los metales y luego mide la emisión de luz de cada metal. Esta técnica tiene como fin determinar la cantidad de varios metales en muestras de agua. Generalmente esta técnica suele realizarse de la mano de otras técnicas, como puede ser la espectrometría de masa, utilizando el plasma para realizar la analítica a diferentes alturas del analito, esta técnica consume en exceso gas en forma de plasma, por lo general es utilizado el argón, el mismo es muy costoso lo que provoca que este estudio también lo sea.

2.12 Espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS)

Este utiliza plasma para con alta concentración energética para ionizar los metales determinar la relación existente entre la masa y la carga de los iones. Como plantea Heinrich et al. (1999), el ICP-MS es una técnica analítica que combina la espectrometría de masas con la excitación e ionización de la muestra mediante un plasma generado por la aplicación de un campo electromagnético de alta frecuencia.

Chen et (2014), el ICP-MS establecen que se utiliza ampliamente en campos como la geoquímica, la química ambiental, la toxicología y la investigación biomédica para analizar la composición elemental de muestras complejas. Su alta sensibilidad y precisión, junto con su capacidad para detectar trazas de elementos, lo hacen una herramienta importante en la investigación y el control de calidad en diversas áreas.

2.13 Cromatografía de intercambio iónico:

Esta técnica surge aproximadamente para los años 1970, su objetivo era la separación de iones, en esos momentos su aplicación se vio retrasada por la falta de un método de detención adecuado. Ya el año 1975 Small y unos colaboradores de Dow Chemical Company inventaron una técnica de suspensión de la conductividad eluyente.

A su vez Roing (1990), afirma este modelo fue llamado cromatografía de intercambio iónico este tenía la capacidad de medir y separar cuantitativamente iones y cationes en concentraciones relativamente bajas en muestras complejas. Para la separación de la cromatografía, este se basa en analizar los procesos ocurridos en la fase móvil y los sectores de intercambio del material entrelazado.

Esta técnica se utiliza con el fin de separar los metales pesados en las muestras de agua que se van a trabajar para ello utiliza resinas de intercambio iónico. Luego que los metales son liberados de la resina estos se miden con la ayuda de las técnicas utilizadas anteriormente.

2.14 Detención de metales pesados

Desde el punto de vista de Manstilla (2015), la espectrometría es la técnica espectroscópica para evaluar la concentración o la cantidad de especies determinadas. En estos casos, el instrumento que realiza tales medidas es un espectrómetro o espectrógrafo. La espectrometría a menudo se usa en física y química analítica para la identificación de sustancias mediante el espectro emitido o absorbido por las mismas.

2.15 Espectrómetro

Manstilla (2015), la realización de este estudio dependerá de las características físicas de la muestra. Genialmente este método mide la cantidad de energía absorbida o producida.

2.16 El agua

El agua es un recurso natural y un bien de la humanidad, en sí por su composición química se puede decir que esta es capaz de disolver gran cantidad de sustancias. El agua en su forma natural es sin duda una de las sustancias más comunes que existen en el planeta tierra está formada por átomos de hidrógeno y oxígeno.

En el mismo el agua se forman los enlaces de hidrogeno o puentes de hidrogeno las moléculas que estas forman tiene una forma tetraédrica, podemos decir que para que se pueda formar este tipo de enlace es necesario que el átomo de hidrogeno este unidos a una molécula a otro átomo que sea muy electronegativo.

Según la UNESCO el agua es considerado como un recurso natural limitado y valioso que debe ser gestionado de manera sostenible para garantizar su disponibilidad para las generaciones presentes y futuras. La forma de garantizar la sostenibilidad en nuestra casa común que el planeta tenemos que hacer un uso racional de los recursos naturales.

El agua es vital para la realización de la gran mayoría de las actividades humanas, de hecho, la composición misma del cuerpo humano está formada por gran cantidad de agua, los procesos metabólicos que ocurren en nuestro organismo también necesitan de agua. (Variano, 2011). El agua es un compuesto químico inodoro, insípido e incoloro formado por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno (H₂O) (Mishra, 2019).

La contaminación del agua se puede generar por diferentes vías de contaminación lo que provoca que sean insegura y no recomendables para el consumo humano, ni para otros seres vivos, esta contaminación puede provenir de fuentes muy diversas, como puede ser la minería, agricultura, los vertidos de detergentes en las aguas, o los que son causados por grandes empresas que liberan los contaminantes en los cuerpos de agua (Merejo 2018).

“La contaminación del agua es la introducción de una o varias sustancias ajenas a la misma que se han acumulado con el paso del tiempo en forma directa o indirecta, hasta llegar a producir un descontrol en la vida de los organismos vivos (Villafaña 2022).

La contaminación del agua por metales pesados ha provocado que las autoridades a nivel global ejecuten políticas políticas para el tratamiento de estos contaminantes. La presencia en el agua de metales como el Hg, Cu, Pb, Cd, As han provocado la desaparición de gran parte de la flora y fauna en los ecosistemas acuáticos (London, 2016).

En la República Dominicana de acuerdo al Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales las aguas superficiales “son aquellas que fluyen o pueden almacenarse en la superficie de los terrenos, como son ríos, lago, laguna, arroyos, y embalses”, mientras que el estudio de las aguas y posible contaminación al cuerpo receptor será responsabilidad de la persona o empresa que contamine, los hallazgos en las muestras deberán estar entre los parámetros permitidos y consultar los resultados con el Ministerio De Medio Ambiente y Recursos Naturales y si los mismos sobrepasan los límites permitidos, alterando la calidad del agua las acciones a tomar será decisión del ministerio ya mencionado. (Naturales, 2012).

2.17 Propiedades químicas del agua

Cuando hablamos de las propiedades químicas del agua hacemos referencias a esas propiedades que se relacionan con los átomos y la conformación de esta. Debidos a la elevada cantidad energética de la formación de la molécula esta le aporta mucha más estabilidad, producto de la unidad de sus moléculas las propiedades eléctricas hacen que sea propicia para que se realicen las principales reacciones químicas en presencia de agua, y que ella sea considerada como el disolvente universal.

Las propiedades químicas del agua están relacionadas con su capacidad de disolvente, reactividad, capacidad de disociación en iones, acidez y basicidad, polaridad y muchas otras características que determinan cómo el agua interactúa y se comporta en un entorno químico. Estas propiedades son fundamentales para la vida tal como la conocemos y también son relevantes en diversos procesos industriales y ambientales.

Comprender las propiedades químicas del agua es esencial para comprender cómo interactúa con otras sustancias, cómo se producen las reacciones químicas en soluciones acuosas, cómo se mantienen los equilibrios de pH en sistemas biológicos y cómo el agua puede desempeñar un papel crucial en muchas reacciones y procesos químicos.

2.18 Potencial de hidrogeno (pH)

El pH es una medida que indica el grado de acidez o alcalinidad de una solución acuosa. Es una escala numérica que va de 0 a 14, donde 7 representa la neutralidad. Un pH menor a 7 indica una solución ácida, mientras que un pH mayor a 7 indica una solución alcalina o básica.

El término "pH" proviene del potencial de hidrógeno. La escala de pH se basa en la concentración de iones de hidrógeno (H^+) presentes en una solución. En soluciones ácidas, hay una alta concentración de iones H^+ , mientras que, en soluciones alcalinas, hay una baja concentración de iones H^+ y una alta concentración de iones hidróxido (OH^-).

2.19 Propiedades físicas del agua

Las propiedades físicas del agua se refieren a las características y comportamientos físicos de esta sustancia, es decir, aquellos aspectos que se pueden medir y observar sin cambiar su composición química. Podemos citar entre estas propiedades temperatura, densidad, dureza y color

2.20 Densidad

La densidad se refiere a la cantidad de masa contenida en un determinado volumen de una sustancia. Matemáticamente, se calcula dividiendo la masa de un objeto o sustancia entre su volumen. La fórmula para calcular la densidad es:

$$\text{Densidad} = \text{Masa} / \text{Volumen}$$

Esta se expresa en unidades de masa divididas por unidades de volumen, como gramos por centímetro cúbico (g/cm^3) o kilogramos por metro cúbico (kg/m^3). La densidad es una propiedad física característica de cada sustancia y se utiliza para identificar y distinguir diferentes materiales. Cada sustancia tiene una densidad única, lo que significa que la densidad puede utilizarse para determinar la composición o la pureza de una sustancia desconocida. La misma también puede influir en el comportamiento de una sustancia.

Se puede decir que densidad del agua varía ligeramente con la temperatura, pero a 4 grados Celsius (39.2 grados Fahrenheit), el agua pura tiene una densidad de aproximadamente 1 gramo por centímetro cúbico (g/cm^3) o 1000 kilogramos por metro

cúbico (kg/m^3). Esto significa que 1 mililitro de agua tiene una masa de aproximadamente 1 gramo.

2.21 Dureza

(Marina López Sánchez, 2005), Plantea que la dureza del agua es producto de la presencia de diferentes iones metálicos en el agua, todos los cationes que son de carácter disolvente proporcionan dureza.

La dureza del agua es una medida de la concentración de sales minerales, principalmente de calcio y magnesio, presentes en el agua

2.22 Ciclos del agua

El agua es una sustancia vital para el desarrollo de la vida esta según el entorno la podemos encontrar en la naturaleza en diferentes formas o estados como son: sólido, líquido y gaseoso. Estado líquido del agua es aquel en el que las moléculas que forman este compuesto están próximas unas de las otras pero no quiere decir que las mismas están ubicadas en lugares fijos, por lo que estas moléculas están en constante movimiento lo que impide que tengan una forma propia ellas tendrán las formas del recipiente que lo contiene.

De acuerdo con la IUPAC explica que los líquidos como aquellos fluidos que se amoldan a la forma que los contienen, pero en su proceso mantienen generalmente su volumen constante.

El estado sólido de la materia es aquel en el que las moléculas que forman el líquido están unidas unas, en nuestra cotidianidad es conocida de diversas formas, como hielo, escarcha, glaciales etc. Podemos decir que el agua en estado gaseoso es aquel en el que las moléculas que forman el gas están dispersas una de las otras estas se expanden hasta llenar y adaptar la forma del recipiente en el que se encuentran, es imposible ver las partículas individuales del gas, aunque si es posible apreciar la masa total de gas.

En este mismo orden es importante resaltar que existen cuatro propiedades básicas de los gases las mismas son:

Los moles que explican la cantidad total del gas, el volumen, la temperatura y la presión. Para poder definir la presión de un gas, decimos que es la fuerza por unidad de área, asea la división de la fuerza en toda en área donde se encuentre el gas. En las unidades del SI la fuerza es medida en newtons (N) y el área en metros cuadrados, por lo que la presión se expresa en pascal (Pa) como la presión de un metro cuadrado.

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

3.1 Introducción

En este capítulo fueron abordados los criterios metodológicos para realizar el presente trabajo de investigación como son el enfoque, diseño, tipo de investigación, población, muestra, criterio de inclusión y exclusión, recolección de datos, procedimientos Proceso del laboratorio, y análisis y resultados.

3.2 Diseño y tipo de investigación

El diseño de esta investigación fue la experimental, puesto que se realizaron comparaciones con una muestra control que los equipos de análisis manejan. El mismo nos permitió manejar la investigación de forma científica estableciendo una comparación causal entre variables mediante la manipulación de una o más variables independientes y la medición del efecto que tienen sobre una variable dependiente, mientras se controlan otros factores que podrían influir en los resultados.

3.2.1 Tipo de investigación

El tipo de estudios es exploratorio, ya que sobre el tema objeto de estudio sobre el Arroyo Hicaco existen insuficientes antecedentes.

Por su parte Hernández Sampieri (1997), define una investigación exploratoria como aquella sobre la cual es poco estudiada o no existen estudios realizados antes, cuando la revisión bibliografía evidencia que existen guías no investigada o ideas vagamente relacionadas con el objeto de estudio.

3.2.2 Enfoque investigativo

El estudio se corresponde con un enfoque cuantitativo, el enfoque cuantitativo es una metodología de investigación que se basa en la recopilación y análisis de datos numéricos, para responder preguntas de investigación y probar hipótesis. Este enfoque se basa en la medición objetiva, la estadística y la generalización de los resultados a través de muestras representativas.

Dentro de esta perspectiva Sampieri (2014), una investigación bajo el enfoque cuantitativo busca describir, explicar, comprobar y predecir los fenómenos (causalidad), generar y probar teorías. Por eso, se recolectan datos con instrumentos estandarizados y validados, para demostrar su confiabilidad; de esa manera se acota intencionalmente la información, midiendo con precisión las variables del estudio.

En el mismo orden Sampieri (2014), “El propósito de los diseños transeccionales exploratorios es comenzar a conocer una variable o un conjunto de variables, una comunidad, un contexto, un evento, una situación. Se trata de una exploración inicial en un momento específico. Por lo general, se aplican a problemas de investigación nuevos o poco conocidos.”

3.2.3 Método de investigación

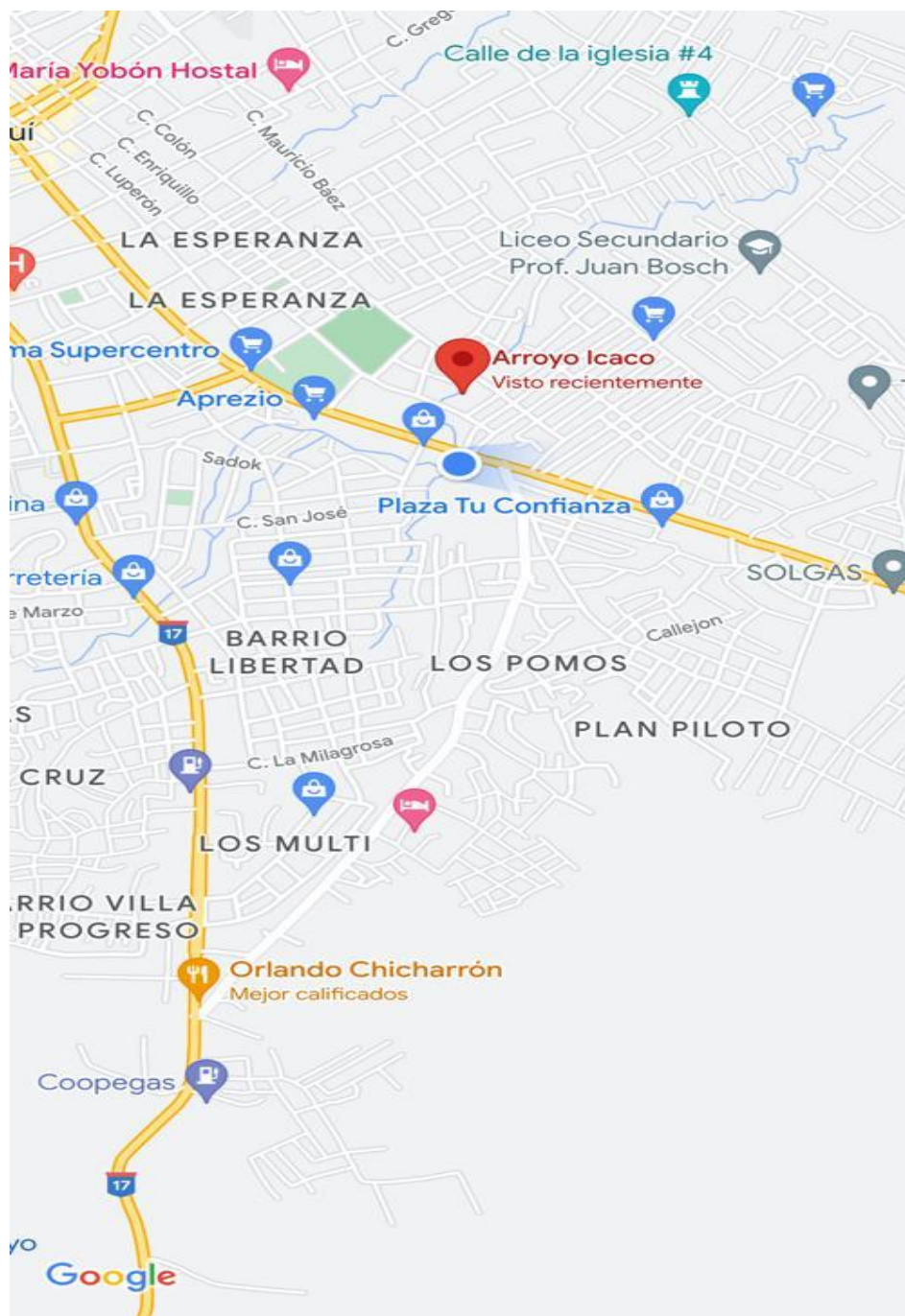
El método utilizado en esta investigación fue el analítico, puesto que se tomarán muestras de distintas partes del arroyo para ser analizadas, y conocer la realidad del arroyo, cómo se encuentra en su estado natural normal.

3.3 Población y muestra

Para la muestra se tomó el Arroyo Hicaco como referencia para la realización del estudio, y para determinar la presencia o no de metales pesados se tomaron las muestras en el sector Hicaco del municipio de Cotuí. Las mismas se realizaron en momentos diferentes,

la primera se realizó el día 14 de julio del año 2023 y el segundo muestreo se realizó en el mismo lugar, pero con la fecha correspondiente al 24 de julio del 2023 a las 11:30 AM.

3.3.1 Puntos de muestreo en la aplicación Google Maps



3.4 Técnicas de recolección de muestras

Las muestras fueron recolectadas por los técnicos de LAMENER SRL, con amplia formación en el área, acompañados del equipo de investigación que desarrolla esta tesis.

Se utilizaron dos tipos de frascos para recolectar las muestras según los lineamientos de la norma NORDOM 39 y de la OPS. Estos frascos se colocan en una bolsa Ziploc por si ocurre un derrame el agua permanezca dentro de la bolsa y no se mezclen. Cada frasco debe cumplir con condiciones diferentes y cada uno es destinado de acuerdo con el tipo de muestra que se requiere analizar. Luego de esto se colocan los frascos en una nevera especializada para su preservación y traslado hasta ser procesadas en el laboratorio

Para este muestreo se utilizaron:

- 1-Frascos plástico 1000 ml, Parámetros fisicoquímicos
- 2-Frasco de Cristal color ámbar 1000 ml, parámetros orgánicos
- 3-Frasco plástico 125 ml, parámetros bacteriológicos

Es importante que en los dos muestreos realizados se utilizaron los mismos procedimientos.

3.4.1 Metodología

La metodología se refiere al conjunto de técnicas, procesos y herramientas que se utilizan para llevar a cabo una investigación o estudio en cualquier disciplina. Proporciona el marco estructurado y los pasos sistemáticos necesarios para recopilar datos, analizarlos y obtener conclusiones válidas y confiables.

En nuestro trabajo de investigación la metodología fue Methods for the Examination of Water and Wastewater, recomendada por laboratorios LAMENER, edición del 2012. Desde 1905 ha sido la fuente confiable de metodología precisa y comprobada

para el análisis de aguas naturales, suministros de agua y aguas residuales. Publicado por la American Public Health Association, la American Water Works Association y la Water Environment Federation, Standard Methods ha sido revisado y aprobado por un amplio consenso de expertos en análisis de agua. Se proporcionan métodos para medir los atributos biológicos, químicos y físicos de las aguas y orientación para elegir métodos para elementos y compuestos específicos.

3.4.2 Instrumentos

Como soporte de la investigación participo el laboratorio LAMENER una empresa dominicana que realizo las pruebas de laboratorio de los diferentes tipos de metales pesados, la misma está registrada bajo el código comercial RNC 131157981. Se utilizaron para la toma de las muestras los siguientes equipos: Neveras refrigerantes, recolector de muestras, termómetro digital, pHmetro digital, frascos recolectores de cristal, espectrofotómetro.

Los equipos utilizados para estos análisis fueron: para el análisis fisicoquímico se utilizó el último Espectrofotómetro de luz visible DR-900, Colorímetro portátil de DR-890. Para medir la concentración de metales pesados en agua se utilizó el Espectrofotómetro de luz visible modelo DR-3900.

Para la medición del pH y la temperatura se empleó un pHmetro Digital con Temperatura Tipo Lapicero modelo PH 009 (III).

Espectrofotómetro

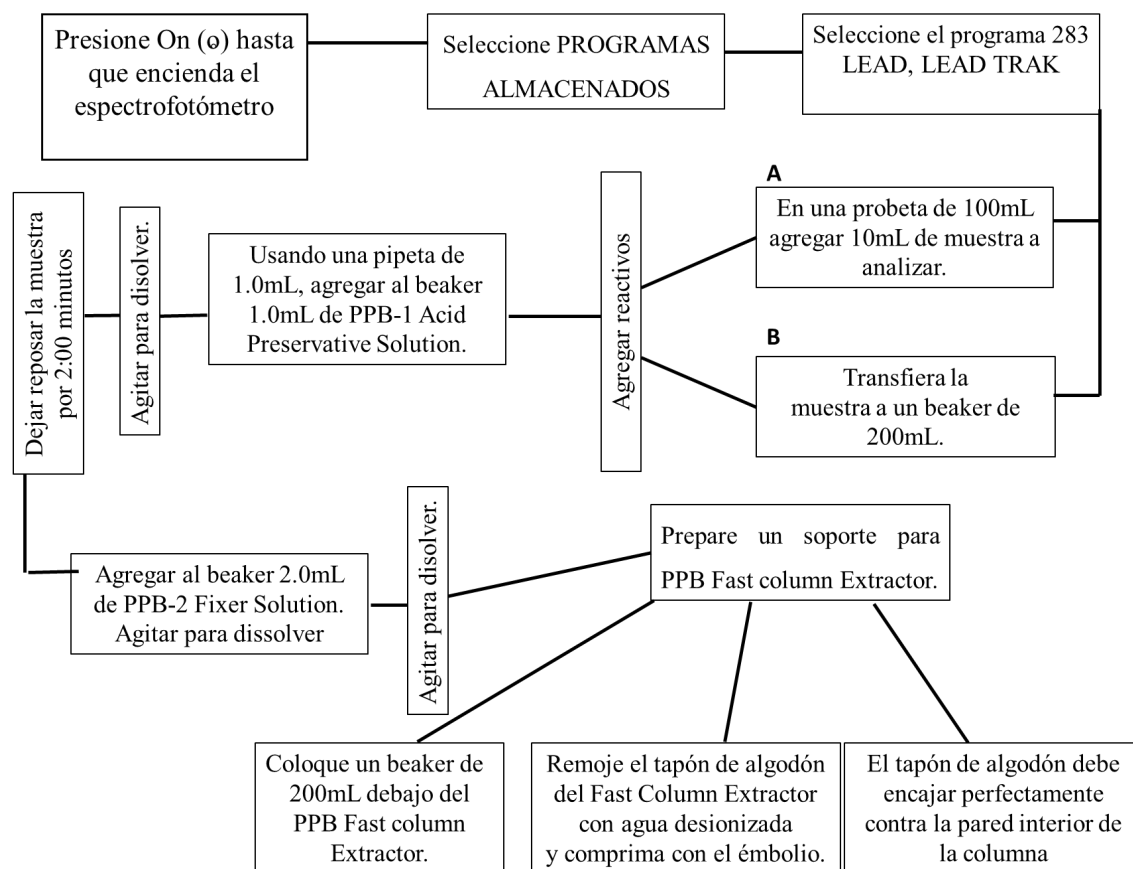
Es el instrumento utilizado en física óptica para medir en proporción de la longitud onda, y los valores que existen entre las mismas magnitudes fotométricas relativas a dos haces de las radiaciones.

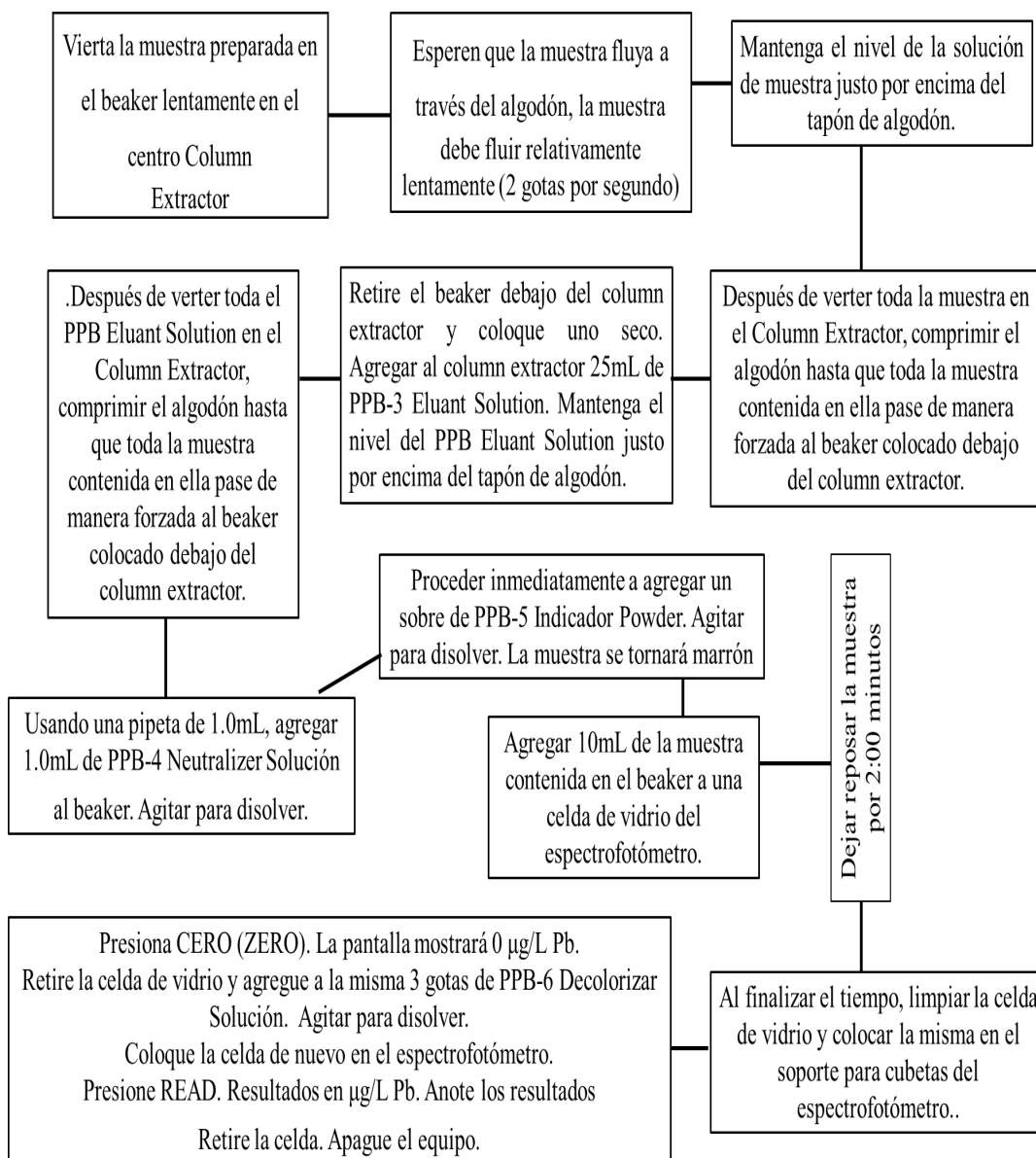
A) Plomo

3.4.3 Cuadro con herramientas, reactivos y equipos para identificación del plomo

Herramientas y equipos	Reactivos
Celda de muestra en vidrio de 10mL para el espectrofotómetro	PPB-1 Acid Preservative Solution Catálogo No. 23685-31
Probeta plástica de 100ml	PPB-2 Fixer Solution Catálogo No.23686-55
Beaker 200mL	PPB-3 Eluant Solution Catálogo No. 23687-4
Pipetas 1.0mL	PPB-4 Neutralizer Solution Catálogo No. 23688-55
Espectrofotómetro DR3900	PPB-5 Indicator Powder Catálogo No. 23689-64
	PPB-6 Decolorizer Solution Catálogo No. 23747-55
	PPB Fast column Extractor
	Agua desionizada Soporte para PPB Fast column Extractor
	Guantes
	Lentes protectores
	Bata de Laboratorio
	Mascarilla
	Botas o calzado adecuado

3.4.4 Esquema para representar el análisis metodológico de la muestra de plomo de las aguas superficiales del Arroyo Hicaco





3.4.5 Herramientas, equipos y reactivos utilizados para el análisis de la muestra de mercurio en las superficiales del Arroyo Hicaco

Equipos	Reactivos	Herramientas
Celda para espectrofotómetro	Nitric Acid, ACS Catálogo No 152-49	Guantes
Espectrofotómetro DR3900	Potassium Permanganate, ACS Catálogo No 168-01H	Bata de Laboratorio
Plancha de Agitación	Potassium Persulfate, ACS Catálogo No 26175-01	Lentes protectores
Matraz Erlenmeyer	Hydroxylamine Hydrochloride, ACS Catálogo No 246-14	Mascarilla
Embudo	Sulfuric Acid, ACS, concentrated Catálogo No 979-09	Botas o calzado adecuado
Botella de lavado de gases	HgEx™ Reagent A, Stannous Sulfate Solution Catálogo No 26588-25	
	HgEx™ Reagent B, Sulfuric Acid Solution Catálogo No 26589-49	
	HgEx™ Reagent C, Sodium Hypochlorite Solution Catálogo No 26590-59	
	HgEx™ Reagent 3, Alkaline Reagent Powder Pillows Catálogo No 26584-48	
	HgEx™ Reagent 4, Indicator Powder Pillows Catálogo No 26585-48	
	HgEx™ Reagent 5, Sodium Hydroxide Solution Catálogo No 26586-36	
	HgEx™ Reagent 6, Complexing Reagent Powder Pillows Catálogo No 26587-48	
	Mercury Scrubber Catálogo No 26558-00	

Las informaciones utilizadas para realizar el cuadro de equipos, reactivos y herramientas del mercurio son obtenidas del libro de laboratorio Procedures Manual DR 2800 Hach Company, 2nd Edition June 2007. Pág. 353 – 363.

3.4.6 Procedimiento para el análisis de la muestra de mercurio de las aguas superficiales del Arroyo Hicaco.

Metodología

Este procedimiento se divide en tres etapas fundamentales, la primera es la digestión de la muestra, esta primera etapa consta de transferir un litro de la muestra a un matraz Erlenmeyer de 2000 mL y agregar una barra de agitación magnética de 50 mm a la muestra, luego de eso la muestra pasaron por una serie de procedimiento que se detallan el anexo.

La segunda etapa o fase es la separación de vapor frío y preconcentración de mercurio, en esta fase la muestra digerida a la botella de lavado de gases con vapor frío.

El volumen de la muestra digerida debe contener de 0,1 a 2,5 µg Hg.

La tercera fase es el análisis calorímetro, se emplea para determinar la concentración de ciertos componentes o sustancias presentes en el agua que pueden generar reacciones exotérmicas o endotérmicas.

Cadmio

Hach Company. (2007), define el cadmio como un metal dúctil, de color blanco argentino con un ligero matiz azulado. Es más blando y maleable que el zinc, pero poco más duro que el estaño. Peso atómico de 112.40 y densidad relativa de 8.65 a 20°C (68°F). Su punto de fusión de 320.9°C (610°F) y de ebullición de 765°C (1410°F) son inferiores a los del zinc

El presente esquema muestra la metodología utilizada para la determinación del cadmio en las aguas del Arroyo Hicaco del municipio de Cotuí.

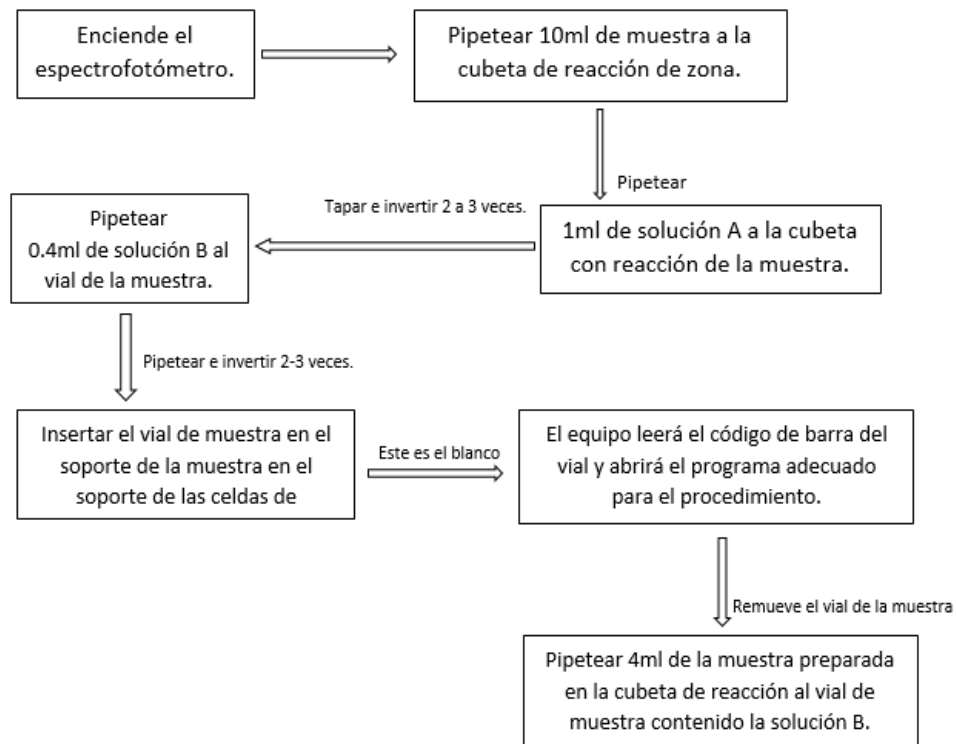
3.4.7 Cuadro con los materiales, equipos y reactivos utilizados en la muestra para el análisis de la muestra de cadmio.

Materiales	Equipos	Reactivos
Viales o tubos de ensayo	Espectrofotómetro DR3900	Solution A Catálogo No. TNT 852A
Pipetas 5 y 10 ml		Solution B Catálogo No. TNT 852B
Lentes de protección		Vial Catálogo No. TNT 852R
Guantes		
Bata de Laboratorio		
Mascarilla		
Botas o calzado adecuado		

Hach Company. (2007), plantea los materiales, equipos, y reactivos utilizados para la identificación cadmio en muestras de agua superficiales, del mismo modo plantea los requisitos que deben poseer las muestras al momento de tomarlas.

Recoger las muestras en recipientes de vidrio o de plástico lavados con ácido. Ajuste el pH a 2 o menos con ácido nítrico (aproximadamente 2 ml por litro). Las muestras se pueden conservar hasta 6 meses a temperatura ambiente. Ajustar el pH entre 3-6 con hidróxido de sodio 5.0 N antes del análisis.

3.4.8 Procedimiento para el análisis de la muestra de muestra de cadmio de las aguas superficiales del Arroyo Hicaco



Aluminio

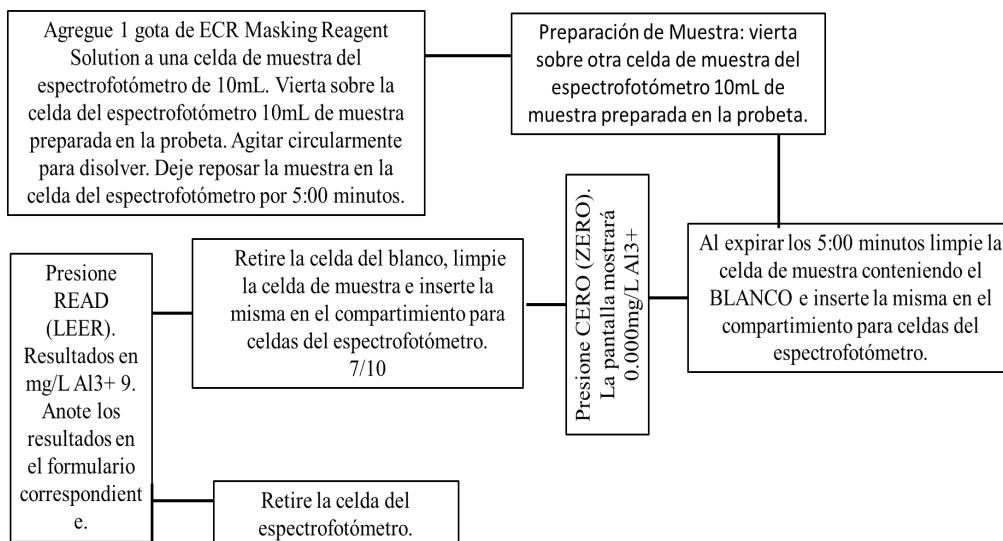
3.4.9 Herramientas y equipos para la identificación de Aluminio.

Materiales	Equipos
Probeta de vidrio graduada 25mL	Celda de muestra de 10mL del espectrofotómetro
Guantes	Espectrofotómetro
Bata de Laboratorio	
Mascarilla	
Botas o calzado adecuado	
Lentes protectores	

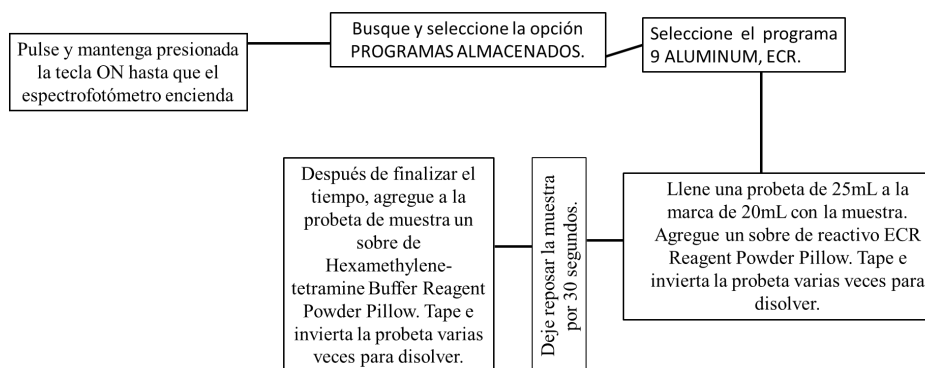
Las informaciones utilizadas son adquiridas de Procedures Manual DR 2800 (2nd ed., June 2007, pp. 43-46). Para sacar los materiales y equipos utilizadas para identificar la presencia del aluminio en agua superficiales.

3.4.10 Procedimiento para el análisis de la muestra de aluminio de las aguas superficiales del Arroyo Hicaco

Esquema A



Esquema B



Materiales	Equipos
Probeta de vidrio graduada 25mL	Celda de muestra de 10mL del espectrofotómetro
Guantes	Espectrofotómetro
Bata de Laboratorio	
Mascarilla	
Botas o calzado adecuado	
Lentes protectores	

Las informaciones utilizadas son adquiridas de Procedures Manual DR 2800 (2nd ed., June 2007, pp. 43-46). Para sacar los materiales y equipos utilizadas para identificar la presencia del aluminio en agua superficiales.

3.5 Validez y confiabilidad

La recolección de la muestra fue tomada por los ingenieros del laboratorio LAMENER en un punto estratégicos del Arroyo Hicaco, los mismos con sus equipos profesionales de alta calidad analizaron las muestras de agua, para determinar la presencia o ausencia de metales pesados en agua, los resultados arrojados en las analíticas fueron presentados en gráficos cuantitativos y comparados con los valores permitidos para aguas superficiales clase b según la ley en la República Dominicana.

Se realizaron 2 muestreos, las primeras tomas de muestras fueron obtenidas el 17 de julio en horario matutino y el segundo muestro se realizó el 24 de julio en horario de la mañana igualmente.

3.6 Procedimientos

Los procedimientos a realizar en primer lugar se procedió a seleccionar un tema de investigación, que representara una problemática significativa para la comunidad de Cotuí,

y que tuviera relación con el campo de la química, luego se eligió la población muestra a trabajar, seguido de la elaboración de la metodología a implementar en el estudio, nos pusimos en contacto con laboratorio LAMENER que nos ofreció su apoyo en la recolección y análisis de muestras, se visitaron diferentes instituciones estatales que dan seguimiento a los recursos acuiferitos de la Republica Dominicana, como la Junta De regantes ubicada el distrito municipal de Angelina, en el mismo orden visitamos el Instituto Nacional de Recursos Hídricos (INDRHI) en el municipio de Villa La Mata, y realizamos varias llamadas a la oficina de Medio Ambiente y Recursos Naturales ubicada en el Municipio de Cotuí de la Provincia Sánchez Ramírez.

3.7 Análisis de los datos

Los resultados obtenidos se presentaron en cuadros y gráficos, atendiendo el orden de las variables propuestas en el capítulo I.

CAPÍTULO IV PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Introducción

En el presente capítulo se presentan los resultados de la investigación para analizar el muestreo y caracterización de las aguas superficiales del Arroyo Hicaco. Los resultados están organizados en función de las variables, apoyado en cuadros de resultados.

4.2 Aspectos Organolépticos al instante del monitoreo de las aguas.

Muestreo	Turbidez Color Olor y Solidos		
	Número de muestra	Analítica	Valores encontrados
Muestreo 1 Arroyo Hicaco 17 -07-23	1	Turbidez	Media
		Color	Bajo
		Olor	Bajo
		Solidos	Bajos
Muestreo 2. Arroyo Hicaco 24-7-23	1	Turbidez	Media
		Color	Bajo
		Olor	Bajo
		Solidos	Medios

Figura 1. Comportamiento de los aspectos organolépticos del agua al momento de la toma de muestra.

Según las observaciones de lugar en el aspecto organoléptico de la turbidez se evidencio que para el momento de la toma de muestra se presentó un valor medio, tanto en el primer como el segundo muestreo respectivamente.

En este sentido Azario (2004), plantea la turbidez tiene una gran importancia sanitaria, ya que refleja una aproximación del contenido de materias coloidales, minerales u orgánicas, por lo que puede ser indicio de contaminación. La causa de la turbidez del agua de bebida puede deberse a un tratamiento insuficiente en de potabilización, elevados niveles de turbidez pueden proteger a los microorganismos de los efectos de la desinfección, estimular la proliferación de bacterias y aumentar la demanda de cloro.

La coloración evidencio un valor bajo presentando un color amarillo ligeramente claro dichas características se manifestaron tanto en el primer muestreo como en el segundo, sin manifestar variación alguna.

Para esto como afirma Salas (2018), afirma que las aguas superficiales pueden parecer altamente coloreadas debido a la presencia de materia pigmentada en suspensión, cuando en realidad el agua no tiene color. El material colorante resulta del contacto con detritus orgánicos como hojas, agujas de coníferas y madera, en diversos estados de descomposición, está formado por una considerable variedad de extractos vegetales.

Según lo sostenido por Garibaldi (2011), En su forma pura, el agua no produce sensaciones olfativas. El olor en el agua puede utilizarse de manera subjetiva para describir cualitativamente su calidad, estado, procedencia o contenido. Aun cuando esta propiedad pueda tener un amplio espectro de posibilidades, para propósitos de calidad de aguas existen ciertos aromas característicos que tipifican algunas fuentes u orígenes, más o menos bien definidos

El olor se presentó tanto en el primer como segundo muestreo con un aspecto bajo. y por último para él los sólidos evidenciaron que en el primer muestreo estos eran de carácter bajo, más adelante en el segundo muestreo llevado a cabo 1 semana después del primero y en el mismo punto las observaciones arrojaron que estos eran de carácter medio.

4.3 Condición química del agua

4.4 Tabla de comportamiento del pH

Muestreo	Número de muestra	Analítica	Valores encontrados	Valores de referencia
Muestreo 1 Arroyo Hicaco 17 -07-23	1	pH	8.10	6.5 - 8.5
Muestreo 2 Arroyo Hicaco 24-7-23	1	pH	7.81	

Figura 2. Comportamiento de Potencial de hidrogeno (pH)

En el comportamiento del Potencial de Hidrogeno (pH), se observa que el valor más alto arrojado fue 8.10 y este valor corresponde al muestreo número uno, mientras que en el segundo muestreo el valor obtenido fue 7.81 mostrando una ligera disminución. Los resultados obtenidos corresponden en un pH de carácter alcalino.

Un alto o bajo pH puede romper el balance de los químicos del agua y movilizar a los contaminantes, causando condiciones tóxicas. Los organismos acuáticos pueden experimentar problemas haciendo que las poblaciones declinen.

4.5 Comportamiento de la temperatura

Muestreo	Número de muestra	Analítica	Valores encontrados	Valores de referencia
Muestreo 1 Arroyo Hicaco 17 -07-23	1	Temperatura en grados °C	28.8 °C	± 3
Muestreo 2 Arroyo Hicaco 24-7-23	1	Temperatura en grados °C	28.5 °C	

Figura 3. Comportamiento de Temperatura.

En el comportamiento de la Temperatura evidencia que en ambos muestreos los resultados arrojados se mantuvieron entre 28.5 y 28.8 °C. Manteniendo una temperatura estable y contante. El límite tolerable o de variabilidad es de ± 3 .

4.6 Condición de la Dureza

Muestreo	Número de muestra	Analítica	Valores encontrados	Valores de referencia
Muestreo 1 Arroyo Hicaco 17 -07-23	1	Dureza	222 mg/L	80-100 mg/L
Muestreo 2 Arroyo Hicaco 24-7-23	1	Dureza	239 mg/L	

Figura 4. Comportamiento de la Dureza

En el comportamiento de la dureza observa que el punto más bajo es de 222 mg/L correspondiente al primer muestreo, para luego ascender a 239 mg/L en el muestreo número dos.

4.7 Conductividad

Muestreo	Número de muestra	Analítica	Valores encontrados	Valores de referencia
Muestreo 1 Arroyo Hicaco 17 -07-23	1	Conductividad	851 $\mu\text{S/cm}$	200 a 800 $\mu\text{S/cm}$
Muestreo 2 Arroyo Hicaco 24-7-23	1	Conductividad	869 $\mu\text{S/cm}$	

Figura 5. Comportamiento de la Conductividad

En el comportamiento de la conductividad (CE) presentan un mínimo de 851 $\mu\text{S/cm}$ y un máximo de 869 $\mu\text{S/cm}$. Se evidenció que los obtenidos exceden los límites de tolerancia, pero no de forma excesiva.

4.8 Contenido de Metales Pesados Plomo, Mercurio, Aluminio y Cadmio en las aguas del Arrollo Hicaco Cotuí Provincia Sánchez Ramírez

4.9 Contenido de Plomo (Pb) en las aguas del Arroyo Hicaco

Muestreo	Numero de muestra	Analítica	Valores encontrados	Valores de referencia
Muestreo 1 Arroyo Hicaco 17-03-23	1	Plomo (Pb)	< 0.005 mg/L	0.05 mg/L
Muestreo 2 Arroyo Hicaco 24-07-23	1	Plomo (Pb)	< 0.005 mg/L	

Figura 6 Contenido de Plomo (Pb) en las aguas del Arroyo Hicaco

En el comportamiento del Plomo (Pb), los valores obtenidos en ambos muestreos fueron inferiores al < 0.005 mg/l. El límite de tolerancia es de 0.05 mg/L. Mientras que los valores se mantuvieron inferiores a esta cifra.

4.10 Contenido de Cadmio en las aguas del Arroyo Hicaco

Muestreo	Numero de muestra	Analítica	Valores encontrados	Valores de referencia
Muestreo 1 Arroyo Hicaco 17-03-23	1	Cadmio (Cd)	< 0.002 mg/L.	0.005 mg/L.
Muestreo 2 Arroyo Hicaco 24-07-23	1	Cadmio (Cd)	< 0.002 mg/L.	

Figura 7 Contenido de Cadmio en las aguas del Arroyo Hicaco

En cuanto a la concentración de Cadmio (Cd), se evidencia que en ambos muestreos los valores arrojados fueron < 0.002 mg/l, el límite de tolerancia o referencia es de 0.005 mg/L. Mientras que los valores se mantuvieron por debajo de esta cifra.

4.11 Contenido de Mercurio en las aguas del Arroyo Hicaco

Muestreo	Numero de muestra	Analítica	Valores encontrados	Valores de referencia
Muestreo 1 Arroyo Hicaco 17-03-23	1	Mercurio (Hg)	< 0.0006 mg/L	0.001 mg/L
Muestreo 2 Arroyo Hicaco 24-07-23	1	Mercurio (Hg)	< 0.0006 mg/L	

Figura 8 Contenido de Mercurio en las aguas del Arroyo Hicaco

En cuanto a la concentración de Mercurio (Hg), se evidencia que en ambos muestreos los valores arrojados fueron < 0.0006 mg/L, el límite de tolerancia o referencia es de 0.001 mg/L. Mientras que los valores se mantuvieron por debajo de esta cifra.

4.12 Contenido de Aluminio en las aguas del Arroyo Hicaco

Muestreo	Numero de muestra	Analítica	Valores encontrados	Valores de referencia
Muestreo 1 Arroyo Hicaco 17-03-23	1	Aluminio	< 0.002 mg/L.	5.0 mg/L.
Muestreo 2 Arroyo Hicaco 24-07-23	1	Aluminio	< 0.002 mg/L.	

Figura 9 Contenido de Aluminio en las aguas del Arroyo Hicaco

En cuanto a la concentración del Aluminio (Al), se evidencia que en ambos muestreos los valores arrojados fueron < 0.002 mg/L, el límite de tolerancia o referencia es de 5.0 mg/L. Mientras que los valores se mantuvieron por debajo de esta cifra.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

5.1 Introducción

En el presente capítulo se discuten los resultados obtenidos a través del análisis de la concentración de metales pesados en las aguas del Arroyo Hicaco, así también como los parámetros fisicoquímicos presente, estas analíticas fueron realizadas en el laboratorio LAMENER para así dar respuesta a las preguntas de investigación, llegar a las conclusiones pertinentes y ofrecer las recomendaciones de lugar, según los objetivos planteados en la investigación.

5.2 Análisis de los resultados

El análisis de los resultados ha sido elaborado tomando en cuenta los objetivos específicos de investigación:

Objetivo No. 1 -Determinar el nivel de contaminación por metales pesados en las aguas del Arroyo Hicaco del municipio de Cotuí en el año 2023.

Según Benítez et al (2020), actualmente uno de los mayores problemas a nivel ambiental es la contaminación de las fuentes hídricas del mundo por metales pesados, ya que es debido a la toxicidad que presentan los metales pesados en el agua de los ríos, que son considerados como un serio problema para los habitantes de las poblaciones que se abastecen de dichos ríos, el incremento en la concentración de estos metales en las fuentes hídricas procede de las diversas actividades antropogénicas, elevando además los efectos potencialmente nocivos sobre los diferentes sistemas ecológicos y el ambiente, los cuales son el soporte de la vida humana.

Los resultados arrojaron evidenciaron niveles de metales pesados por debajo de los límites de tolerancia o referencia para aguas superficiales. El metal Plomo (Pb) presento un

valor constante de < 0.005 mg/L, el Cadmio (Cd) presento un valor de < 0.002 mg/L, el Mercurio (Hg) < 0.0006 mg/L y por último el Aluminio (Al) < 0.002 mg/Lo cual evidencia la ausencia de metales pesados en las aguas de Arroyo Hicaco y por ende la contaminación por los mismos.

Objetivo No. 2- Evaluar las características Fisicoquímicas de las aguas del Arroyo Hicaco.

La concentración de pH, por lo general, está ligada con las actividades agrícolas y el vertido de aguas residuales, como lo afirman Custodio y Cosme (2016). Los resultados arrojaron que la condición del pH en el Arroyo Hicaco se encontraron dentro de los niveles de tolerancia según la Norma de calidad de aguas superficiales para la clase a la que pertenece el afluente bajo estudio al no sobrepasar los márgenes de 6.5 y 8.5 en cada uno de sus puntos y mantenerse en un rango oscilatorio de entre 7.81 y 8.10.

Díaz (2022), establece que la temperatura afecta a los procesos físicos, químicos y biológicos involucrados en el transporte del agua potable, por lo que condiciona la calidad del agua suministrada. Diferentes trabajos han puesto de manifiesto el papel de esta variable de modo específico en cada proceso o fenómeno En el aspecto de la temperatura los resultados se mantuvieron estables, siendo 28.8 y 28.5 °C en ambos muestreos sin presentar picos más elevados o bajos de este rango. Siendo el límite de tolerancia ± 3 .

La conductividad eléctrica refleja la capacidad del agua para conducir corriente eléctrica y está directamente relacionada con la concentración de sales disueltas en el agua (Corponor, 2018). En este parámetro los resultados obtenidos fueron 851 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en el primer muestreo y 869 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para la segunda toma de muestra. El límite mínimo de detención es 200 a 800 $\mu\text{S}/\text{cm}$, mientras los valores se mantuvieron entre 851 y 869 $\mu\text{S}/\text{cm}$ respectivamente sobre pasando los límites de tolerancia.

Los valores de la Dureza presentan un mínimo de 222 mg/L correspondiente al primer muestreo y un máximo de 239 mg/L lo cual refleja un ligero aumento de este parámetro. El límite mínimo de detención es 80-100 mg/L para aguas superficiales Clase b. Mientras que los valores se mantuvieron entre 222 y 239 mg/L.

Objetivo No. 3 Cuantificar la concentración de Plomo (Pb), Mercurio (Hg), Cadmio (Cd) y Aluminio (Al) en las aguas del arroyo Hicaco del municipio de Cotuí en el año 2023.

La concentración de plomo registrada fue de < 0.005 mg/L para ambos muestreos, siendo el límite de tolerancia es de 0.05 mg/L. En el caso del cadmio los resultados en cuenta a la concentración fueron de < 0.002 mg/L teniendo en cuenta que el límite de tolerancia es de 0.005 mg/L para aguas superficiales. El mercurio otorgo resultados < 0.0006 mg/L para un límite de tolerancia de 0.001 mg/L. y en el caso de Aluminio los valores obtenidos fueron de < 0.002 mg/L teniendo en cuenta el límite de tolerancia de 5.0 mg/L.

5.2 Conclusiones

Analizando los datos se llegó a las siguientes conclusiones:

1. En cuanto a la condición fisicoquímica (pH, Conductividad (CE), Dureza, y Temperatura) de las aguas del Arroyo Hicaco se concluyó que el pH se mantuvo entre 7.81 y 8.10 lo que se corresponde según los parámetros establecidos a un pH alcalino. En cuanto a la dureza el mayor valor registrado fue 222 mg/L y el de menor valor fue 239 mg/L lo cual representa un parámetro importante detectado, ya que sobre pasa los límites de tolerancia para aguas superficiales. La Conductividad eléctrica presento parámetros entre 851 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 869 $\mu\text{S}/\text{cm}$ lo cual nos indica que las aguas del Arroyo Hicaco tienen una elevada concentración de iones. Por último, la temperatura se determinó que este registró un valor de 28.5 °C y 28.8 para ambos muestreos sin manifestar cambios.
2. Sobre la contaminación por metales pesados se evidencio que los niveles de plomo, Cadmio, y mercurios registraron valores por debajo de los límites de tolerancia para aguas superficiales clase B, El metal Plomo (Pb) presento un valor constante de < 0.005 mg/L, el Cadmio (Cd) presento un valor de < 0.002 mg/L, el Mercurio (Hg)

< 0.0006 mg/L y por último el Aluminio (Al) < 0.002 mg/ lo cual evidencia que las aguas del Arroyo Hicaco no representan un ente contaminante ni toxico por el momento para los pobladores y usuario que viven en sus alrededores ni para los ecosistemas o entes bióticos que viven en el mismo.

No obstante, aunque los niveles de metales pesados se encontraron en concentraciones por debajo de los valores de referencia si se evidenció su presencia en las aguas del Arroyo Hicaco; Por lo cual lo más recomendable es que se sigan realizando mediciones de estos elementos de forma constante en el tiempo para ver si presentan algún tipo de cambio en cuanto a sus concentraciones.

5.3 Recomendaciones

Al Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales

Realizar estudios de este tipo con frecuencia, profundidad y disponibilidad de recursos. Los monitoreos continuos para saber si la condición de las aguas ayuda significativamente a descartar o identificar las causas de contaminación. Monitorear con mayor frecuencia las aguas del Arroyo Hicaco para verificar las condiciones químicas y físicas y si estas presentan variaciones importantes en el tiempo.

Tomar en cuenta la evidencia presentada de datos de parámetros fisicoquímicos como la CE y dureza, como línea base o aporte para el monitoreo sistemático de la condición de la cuenca, ya que estos sirven de alarma por un posible aumento de los valores de metales pesados en las aguas del Arroyo Hicaco.

Realizar un estudio orientado a conocer la concentración de metales pesados en sedimentos del Arroyo Hicaco para poder mantener un control y poder detectar si los valores de estos presentan un incremento significativo o permanecen dentro de los límites de tolerancia.

A la Universidad Tecnología del Cibao Oriental (UTECO)

Motivar a los estudiantes tanto de grado como de postgrado a realizar estudios que cuyo enfoque investigativo sean las fuentes hídricas del municipio de Cotuí tales como el Arroyo Hicaco, la Presa de Hatillo entre otros afluentes.

Referencias

- American Psychological Association. (2019). *Publication manual of the American Psychological Association (7th ed.)*. <https://doi.org/10.1037/0000165-000>
- Alkarkhi, A. F., & Ahmad, Z. (2012). *Heavy Metals in Water and Sediments from the Klang River Basin, Malaysia*. *International Journal of Environmental Science and Development*, 3(2), 142-146
- Álvarez, J., Amancio, F. (2014). *Bioacumulación de metales pesados en peces y análisis de agua del Río Santa y Laguna Chinancocha Langaruchó periodo. (Tesis de ingeniería ambiental)*. Universidad Nacional “Santiago Antúnez de Mayolo”. Huaraz Ancash, Perú.
- Andrea Renata Márquez Alvarado y María Paola Granizo Riqueti (2007). *Análisis de Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn, en el Antiguo Botadero el valle, Ecuador*.
- Ayuntamiento Municipal de Cotuí (2023). Portal web. *Historia de Cotuí*. Disponible en <https://ayuntamientocotui.gob.do/historia/>
- Błaszczuk, M., & Kaczmarek, H. (2017). *Heavy Metals in Water and Sediment of the River Odra: Overview and Assessment of Environmental Risk*. *Water*, 9(4), 251.
- Klaassen, C. D., & Watkins.
- J. B. (2013). *Casarett and Doull's essentials of toxicology*. McGraw-Hill Medical.
- Capó Martí M.A. *Principios de ecotoxicología: diagnóstico, tratamiento y gestión del medio ambiente*. Editorial Tebar, 2007.
- Castillo Herrera Sara Enid (2021). *Determinación de metales pesados en el agua subterránea para uso en actividades productivas, en la zona baja de la provincia, El Oro*. Lima Perú.
- Ciencia Médica, vol. (12).
- Concepción Nava- Ruiz, m. m. (2011). *Efectos Neurotóxicos de los metales pesados (cadmio, plomo, arsénico, y talio)*.
- Cornelis, R. y Nordberg, M. 2007. *General Chemistry, Sampling, Analytical Methods, and Speciation*. En: *Handbook on the toxicology of metals*. Gunnar, F., Nordberg, B. A., Norberg, M y Lars T. F. (eds.). Ed. Elsevier. San Diego, CA.
- Cornelis, R. y Nordberg, M. (2007). *Química General, Muestreo, Métodos Analíticos*.

- Corzo Expósito Ibis y Velásquez Hernández Maydel (2014). *El plomo y sus efectos en la salud*, *Acta Médica del Centro / Vol. 8 No. 3*. Disponible en <https://www.medigraphic.com/pdfs/medicadelcentro/mec-2014/mec143x.pdf>
- Chen, J., Zhang, Y., Wu, H., Wu, Y. & Feng, X. (2014). *Applications of ICP-MS in Environmental Research*. In X. Feng & H. Wu (Eds.), *Advances in Environmental Research*, Volume 30 (pp. 87-101). New York, NY: Nova Science Publishers.
- Departamento de salud y servicios para personas mayores de nuevo jersey (2000). Hoja informativa de sustancias peligrosas. Disponible en <https://www.nj.gov/health/eoh/rtkweb/documents/fs/0054sp.pdf>
- Demográfico, m. d. (2022). *Los metales pesados*. Madrid, España.
- Elia Roldán Reyes (2016). *Introducción a la toxicología*. Universidad Nacional Autónoma de México Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. Disponible en <https://www.zaragoza.unam.mx/wp-content/Portal2015/publicaciones/libros/cbiologicas/libros/Toxico-ago18.pdf>
- Ernesto Sabatha, M. Ludivina Robles-Osorio (2012). *Medio ambiente y riñón: nefrotoxicidad por metales pesados*. Departamento de Nefrología, Hospital General de Querétaro, Querétaro, México, Facultad de Medicina, Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro, México.
- Eróstegui, C. (2009). *Contaminación por metales pesados*. Revista Científica
- Espinoza, T., Espinoza, L.S. (2005). *Impacto de la minería en la calidad del agua en la microcuenca del río Artiguas*. (Tesis de ingeniería en calidad ambiental). Universidad centroamericana UCA. Managua Nicaragua.
- Gallagher CM, MelikerJR. (2010). *Cadmio en sangre y orina, presión arterial e hipertensión: una revisión sistemática y un metaanálisis*. Perspectiva de Salud Ambiental.
- Gara Sánchez Barrón (2016). *Riesgo para la salud de la utilización de Suelos ricos en cadmio*.
- Geoenciclopedia. *Los Arroyos*. https://www.geoenciclopedia.com/arroyos-81.html#anchor_0

- Ghrefat, H., Yusuf, N, (2006). *Evaluación de la contaminación por Mn, Fe, Cu, Zn y Cd en los sedimentos del fondo de la represa Wadi Al Arab, Jordania, y Chemosphere.*
- Gil Martínez, (2020). *Contaminación por Metales Pesados*. Artículo de divulgación. Centro de Investigación y Desarrollo de Recursos Científicos, Inglaterra.
- Gómez, A., Villalba, A., Acosta, G., Castañeda, M. y Kamp, D. (2004). *Metales pesados en el agua superficial del Río San Pedro durante 1997 y 1999*. Revista Internacional Contaminación Ambiental, vol. (20), p5 - p12.
- Granizo Riqueti, M. P. (2007). *Análisis del Cr, Cd, Cu, Hg, Ni, Pb y Zn, en el antiguo botadero del valle*. Cuenca, Ecuador.
- Gunnar Nordberg, S. L. (s.f.). Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo. Agency for Toxic Substances and Disease Registry.
- Herrera, E. (2015). *El agua*. En J. L. Cifuentes et al. (Eds.), *Diccionario de términos ambientales y afines* (pp. 24-26). Universidad de Antioquia.
- Herrera, S. E. (2021). *Determinación de metales pesados en el agua subterráneas para el uso, en actividades productivas, en las zonas bajas de la provincia El Oro*. lima, Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
<http://dx.doi.org/10.1201/9781420039900>
- Heinrich, C.A., Dulski, P. & Pettke, T. (1999). *The Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry (ICP-MS) as a Tool in Quantitative Geochemistry: Advances and Limitations*. In S. Hanor (Ed.), *Quantitative Geochemistry* (pp. 139-188). Cambridge, United Kingdom: The Mineralogical Society of America.
- Hernández-Sampieri, R. & Mendoza, C (2018). *Metodología de la investigación*. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta, Ciudad de México, México: Editorial Mc Graw Hill Education, Año de edición: 2018, ISBN: 978-1-4562-6096-5, 714 p.
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (2019). *¿Qué es una cuenca?* Disponible en <https://www.gob.mx/imta/articulos/que-es-una-cuenca-211369>
- Instituto nacional del cáncer (2015). *El Cadmio*. Disponible en <https://www.cancer.gov/espanol/cancer/causas-prevencion/riesgo/sustancias/cadmio>

- IUPAC. (2004). Líquido. *En A. D. McNaught y A. Wilkinson (Eds.). Compendio de Terminología Química de la IUPAC (el "Libro de Oro")* (2da ed.). Publicaciones científicas Blackwell. <https://doi.org/10.1351/goldbook.L03557>
- IUPAC. (2021). *Metal. En IUPAC Compendium of Chemical Terminology.*
- Kabata Pendias (2000). *Oligoelementos en Suelos y Plantas. 3ra Edición.* CRC Press, Boca Raton.
- Kittel, C., & Kroemer, H. (1980). *Thermal Physics (2nd ed.).* W. H. Freeman and Company.
- Klein C., y Hurlbut C.S. (2003). *Manual de mineralogía, Volume 2.* Barcelona: Reverté S.A
<https://books.google.com.ec/books?id=umRMtQEACAAJ&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>
- Lilit Gray Vardanyan (2006). *Estudios sobre la acumulación de metales pesados en macrófitos acuáticos de los sistemas lacustres de Sevan (Armenia) y Carambolim (India).*
- Londoño Franco, L. F., Londoño Muñoz, P. T., & Muñoz García, F. G. (2016). *Los Riesgos De Los Metales Pesados En La Salud Humana Y Animal.* Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial.
- Mansilla, A. P. (2015). *Determinación de metales pesados en agua, peces, almejas e Hydrilla Verticillata del Lago de Izabal.* Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Mariana Alcívar Tenorio¹, Jessica Mosquera Armijo¹, Rubén Castro Rendón. (2011). *Concentración de metales pesados (Cr total Pb, y Cd), en agua superficial y sedimentos en el estrecho salado Guayaquil Ecuador.*
- Mariana López Sánchez Esther L. Romano Mendoza Jorge Triana Méndez (2005). *El agua.* Universidad de las Palmas de Gran Canaria Servicio de Reprografía, Encuadernación y Autoedición de la ULPGC. Disponible en <https://accedacris.ulpgc.es/bitstream/10553/253/1/495.pdf>
- Mercurio. (2021). Encyclopædia Britannica.
<https://www.britannica.com/science/mercury-chemical-element>

- Ministerio del Ambiente (MINAM, 2017). *Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua y establecen disposiciones complementarias para su aplicación*. Lima Perú El peruano.
- Mishra, S. (2019). Water. En K. L. Gupta (Ed.), *Concise encyclopedia of biotechnology* (pp. 1-2). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-02847-4_478-1
- National Geographic España (2022). *Propiedades del aluminio*. Disponible en https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/propiedades-aluminio-al_18221
- Nava Ruíz & Méndez Armenta (2011). *Efectos neurotóxicos de metales pesados (cadmio, plomo, arsénico y talio)*. Disponible en <https://www.medigraphic.com/pdfs/arcneu/ane-2011/ane113f.pdf>
- Nordberg G. F., Bruce A. F., Nordberg M. (2015). *Cadmio Manual sobre toxicología de los metales. 4ta. edición Elsevier, San Diego, CA, EE. UU.* Disponible en <https://www.elsevier.com/books/handbook-on-the-toxicology-of-metals/nordberg/978-0-444-59453-2>
- Pablo Guerrero (2011). *Definición de Arroyo*. <https://geografia.laguia2000.com/general/arroyo>
- Periódico el Nacional (2021). *Conoce el origen de tu pueblo: Cotuí*. Disponible en <https://elnacional.com.do/conoce-el-origen-de-tu-pueblo-cotui/>
- Poma, P. A. (2008). *Intoxicación por plomo en humanos*. Chicago, EE UU.: Anales de la facultad de medicina. Propiedades de los Metales. Revista digital para profesores de enseñanza.
- Variano, C. C. (2011). *Detención de metales pesados en agua*. Tonantzintle, Puebla: INAOE.
- Real Academia Española. *Definición de plomo*. Disponible en <https://dle.rae.es/plomo>
- Requejo Roque, K. (2019). *El cobre: un metal indispensable en la vida cotidiana y en los organismos*. Revista De Química. Recuperado a partir de <https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/quimica/article/view/21429>
- Salas, F. (2014). *Determinación de metales pesados en las aguas del Río Ananea debido a la actividad minera aurífera, Puno Perú*. Revista de Investigación de la Escuela de Posgrado, Universidad Nacional del Altiplano Puno Perú.

- Scherer, U., Sagemann, S. y Stephan, F. (2011). *Emisión por erosión y retención de metales pesados en cuencas fluviales de Alemania*.
- Seoáñez Calvo, M. (2002). *Tratado de contaminación atmosférica (Mundi prensa, primera edición)*.
- Tabla periódica de los elementos: metales, no metales y metaloides. *ThoughtCo*, 1 de marzo de 2021, <https://www.thoughtco.com/periodic-table-of-elements-metals-nonmetals-and-metalloids-373417>
- Tabla periódica de los elementos. *Laboratorio Nacional de Los Álamos*, <https://periodic.lanl.gov/index.shtml>
- Toxicidad de los metales: peligros para la salud del níquel, el plomo, el cadmio y el mercurio*. Mayo Clinic, <https://www.mayoclinic.org/es-es/healthy-lifestyle/nutrition-and-healthy-eating/expert-answers/metals-in-food/faq-20058028>
- Tucker P. *Agencia para el registro de sustancias tóxicas y enfermedades (ATSDR)*. Estudios de casos en medicina ambiental: toxicidad del cadmio (2008) Disponible en: www.atsdr.cdc.gov/csem/cadmio
- UNESCO. (2019). *La gestión sostenible del agua*. UNESCO. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000367319>
- USEPA, (2000). *Risk based Concentration Table*. United States Environmental Protection Agency, Philadelphia, PA; Washington DC. Disponible en <http://www.sciepub.com/reference/13120>
- USEPA, (2000). *Tabla de Concentración basada en Riesgo*. Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, Filadelfia, PA; Washington DC.
- Velázquez Ocampo, José Enmanuel (2018). *Detección de metales y metaloides en agua de lluvia en el distrito minero de Taxaco, Guerrero Universidad Nacional Autónoma de México y especiación*. Manual de toxicología de los metales.
- Zaaboub, A., M., Alves Martins, A., Dhib, B., Bejaoui, F., Galgani, M., El Bour, L., Aleya, (2015). *Acumulación de metales traza en sedimentos en una laguna mediterránea: Utilidad del fraccionamiento de sedimentos metálicos y evaluación de la toxicidad del elutriador*, *Contaminación ambiental*.

- Zambrano, R., González, L., Arangure, F., Ortega, J., Paredes, J. y Espinosa, M. (2017). *El mercurio y sus consecuencias en la salud*. Revista Fuente Nueva Época. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-44492020000200280#B47
- Zamora-Arellano, N.-Y., Betancourt-Lozano, M., Ilizaliturri-Hernández, C., García-Hernández, J., Jara-Marini, M., Chávez-Sánchez, C. y Ruelas-Inzunza, J. R. (2018). *Mercury Levels and Risk Implications Through Fish Consumption on the Sinaloa Coasts (Gulf of California, Northwest Mexico)*. Risk Analysis: An Official Publication of the Society for Risk Analysis, 38(12), 2646-2658. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/risa.13185>
- Navas-Acien, A., Guallar, E., Silbergeld, E. K., Rothenberg, S. J. (2007). *Lead exposure and cardiovascular disease—a systematic review*. Environ. Health Perspect. 115, 472–482.
- Vaziri, N. D., Gonick, H. C., & Ying, G. Y. (2008). *Lead-induced hypertension: from bedside to bench*. Journal of Clinical Hypertension, 10(10), 765-775.
- Hach Company. (2007). *Cadmium*. Procedures Manual DR 2800, 2nd Edition, June 2007, pp. 99-102.
- Aluminium. Procedures Manual DR 2800 Hach Company, 2nd Edition June 2007. Pág. 43-46.
- Standard Methods for Examination of Water and Wastewater.
- Mercury. *Procedures Manual DR 2800 Hach Company*, 2nd Edition June (2007). Pág. 353 - 363

ANEXOS



Kit de frascos para monitoreo utilizado por LAMENER



Toma de muestra Aguas Superficiales Arroyo Hicaco.



Toma de muestras por los Técnicos de LAMENER



Equipo de investigación



Resultados Correspondientes al Muestreo del 17 de Julio del año 2023.

Aspectos organolépticos

Al momento del monitoreo las aguas tomadas se encontraban de lasiguiente forma:

Parámetros/Estado	Aguas Superficiales
Turbidez	Media
Color	Bajo
Olor	Bajo
Sólidos	Bajos

Parámetros	Localización	Unidades	Arroyo Hicaco	Norma Calidad de Aguas Superficiales	Métodos
			X-0379657; Y-2106696		
Hora	-	-	10:38 AM	-	-
pH	-	-	8.10	6.5-8.5	SM-4500-H+.B
Temperatura	°C	-	28.8	± 3.0	SM-2550-B
Conductividad	µS/cm	-	851	-	SM-2510-B
Cadmio	mg/litro	-	< 0.002	0.005	SM-3500-Cd
Plomo	mg/litro	-	< 0.005	0.05	SM-3500-Pb
Mercurio	mg/litro	-	< 0.0006	0.001	SM-3500-Hg
Aluminio	mg/litro	-	< 0.002	5.0	SM-3500-Al
Dureza	mg/litro	-	222	-	SM-2340-C
METODOLOGÍA: Métodos adaptados desde Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, en su versión en inglés, (22 ^{va}), año 2012.					
Fecha Inicio Análisis:		Hora Inicio Análisis:		Fecha Fin Análisis:	Hora Fin Análisis:
17/7/2023		2:35 PM		20/7/2023	5:55 PM
Fecha Recepción:		Recibido en el laboratorio por:		Analistas:	Revisado:
17/7/2023		Ing. Rosalba Castillo		Lic. Ramon E. Medina / Ing. Francisco Bona	Ing. Harvey Espinosa

Resultados Correspondientes al Muestreo del 24 de Julio del año 2023.

Aspectos organolépticos

Al momento del monitoreo las aguas tomadas se encontraban de lasiguiente forma:

Parámetros/Estado	Aguas Superficiales
Turbidez	Media
Color	Bajo
Olor	Bajo
Sólidos	Medios

Parámetros	Localización	Unidades	Arroyo Hicaco	Norma Calidad de Aguas Superficiales	Métodos
			X-0379657; Y-2106696		
				CLASE B	
Hora	-		10:50 AM	-	-
pH	-		7.81	6.5-8.5	SM-4500-H+.B
Temperatura	°C		28.5	± 3.0	SM-2550-B
Conductividad	µS/cm		869	-	SM-2510-B
Cadmio	mg/litro		< 0.002	0.005	SM-3500-Cd
Plomo	mg/litro		< 0.005	0.05	SM-3500-Pb
Mercurio	mg/litro		< 0.0006	0.001	SM-3500-Hg
Aluminio	mg/litro		< 0.002	5.0	SM-3500-Al
Dureza	mg/litro		239	-	SM-2340-C
METODOLOGÍA: Métodos adaptados desde Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, en su versión en inglés, (22 ^{va}), año 2012					
Fecha Inicio Análisis:		Hora Inicio Análisis:		Fecha Fin Análisis:	
17/7/2023		2:35 PM		20/7/2023	
Fecha Recepción:		Recibido en el laboratorio por:		Analistas:	
17/7/2023		Ing. Rosalba Castillo		Lic. Ramon E. Medina / Ing. Francisco Bona	
				Ing. Harvey Espinosa	