



**UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ**

**FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIA Y ARQUITECTURA**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO  
INDUSTRIAL**

**“Análisis de mercurio en las aguas residuales descargadas al Río  
Burro y propuesta para mitigar su impacto ambiental”**

**Autores:**

Muñoz Mendoza Anthony Patricio

Pilay Anchundia Franklin Steven

**Tutor de Titulación:**

Ing. Pablo Horacio Hidrovo Alcívar Mg.

**Manta - Manabí - Ecuador**

**2026**

**UNIVERSIDAD LAICA “ELOY ALFARO” DE MANABÍ**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIA Y ARQUITECTURA**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**“Análisis de mercurio en las aguas residuales descargadas al Río  
Burro y propuesta para mitigar su impacto ambiental”**

Sometida a consideración del Honorable Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería, Industria y Arquitectura de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, como requisito para obtener el título de:

**INGENIERO INDUSTRIAL**

Aprobado por el Tribunal Examinador:

---

DECANO DE LA FACULTAD

---

DIRECTOR

---

JURADO EXAMINADOR

---

JURADO EXAMINADOR

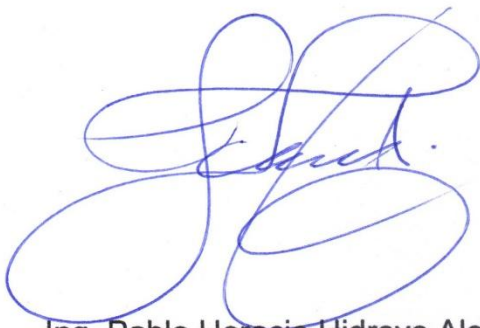
## Certificación del Tutor

En calidad de docente tutor(a) de la Facultad de Ingeniería, Industria y Arquitectura de la Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí, CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado preliminarmente el Trabajo de Integración Curricular bajo la autoría de los estudiantes **Muñoz Mendoza Anthony Patricio y Pilay Anchundia Franklin Steven**, legalmente matriculado en la carrera de Ingeniería Industrial, período académico **2026-1**, cumpliendo el total de 384 horas, cuyo tema del proyecto es **"Análisis de mercurio en las aguas residuales descargadas al Río Burro y propuesta para mitigar su impacto ambiental"**.

La presente investigación ha sido desarrollada en apego al cumplimiento de los requisitos académicos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico y en concordancia con los lineamientos internos de la opción de titulación en mención, reuniendo y cumpliendo con los méritos académicos, científicos y formales, y la originalidad de este, requisitos suficientes para ser sometida a la evaluación del tribunal de titulación que designe la autoridad competente.

Particular que certifico para los fines consiguientes, salvo disposición de Ley en contrario.



Ing. Pablo Horacio Hidrovo Alcívar

**TUTOR DE TITULACIÓN**

## Declaración de Autoría de Tesis

Muñoz Mendoza Anthony Patricio & Pilay Anchundia Franklin Steven, estudiantes de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Facultad de Ingeniería Industria y Arquitectura, Carrera de Ingeniería Industrial, libre y voluntariamente declaro que la responsabilidad del contenido del presente trabajo titulado **"Análisis de mercurio en las aguas residuales descargadas al Río Burro y propuesta para mitigar su impacto ambiental"** Es una elaboración personal realizada únicamente con la dirección del tutor, Ing. Pablo Horacio Hidrovo Alcívar y la propiedad intelectual de la misma pertenece a la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí.



Pilay Anchundia Franklin Steven

C.I. 1316360203



Muñoz Mendoza Anthony Patricio

C.I. 1315494573



Ing. Pablo Horacio Hidrovo Alcívar

C.I. 0802289850

## **Dedicatoria**

Con el corazón en la mano y las palabras desbordando amor, dedico este trabajo a las personas y seres queridos que iluminan mi vida y son el motor de mi progreso. A mi querida madre, María Fernanda. Hoy, después de tantos años de dedicación y esfuerzo inquebrantable, ves florecer el fruto de tu crianza. Gracias por guiarme para convertirme en el profesional que sigue tus pasos. A mi dulce hermana, Anahí Carolina, mi compañera incondicional dentro y fuera del hogar. Gracias por enseñarme a valorar y disfrutar cada momento en familia. A mi abuela Aura Patricia por las enseñanzas y cariño que me brindo toda mi vida.

A la mujer que llegó para complementar mi existencia y convertirse en mi impulso diario, Melanie Parrales. Tu amor tiene el don de sacar a la luz mi mejor versión y motivarme a fundirme de felicidad a tu lado. Te amo mi meu. A mi fiel compañera, mi alma gemela felina, April. Gracias por quererme y esperarme pacientemente durante esas largas noches de estudio, durmiendo a mi lado hasta que terminaba mis tareas. Eres mucho más que una mascota; eres mi hogar y te dedicare cada aliento de mi existencia.

A mis inquebrantables mejores amigos, José Macías y Franklin Pilay. Con ustedes he navegado entre mares de risas y lágrimas. Gracias por ser sinónimo de lealtad, por jamás darme la espalda y siempre tener una mano extendida lista para ayudarme en cualquier situación. Su hermandad transformó este camino universitario en una aventura memorable.

A mis grandes amigos, quienes mantienen un espacio imborrable en mi corazón por su apoyo incondicional justo cuando más los necesité: Jack Cedeño, mi pilar y soporte ante los inmensos desafíos de la vida que desconocía; Jayden Jurem, a quien considero el hermano pequeño que la vida me regaló, artífice de mis mejores risas diarias; y Luis David, cuyo apoyo y risas siempre estuvieron presente cuando lo necesite. Todos quienes mencioné, y también quienes no alcancé a nombrar, son parte esencial de mi historia. Si pudiera elegir, viviría esta misma historia una y otra vez, solo para volver a encontrarme con ustedes. Con amor:

**Anthony Patricio Muñoz Mendoza**

## **Dedicatoria**

Dedico este trabajo a mis padres, Franklin Jacinto Pilay López y Carmen Liliana Anchundia Cedeño y a mi abuelo José Gabriel, quienes han sido mi mayor refugio y mi guía en cada etapa de mi vida. Gracias por cada palabra de aliento, por cada sacrificio silencioso y por cada esfuerzo que hicieron para que yo pudiera seguir estudiando sin rendirme. Ustedes me enseñaron el valor de la constancia, del respeto y de la humildad. Todo lo que soy nace del amor y la fortaleza que me dieron desde niño. Este logro también les pertenece.

A mis hermanos, que fueron apoyo, compañía y risas en los momentos en que más las necesitaba. Su presencia me recordó que, aun en mis días más pesados, siempre tenía un motivo para sonreír y seguir adelante. Tenerlos como hermanos es una de las mayores bendiciones de mi vida.

A mi gata Noha, que estuvo conmigo incluso cuando nadie más estaba despierto. Su compañía en silencio y su forma de quedarse a mi lado en las noches largas hicieron que este proceso se sintiera menos solitario. Ella fue una pequeña luz en muchos días de cansancio.

A mi mejor amigo y compañero de tesis, Anthony Patricio Muñoz Mendoza, que se convirtió en alguien fundamental en este camino. No solo fue un compañero de trabajo fue un hermano en todo el sentido de la palabra. Su apoyo estuvo incluso en los días en los que la motivación parecía agotarse. Gracias por caminar conmigo en este proceso, por tu lealtad y por estar presente en cada etapa, sin fallar.

A mis amigos del alma José Macías, Camila Arias, Jack, Jostin, Geovanna, Cristy, Lucía, Mariapau, Irvin, David y Jayden, quienes hicieron que este camino no se sintiera tan pesado ni tan largo. Gracias por cada risa compartida y por los momentos inesperados.

“Al final del camino somos una mezcla de todas las personas que han sido parte de nuestro camino. Me alegra saber que algunas de ellas son partes esenciales de quien soy hoy”

**Franklin Steven Pilay Anchundia**

## **Reconocimiento**

Agradezco a la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí por abrirme las puertas en esta etapa que nunca olvidare de mi vida, gracias por permitirme formarme como un profesional y tener claras mis metas para todo el camino que tengo por delante.

A la facultad de Ingeniería industria y arquitectura, que gracias al gran equipo que tienen como docentes, me permitió conocer distintas metodologías y enseñanzas que aplico constantemente en mi día a día.

Al Ing. Pablo Horacio Hidrovo por la paciencia y la dedicación que tuvo para orientarnos a que este proyecto salga adelante con todos los prototipos que se tuvieron.

Y a mi familia que sin lugar a dudas les reconozco todo el apoyo que me dieron en estos 4 años de carrera, que estuvieron en mis momentos bajos y altos, que no dudaron que lo lograría y que siempre creyeron en mí.

A todos les agradezco por la historia más intensa de mi juventud, cada recuerdo lo llevare y atesorare en el corazón, esta etapa la extrañare por el resto de mi vida.

**Muñoz Mendoza Anthony Patricio**

## **Reconocimiento**

En primera instancia, a Dios, por la perspectiva y fortaleza espiritual que me acompañaron durante este trayecto.

A la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí y a la Carrera de Ingeniería Industrial, por proveer la estructura académica, los recursos y el cuerpo docente que fundamentaron mi formación profesional.

A mi tutor, el Ing. Pablo Horacio Hidrovo Alcívar cuya guía experta, junto al rigor metodológico y orientación oportuna fueron cruciales para el desarrollo y la culminación exitosa de este trabajo. Su dedicación y sus responsabilidades, convirtiéndose en un verdadero pilar para la elaboración de este proyecto.

Mi reconocimiento de la manera más especial se dirige a mi familia y amigos. Este camino fue tan arduo como gratificante, y yo no habría podido recorrerlo sin su apoyo incondicional. A todos ustedes, que fueron mi refugio en medio del estrés y la voz de aliento en todos esos momentos difíciles, les agradezco su paciencia infinita. Gracias de verdad por comprender las ausencias, por alivianar mis cargas y por recordarme el valor del esfuerzo, incluso cuando el cansancio amenazaba con vencerme. Su fe en mí fue, muchas veces, más fuerte que la mía propia, y fue ese cariño el que me impulsó a no decaer y perder mi camino. Este logro no es solo un mérito personal es el resultado de cada sacrificio silencioso que hicieron por mí y de la certeza de saber que, pasara lo que pasara, estaban a mi lado mi gente. Este triunfo les pertenece tanto como a mí.

**Franklin Steven Pilay Anchundia**

## Índice de Contenido

|                                                         |      |
|---------------------------------------------------------|------|
| Certificación del Tutor .....                           | iii  |
| Declaración de Autoría de Tesis .....                   | iv   |
| Dedicatoria.....                                        | v    |
| Dedicatoria.....                                        | vi   |
| Reconocimiento .....                                    | vii  |
| Reconocimiento .....                                    | viii |
| Índice de Contenido .....                               | ix   |
| Índice de Tablas .....                                  | xii  |
| Índice de Figuras .....                                 | xii  |
| Resumen Ejecutivo .....                                 | xiii |
| Executive Summary .....                                 | xiv  |
| Introducción .....                                      | 1    |
| Planteamiento del problema .....                        | 2    |
| Formulación del problema .....                          | 5    |
| Objetivos.....                                          | 6    |
| Objetivo General .....                                  | 6    |
| Objetivos Específicos .....                             | 6    |
| Justificación .....                                     | 7    |
| Capítulo 1 .....                                        | 8    |
| 1    Fundamentación Teórica .....                       | 8    |
| 1.1    Antecedentes Investigativos .....                | 8    |
| 1.2    Bases teóricas .....                             | 11   |
| 1.2.1    Impactos Ambientales y en la Salud Humana..... | 11   |
| 1.2.2    Impacto ambiental .....                        | 11   |

|            |                                                                    |    |
|------------|--------------------------------------------------------------------|----|
| 1.2.2.1    | Salud humana .....                                                 | 11 |
| 1.2.3      | Contaminación del Agua.....                                        | 12 |
| 1.2.3.1    | Aguas Residuales: Definición y Tipología .....                     | 12 |
| 1.2.4      | Los Metales Pesados como Contaminantes Acuáticos .....             | 13 |
| 1.2.4.1    | Definición y Características de los Metales Pesados .....          | 13 |
| 1.2.4.2    | Toxicidad de los Metales Pesados.....                              | 14 |
| 1.2.4.3    | Principales Metales Pesados en cuerpos de agua.....                | 14 |
| 1.2.5      | El Mercurio (Hg) como Contaminante Ambiental .....                 | 15 |
| 1.2.5.1    | Propiedades Físicas y Químicas del Mercurio .....                  | 16 |
| 1.2.5.2    | Fuentes de Mercurio en Aguas Residuales .....                      | 17 |
| 1.2.6      | Métodos y técnicas de Análisis de Mercurio en agua residuales      | 18 |
| 1.2.6.1    | Muestreo y Preservación de Muestras.....                           | 20 |
| 1.3        | Marco Legal y Ambiental .....                                      | 21 |
| 1.4        | Marco Metodológico .....                                           | 27 |
| 1.4.1      | Modalidad Básica de la Investigación .....                         | 27 |
| 1.4.2      | Enfoque .....                                                      | 28 |
| 1.4.3      | Nivel de Investigación.....                                        | 28 |
| 1.4.4      | Población de Estudio .....                                         | 28 |
| 1.4.5      | Tamaño de la Muestra .....                                         | 28 |
| 1.4.6      | Técnicas de recolección de datos .....                             | 29 |
| 1.4.7      | Plan de recolección de datos .....                                 | 29 |
| 1.4.8      | Procesamiento de la Información.....                               | 29 |
| Capítulo 2 | .....                                                              | 30 |
| 2          | Diagnóstico o Estudio de Campo .....                               | 30 |
| 2.1        | Descripción del Rio Burro .....                                    | 31 |
| 2.2        | ¿Por qué investigar únicamente el mercurio? .....                  | 31 |
| 2.3        | Caracterización geográfica de los puntos de vertido residual ..... | 32 |

|                 |                                                                                                                                        |    |
|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.4             | Recolección de muestras.....                                                                                                           | 32 |
| 2.5             | Resultados obtenidos .....                                                                                                             | 34 |
| 2.6             | Análisis de los resultados en comparación a la Normativa Ambiental (TULSMA).....                                                       | 36 |
| 2.7             | Análisis del entorno interno y externo del Rio Burro.....                                                                              | 39 |
| Capítulo 3      | .....                                                                                                                                  | 40 |
| 3               | Propuesta de Mejora.....                                                                                                               | 40 |
| 3.1             | Diseño conceptual de la cámara interceptora .....                                                                                      | 42 |
| 3.2             | Estrategia de Implementación de las propuestas.....                                                                                    | 43 |
| 3.2.1           | Cámaras interceptoras con filtro de zeolita, aprovechando la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC).....                             | 43 |
| 3.2.2           | Colector Marginal para la intercepción de las descargas residuales domésticas y su redirección hacia la red troncal de la ciudad. .... | 44 |
| Conclusiones    | .....                                                                                                                                  | 45 |
| Recomendaciones | .....                                                                                                                                  | 46 |
| Bibliografía    | .....                                                                                                                                  | 47 |
| Anexos          | .....                                                                                                                                  | 54 |

## Índice de Tablas

|                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabla 1.</b> coordenadas de muestreo .....                                              | 32 |
| <b>Tabla 2.</b> Registro de campo y referencias geografica de los puntos de muestreo ..... | 33 |
| <b>Tabla 3.</b> Resultados y método de análisis .....                                      | 35 |
| <b>Tabla 4.</b> Cumplimiento de muestra con el límite máximo permisible .....              | 37 |
| <b>Tabla 5.</b> FODA .....                                                                 | 39 |
| <b>Tabla 6.</b> Propuesta de mejora .....                                                  | 41 |

## Índice de Figuras

|                                                                                      |               |
|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| <b>Figura 1.</b> Tabla 8. Límites De Descarga Al Sistema De Alcantarillado Público   | <b>Error!</b> |
| <b>Marcador no definido.</b>                                                         |               |
| <b>Figura 2.</b> tabla 9 límites de descarga a un cuerpo de agua dulce .....         | 25            |
| <b>Figura 3.</b> Tabla 10. Límites De Descarga A Un Cuerpo De Agua Marina .....      | 26            |
| <b>Figura 4.</b> Mapa satelital del cauce .....                                      | 30            |
| <b>Figura 5.</b> Gráfico de evaluación del cumplimiento del límite máximo permisible | 38            |
| <b>Figura 6.</b> Diseño conceptual de la cámara interceptora .....                   | 42            |

## **Resumen Ejecutivo**

El presente trabajo de investigación analiza la presencia y concentración de mercurio en las aguas residuales descargadas al Río Burro de la ciudad de Manta, con el fin de evaluar su impacto ambiental como sanitario. La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo donde aplicando métodos de campo, bibliográficos y experimentales. Se recolectaron muestras en distintos puntos del Río y se analizaron mediante espectrometría de absorción atómica logrando comparar resultados con los límites permisibles establecidos por la normativa ambiental ecuatoriana e internacional. Los datos obtenidos evidencian niveles de mercurio que llegan a estar dentro del límite permisible. A partir de los resultados que se obtuvieron mediante los análisis se propone un plan de mitigación orientado a reducir la presencia de mercurio que hay y promover una gestión más responsable del recurso hídrico.

**Palabras clave:** Río Burro, Mercurio, aguas residuales, contaminación, análisis químicos, impacto ambiental, mitigación ambiental.

## Executive Summary

This study examines the presence and concentration levels of mercury within the wastewater discharged into Burro River in the city of Manta, aiming to assess both environmental and health impacts. Methodologically, a quantitative approach was adopted, combining field sampling, bibliographic review, and laboratory experiments. Water samples collected across strategic river locations, were tested using atomic absorption spectrometry to contrast the data against permissible limits established by international and Ecuadorian environmental frameworks. The gathered findings indicate that current mercury levels remain within the legally authorized thresholds. Based on these outcomes, a mitigation plan is structured to minimize mercury occurrence and drive a more sustainable management of water resources.

**Keywords:** Burro River, Mercury, Wastewater, pollution, chemical analysis, environmental impact, environmental mitigation.

## **Introducción**

La contaminación hídrica por culpa de aguas residuales es una amenaza ambiental severa a nivel mundial. Los metales pesados que se encuentran vertidos en las aguas son especialmente peligrosos. Su alta toxicidad y capacidad de bioacumularse afectan a toda la cadena trófica.

Ecuador enfrenta un desafío estructural en este ámbito. La gran cantidad de aguas residuales que se generan en el país se vierte directamente a los Ríos sin ningún tipo de tratamiento. Esta situación que se presenta agrava la contaminación de los recursos hídricos.

El Río Burro, en la ciudad de Manta es un claro ejemplo de un caso crítico de este deterioro. Su cauce sufre una degradación progresiva. La acumulación de desechos y el vertido directo de aguas contaminadas lo han convertido en un foco de riesgo sanitario para toda la población que vive a los alrededores.

Ante este escenario de evidente degradación, es fundamental evaluar qué tipo de contaminantes están presentes en las descargas. Por esta razón, esta investigación se centra en el mercurio (Hg), uno de los metales más peligrosos por sus graves efectos neurotóxicos. El objetivo principal es medir la presencia y concentración de mercurio en las aguas residuales descargadas al río Burro para descartar o confirmar un riesgo por metales pesados. Este estudio busca generar datos técnicos y precisos que permitan determinar si el deterioro del cauce responde a este metal específico o si, por el contrario, la crisis se debe netamente a la alta carga de materia orgánica, sirviendo como base objetiva para futuras soluciones de saneamiento.

El trabajo se dividirá en tres capítulos. El Capítulo 1 que expone la fundamentación Teórica sobre la contaminación por mercurio, los métodos de análisis y el marco legal. El Capítulo 2 nos presenta el diagnóstico o estudio de campo, detallando los resultados del muestreo y los análisis de laboratorio. El Capítulo 3 desarrolla la propuesta de mejora, y un plan de mitigación para reducir la contaminación en el Río.

## **Planteamiento del problema**

### **Macro**

A un nivel global, la contaminación del agua por descargas industriales y domésticas se han convertido en una de las amenazas ambientales más graves del siglo XXI. Diversas investigaciones nos demuestran que las aguas residuales provenientes de procesos industriales contienen una de las concentraciones más significativas de metales pesados como lo es el plomo, cadmio, mercurio y cromo, los cuales nos presentan un alto nivel de persistencia y alta toxicidad en los ecosistemas acuáticos (Oladimeji et al., 2024). Estos contaminantes no solo terminan deteriorando la calidad del agua, sino que también logran afectar la biodiversidad, la productividad agrícola y la salud pública, debido a su gran capacidad de bioacumularse en los organismos vivos y desplazarse a lo largo de la cadena trófica.

Cada año se generan aproximadamente 380 mil millones de metros cúbicos de aguas residuales en el mundo (Qadir et al., 2025). Esto prevé que esta cantidad aumente un 24% para 2030 y un 51% para 2050. Este volumen que va en crecimiento de desechos líquidos llega a contener nutrientes valiosos como nitrógeno, fósforo y potasio, que podrían reutilizarse en la agricultura o la producción de energía, pero, sin embargo, la falta de sistemas de tratamiento y recuperación limita su aprovechamiento. En países en desarrollo, menos del 20% de las aguas residuales recibe un tratamiento adecuado lo que contribuye a la contaminación de los recursos hídricos y terminan agravando los efectos del cambio climático y la escasez de agua.

El problema radica en la incapacidad de los sistemas globales para gestionar de forma sostenible el volumen de composición de las aguas residuales especialmente en las que son industriales. La ausencia de infraestructuras eficientes, la falta de políticas públicas integradas y la limitada inversión en tecnologías limpias han permitido que los metales pesados y otros contaminantes químicos se convierten en una amenaza constante para la salud humana y los ecosistemas.

## Meso

En Ecuador, la contaminación de los Ríos por descargas de aguas residuales no tratadas llega a representar uno de los principales desafíos ambientales y de salud pública. El 56,7% de las aguas residuales generadas a nivel nacional se vierten directamente en los Ríos sin ningún tipo de tratamiento, y el 35.8% termina en quebradas y el 7.5% restantes se dispone dentro del mismo cantón. Incluso las aguas que pasan por un proceso de tratamiento no se manejan de forma adecuada, ya que el 44% ellas se descargan nuevamente en Ríos y el 26% en quebradas (youtopia, 2025). El mismo medio informa que existen 577 plantas de tratamiento distribuidas en 164 municipios, aunque la mayoría no se encuentran en las zonas urbanas más decentemente pobladas lo que logra evidenciar una falta de planificación en la gestión del recurso.

El 73.7% del agua residual que hay en el país no logra recibir un tratamiento lo que significa que la mayor parte de estos desechos líquidos suelen terminar en Ríos que posteriormente vuelven al ciclo del consumo humano. De la fracción que sí ingresa a plantas de tratamiento es de apenas el 26,3% se somete a procesos de depuración parcial, mientras que el resto se vierte nuevamente a estos Ríos. También solo el 5% del total del agua residual del país logra ser tratada de una manera adecuada con un 20% que recibe un tratamiento limitado lo que termina reflejando la precariedad tecnológica y la muy débil gestión ambiental que realizan los gobiernos locales (expreso, 2024).

Esta problemática a nivel nacional radica en la insuficiencia de las infraestructuras debido a la falta de políticas sostenibles y la ausencia de control en el vertido de aguas ya contaminadas. La contaminación hídrica no solo llega a comprometer a la salud de las poblaciones rurales y urbanas, sino que también llega a deteriorar el ecosistema donde logra afectar la productividad agrícola e incrementa costos de suministros de agua potable. La deficiente planificación y mantenimiento de las plantas de tratamiento junto con el escaso presupuesto que es asignado al saneamiento ambiental ha convertido en el manejo de agua residual en un problema estructural del país. Esta situación logra reflejar un vacío institucional que impide el cumplimiento de los objetivos de sostenibilidad hídrica y de protección de los recursos naturales a nivel nacional.

## **Micro**

En el río Burro, ubicado en la ciudad de Manta, durante años ha sido un punto crítico de acumulación de desechos y de vertidos contaminantes, convirtiéndose en un foco de deterioro tanto ambiental como sanitario. En su cauce se logra observar problemas persistentes como malos olores, también acumulación de basura, estancamiento de aguas y frecuentes inundaciones durante la temporada de lluvia. Estas condiciones nos reflejan un proceso de degradación ambiental bastante progresiva que afecta la calidad de vida de las personas que viven cercanas al Río, debido a la exposición constante a un entorno bastante insalubre con un nivel alto de riesgo de contraer enfermedades asociadas por esta contaminación.

Las descargas de aguas residuales que se generan por las desembocaduras del Río han generado una contaminación visible y bastante persistente, caracterizada por olores muy fuertes y desagradables que podrían estar vinculados a la presencia de metales pesados con compuestos orgánicos desagradables. A pesar de los esfuerzos de la Alcaldía de Manta por implementar jornadas de limpieza y saneamiento, las acciones que han sido ejecutadas han resultado insuficientes para reducir de una forma significativa la carga contaminante del caudal. La falta de control sobre la descarga de aguas residuales, sumada al inadecuado manejo de desechos sólidos son los que mantienen el río Burro como una fuente activa de contaminación.

Esta situación representa un problema ambiental y social con una gran relevancia local por el motivo del que el Río no solo impacta directamente en la salud y bienestar de los pobladores aledaños, sino que también en la imagen urbana y en el equilibrio ecológico de la zona costera de Manta. La ausencia de medidas sostenibles, la limitada conciencia ciudadana y la falta de infraestructura adecuada para el tratamiento de aguas residuales evidencian la necesidad urgente de establecer estrategias técnicas y de gestión ambiental que garanticen la recuperación integral del río Burro y la mejora de la calidad ambiental del entorno urbano.

## **Formulación del problema**

¿Cuál es la presencia de concentración de metales pesados, específicamente del mercurio, en las aguas residuales que son vertidas en las desembocaduras que conectan a lo largo del Río Burro en la ciudad de Manta?

### **Preguntas directrices:**

- ¿Dónde se localizan los principales puntos de descarga de las aguas residuales que se vierten en el cauce del Río Burro y cómo se termina distribuyendo geográficamente a lo largo de su trayecto?
- ¿A que niveles de concentración de mercurio llegan las muestras recolectadas en los distintos puntos de descargas identificados?
- ¿Los valores obtenidos de mercurio en las aguas residuales que se vierten en el Río Burro superan los límites permitidos por el TULSMA, la OMS y la EPA?
- ¿Qué medidas o estrategias podrían implementarse en un plan de mitigación ambiental para reducir los niveles de contaminación y minimizar su impacto sobre la salud pública y el ecosistema local?

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

- Evaluar la presencia y concentración de mercurio en las aguas residuales de las desembocaduras que conectan a lo largo del río Burro.

### **Objetivos Específicos**

- Identificar y georreferenciar los puntos de descargas de aguas residuales que se vierten en el cauce del Río Burro.
- Determinar cuál es el nivel de presencia y concentración presente de mercurio en las muestras recolectadas de los diferentes puntos.
- Comparar los resultados que se obtuvieron de las muestras con los parámetros de referencia ya establecidos por la normativa ambiental nacional vigente para vertidos de aguas residuales.
- Proponer un plan de mitigación ambiental enfocado en la reducción de la contaminación que se presenta en el Río Burro.

## **Justificación**

El Río Burro el cual está ubicado en la ciudad de Manta se ha convertido en un punto crítico de contaminación, debido a las descargas constantes de aguas residuales y desechos sólidos de las personas. Esto ha provocado el deterioro visible del cauce del río y la aparición de malos olores con la pérdida de calidad del agua, afectando el ecosistema como a la población que vive cerca de su cauce. El problema presente se refleja en la falta de un control ambiental, la escasa infraestructura para un debido tratamiento de aguas y una muy débil gestión de los recursos hídricos en toda la zona.

Aunque los problemas visuales y olfativos del río apuntan a una contaminación orgánica, la importancia de este estudio se justifica en la necesidad de descartar amenazas toxicológicas silenciosas. El mercurio es uno de los metales pesados más peligrosos que existen, ya que puede causar graves daños a la salud humana y al ambiente. Su sola posible presencia en las aguas residuales representa un alto riesgo preventivo. Evaluar los niveles de concentración en el Río Burro permite conocer el nivel de contaminación y determinar si los valores que se detecten superan los límites permitidos que establece la normativa ambiental ecuatoriana.

Con esta investigación se busca generar información bastante directa y técnica que logre ayudar y a comprender el nivel de afectación que sufre el Río y aportar datos reales que puedan servir como una base para decisiones futuras en materia de saneamiento y control ambiental del río. Este trabajo contribuye directamente al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), tanto la ODS 6: agua limpia y saneamiento, como la ODS 14: Vida submarina, ya que proponen medidas para reducir el impacto de metales pesados sobre los ecosistemas acuáticos.

La propuesta de mitigación que se plantea tiene el propósito de ofrecer alternativas prácticas que contribuyan a reducir a los niveles de contaminación presentes a lo largo del cauce. Con ello se espera poder mejorar la calidad del Río, proteger la biodiversidad y fomentar una gestión más responsable del recurso hídrico, en la ciudad de Manta este proyecto busca ser aporte académico y ambiental que promueve tanto soluciones sostenibles como la recuperación progresiva del Río Burro como parte del compromiso social científico de la carrera de la Ingeniería Industrial.

# Capítulo 1

## 1 Fundamentación Teórica

### 1.1 Antecedentes Investigativos

Brito et al. (2022) desarrollaron un estudio en el Río Cuchipamba, ubicado en Morona Santiago, con el propósito de evaluar la calidad del agua mediante análisis fisicoquímicos, donde recolectaron muestras en 12 puntos del río durante dos horas por la mañana, con una referencia de una población de 821 habitantes. Donde analizaron PH, arsénico, mercurio y plomo, donde el pH logro alcanzar un valor máximo de 7,75, mientras que las concentraciones de arsénico y el mercurio presentaron niveles por debajo de los límites de detección que son (0,03 mg/L y 0,000141 mg/L). Pero se pudo observar que el plomo superó el límite máximo permisible de 0,0046 mg/L, sobrepasando los niveles máximos permisibles, los autores relacionaron esto con actividades de minería ilegal y la ausencia de tratamiento de aguas residuales, concluyendo que el plomo representa el principal riesgo de contaminación donde destacaron la necesidad de establecer una línea base de calidad del agua, dejando evidenciado los impactos ambientales y sociales de la presencia de metales pesados en el Río.

Navarro (2023) desarrollo un estudio donde analizo la descarga de metales pesados en las aguas residuales que confluyen en el río Tixcuco, dentro de la ciudad de San Miguel. Con el objetivo de poder analizar la presencia de metales pesados en aguas residuales vertidas en dicho Río donde aplicaron métodos fotométricos para cadmio, plomo y mercurio, y calorimétrico para el arsénico. Se realizaron dos muestreos en época seca en la colonia Las Águilas, donde cuyos análisis fueron efectuados en el laboratorio fisicoquímico de agua de la Universidad de El Salvador. Los resultados dados indicaron concentraciones de plomo que superaron el valor normativo de 0,5 mg/L en ambas muestras (0,78 mg/L y 0,754 mg/L) así como presencia de arsénico con valores de 0,02 mg/L y 0,2 mg/L, mientras que el cadmio y el mercurio fueron los que no sobrepasaron los límites establecidos, aunque su detección permite ver un posible incremento futuro si no se logra controlar la contaminación. El autor pudo concluir que el plomo constituye el metal de mayor riesgo posible acompañado de la presencia intermitente de arsénico, donde se resalta la necesidad de implementar

sistemas de tratamiento previo a las descargas urbanas e industriales y de realizar evaluaciones periódicas para poder mitigar los impactos ambientales en el río Tixcuco.

Moreira-Obregón et al. (2024). En un estudio en el Río Jama, ubicado en la provincia de Manabí analizo la presencia de metales pesados con el objetivo de determinar la concentración presentada en este lugar, mediante análisis químicos que fueron realizados en las instalaciones de la empresa pública de agua potable y alcantarillado de Jama donde utilizando espectrofotometría con reactivos especializados. Se lograron recolectar tres muestras con tres réplicas donde cada uno fue en diferentes puntos del Río, encontrándose en P1 concentraciones de cianuro (0,003 mg/L), cobre (1,57 mg/L), cromo (0,05 mg/L), hierro (0,02 mg/L), nitratos (1 mg/L), nitritos (0,013 mg/L), y plomo (0,05 mg/L). En P2 se reportaron valores de cianuro (0,067 mg/L), cobre (1,76 mg/L), cromo (0,036 mg/L), hierro (0,043 mg/L), nitratos (0,8 mg/L), nitritos (0,006 mg/L) y plomo (0,056 mg/L), mientras que en PE se registraron concentraciones de cianuro (0,026 mg/L), cobre (2 mg/L), cromo (0,073 mg/L), hierro (0,11 mg/L), nitratos (0,83 mg/L), nitritos (0,01 mg/L) y plomo (0,06 mg/L). Los autores lograron concluir que, aunque parámetros como cianuro, cobre, hierro, nitratos, nitritos cumplen los límites establecidos, el cromo y el plomo superan los valores normativos, por lo que el agua del Río solo puede destinarse al consumo humano y domestico si pasa previamente por un proceso de potabilización. De la misma manera recomendaron garantizar dicho tratamiento y establecer un programa de monitoreo constante de estos metales críticos.

Quirós-Bustos et al. (2022). Desarrollaron un trabajo, con el objetivo de evaluar la calidad de distintos Ríos mediante el análisis a 26 sitios de muestreo entre los años 2017 y 2018 donde aplicando los procedimientos establecidos en el (Standard Methods for the Examination of Wate and Wastewater). Los resultados pudieron mostrar que, respecto al arsénico, solo el Río Tempisque logro presentar concentraciones detectables (0,007 mg/L), mientras que el cadmio se pudo encontrar únicamente en el río Rincón (0,0033 mg/L), En el caso de níquel donde 15 de los 26 puntos analizados (57,7%) reportaron presencia de este metal, aunque en se pudo ver que en todos los casos son dentro del límite máximo permisible de 0,05 mg/L. Aunque el mercurio se pudo detectar en 16 sitios (61,5%), algunos con valores superiores al límite normativo de 0,001 mg/L tanto para agua potable como para Ríos,

lo que evidencia un riesgo ambiental relevante. Los autores terminaron concluyendo que las concentraciones de metales pesados presentados varían significativamente entre los puntos y los muestreos, lo que logra resaltar la necesidad de fortalecer el monitoreo sistemático, especialmente en aquellos sitios donde se superan los valores establecidos por la normativa nacional.

Víctor et al. (2021). En su investigación del Río Ichu. Se evaluaron la calidad del agua superficial de este Río debido a la presencia de contaminantes como plomo, cromo, arsénico, mercurio y cadmio, los cuales representan riesgos para la salud humana y animal. El estudio se realizó en cinco puntos de muestreo donde aplicando procedimientos establecidos en el (Methods for Chemical Stude of Water and Wastes). Los resultados lograron mostrar que el plomo (0,02 mg/L), superó el valor del Estándar de calidad ambiental (ECA) para aguas (<0,01 mg/L), el cromo y el cadmio se mantuvieron por debajo de los límites establecidos (0,05 mg/L Y 0,0002 mg/L). El arsénico presentó un incremento progresivo registrando en el punto EM-05 una concentración de 0,0459 mg/L, superior al límite normativo de 0,01 mg/L en tanto que el mercurio estuvo presente, pero sin poder superar los valores de referencia. Los autores pudieron concluir que el plomo y el arsénico constituyen los principales riesgos de contaminación en el Río Ichu mientras que cromo, cadmio y mercurio logran permanecer dentro de los valores permitidos, subrayando la importancia de continuar con esta evaluación de metales pesados para identificar amenazas que puedan afectar la población y al ecosistema local.

La revisión de los antecedentes seleccionados logra evidenciar la relevancia de los estudios orientados a la identificación de metales pesados en cuerpos de agua de diferentes regiones de lo que es América Latina. Las investigaciones como las de Brito et al. (2022), Navarro (2023), Moreira-Obregón et al. (2021) han podido demostrar que la presencia de estos contaminantes como plomo, arsénico, mercurio y cromo constituye a una problemática ambiental y sanitaria que afecta tanto a comunidades rurales como urbanas. Estos estudios guardan una relación directa con el problema de investigación al poder coincidir en la necesidad de establecer líneas base de calidad del agua fortalecer los sistemas de monitoreo y aplicar proceso de potabilización que logren garantizar la seguridad del recurso hídrico. Aportando al estudio actual al ofrecer evidencia empírica comparativa, mostrar tendencias de contaminación y señalar los metales de mayor riesgo, lo cual nos permite sustentar la

pertinencia de nuevas investigaciones en la región y orientar propuestas de gestión ambiental más integrales y sostenibles.

## **1.2 Bases teóricas**

Para Huamán et al. (2022) en su análisis de aguas residuales en (ríos), señalan que la falta de gestión en los sistemas de saneamiento a nivel global provoca que los cuerpos superficiales (Ríos) están siendo afectados, esto se debe por la contaminación orgánica y al vertido de aguas servidas que provienen por actividades tanto industriales, como agrícolas y urbanas que afectan drásticamente a los ecosistemas y seres humanos que viven cerca. En consecuencia, a esto la contaminación en cuerpos de agua no solo nos refleja una problemática ambiental, sino que también es un indicador de la deficiencia de la planificación tanto urbana, sanitaria y ambiental de muchas regiones.

### **1.2.1 Impactos Ambientales y en la Salud Humana**

#### **1.2.2 Impacto ambiental**

Según la Guía Sectorial del Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica de Ecuador (2022) el impacto ambiental se define como el elemento del proyecto que interactúa o puede interactuar con los componentes ambientales o la población. Por lo tanto, se puede definir ampliamente como cualquier cambio neto, positivo o negativo, en el ambiente, resultante de las actividades humanas. También el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (2022) nos indica que, la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) es definida en la misma guía como la herramienta central para determinar las condiciones ambientales actuales, evaluar su cumplimiento con la normativa ambiental y técnica vigente, e identificar medidas preventivas, correctivas y de mitigación que minimicen o eliminen posibles impactos, siendo este el instrumento exigido por el Código Orgánico del Ambiente (COA).

##### **1.2.2.1 Salud humana**

Según Gusti (2022) la salud ambiental es un campo vital de la salud pública que se enfoca en evaluar y gestionar los riesgos para la salud provenientes de peligros ambientales, como agentes químicos, biológicos y físicos. Por lo tanto, también, se puede definir ampliamente la salud ambiental como la disciplina que investiga científicamente cómo la contaminación del entorno impacta en la aparición de enfermedades y el bienestar de las poblaciones.

Moreno (2022) indica la degradación del agua, aire y suelo, sumada a la pérdida de biodiversidad de los ecosistemas y las afectaciones a la flora y a la fauna, ha generado transformaciones críticas que ponen en riesgo la salud de las personas tanto a corto o a largo plazo. Este tipo de perturbaciones ambientales no ocurre de forma aislada, sino que se agravan al combinarse con dinámicas sociales, económicos, culturales y políticos, cuyos impactos en la salud se terminan manifestando a nivel local, regional, e incluso planetario.

### **1.2.3 Contaminación del Agua**

Para Riofrio et al. (2025) La contaminación del agua por metales pesados se origina cuando la distribución natural de estos elementos en la corteza terrestre es alterada, ya sea por fuentes naturales o por actividades antropogénicas que modifican los ciclos geoquímicos. Las fuentes naturales de contaminación incluyen procesos como el intemperismo que es la transformación de las rocas por interacción con la atmósfera y las emisiones volcánicas. De igual manera, las actividades humanas, como las curtiembres, la metalurgia, y la industria química, han demostrado tener un efecto considerable en la concentración y movilidad de metales en el agua.

#### **1.2.3.1 Aguas Residuales: Definición y Tipología**

Las aguas residuales o también llamadas aguas servidas son cualquier tipo de agua cuya calidad se ha visto afectada negativamente por la influencia humana. Las aguas residuales incluyen los residuos líquidos usados, domésticos, urbanos e industriales o mineros, o las aguas que se hayan mezclado con los mismos (aguas de lluvia o naturales). La importancia es tal que requiere sistemas de plomería, tratamiento y eliminación. Su nulo o inadecuado tratamiento genera graves problemas de contaminación. (Castejón-Valdez et al., 2023).

Huamán et al. (2022) nos indica que la expresión aguas residuales engloba tanto a los componentes líquidos como sólidos suspendidos que provienen de actividades domésticas, comerciales o industriales, así como diferentes aguas que han sido utilizadas en actividades humanas, que han sufrido una pérdida de su calidad original y que son vertidas a través de redes de alcantarillado, teniendo como eliminación concluyente las aguas de los Ríos.

Según Osorio-Rivera et al. (2021) las aguas residuales domésticas, también conocidas como aguas servidas, son aquellas con origen en actividades de rutina

diaria del ser humano, siendo descargadas a través de sistemas de alcantarillado o vertimientos directos al ambiente. Por lo tanto, se puede definir ampliamente como aquellas aguas utilizadas con finalidades higiénicas (baños, cocinas, lavanderías, etc.), que consisten básicamente en los residuos humanos que llegan a las redes de alcantarillado.

Anushree (2023) en su investigación de las aguas residuales industriales, nos dice que son aquellos efluentes generados como subproducto de una amplia gama de procesos de manufactura, operaciones comerciales y actividades industriales. Se puede definir ampliamente como un tipo de agua residual cuya composición es altamente específica de cada sector (minero, textil, químico), diferenciándose de las aguas domésticas por su alta variabilidad y su contenido de contaminantes complejos. También desde otro punto, la caracterización de estos efluentes es definida como el proceso analítico para identificar y cuantificar contaminantes específicos, como metales pesados (mercurio, plomo, etc.), compuestos orgánicos persistentes, y niveles extremos de pH, siendo un paso esencial para diseñar un tratamiento adecuado.

#### **1.2.4 Los Metales Pesados como Contaminantes Acuáticos**

##### **1.2.4.1 Definición y Características de los Metales Pesados**

Según Moscoso et al. (2021) Un metal pesado se puede definir como metal o metaloide con importancia biológica, que puede ser peligroso al acumularse. La contaminación por metales pesados se ha incrementado, debido a la relación entre el desarrollo industrial con el aumento de los niveles de estos elementos en aguas.

Mood (2021), dice que los metales pesados son un grupo de elementos metálicos y metaloides con una densidad atómica relativamente alta generalmente superior a ( $5 \text{ g/cm}^3$ ), los cuales están completamente asociados con la contaminación ambiental y la toxicidad. Se puede definir ampliamente como contaminantes prioritarios debido a su naturaleza no biodegradable y su capacidad de persistir en los ecosistemas como agua, suelo y sedimentos durante períodos prolongados. De igual forma tratamos que la bioacumulación es definida como el proceso característico de estos metales, mediante el cual se acumulan progresivamente en los tejidos blandos de los organismos vivos a una velocidad mayor de la que pueden ser excretados, magnificando su toxicidad a lo largo de la cadena trófica.

#### **1.2.4.2 Toxicidad de los Metales Pesados**

López-Ramírez et al. (2024) En su investigación de Tratamiento para aguas contaminadas con metales pesados nos indica que, los metales pesados son serios peligros ambientales debido toxicidad. Entre sus rasgos principales destacan la capacidad de acumularse en tejidos orgánicos, su persistencia, bioacumulación, biotransformación y elevada toxicidad, factores los cual hace que se encuentren en los ecosistemas por largos periodos, ya que su degradación natural es sumamente compleja.

Para Navarro et al. (2022) la presencia de metales pesados en las aguas es ocasionada por vía antrópica y natural, lo que pone en serio riesgo la seguridad alimentaria y salud pública. Por una elevada toxicidad, el impacto causado en salud por exposición prolongada o por bioacumulación de metales pesados resulta alarmante cuyos efectos varían según el elemento o metal pesado en cuestión, pudiendo ocasionar fallas crónicas internamente hasta desarrollos cancerígenos.

Según Moscoso et al. (2021) Los metales pesados son de gran importancia por su alto potencial tóxico, debido a su alta difusión. Los principales metales basados en su toxicidad son: mercurio (Hg), plomo (Pb), cadmio (Cd), cromo (Cr), arsénico (As), cobre (Cu), manganeso (Mn), zinc (Zn), níquel (Ni), plata (Ag).

#### **1.2.4.3 Principales Metales Pesados en cuerpos de agua**

En el Ecuador, la regulación y control de los metales pesados en cuerpos de agua se rige por el TULSMA, específicamente en el Anexo 1 del Libro VI, referente a la Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso agua. Esta normativa, cuya aplicación es monitoreada por el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE), es la que define cuáles son los metales pesados de interés prioritario al establecer los Límites Máximos Permisibles (LMP) tanto para la preservación de la vida acuática como para las descargas de efluentes en los Ríos (TULSMA, 2017).

Según Calvopiña y Satuquinga (2024) Entre los metales pesados que generan mayor preocupación por su exposición ambiental en las aguas, principalmente por la vía alimentaria, se encuentran el plomo (Pb), el cromo (Cr), el cadmio (Cd) y el mercurio (Hg). Por lo tanto, se puede definir ampliamente a estos elementos como contaminantes químicos que suponen una preocupación importante en Salud Pública debido a su toxicidad aguda y crónica, así como a la amplia variedad de fuentes de

exposición. Por otro lado, la alta peligrosidad de estos metales se define por su capacidad de persistir en el ambiente, ya que son sustancias que no se pueden degradar de manera química ni biológica.

Para Ortiz et al. (2022) En ecosistemas acuáticos se ha centrado prioritariamente en un grupo de cinco elementos que demuestran la mayor peligrosidad: el mercurio (Hg), el plomo (Pb), el cromo (Cr), el cadmio (Cd) y el arsénico (As). Como amenaza principal de estos metales que no radica únicamente en sus mecanismos tóxicos, sino en sus características intrínsecas de alta persistencia ambiental, que a diferencia de los contaminantes orgánicos, estos elementos metálicos no son biodegradables y tienen una fuerte afinidad por la materia orgánica, lo que provoca su bioacumulación en los tejidos de los organismos (peces, moluscos) y su eventual biomagnificación a través de la cadena trófica, representando un riesgo crónico severo para la salud humana y el ecosistema, incluso cuando sus concentraciones en el agua son bajas.

#### **1.2.5 El Mercurio (Hg) como Contaminante Ambiental**

.Calahorrano y González (2021) Comentan verdadero riesgo ambiental del mercurio radica en su capacidad de transformarse químicamente en el ambiente que una vez liberado en un cuerpo de agua, el mercurio inorgánico es procesado por bacterias anaerobias presentes en los sedimentos del Río que lo convierten en metilmercurio, una forma orgánica altamente neurotóxica también el metilmercurio es la forma de mercurio más preocupante para la salud de los ecosistemas, ya que se bioacumula eficientemente en los organismos acuáticos, este compuesto ingresa a la cadena alimenticia y se biomagnifica, lo que significa que su concentración aumenta exponencialmente al ascender de nivel trófico, desde el plancton hasta los peces y llegando a las poblaciones humanas que los consumen.

Para Schiavo et al. (2024) El mercurio (Hg) debe entenderse como un contaminante global precisamente por su capacidad de transportarse entre los tres compartimentos ambientales: aire, agua y suelo. El proceso inicia con la emisión de mercurio elemental gaseoso (GEM), la forma más común en la atmósfera, que puede permanecer en ella hasta dos años. Esta larga persistencia en el aire permite su transporte a escala global, finalizando cuando el Hg se deposita en la superficie terrestre a través de la gravedad depósito seco o la lluvia depósito húmedo. Es mediante este mecanismo de deposición que el mercurio contamina directamente el

suelo, y desde allí, por procesos de infiltración, provoca la fuga en aguas subterráneas o es arrastrado hacia cuerpos de agua superficial, contaminando así los ecosistemas acuáticos.

Según Escobar-Camacho et al. (2024) la contaminación por mercurio es una preocupación global prominente y creciente, siendo actualmente considerada un problema significativo de salud pública, esto se puede definir como un elemento altamente tóxico que ingresa a los compartimentos ambientales (agua, sedimento y biota) a través de actividades como la minería y la deforestación, pero también puede movilizarse desde fuentes naturales presentes en los suelos, la forma orgánica del mercurio, el metilmercurio, se define como una de las formas más dañinas para los humanos, conocida por su propensión a bioacumularse e incrementar su concentración a través de la cadena trófica. En el contexto ecuatoriano, la peligrosidad de este contaminante se refleja en la legislación, como el TULSMA (2015) y la norma NTE INEN-codex 193:2013, las cuales establecen los límites máximos permisibles de mercurio en agua y peces, respectivamente.

#### **1.2.5.1 Propiedades Físicas y Químicas del Mercurio**

Vázquez (2022) reconoce que la especiación del mercurio es un factor primordial que nos va a permitir controlar y comprender el comportamiento, movimiento y destino de las distintas formas físico-químicas que este elemento puede presentar en el medio ambiente, y consecuentemente su grado de toxicidad, ya que las variantes inorgánicas del mercurio muestran un impacto nocivo menor sobre la flora y fauna en comparación con sus formas orgánicas. Así, las especies de metilmercurio poseen un potencial toxicó de 10 a 100 veces mayor que el del mercurio inorgánico.

(Klotzbach et al., 2024) En su investigación dicen que el mercurio, con número atómico 80, es un metal de transición pesado que se distingue por sus singulares propiedades físicas, con su característica más notoria es ser el único metal elemental que se encuentra en estado líquido en condiciones estándar de temperatura y presión (25°C y 1 atm). Presenta un color blanco plateado, una densidad extremadamente alta de (13.53 g/cm<sup>3</sup>) y una elevada tensión superficial, lo que hace que forme gotas esféricas. Una propiedad física de crucial importancia ambiental es su volatilidad; el mercurio metálico se evapora fácilmente, generando vapores monoatómicos

incolores e inodoros que pueden ser transportados a grandes distancias en la atmósfera.

Desde el punto de vista químico, el mercurio es un elemento que puede existir en tres estados de oxidación principales, lo que define su especiación: mercurio elemental o metálico, sales de mercurio inorgánico, y compuestos de mercurio orgánico. La especie mercúrico es la forma inorgánica más estable y común en aguas superficiales oxigenadas y efluentes. Esta especie iónica es químicamente reactiva y muestra una alta afinidad por los grupos sulfhídrico (-SH) que se encuentran en las proteínas y la materia orgánica disuelta (Naranjo et al., 2025).

Para la OMS, (2024) La propiedad química más determinante para el riesgo ecológico es la capacidad del mercurio inorgánico de sufrir metilación. En los sedimentos anóxicos (bajos en oxígeno) de los cuerpos de agua, como el lecho de un Río que recibe descargas, bacterias específicas principalmente bacterias sulfato-reductoras procesan él y lo convierten en metilmercurio. El perfil toxicológico de la Agencia para Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades confirma que esta forma orgánica es la especie de mayor preocupación, ya que es liposoluble, se absorbe rápidamente y no se excreta con facilidad lo que conduce a su bioacumulación en los tejidos de los organismos y su posterior biomagnificación a lo largo de la cadena trófica.

#### **1.2.5.2 Fuentes de Mercurio en Aguas Residuales**

En el Ecuador, si bien la Minería Artesanal y de Pequeña Escala (MAPE) es la principal fuente de liberación de mercurio al ambiente en general, las aguas residuales (sistemas de alcantarillado municipales e industriales) reciben cargas de mercurio de orígenes más diversificados y urbanos. El Plan de Acción Nacional del (MAATE), en línea con el Convenio de Minamata, identifica fuentes industriales específicas. Aunque las plantas de cloro-álcali que usaban mercurio han sido mayormente desmanteladas, las descargas de industrias de metalmecánica, galvanoplastia, curtiembres y la producción de ciertos pigmentos y pinturas siguen siendo fuentes puntuales. Estos efluentes industriales, a menudo, se vierten directamente al sistema de alcantarillado municipal sin el pretratamiento adecuado para remover metales pesados (PNUD & MAATE, 2021).

Según Vega (2023) El mercurio es un elemento que se libera al medio ambiente tanto por procesos naturales, como las erupciones volcánicas, como por actividades

antrópicas. No obstante, la mayor fuente de contaminación por mercurio en las aguas residuales, en el contexto latinoamericano, proviene de la minería de oro artesanal y de pequeña escala. En esta actividad se utiliza el mercurio para la amalgamación, una técnica que consiste en mezclar el metal líquido con el mineral molido para atrapar el oro en una masa densa. Las fallas graves ocurren con el residuo de este proceso, ya que contiene altas cantidades de mercurio, y no recibe ningún tratamiento donde termina siendo depositado directamente en los Ríos, lo que genera una alta presión sobre cuencas hídricas importantes.

Humberto-Pérez et al. (2023) Una fuente crítica son las aguas residuales de establecimientos de salud (hospitales, clínicas y consultorios odontológicos). La incorrecta disposición de amalgamas dentales (que contienen ~50% de Hg) y la rotura de equipos de medición como termómetros y manómetros, introduce mercurio directamente al desagüe. Un estudio sobre la gestión de desechos hospitalarios en Ecuador señaló que, a falta de separadores de amalgama en las unidades odontológicas y la deficiente segregación de residuos líquidos con mercurio, provocan una carga constante de este metal en las aguas residuales hospitalarias. Con esta alta concentración de estos influentes se diluyen luego en el caudal municipal, volviéndose más difíciles de tratar.

Las aguas residuales urbanas que transportan mercurio de fuentes son principalmente por la rotura y desecho inadecuado de productos de consumo diario. De acuerdo con el Inventario Nacional de Mercurio artículos como las lámparas fluorescentes, las baterías y ciertos cosméticos como productos que, al final de su vida útil, terminan liberando mercurio. Cuando estos productos se terminan rompiendo en los hogares o se terminan vertiendo en el alcantarillado, contaminan el agua residual. Por lo que el agua residual municipal termina siendo un receptor complejo que concentra las descargas industriales, hospitalarias y domésticas (PNUD & MAATE, 2021).

#### **1.2.6 Métodos y técnicas de Análisis de Mercurio en agua residuales**

En la actualidad se dispone de numerosas técnicas de tratamiento para la eliminación de mercurio del suelo, del agua como del aire. Entre ellas, destacan las técnicas de adsorción y las tecnologías de oxidación avanzada, como el electro oxidación UV, el

sistema electro-Fenton y la fotocatalisis. Mecanismos que permiten que la eliminación de mercurio (Grace et al., 2023).

Reyes et al. (2024) Comentan que una de las técnicas más empleadas para la determinación precisa de metaloides como el arsénico y por analogía el mercurio en aguas residuales industriales es la Espectrofotometría de Absorción Atómica (EAA) acoplada a un Generador de Hidruros (GH). Este método es valorado por sus ventajas, que incluyen bajos límites de detección, alta eficiencia en el transporte de la muestra y una reducción significativa de interferencias al separar el analito de matrices complejas. El proceso requiere una digestión ácida preliminar de la muestra, aplicando calor y ácidos como el  $\text{HNO}_3$  y  $\text{HCl}$  para descomponer la materia orgánica y asegurar la correcta liberación del elemento, para el caso del arsénico, se realiza una etapa de reducción química (usando yoduro de potasio y ácido ascórbico) antes de introducir la muestra en el espectrofotómetro para su lectura.

Por su parte Rivera et al. (2023) nos destacan el análisis para la determinación de mercurio en aguas residuales, que han sido objeto de optimización para la reducción de su impacto ambiental, comparando los métodos convencionales con alternativas de química verde. El método estándar que es más empleado es la espectrofotometría de absorción atómica de vapor frío, referenciado en el método SM 3112B. Este procedimiento requiere un pretratamiento de la muestra, a través de una digestión ácida con reactivos altamente peligrosos, lo cual genera un volumen bastante considerable de residuos contaminados. Como alternativa, se ha propuesto la implementación de métodos como el EPA 7473, que se basa en la descomposición térmica, amalgamación y absorción atómica. Esta técnica avanzada elimina la necesidad del pretratamiento químico, permite la miniaturización (reducción) del tamaño de la muestra y, en consecuencia, disminuye significativamente la generación de residuos peligrosos.

Ibáñez-Moreno et al. (2021) Nos indican que para determinar la concentración de mercurio en una matriz tan compleja como el agua residual no es como usar una tirita de pH; se requiere instrumentación de alta sensibilidad, ya que los límites de la norma ecuatoriana son extremadamente bajos. A nivel nacional, la Espectrometría de Absorción Atómica por Vapor FRío CV-AAS constituye el método analítico de referencia para asegurar el cumplimiento del marco legal del TULSMA. Este

procedimiento es preferido por su alta especificidad para el mercurio, logrando niveles de detección inferiores sus límites de detección, que están por debajo del límite de 0.001 mg/L exigido por el MAATE, con un estudio de validación de métodos realizado en la Universidad de Cuenca validaron esta metodología del CV-AAS para aguas residuales, demostrando su eficacia frente a las interferencias comunes en este tipo de matriz.

Según Rivera et al. (2025) La determinación de metales pesados en cuerpos de agua se fundamenta en la química analítica, la cual desarrolla métodos e instrumentos para obtener información sobre la composición de una muestra. Las técnicas modernas de análisis se clasifican en varias categorías, siendo las atómicas y las electroquímicas las más relevantes para este fin. Las técnicas atómicas, por ejemplo, se basan en la utilización de átomos en estado de vapor que son activados por energía. Las técnicas electroquímicas, por su parte, utilizan el intercambio de electrones en un electrodo para medir la intensidad de corriente o el potencial de descarga. Dentro de este último grupo, la potenciometría es una técnica clave, ya que mide el potencial de equilibrio de una reacción redox y es la base de los electrodos selectivos, siendo una herramienta fundamental en la detección de metales pesados.

#### **1.2.6.1 Muestreo y Preservación de Muestras**

El objetivo del muestreo de mercurio es capturar una alícuota que sea químicamente idéntica a la fuente en el momento de la recolección, pero el mercurio es un elemento "resbaladizo" que intenta activamente arruinar la muestra por volatilización (evaporación) o adsorción (pegándose a las paredes del envase). A nivel nacional los procedimientos técnicos se basados en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2169 (Calidad del agua: Técnicas de muestreo), la cual se alinea con los Métodos Estándar APHA de Estados Unidos. Para la evaluación de metales traza, queda prohibido el uso de envases de plástico PET estándar ya que el mercurio se adhiere a ellos, dando falsos negativos. En su lugar la norma nos exige envases de vidrio borosilicato o fluoro polímero, que deben ser lavados previamente con ácido nítrico y enjuagados con agua desionizada (APHA, 2023).

Para Reyes et al. (2024) el muestreo para la determinación de metales en aguas residuales industriales implica la toma de volúmenes específicos, en este caso, 100 ml de muestra. El manejo cuidadoso es fundamental para evitar pérdidas del analito,

como la volatilización, especialmente durante las etapas de calentamiento. Una vez que las muestras han sido sometidas al proceso de digestión ácida requerido, la preservación es un paso crítico. El procedimiento especifica que las muestras ya digeridas deben almacenarse en recipientes graduados de polietileno y mantenerse a una temperatura de refrigeración de 4 grados Celsius hasta el momento de su análisis.

Ludeña, Ramos, y Siguencia (2021) Nos dicen que en el contexto específico de las aguas residuales, que son variables, la norma ecuatoriana suele exigir un muestreo compuesto en lugar de una muestra simple (puntual). Con el estudio sobre la caracterización de efluentes industriales en Ecuador se puede subrayar que, para obtener una representación válida de la descarga diaria, se deben tomar alícuotas automáticas o manuales cada hora durante un período de 24 horas. Estas alícuotas se combinan en un solo recipiente que se mantiene refrigerado durante el período de recolección para inhibir aún más la degradación biológica antes de la acidificación final.

### **1.3 Marco Legal y Ambiental**

Según Constitución de la Republica del Ecuador (2008). Establece:

Art. 14.- Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*. Además, se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados. (pág. 14.)

Art. 71.- La naturaleza o *Pacha Mama*, donde se reproduce y realiza la vida, tiene derecho a que se respete integralmente su existencia y el mantenimiento y regeneración de sus ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos. También toda persona, comunidad, pueblo o nacionalidad podrá exigir a la autoridad pública el cumplimiento de los derechos de la naturaleza. Para aplicar e interpretar estos derechos se observarán los principios establecidos en la Constitución, en lo que proceda. Y el estado incentivará a las personas naturales y jurídicas, y a los colectivos, para que protejan la naturaleza, y promoverá el respeto a todos los elementos que forman un ecosistema. (pág. 35.)

Art. 395.- La Constitución reconoce los siguientes principios ambientales:

1. El Estado garantiza un modelo muy sustentable de desarrollo, ambientalmente equilibrado y respetuoso de la diversidad cultural, que conserve la biodiversidad y la capacidad de regeneración natural de los ecosistemas, y asegure la satisfacción de las necesidades de las generaciones presentes y futuras.

2. Las políticas de gestión ambiental se aplicarán de manera transversal y serán de obligatorio cumplimiento por parte del Estado en todos sus niveles y por todas las personas naturales o jurídicas en el territorio nacional.

3. El Estado garantizará la participación activa y permanente de las personas, comunidades, pueblos y nacionalidades afectadas, en la planificación, ejecución y control de toda actividad que genere impactos ambientales.

4. En caso de duda sobre el alcance de las disposiciones legales en materia ambiental, éstas se aplicarán en el sentido más favorable a la protección de la naturaleza. pág. (188).

Art. 396.- El Estado adoptará las políticas y medidas oportunas que eviten los impactos ambientales negativos, cuando exista certidumbre de daño. En caso de alguna duda sobre el impacto ambiental de alguna acción u omisión, aunque no exista evidencia científica del daño, el Estado adoptará medidas protectoras eficaces y oportunas. Además, La responsabilidad por daños ambientales es objetiva. Todo daño al ambiente, además de las sanciones correspondientes, implicará también la obligación de restaurar integralmente los ecosistemas e indemnizar a las personas y comunidades afectadas. También Cada uno de los actores de los procesos de producción, distribución, comercialización y uso de bienes o servicios asumirá la responsabilidad directa de prevenir cualquier impacto ambiental, de mitigar y reparar los daños que ha causado, y de mantener un sistema de control ambiental permanente. Las acciones legales para perseguir y sancionar por daños ambientales serán imprescriptibles pág. (188).

Según Código Orgánico Ambiental (2017) Establece:

Art. 5.- El Derecho de la población a poder vivir en un ambiente sano. El derecho a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado comprende:

1. Una conservación, manejo sostenible y recuperación del patrimonio natural, la biodiversidad y todos sus componentes, con respeto a todos los derechos que hay de la naturaleza y a los derechos colectivos de las comunas, comunidades, pueblos y nacionalidades;

2. El manejo sostenible de todos los ecosistemas, con una especial atención a los ecosistemas que son frágiles y amenazados tales como páramos, humedales, bosques nublados, bosques tropicales secos y húmedos, manglares y ecosistemas marinos y marinos-costeros;

3. Una intangibilidad del Sistema Nacional de Áreas Protegidas, en los términos establecidos en la Constitución y la ley;

4. Conservación, preservación y recuperación de todo recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico;

5. La conservación y buen uso sostenible del suelo que prevenga la erosión, la degradación, la desertificación y permita su restauración;

6. La prevención, control y reparación integral de los daños ambientales;

7. La obligación de toda obra, proyecto o actividad, en todas sus fases, de sujetarse al procedimiento de evaluación de impacto ambiental;

8. El desarrollo y uso de prácticas y tecnologías ambientalmente limpias y sanas, así como de energías alternativas no contaminantes, renovables, diversificadas y de bajo impacto ambiental;

9. El uso, experimentación y el desarrollo de la biotecnología y la comercialización de sus productos, bajo estrictas normas de bioseguridad, con sujeción a las prohibiciones establecidas en la Constitución y demás normativa vigente;

10. La participación en el marco de la ley de las personas, comunas, comunidades, pueblos, nacionalidades y colectivos, en toda actividad o decisión que pueda producir o que produzca impactos o daños ambientales;

11. La adopción de políticas públicas, medidas administrativas, normativas y jurisdiccionales que garanticen el ejercicio de este derecho;

12. La implementación de planes, programas, acciones y medidas de adaptación para aumentar la resiliencia y reducir la vulnerabilidad ambiental, social y económica frente a la variabilidad climática y a los impactos del cambio climático, así como la implementación de los mismos para mitigar sus causas.  
(pág. 9).

Art. 238.- Responsabilidades del generador. Toda persona natural o jurídica definida como generador de residuos y desechos peligrosos y especiales, es el titular y responsable del manejo ambiental de los mismos desde su generación hasta su eliminación o disposición final, de conformidad con el principio de jerarquización y las disposiciones de este Código. (pág. 45).

Art. 240.- Importación de residuos especiales. Bajo las condiciones establecidas en este Código, previa la importación de residuos especiales, los importadores estarán obligados a presentar el programa de gestión integral de estos residuos. Dicha importación se la realizará con la debida justificación técnica. Además, la Autoridad Ambiental Nacional realizará la regulación y control de la aplicación de este proceso, en coordinación con las autoridades de comercio e industria. (pág. 46).

Según Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente de Ecuador TULSMA (2015) Establece;

**Figura 1.** Tabla 8. Límites De Descarga Al Sistema De Alcantarillado

| Parámetros                             | Expresado como                         | Unidad | Límite máximo permisible |
|----------------------------------------|----------------------------------------|--------|--------------------------|
| Aceites y grasas                       | Sust. solubles en hexano               | mg/l   | 70,0                     |
| Explosivos o inflamables               | Sustancias                             | mg/l   | Cero                     |
| Alkil mercurio                         |                                        | mg/l   | <b>No detectable</b>     |
| Aluminio                               | Al                                     | mg/l   | 5,0                      |
| Arsénico total                         | As                                     | mg/l   | 0,1                      |
| Cadmio                                 | Cd                                     | mg/l   | 0,02                     |
| Cianuro total                          | CN <sup>-</sup>                        | mg/l   | 1,0                      |
| Ci nc                                  | Zn                                     | mg/l   | 10,0                     |
| Cloro Activo                           | Cl                                     | mg/l   | 0,5                      |
| Cloroformo                             | Extracto carbón cloroformo             | mg/l   | 0,1                      |
| Cobalto total                          | Co                                     | mg/l   | 0,5                      |
| Cobre                                  | Cu                                     | mg/l   | 1,0                      |
| Compuestos fenólicos                   | Expresado como fenol                   | mg/l   | 0,2                      |
| Compuestos organoclorados              | Organoclorados totales                 | mg/l   | 0,05                     |
| Cromo Hexavalente                      | Cr <sup>VI</sup>                       | mg/l   | 0,5                      |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días) | DBO <sub>5</sub>                       | mg/l   | 250,0                    |
| Demanda Química de Oxígeno             | DQO                                    | mg/l   | 500,0                    |
| Dicloroetileno                         | Dicloroetileno                         | mg/l   | 1,0                      |
| Fósforo Total                          | P                                      | mg/l   | 15,0                     |
| Hidrocarburos Totales de Petróleo      | TPH                                    | mg/l   | 20,0                     |
| Hierro total                           | Fe                                     | mg/l   | 25,0                     |
| Manganeso total                        | Mn                                     | mg/l   | 10,0                     |
| Mercurio (total)                       | Hg                                     | mg/l   | 0,01                     |
| Níquel                                 | Ni                                     | mg/l   | 2,0                      |
| Nitrógeno Total Kjeldahl               | N                                      | mg/l   | 60,0                     |
| Organofosforados                       | Especies Totales                       | mg/l   | 0,1                      |
| Plata                                  | Ag                                     | mg/l   | 0,5                      |
| Plomo                                  | Pb                                     | mg/l   | 0,5                      |
| Potencial de hidrógeno                 | pH                                     |        | 6-9                      |
| Selenio                                | Se                                     | mg/l   | 0,5                      |
| Sólidos Sedimentables                  | SD                                     | ml/l   | 20,0                     |
| Sólidos Suspendedos Totales            | SST                                    | mg/l   | 220,0                    |
| Sólidos totales                        | ST                                     | mg/l   | 1 600,0                  |
| Sulfatos                               | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>          | mg/l   | 400,0                    |
| Sulfuros                               | S                                      | mg/l   | 1,0                      |
| Temperatura                            | °C                                     |        | < 40,0                   |
| Tensoactivos                           | Sustancias Activas al azul de metileno | mg/l   | 2,0                      |
| Tetracloruro de carbono                | Tetracloruro de carbono                | mg/l   | 1,0                      |
| Tricloroetileno                        | Tricloroetileno                        | mg/l   | 1,0                      |

**Nota.** Tomado de Anexo 1 Del Libro Vi Del Texto Unificado De Legislación Secundaria Del Ministerio Del Ambiente: Norma De Calidad Ambiental Y De Descarga De Efluentes Al Recurso Agua

5.2.3.5 Las descargas al sistema de alcantarillado provenientes de actividades sujetas a regularización, deberán cumplir, al menos, con los valores establecidos en la tabla 8, en la cual las concentraciones corresponden a valores medios diarios. (pág. 20)

5.2.4.6 En condiciones especiales de ausencia de estudios del cuerpo receptor, se utilizarán los valores de la tabla 9 de limitaciones a las descargas a cuerpos de agua dulce, con el aval de la Autoridad Ambiental Competente. Las concentraciones corresponden a valores medios diarios. (pág. 23)

**Figura 2.** tabla 9 límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

|                                        |                        |                   |                                   |
|----------------------------------------|------------------------|-------------------|-----------------------------------|
| Cloruros                               | Cl <sup>-</sup>        | mg/l              | 1 000                             |
| Cobre                                  | Cu                     | mg/l              | 1,0                               |
| Cobalto                                | Co                     | mg/l              | 0,5                               |
| Coliformes Fecales                     | NMP                    | NMP/100 ml        | 2000                              |
| Color real <sup>1</sup>                | Color real             | unidades de color | Inapreciable en dilución:<br>1/20 |
| Compuestos fenólicos                   | Fenol                  | mg/l              | 0,2                               |
| Cromo hexavalente                      | Cr <sup>+6</sup>       | mg/l              | 0,5                               |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días) | DBO <sub>5</sub>       | mg/l              | 100                               |
| Demanda Química de Oxígeno             | DQO                    | mg/l              | 200                               |
| Estaño                                 | Sn                     | mg/l              | 5,0                               |
| Fluoruros                              | F                      | mg/l              | 5,0                               |
| Fósforo Total                          | P                      | mg/l              | 10,0                              |
| Hierro total                           | Fe                     | mg/l              | 10,0                              |
| Hidrocarburos Totales de Petróleo      | TPH                    | mg/l              | 20,0                              |
| Manganeso total                        | Mn                     | mg/l              | 2,0                               |
| Materia flotante                       | Visibles               |                   | Ausencia                          |
| Mercurio total                         | Hg                     | mg/l              | 0,005                             |
| Níquel                                 | Ni                     | mg/l              | 2,0                               |
| Nitrógeno amoniacal                    | N                      | mg/l              | 30,0                              |
| Nitrógeno Total Kjeldahl               | N                      | mg/l              | 50,0                              |
| Compuestos Organoclorados              | Organoclorados totales | mg/l              | 0,05                              |

**Nota.** Tomado de Anexo 1 Del Libro VI Del Texto Unificado De Legislación Secundaria Del Ministerio Del Ambiente: Norma De Calidad Ambiental Y De Descarga De Efluentes Al Recurso Agua

## 5.2.5 Normas generales para descarga de efluentes a cuerpos de agua marina

5.2.5.1 Se prohíben la descarga de aguas residuales domésticas e industriales a cuerpos de agua salubre y marina, sujetos a la influencia de flujo y reflujo de mareas. Todas las descargas a cuerpos de agua estuarinos, sin alguna excepción, deberán ser interceptadas para tratamiento y descarga de conformidad con las disposiciones de esta norma. Las Municipalidades deberán incluir en sus planes maestros o

similares, las consideraciones para el control de la contaminación de este tipo de cuerpos receptores, por efecto de la escorrentía pluvial urbana. (pág. 25)

5.2.5.2.2 Las descargas de efluentes a cuerpos de agua marina para sectores no considerados en el artículo 5.2.5.2.1, deberán cumplir con los límites máximos permisibles establecidos en la columna A de la tabla 10 de la presente Norma, cuyas concentraciones corresponden a valores medios diarios. (pág. 20)

**Figura 3.** Tabla 10. Límites De Descarga A Un Cuerpo De Agua Marina

| Parámetros                             | Expresado como                         | Unidad            | Límite máximo permisible            |                                             |
|----------------------------------------|----------------------------------------|-------------------|-------------------------------------|---------------------------------------------|
|                                        |                                        |                   | (A) DESCARGAS EN ZONA DE ROMPIENTES | (B) DESCARGAS MEDIANTE EMISARIOS SUBMARINOS |
| Aceites y Grasas                       | Sust. solubles en hexano               | mg/l              | 30,0                                | 30,0                                        |
| Arsénico total                         | As                                     | mg/l              | 0,5                                 | 0,5                                         |
| Aluminio                               | Al                                     | mg/l              | 5,0                                 | 5,0                                         |
| Cianuro total                          | CN-                                    | mg/l              | 0,2                                 | 0,2                                         |
| Cinc                                   | Zn                                     | mg/l              | 10,0                                | 10,0                                        |
| Cobre                                  | Cu                                     | mg/l              | 1,0                                 | 1,0                                         |
| Cobalto                                | Co                                     | mg/l              | 0,5                                 | 0,5                                         |
| Coliformes Fecales                     | NMP                                    | NMP/100 ml        | 2000                                | 2000                                        |
| Color                                  | Color verdadero                        | unidades de color | * Inapreciable en dilución: 1/20    | * Inapreciable en dilución: 1/20            |
| Cromo hexavalente                      | Cr+6                                   | mg/l              | 0,5                                 | 0,5                                         |
| Compuestos fenólicos                   | Fenol                                  | mg/l              | 0,2                                 | 0,2                                         |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días) | DBO5                                   | mg/l              | 200,0                               | 400                                         |
| Demanda Química de Oxígeno             | DQO                                    | mg/l              | 400,0                               | 600                                         |
| Hidrocarburos Totales de Petróleo.     | TPH                                    | mg/l              | 20,0                                | 20,0                                        |
| Materia flotante                       | Visibles                               |                   | Ausencia                            | Ausencia                                    |
| Mercurio total                         | Hg                                     | mg/l              | 0,01                                | 0,01                                        |
| Nitrógeno Total kjedahl                | N                                      | mg/l              | 40,0                                | 40,0                                        |
| Potencial de hidrógeno                 | pH                                     |                   | 6-9                                 | 6-9                                         |
| Sólidos Suspendidos Totales            | SST                                    | mg/l              | 250,0                               | 250,0                                       |
| Sulfuros                               | S                                      | mg/l              | 0,5                                 | 0,5                                         |
| Compuestos organoclorados              | Organoclorados totales                 | µg/l              | 50,0                                | 50,0                                        |
| Compuestos Organofosforados            | Organofosforados totales               | µg/l              | 100,0                               | 100,0                                       |
| Carbamatos                             | Especies totales                       | mg/l              | 0,25                                | 0,25                                        |
| Temperatura                            | oC                                     |                   | < 35                                | < 35                                        |
| Tensoactivos                           | Sustancias Activas al azul de metileno | mg/l              | 0,5                                 | 0,5                                         |

**Nota.** Tomado de Anexo 1 Del Libro Vi Del Texto Unificado De Legislación Secundaria Del Ministerio Del Ambiente: Norma De Calidad Ambiental Y De Descarga De Efluentes Al Recurso Agua

Según la ODS (2023) establece lo siguiente;

El Objetivo 6 todas las medidas necesarias para garantizar el acceso universal al agua potable segura y asequible de este presente año al 2030 se encuentran las inversiones en infraestructuras e instalaciones de saneamiento realizadas, la protección y el restablecimiento de los ecosistemas relacionados con el agua, así como la educación en materia de higiene. También, la mejora del uso eficiente de los recursos de agua es una de las claves para reducir el estrés hídrico. Lo que se ha

producido en una evolución positiva, entre los años 2015 y 2022, la proporción de la población mundial con acceso a servicios de agua potable que son gestionados de manera segura se elevó del 69 % al 73 %.

El Objetivo 14 Se busca la conservación y la utilización sosteniblemente de los océanos, los mares y los recursos marinos. Toda la estabilidad humana y la vida en la tierra dependen de unos mares y océanos sanos. De los océanos son intrínsecos a nuestra vida en la tierra. Ya que cubren tres cuartas partes de toda superficie terrestre, y contienen un 97 % del agua de la tierra representando el 99 % del espacio vital del planeta por volumen. Proporcionando recursos naturales clave como los alimentos, medicinas, biocombustibles y otros productos que ayudan a descomponer y eliminar los residuos y a reducir la contaminación, y sus ecosistemas costeros contribuyen a minimizar los daños causados por las tormentas que se preseten. También constituyen el mayor sumidero de carbono del planeta.

## **1.4 Marco Metodológico**

### **1.4.1 Modalidad Básica de la Investigación**

La investigación se realizó bajo una modalidad mixta que combina los enfoques de campo, bibliográfica-documental, y experimental.

Se llevó a cabo la investigación bibliográfica-documental para recopilar y analizar información de fuentes secundarias sobre los fundamentos teóricos de la contaminación por mercurio, las técnicas de análisis químico y, fundamentalmente, los límites permisibles y normativas ambientales vigentes. Esto se realizó a través de la revisión tanto de libros como artículos científicos, tesis, informes y otros documentos oficiales que sirvieron para establecer el marco de contraste de los resultados de laboratorio. La investigación se realizó bajo las modalidades de campo, bibliográfica-documental, y experimental.

Como menciona Menjivar (2022) “la investigación bibliográfica consiste en la búsqueda, recopilación, organización, valoración, crítica e información de datos bibliográficos.”

Posteriormente se realizó la modalidad de campo que se ejecutó mediante la recolección directa de las muestras de aguas residuales en los distintos puntos de muestreo definidos a lo largo del Río Burro. Esta etapa fue indispensable para obtener

los datos primarios en el entorno real, garantizando que las mediciones posteriores reflejaran la situación ambiental existente en el sitio.

Carlos et al. (2023) nos indican que la investigación de campo es importante para mejorar nuestra comprensión de cómo se pueden reconocer, mitigar o evitar los impactos humanos en los sistemas biológicos.

La investigación experimental se aplicó en el laboratorio, donde las muestras de campo se sometieron a métodos analíticos estandarizados y controlados para poder cuantificar la concentración de mercurio. Este componente fue importante para generar los datos numéricos con una precisión y fiabilidad requeridas por el enfoque cuantitativo, permitiendo la posterior comparación de estos valores con los límites permisibles establecidos.

Carlos (2021) señala que “La investigación experimental se caracteriza por la manipulación intencionada de la variable independiente y el análisis de su impacto sobre una variable dependiente”

#### **1.4.2 Enfoque**

El estudio adoptó un enfoque cuantitativo debido a que el objetivo primordial es la medición precisa y el análisis numérico de los datos. Este enfoque se centró en cuantificar la presencia y concentración de una variable específica el mercurio, y compararla con un estándar predefinido los cuales son los límites permisibles.

Josía (2024) indica que “El enfoque cuantitativo, con sus raíces en el positivismo, se basa en la premisa de que la realidad es objetiva y medible. Este enfoque busca la generalización de los resultados a través de la recolección de datos numéricos y la aplicación de métodos estadísticos.”

#### **1.4.3 Nivel de Investigación**

Nivel de investigación descriptiva

#### **1.4.4 Población de Estudio**

El objeto de estudio, del cual se obtuvieron los datos, fueron las distintas muestras de aguas residuales recolectadas en distintos puntos específicos del Río Burro.

#### **1.4.5 Tamaño de la Muestra**

Las muestras que se analizaran son 16 en distintos puntos a lo largo del río Burro.

#### **1.4.6 Técnicas de recolección de datos**

Recolección de muestras con una piola atada a la punta de una botella, para tener mayor alcance al momento de agarrar las muestras y colocarlas en otras botellas destiladas y con cierre hermético sin dejar un vacío.

#### **1.4.7 Plan de recolección de datos**

Para el estudio se empleó el método de muestreo sistemático por puntos fijos, donde se seleccionó 16 puntos geográficos a lo largo del Río Burro.

#### **1.4.8 Procesamiento de la Información**

Los datos recolectados serán registrado y organizados en una tabla, en donde se especificará el punto al que pertenece, ubicación y código.

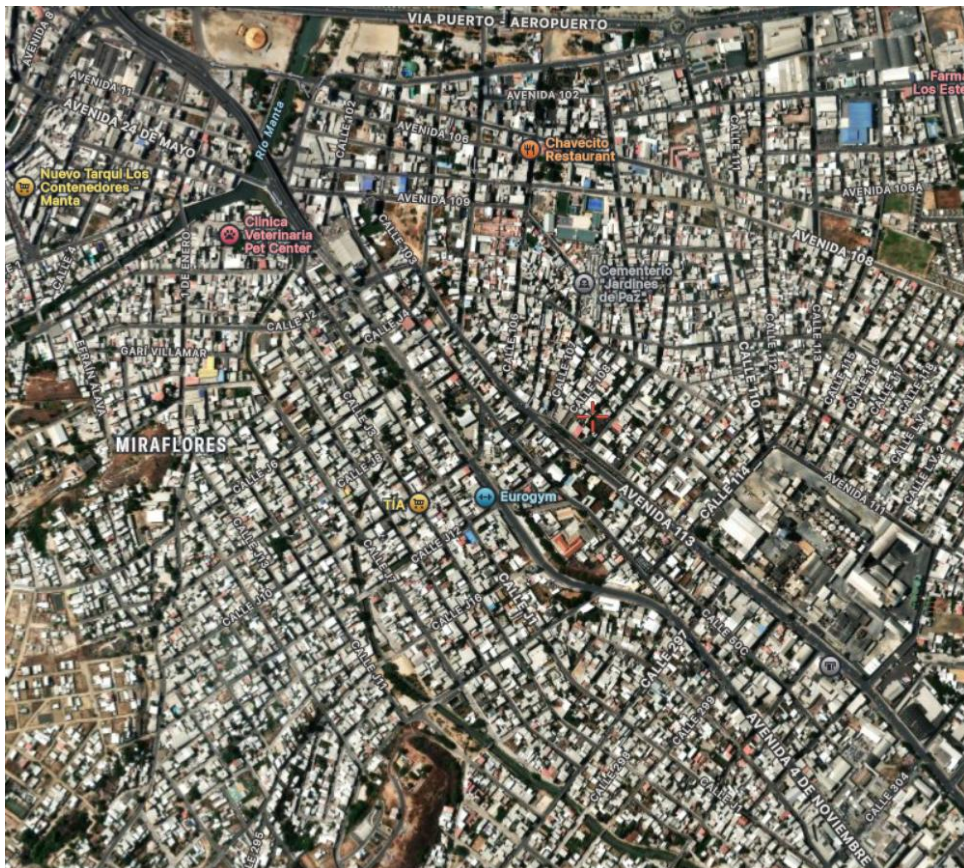
## Capítulo 2

### 2 Diagnóstico o Estudio de Campo

En el presente año es de suma importancia analizar las aguas residuales vertidas al Río Burro, actualmente se consta con una emisión de olores ofensivos como a una descomposición de esta misma, y más en temporadas invernales.

Evaluar el mercurio como principal metal pesado en las descargas residuales es un gran primer paso para diagnosticar el impacto que generan los metales pesados acerca de la situación en la que se encuentra el cauce para conocer si esta pudiera ser un causante principal en la contaminación y plantear una propuesta para tratar de mitigar el daño a esta misma.

**Figura 4.** Mapa satelital del cauce



## **2.1 Descripción del Río Burro**

El Río Burro tiene un recorrido de 6 kilómetros, nace a un lado de la vía circunvalación, en la jurisdicción de Montecristi y es alimentada por varias quebradas, la desembocadura se encuentra a orillas de la playa de Tarqui donde deposita todos los desperdicios y residuos que recoge diariamente. (Balilon, 2019)

## **2.2 ¿Por qué investigar únicamente el mercurio?**

Las normativas ambientales son increíblemente estrictas con el mercurio, sus límites permisibles son mucho más bajos que los del plomo o el cromo. Para ver si el agua es un peligro público absoluto, se tiene que medir el metal más restrictivo. La delimitación de esta investigación hacia un único parámetro (Hg) responde a un diseño de estudio enfocado en un screening toxicológico específico. Si bien desde la perspectiva de la Gestión Ambiental Industrial una caracterización integral de estas aguas residuales mixtas requeriría obligatoriamente el análisis de parámetros fisicoquímicos básicos (como pH, DBO5, DQO, SST, Aceites y Grasas) para contextualizar la dinámica completa de la descarga, el alcance de la presente investigación se restringió intencionalmente a evaluar el riesgo toxicológico más agudo.

Se seleccionó de manera estratégica el mercurio por encima de otros parámetros debido a que:

- Representa el peor escenario de riesgo químico: Las bacterias presentes en el río transforman el mercurio inorgánico en metilmercurio, maximizando su peligro en las actuales condiciones de anoxia del cauce.
- Establece una línea base crítica: Al medir el metal con las restricciones normativas más severas (límites permisibles sumamente bajos), se descarta la amenaza de mayor impacto a la salud pública.

De este modo, la investigación no pretende ser una caracterización fisicoquímica total del efluente, sino una evaluación del riesgo por metales pesados, dejando el análisis integral de parámetros básicos como una recomendación imperativa para futuras fases de evaluación y monitoreo del Río Burro.

### 2.3 Caracterización geográfica de los puntos de vertido residual

Para la caracterización de los puntos en donde se obtuvieron las muestras, fueron en todas las desembocaduras que vertían agua residual sobre el río, de los cuales en todo el recorrido se obtuvieron 16 puntos de los que se obtuvo las coordenadas geográficas según su latitud y longitud, también con imagen satelital y el punto marcado de rojo de donde se encuentra esta misma desembocadura.

**Tabla 1.** coordenadas de muestreo

| Puntos | Coordenadas DMS          | Coordenadas Decimales |
|--------|--------------------------|-----------------------|
| 1      | 0°59'00.7"S 80°42'07.1"W | -0.983517, -80.701981 |
| 2      | 0°58'33.6"S 80°42'05.4"W | -0.976008, -80.701510 |
| 3      | 0°58'23.5"S 80°42'18.3"W | -0.973191, -80.705095 |
| 4      | 0°58'17.3"S 80°42'19.7"W | -0.971481, -80.705470 |
| 5      | 0°58'04.7"S 80°42'30.2"W | -0.967965, -80.708376 |
| 6      | 0°57'53.7"S 80°42'44.0"W | -0.964918, -80.712212 |
| 7      | 0°57'49.2"S 80°42'50.0"W | -0.963678, -80.713890 |
| 8      | 0°57'46.3"S 80°42'53.4"W | -0.962846, -80.714819 |
| 9      | 0°57'43.8"S 80°42'56.5"W | -0.962162, -80.715696 |
| 10     | 0°57'39.1"S 80°42'58.1"W | -0.960859, -80.716127 |
| 11     | 0°57'22.1"S 80°43'04.6"W | -0.956138, -80.717951 |
| 12     | 0°57'18.9"S 80°43'01.8"W | -0.955252, -80.717157 |
| 13     | 0°57'17.3"S 80°43'01.7"W | -0.954812, -80.717147 |
| 14     | 0°57'15.5"S 80°43'03.1"W | -0.954311, -80.717523 |
| 15     | 0°57'10.5"S 80°43'03.3"W | -0.952905, -80.717585 |
| 16     | 0°57'04.6"S 80°43'00.7"W | -0.951263, -80.716846 |

### 2.4 Recolección de muestras

Para la recolección de las muestras, la metodología se adaptó a las directrices operativas y logísticas dictaminadas por el laboratorio certificador CE.SE.C.CA. Bajo sus indicaciones exclusivas para muestras de procesamiento y entrega el mismo día, se emplearon envases de polietileno totalmente nuevos, esterilizados de fábrica y

provistos de tapas de cierre hermético. Se utilizaron guantes, mascarilla, una soga y paños de limpieza para asegurar la inocuidad del proceso.

Aunque normativas internacionales como el Standard Methods 3112 y la NTE INEN priorizan el uso de vidrio borosilicato o fluoropolímeros para metales traza debido al riesgo de adsorción y volatilización, el uso de polietileno nuevo fue avalado por el laboratorio bajo una condición estricta: el llenado al ras (sin cámara de aire para evitar volatilización del analito), el sellado hermético y el traslado inmediato. Como se detallará en los resultados, las muestras ingresaron directamente a la cadena de frío del laboratorio el mismo día de la recolección a las 16:10 PM, minimizando drásticamente el tiempo de residencia en el envase y, por ende, mitigando el riesgo de adherencia del mercurio a las paredes del recipiente. Se amarro la soga en la boquilla de la botella para tener mayor control al momento de maniobrarla y obtener el agua residual evitando problemas de salud, la cual se podrían presentar si se llega a consumir por error una pequeña cantidad de toda esa agua residual.

Al obtener el agua residual se cierra el recipiente adecuadamente, se limpia el recipiente con un paño y alcohol y se rotula el recipiente con, las coordenadas, la codificación que se basó en RBNUM.26 (RB = Rio Burro) (NUM = Numero del punto de muestra recolectada) (.26 = Identificación de que las muestras fueron recolectadas en el presente año 2026).

El numero de la muestra se basa en el punto y su georreferencia tratada en la caracterización, para mantener un orden de donde comenzamos, el primer punto que provienes de las desembocaduras vertidas al rio, hasta el último punto que es cerca de la desembocadura final del rio, la cual da para el mar y llega hasta las playas de Manta.

Adicional se incluirá la hora de la recolección de cada muestra.

**Tabla 2.** Registro de campo y referencias geográfica de los puntos de muestreo

| <b>Codificación</b> | <b>Hora</b> | <b>Referencia Cercana Al Punto</b>                                |
|---------------------|-------------|-------------------------------------------------------------------|
| RB1.26              | 1:11 PM     | Cerca de la virgen de Guadalupe, Av 215 y una tiendita del barrio |
| RB2.26              | 1:25 PM     | Cerca de la picantería Avilés y la Calle 321                      |
| RB3.26              | 1:25 PM     | Cerca de la Av 206 y carros abandonados                           |

|         |         |                                                                           |
|---------|---------|---------------------------------------------------------------------------|
| RB4.26  | 1:33 PM | Cerca de la iglesia de Jehová y la intersección de las Calles 204 y 310-A |
| RB5.26  | 1:43 PM | Cerca de la Av 204 y una tienda de barrio                                 |
| RB6.26  | 1:54 PM | Cerca de la Calle 297 y una casa naranja                                  |
| RB7.26  | 2:03 PM | Cerca de la iglesia San Agustín, y la calle J-7                           |
| RB8.26  | 2:15 PM | Cerca de una iglesia católica, y la intersección de las Calles J-9 y J-16 |
| RB9.26  | 2:29 PM | Cerca de la intersección de las calles J-11 y J-14                        |
| RB10.26 | 2:39 PM | Cerca de la intersección de las calles J-9 y J-12                         |
| RB11.26 | 2:48 PM | Cerca del Parque Miraflores, y la calle Venezuela                         |
| RB12.26 | 3:01 PM | Cerca de la entrada al Jocay, Calle J-1 y tienda de pinturas              |
| RB13.26 | 3:13 PM | Cerca del almacén de pinturas y el Gran Aki                               |
| RB14.26 | 3:25 PM | Cerca del puente Av 4 de noviembre y la Intersección del Rio Manta        |
| RB15.26 | 3:34 PM | Cerca del parque del pescador y Calle 101                                 |
| RB16.26 | 3:43 PM | Cerca del mar, Vía aeropuerto y la desembocadura al mar                   |

## 2.5 Resultados obtenidos

Las muestras fueron llevadas directamente el mismo día, a la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, en donde en esta se encuentra la empresa pública CE.SE.C.CA, el cual es un laboratorio asociado con la universidad, que como misión tiene comprometerse a realizar ensayos físico-químicos y microbiológicos bajo los estándares nacionales e internacionales, garantizando resultados confiables y de calidad.

Este laboratorio ofrece servicios para el control de la calidad, en el caso del mercurio se usa una técnica de espectrometría de absorción atómica (EAA) y método (Standard Methods 3112) el cual se titula "Metales mediante espectrometría de absorción atómica de vapor frío", esta técnica es diseñada para hallar toda la presencia de mercurio en las muestras de Aguas residuales vertidas al río.

Las muestras llegaron al laboratorio a las (4:10 PM, el 5 de mayo) e inmediatamente fueron llevadas a refrigeración para su pronto análisis, el cual tomo 15 días laborales en esperar los resultados, de los cuales los datos resultantes son los siguientes:

**Tabla 3.** Resultados y método de análisis

| <b>Codificación</b> | <b>Resultado</b> | <b>Método De Análisis</b>                                        |
|---------------------|------------------|------------------------------------------------------------------|
| RB1.26              | 0,0006 mg/l      | PEE/C ESEC C A /MP/26 Método de Referencia Standard Methods 3112 |
| RB2.26              | 0,0002 mg/l      | PEE/C ESEC C A /MP/26 Método de Referencia Standard Methods 3112 |
| RB3.26              | 0,0001 mg/l      | PEE/C ESEC C A /MP/26 Método de Referencia Standard Methods 3112 |
| RB4.26              | 0,003 mg/l       | PEE/C ESEC C A /MP/26 Método de Referencia Standard Methods 3112 |
| RB5.26              | 0,0002 mg/l      | PEE/C ESEC C A /MP/26 Método de Referencia Standard Methods 3112 |
| RB6.26              | 0,0009 mg/l      | PEE/C ESEC C A /MP/26 Método de Referencia Standard Methods 3112 |
| RB7.26              | 0,0002 mg/l      | PEE/C ESEC C A /MP/26 Método de Referencia Standard Methods 3112 |
| RB8.26              | 0,0002 mg/l      | PEE/C ESEC C A /MP/26 Método de Referencia Standard Methods 3112 |
| RB9.26              | <0,0001 mg/l     | PEE/C ESEC C A /MP/26 Método de Referencia Standard Methods 3112 |
| RB10.26             | <0,0001 mg/l     | PEE/C ESEC C A /MP/26 Método de Referencia Standard Methods 3112 |
| RB11.26             | <0,0001 mg/l     | PEE/C ESEC C A /MP/26 Método de Referencia Standard Methods 3112 |
| RB12.26             | 0,0001 mg/l      | PEE/C ESEC C A /MP/26 Método de Referencia Standard Methods 3112 |
| RB13.26             | 0,002 mg/l       | PEE/C ESEC C A /MP/26 Método de Referencia Standard Methods 3112 |
| RB14.26             | 0,0008 mg/l      | PEE/C ESEC C A /MP/26 Método de Referencia Standard Methods 3112 |
| RB15.26             | <0,0001 mg/l     | PEE/C ESEC C A /MP/26 Método de Referencia Standard Methods 3112 |
| RB16.26             | <0,0001 mg/l     | PEE/C ESEC C A /MP/26 Método de Referencia Standard Methods 3112 |

## 2.6 Análisis de los resultados en comparación a la Normativa Ambiental (TULSMA)

Con los resultados obtenidos se pudo realizar una comparación con lo que estipula la Normativa Ambiental en el Libro VI, Anexo 1 del TULSMA para descargas a cuerpos de agua dulce, y conocer que grave es el nivel de mercurio, en base a las 16 muestras obtenidas.

Según lo que indica la Tabla 9 de la Normativa Ambiental, el límite máximo permisible de mercurio que se vierte al río es de 0.005 mg/l.

TABLA 9. LÍMITES DE DESCARGA A UN CUERPO DE AGUA DULCE

| Parámetros                             | Expresado como                | Unidad            | Límite máximo permisible          |
|----------------------------------------|-------------------------------|-------------------|-----------------------------------|
| Aceites y Grasas.                      | Sust. solubles en hexano      | mg/l              | 30,0                              |
| Alkil mercurio                         |                               | mg/l              | No detectable                     |
| Aluminio                               | Al                            | mg/l              | 5,0                               |
| Arsénico total                         | As                            | mg/l              | 0,1                               |
| Bario                                  | Ba                            | mg/l              | 2,0                               |
| Boro Total                             | B                             | mg/l              | 2,0                               |
| Cadmio                                 | Cd                            | mg/l              | 0,02                              |
| Cianuro total                          | CN <sup>-</sup>               | mg/l              | 0,1                               |
| Cinc                                   | Zn                            | mg/l              | 5,0                               |
| Cloro Activo                           | Cl                            | mg/l              | 0,5                               |
| Cloroformo                             | Ext. carbón cloroformo<br>ECC | mg/l              | 0,1                               |
| Cloruros                               | Cl <sup>-</sup>               | mg/l              | 1 000                             |
| Cobre                                  | Cu                            | mg/l              | 1,0                               |
| Cobalto                                | Co                            | mg/l              | 0,5                               |
| Coliformes Fecales                     | NMP                           | NMP/100 ml        | 2000                              |
| Color real <sup>1</sup>                | Color real                    | unidades de color | Inapreciable en dilución:<br>1/20 |
| Compuestos fenólicos                   | Fenol                         | mg/l              | 0,2                               |
| Cromo hexavalente                      | Cr <sup>+6</sup>              | mg/l              | 0,5                               |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días) | DBO <sub>5</sub>              | mg/l              | 100                               |
| Demanda Química de Oxígeno             | DQO                           | mg/l              | 200                               |
| Estaño                                 | Sn                            | mg/l              | 5,0                               |
| Fluoruros                              | F                             | mg/l              | 5,0                               |
| Fósforo Total                          | P                             | mg/l              | 10,0                              |
| Hierro total                           | Fe                            | mg/l              | 10,0                              |
| Hidrocarburos Totales de Petróleo      | TPH                           | mg/l              | 20,0                              |
| Manganeso total                        | Mn                            | mg/l              | 2,0                               |
| Materia flotante                       | Visibles                      |                   | Ausencia                          |
| Mercurio total                         | Hg                            | mg/l              | 0,005                             |

En la siguiente tabla se presenta la cierta diferencia de algunos puntos los cuales todos cumplen con la normativa.

**Tabla 4.** Cumplimiento de muestra con el límite máximo permisible

| <b>Muestra</b> | <b>Mercurio</b> | <b>Límite Máximo<br/>Permisible</b> | <b>Cumplimiento</b> |
|----------------|-----------------|-------------------------------------|---------------------|
| RB1.26         | 0,0006 mg/l     | 0,005 mg/l                          | SI                  |
| RB2.26         | 0,0002 mg/l     | 0,005 mg/l                          | SI                  |
| RB3.26         | 0,0001 mg/l     | 0,005 mg/l                          | SI                  |
| RB4.26         | 0,003 mg/l      | 0,005 mg/l                          | SI                  |
| RB5.26         | 0,0002 mg/l     | 0,005 mg/l                          | SI                  |
| RB6.26         | 0,0009 mg/l     | 0,005 mg/l                          | SI                  |
| RB7.26         | 0,0002 mg/l     | 0,005 mg/l                          | SI                  |
| RB8.26         | 0,0002 mg/l     | 0,005 mg/l                          | SI                  |
| RB9.26         | <0,0001 mg/l    | 0,005 mg/l                          | SI                  |
| RB10.26        | <0,0001 mg/l    | 0,005 mg/l                          | SI                  |
| RB11.26        | <0,0001 mg/l    | 0,005 mg/l                          | SI                  |
| RB12.26        | 0,0001 mg/l     | 0,005 mg/l                          | SI                  |
| RB13.26        | 0,002 mg/l      | 0,005 mg/l                          | SI                  |
| RB14.26        | 0,0008 mg/l     | 0,005 mg/l                          | SI                  |
| RB15.26        | <0,0001 mg/l    | 0,005 mg/l                          | SI                  |
| RB16.26        | <0,0001 mg/l    | 0,005 mg/l                          | SI                  |

Los resultados analíticos demostraron concentraciones que varían entre <0,0001 mg/L y un máximo de 0,003 mg/L. Esto evidencia que el 100% de los puntos evaluados CUMPLEN rigurosamente con los Límites Máximos Permisibles establecidos en el TULSMA (Tabla 8: 0.01 mg/L para alcantarillado; y Tabla 9: 0.005 mg/L para cuerpos de agua dulce).

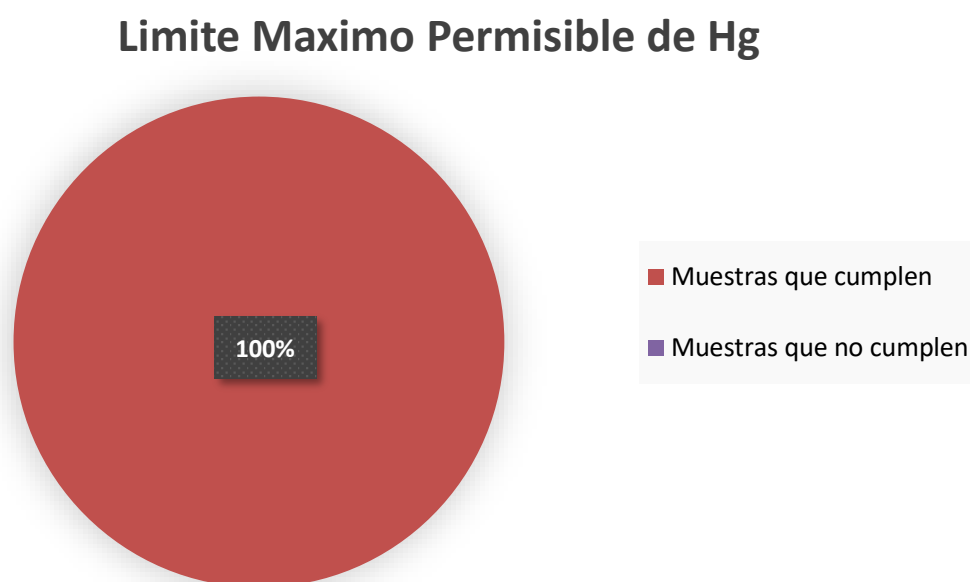
Al no existir un sobrepaso normativo de mercurio al momento del muestreo, queda aclarado técnica y analíticamente que la situación crítica del río no es generada por este metal pesado. La evidente degradación estética, el color negruzco del agua y los constantes olores ofensivos responden directamente a la altísima carga de materia orgánica vertida sin tratamiento. La acumulación de estos desechos domésticos desencadena procesos de descomposición anaerobia, los cuales se reflejan típicamente en parámetros como una elevada Demanda Química de Oxígeno (DQO),

una alta Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) y la intensa generación de Sulfuros, siendo estos últimos los verdaderos responsables del olor pestilente en la zona.

Suponiendo que unos de los principales factores contaminantes son:

1. Desechos domésticos, ya que por la investigación se descubrió 16 desembocaduras que vierten diariamente desechos directamente al río, sin pasar por el sistema de drenaje.
2. Materia orgánica vertida que sirve de alimento para las bacterias, eliminando el oxígeno disuelto en el agua, al quedarse sin oxígeno el agua se vuelve negra y pestilente
3. Lanzamiento de bolsas, con todo tipo de basura directamente al río, en la investigación se observó demasiada basura tirada en el río y alrededores.

**Figura 5.** Gráfico de evaluación del cumplimiento del límite máximo permisible



De las muestras analizadas 16 cumplen con la normativa, dando que 100% de estos resultados se hayan puntos a los cuales implementar una medida de control, para poder solucionar la contaminación ambiental, pero conociendo que su principal contaminante no es el Mercurio.

## 2.7 Análisis del entorno interno y externo del Rio Burro

Se realizará un análisis FODA (Fortalezas, Oportunidades, Debilidades, Amenazas), con un enfoque socioambiental, considerando la situación actual del Rio Burro, los resultados obtenidos de muestras y las condiciones que se pudieron observar a lo largo de todo el cauce.

**Tabla 5. FODA**

| FORTALEZAS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | AMENAZAS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"><li>• Facilidad de acceso físico a los puntos de descarga principales, lo que permite un monitoreo continuo.</li><li>• Presencia de ciertos tramos con vegetación ribereña sobreviviente, lo cual abre la puerta a evaluar técnicas de fitorremediación</li><li>• Los resultados obtenidos evidencian que las concentraciones cumplen con los límites establecidos en la normativa ambiental vigente, lo que es muy favorable.</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>• Aumento de conexiones ilegales de aguas servidas domésticas directamente hacia la red de aguas lluvias que desemboca en el Río.</li><li>• El aumento del caudal durante la época de lluvias intensas provoca el desbordamiento del cauce, esparciendo sedimentos y otros contaminantes hacia calles y zonas urbanas aledañas.</li></ul>                                                        |
| OPORTUNIDADES                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | DEBILIDADES                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <ul style="list-style-type: none"><li>• La viabilidad de vincular proyectos universitarios con el municipio para desarrollar planes piloto para la recuperación ambiental del río.</li><li>• Posibilidad de implementar sistemas de tratamiento de bajo costo y soluciones para mejorar la calidad del agua.</li><li>• Posible aplicación de programas que generen educación ambiental para fomentar la participación ciudadana en el cuidado del río.</li></ul>           | <ul style="list-style-type: none"><li>• Generación constante de olores ofensivos (gases de descomposición anaerobia) y deterioro del paisaje que afecta directamente la calidad de vida de los sectores ribereños.</li><li>• Descarga diaria de agua residual domestica sin tratamiento, directamente al río.</li><li>• Limitada conciencia ambiental de ciertos sectores de la ciudad de Manta, acerca del cuidado del río.</li></ul> |

## Capítulo 3

### 3 Propuesta de Mejora

Para la retención de posibles futuras posibles cantidades altas de metales pesados en los efluentes descargados hacia el Río Burro, se propone la implementación de un sistema de filtración física por adsorción e intercambio catiónico utilizando Zeolita natural (clinoptilolita). La viabilidad de este material radica en su disponibilidad comercial a nivel nacional (provincia del Guayas).

La zeolita es un aluminosilicato altamente poroso que actúa como un tamiz molecular. Gracias a su elevada Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), el lecho filtrante permite atrapar los iones de mercurio presentes en el agua residual, reteniéndolos en sus cavidades estructurales de manera irreversible antes de que el efluente entre en contacto con el cauce del Río. Además, su alta resistencia mecánica evita la pulverización del material frente a la presión hidráulica de la descarga.

Para la eliminación de las aguas residuales vertidas directamente hacia el Río Burro, se propone que se pudiera tomar en consideración la creación de un colector marginal, este tubo subterráneo tiene la función de recoger el agua de todas las desembocaduras y conducirlos al sistema de drenaje de la Ciudad.

El colector Marginal evita que el caudal se contamine de aguas residuales, ya que la recepta y elimina los malos olores del entorno, reduce la presencia de bacteria y virus patógeno en zonas aledañas. El colector Marginal centraliza las descargas dispersas en una sola red principal para un tratamiento unificado, en Ecuador esta idea ya se ha implementado como en: Quito con el Río Machángara y Cuenca en manejo de Ríos locales.

**Tabla 6.** Propuesta de mejora

| <b>Factor Ambiental</b> | <b>Medida Propuesta</b>                                                                                                  | <b>Efecto Esperado</b>                                                                                      | <b>Responsable</b>                                                      | <b>¿Cuándo Ejecutarlo?</b>                   | <b>Frecuencia De Mantenimiento</b> | <b>Medio De Verificación</b>                                |
|-------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| <b>CALIDAD DEL AGUA</b> | Instalación de cámaras interceptoras con filtro de zeolita para Intercambio Cationico (CIC).                             | Remoción significativa de metales pesados en solución.                                                      | Empresa Pública Águas de Manta - EPAM                                   | Colocación Inmediata                         | 3 meses                            | Informes trimestrales de laboratorios acreditados.          |
|                         | Diseño y construcción de un Colector Marginal para interceptar descargas domésticas y redirigirlas hacia la red troncal. | Eliminación de descargas residuales al río, erradicando malos olores y facilitando su regeneración natural. | Empresa Pública Aguas de Manta – EPAM, en coordinación con el GAD Manta | Diseño: 1-3 meses<br>Construcción: 3-6 meses | Semanal                            | Registro de Sellado del 100% de las descargas clandestinas. |

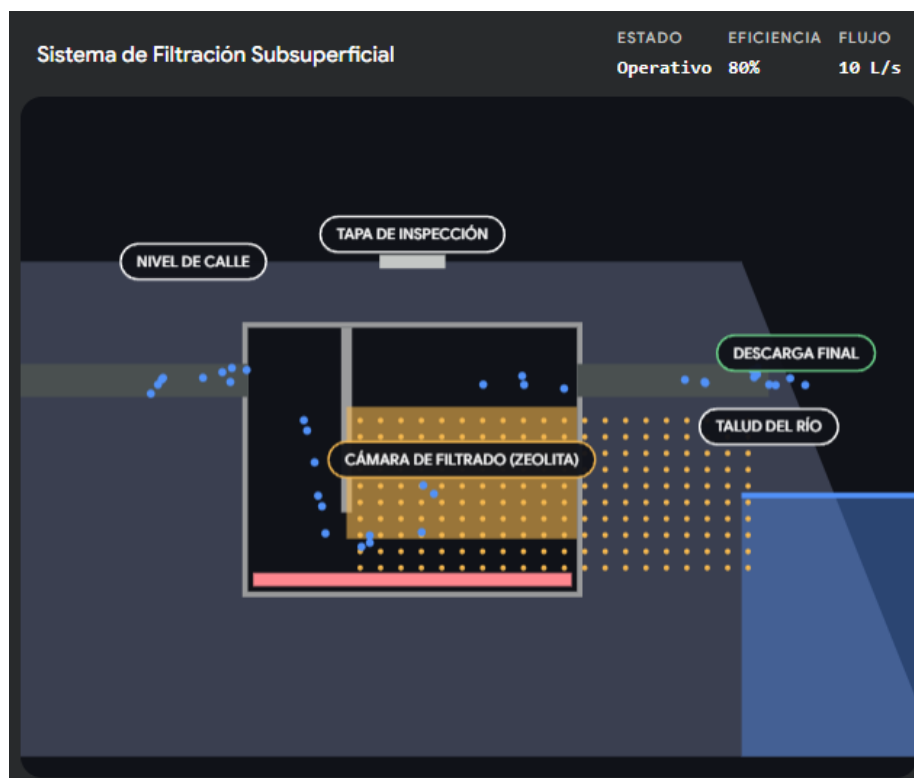
### 3.1 Diseño conceptual de la cámara interceptora

El funcionamiento de este sistema de filtración se basa en que cuando el fluido ingrese a la caja esta sufra una caída o choque contra un muro deflector inicial, para que este mismo fluido reduzca su velocidad y la turbulencia del agua, permitiendo que las partículas más pesadas como lodo o basura caigan al fondo por gravedad, esto para proteger la cámara de filtrado que se compone por la zeolita.

La estructura interna de la caja obliga que el agua pre sedimentada comience a ascender y cruce a través de la malla de zeolita, al obligar el flujo de agua ascender genera mayor protección a la malla dada la fuerza en la que llega el flujo, permitiendo que se mantenga durable y que el contacto sea el correcto para el intercambio catiónico.

Una vez que el flujo de residual atraviese la caja sigue su ruta en la tubería que tiene su final directamente sobre el Rio Burro, pero en este caso con una retención significativa de cualquier metal pesado, logrando que no caiga directo en el cauce.

**Figura 6.** Diseño conceptual de la cámara interceptora.



## **3.2 Estrategia de Implementación de las propuestas.**

### **3.2.1 Cámaras interceptoras con filtro de zeolita, aprovechando la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC).**

Dada la situación económica de la ciudad, se descarta la idea de implementar el método en cada uno de los puntos de descarga residual de todo el Río Burro, pero se propone enfatizarse en donde los niveles de algún metal pesado sean críticos, estos puntos se deben basar en algún futuro estudio y recolección de muestras

La ubicación de estas cajas interceptores es directamente en el subsuelo, instaladas cerca de los tramos finales de la tubería, pero no al final por que se expone a un mal funcionamiento y un riesgo estructural. Al situarlas al nivel de las carreteras y antes del final es con el fin de proteger las obras civiles.

Al estar en un nivel de donde pueda situarse el paso de las personas, se puede colocar una tapa de inspección para poder hacer el respectivo mantenimiento de esta caja y cambiar periódicamente el filtro de zeolita, de forma segura para el trabajador y sin necesidad de descender al cauce, este mismo con un sistema de rebose de seguridad, así para el caso que exista algún problema con el mantenimiento o el filtro, el rebose vaya directamente para el río evitando así que cauce algún daño a las viviendas cercanas.

Para la futura ejecución de esta propuesta, el dimensionamiento estructural de las cámaras y la cantidad de zeolita (clinoptilolita) a utilizar no serán estandarizados, sino que deberán calcularse específicamente para cada punto de descarga. Los parámetros de ingeniería requerirán determinar el caudal máximo de cada efluente para garantizar un tiempo de residencia hidráulica adecuado. Este tiempo debe ser suficiente para que la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) del lecho filtrante actúe y retenga eficazmente las trazas de metales pesados antes del punto de saturación del material.

Es imperativo establecer un protocolo de mantenimiento riguroso. Una vez que la zeolita alcance su límite de saturación, el material adsorbente impregnado de metales pesados se convierte automáticamente en un desecho peligroso. En estricto cumplimiento con el Artículo 238 del Código Orgánico Ambiental (COA) sobre la responsabilidad del generador, el recambio, transporte y disposición final o

regeneración de este material no podrá realizarse por vías convencionales. Deberá ser gestionado exclusivamente a través de operadores ambientales calificados y certificados, garantizando el confinamiento seguro del mercurio y evitando cualquier riesgo de contaminación secundaria.

### **3.2.2 Colector Marginal para la intercepción de las descargas residuales domésticas y su redirección hacia la red troncal de la ciudad.**

Esta propuesta debe realizarse de manera progresiva bajo varias fases, primeramente, deberá de trazarse la ruta de la tubería, luego se instalará una tubería troncal de gran diámetro que correrá de forma subterránea y paralela a los márgenes del Río.

Que su objetivo sea interceptar todas las desembocaduras clandestinas que dan al río Burro, aprovechando la pendiente natural el agua interceptada se conducirá por gravedad hacia los colectores principales del sistema de alcantarillado de Manta y en los tramos donde la topografía este recto y no permita el flujo por gravedad, en la estrategia se contempla la instalación de sistemas de bombeo del agua residual para impulsar hacia la Planta de Tratamiento de la ciudad.

A medida que los tramos del Colector Marginal entren en operación, se procederá al sellado físico, demolición y clausura definitiva de las desembocaduras en el Río. Gracias a esto el Río Burro dejará de funcionar como un canal de desagüe abierto, permitiendo que solo reciba aguas de lluvia y asegurando su prolongada auto recuperación y eliminación de gases pestilentes.

## **Conclusiones**

El diagnóstico de campo y el análisis socioambiental permitieron identificar y georreferenciar 16 puntos de descarga de aguas residuales sin canalizar a lo largo del río Burro. Esta situación afecta principalmente a los sectores urbanos marginales de Manta, donde se presentan malos olores y acumulación de desechos sólidos, generando condiciones poco favorables para la calidad de vida de la población.

A partir de los análisis realizados por el laboratorio CE.SE.C.CA mediante espectrometría de absorción atómica, se determinó la concentración de mercurio presente en las descargas. Los resultados fueron bajos en las 16 muestras, por lo que se comprobó que el deterioro del río no está relacionado con niveles elevados de este metal. De hecho, todas las muestras cumplieron con el límite máximo de 0.005 mg/l establecido en la tabla 9 del TULSMA para cuerpos de agua dulce.

Aunque los niveles de mercurio no representan un problema crítico, el río presenta un deterioro progresivo debido principalmente al vertido diario de aguas residuales domésticas sin tratamiento. La gran cantidad de materia orgánica genera condiciones anaeróbicas, reduce el oxígeno disuelto y favorece la producción de gases con malos olores, lo que explica buena parte de los problemas ambientales observados.

Como alternativa de mejora, se plantearon dos soluciones técnicas. La primera consiste en instalar cámaras interceptoras subsuperficiales con un lecho de zeolita natural, que ayudaría a retener los iones metálicos presentes en las descargas. La segunda propone construir de manera progresiva un colector marginal paralelo al río para captar las aguas residuales dispersas y conducir las hacia la red principal. Esta última opción permitiría reducir los puntos de descarga y, a largo plazo, crear mejores condiciones para que el río Burro pueda recuperarse de forma natural.

## **Recomendaciones**

- Seleccionar los puntos de muestreo de RB4.26 y RB13.26 como ubicaciones prioritarias para la instalación piloto de las cámaras interceptoras subsuperficiales, debido a que se registraron las concentraciones más elevadas del estudio (0.003 mg/l y 0.002mg/l respectivamente) y representan un factor de riesgo acumulativo antes de la descarga final al recurso hídrico.
- Aplicar un programa de mantenimiento preventivo trimestral para la regeneración o sustitución del lecho filtrante de zeolita natural, verificando su capacidad de intercambio catiónico y reemplazándola o regenerándola cuando se observe pérdida de eficiencia en la retención de metales pesados.
- Implementar un programa de limpieza enfocada en el área de pre sedimentación de la caja, con el objetivo de retirar lodos y solidos pesados que se acumulen en el fondo antes de que el agua comience a ascender, evitando así la colmatación prematura de la malla filtrante.
- Planificar la ruta topográfica del colector marginal de forma paralela al cauce del Río, diseñando la pendiente de la tubería troncal para que esta trabaje principalmente por gravedad, lo que permitirá interceptar de forma sistemática todas las descargas domesticas que están dispersas y redirigirlas de una manera eficiente hacia la red pública de la ciudad de Manta.

## Bibliografía

- Anushree, G. S. (2023). A review on industrial wastewater treatment: Challenges, current and future technologies. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 1-14. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cscee.2023.100438>
- APHA. (12 de noviembre de 2023). *American Public Health Association* . Obtenido de Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater: <https://www.standardmethods.org>
- Asamblea Constituyente. (20 de octubre de 2008). *Constitucion de la Republica del Ecuador*. Quito: Registro Oficial 449 de 20 de octubre de 2008. Obtenido de CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR: [https://www.defensa.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/02/Constitucion-de-la-Republica-del-Ecuador\\_act\\_ene-2021.pdf](https://www.defensa.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/02/Constitucion-de-la-Republica-del-Ecuador_act_ene-2021.pdf)
- Balilon, j. C. (3 de Julio de 2019). *Prezi*. Obtenido de <https://prezi.com/p/upoqbzhivi4l/contaminacion-del-rio-burro-de-manta/>
- Brito, Alvarado, Cazorla, & Méndez. (2022). Evaluacion de la contaminacion por metales pesados del rio Cuchipamba, Morona Santiago. *Polo del Conocimiento*, 2-28. Obtenido de <https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/4328/10268>
- Calahorrano, V., & González, J. (2021). Acumulación de mercurio en peces de agua dulce de la Amazonía ecuatoriana. *A systematic review. Chemosphere*, 279-293. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.130541>
- Calvopiña, J., & Satuquinga, J. (2024). Comparación de la Calidad del Agua Subterránea y Superficial Mediante la Presencia de Metales Pesados en la Parroquia Juan Montalvo Cantón Latacunga Provincia Cotopaxi-Ecuador. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 1-20. doi:[https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v8i5.13903](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i5.13903)

*Carbotecnia*. (10 de Abril de 2024). Obtenido de <https://www.carbotecnia.info/zeolita-para-que-sirve/>

Carlos, A.-S., Miguel, D.-M., & Catarina, F. (2023). La decadencia de la investigación de campo y su impacto en la conservación. *Revista Digital Universitaria*, 1-11. doi:<http://doi.org/10.22201/cuaieed.16076079e.2023.24.5.5>

Carlos, R. (2021). *Diseño de investigación experimental*. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7890336.pdf>

Castejón-Valdez, M., Garcia-Ticllacuri, R., Jorge, R.-D., Edwin, R.-F., Jesús, H.-A., & Russbelt, Y.-H. (2023). *Impacto ambiental en el río por residuos sólidos y aguas residuales*. (C. -C. Desarrollo, Ed.) Huancavelica: editorial ciencia latina . doi:[https://doi.org/10.37811/cli\\_w852](https://doi.org/10.37811/cli_w852)

Código Orgánico Ambiental. (12 de abril de 2017). *Código Orgánico Ambiental*. Quito: Registro Oficial Nro. 983. Obtenido de Código Orgánico Ambiental: <https://sustanciasyresiduos.ambiente.gob.ec/producto/codigo-organico-del-ambiente>

Escobar-Camacho, D., Rosero-López, D., Ruiz-Urigüen, M., Barragán, K., Carpintero-Salvador, N., Daza, J., . . . Encalada, A. (2024). Mercury in aquatic ecosystems of two indigenous communities in the Piedmont Ecuadorian Amazon: evidence from fish, water, and sediments. *Universidad San Francisco de Quito Nature Conservancy Biodiversity Research Institute*, 441-455. Obtenido de <https://link.springer.com/article/10.1007/s10646-024-02764-w>

Europea, U. (19 de Septiembre de 2024). *Universidad Europea*. Obtenido de <https://universidadeuropea.com/blog/biorremediacion/>

expreso, E. (6 de julio de 2024). *expreso*. Recuperado el 6 de octubre de 2025, de El agua en Ecuador, contaminada desde su origen y consumida sin el debido tratamiento: <https://www.expreso.ec/actualidad/politica/ecuador-agua-origen-sufre-contaminacion-descuido-205938.html>

Grace, P., Sundar, R., Senthil, K., & Gayathri, R. (2023). Fuentes de mercurio, contaminaciones, ciclo del mercurio, técnicas de detección y tratamiento: una

revisión. *Quimosfera*, 312-322.  
doi:<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.137314>.

Gusti, A. (2022). Environmental health risk assessment: A framework for protecting public health. *Journal of Environmental Research and Public Health*, 276-282. Obtenido de <https://www.ijerd.com/paper/vol20-issue9/2009276282.pdf>

Huamán, W., Pedro, P., Henry, V., & Luis, C. (2022). Aguas residuales en la calidad de agua del río. *Revista de Investigación e Innovación Científica y tecnológica GnosisWisdom* ISSN: 2789-4282, 1-7.  
doi:<https://doi.org/10.54556/gnosiswisdom.v2i3.43>

Humberto-Pérez, E., Muñoz-Perdomo, F. A., & Sarria-Villa, R. (2023). Metodología para la determinación de Hg en sedimentos y aguas empleando EAA. *Scientia et Technica* , 165-171. doi:<https://doi.org/10.22517/23447214.25167>

Ibáñez-Moreno, W., Arcos-Logroño, P., & Moises, N.-B. (2021). Técnicas espectroscópicas utilizadas para determinar la calidad del agua. *Polo del conocimiento*, 45-58. doi:10.23857/pc.v6i9.3004

Josía, I. (2024). Enfoque cualitativo y cuantitativo para abordar la realidad. *Universidad Regional Autónoma de los Andes , Ibarra, Imbabura, Ecuador.*, 1-2. doi:<https://doi.org/10.61154/metanoia.v10i2.3629>

Klotzbach, J., Citra, M., Diamond, G., Herber, D., Ingerman, L., McGuire, C., . . . Zaccaria, K. (2024). *Toxicological Profile for Mercury*. Atlanta: ATSDR, Office of Innovation and Analytics, Toxicology Section, Atlanta, GA. Obtenido de <https://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp46.pdf>

López-Ramírez, M., González-Gómez, G., Posadas-Cano, C., & Castellanos-Onorio, O. (2024). Tratamiento para aguas contaminadas con metales pesados. *INNOVACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO REVISTA DIGITAL*, 569-576. Obtenido de [https://iydt.wordpress.com/wp-content/uploads/2024/04/2\\_21\\_tratamiento-para-aguas-contaminadas-con-metales-pesados.pdf](https://iydt.wordpress.com/wp-content/uploads/2024/04/2_21_tratamiento-para-aguas-contaminadas-con-metales-pesados.pdf)

Ludeña, C., Ramos, S., & Siguencia, S. (2021). Caracterización fisicoquímica de las aguas residuales de la industria láctea y su adecuación a la normativa

- TULSMA. *Revista Amazónica Ciencia y Tecnología*, 60-71. Obtenido de [https://dspace.uea.edu.ec/bitstream/123456789/1019/1/Art%c3%adculo\\_Publicado\\_Nro.6.pdf](https://dspace.uea.edu.ec/bitstream/123456789/1019/1/Art%c3%adculo_Publicado_Nro.6.pdf)
- Menjivar. (2022). Investigación bibliográfica . *Unir* , 1-3. Obtenido de <https://seciss.facmed.unam.mx/wp-content/uploads/2022/12/12.pdf>
- Ministerio del Ambiente, A. y. (2022). *Guía para la elaboración de estudios de impacto ambiental para proyectos de pequeña minería no metálica*. Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica. Quito: MAATE. Obtenido de [https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2022/07/GUIA\\_no\\_metalicos.pdf](https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2022/07/GUIA_no_metalicos.pdf)
- Mood, B. (2021). Toxic mechanisms of five heavy metals: Mercury, lead, chromium, cadmium, and arsenic. *Frontiers in Pharmacology*, 1-19. doi:<https://doi.org/10.3389/fphar.2021.643972>
- Moreira-Obregón, Gutiérrez-Lara, Topa-Chuquitarco, & Marín-Loor. (2024). Evaluación de metales pesados del agua del río Jama, Manabí, Ecuador. *Polo del Conocimiento* , 2-11. Obtenido de <https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/7496/pdf>
- Moreno, A. (2022). Salud y medio ambiente. *Revista de la Facultad de Medicina de la UNAM*, 8-18. doi:<http://doi.org/10.22201/fm.24484865e.2022.65.3.02>
- Moscoso, C., Rojas, J., & Rodas, E. (2021). Metales pesados. *salud*, 73-77. Obtenido de <https://share.google/bkGXT0coGEAO6DkL7>
- Naranjo, J., Sanchez, H., & Palmay, P. (2025). Evaluación de Zeolita ZSM-5 Impregnada con Nanopartículas de Magnetita para Remoción de Mercurio. *Revista politecnica*, 1-12. doi:<https://doi.org/10.33333/rpvol56n1>
- Navarro, L., Vázquez, L., Rangel, A., & Gonzalez, J. (2022). Contaminación y hongos: resistencia a metales pesados. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, 215-229. doi:<https://doi.org/10.56712/latam.v3i2.76>
- Navarro, P. (1 de enero de 2023). Evaluacion de metales pesados en aguas residuales descargadas en el rio Tixcuco, ciudad de san Miguel. *[Tesis de*

- postgrado*]. San Miguel, Region Oriental, El Salvador: Univerddidad de El Salvador. Obtenido de <https://repositorio.ues.edu.sv/server/api/core/bitstreams/50096ee5-4e96-4ca0-8b3b-effc76528d47/content>
- ODS, O. d. (15 de marzo de 2023). *Objetivo de desarrollo sostenible* . Obtenido de Objetivo de desarrollo sostenible : <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/oceans>
- Oladimeji, O., Emetere, A., & Adeoye, O. (15 de diciembre de 2024). *sciencedirect*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e40370>
- OMS, O. M. (24 de octubre de 2024). *Organizacion mundial de la salud*. Recuperado el 4 de Noviembre de 2025, de Mercurio: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/mercury-and-health>
- Ortiz, M., Banchón, L., Cedeño, G., Pincay, J., & Moreira, I. (2022). Distribución de metales pesados en agua, sedimentos y peces del río Carrizal, Ecuador. *CIK INGENIERÍA HIDRÁULICA Y AMBIENTAL*, 13-23. Obtenido de <http://scielo.sld.cu/pdf/riha/v43n3/1680-0338-riha-43-03-13.pdf>
- Osorio-Rivera, M., Carrillo-Barahona, W., Negrete-Costales, J., Loor-Lalvay, X., & Riera-Guachichulca, E. (2021). La calidad de las aguas residuales domésticas. *Polo del conocimiento* , 229-245. Obtenido de <https://share.google/xLMai6NyPvOcaakQV>
- phytosudoe. (2016). *phytosudoe*. Obtenido de <https://www.phytosudoe.eu/el-proyecto/que-es-la-fitorremediacion/>
- PNUD, & MAATE. (15 de enero de 2021). *Plan de Acción Nacional*. Obtenido de Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica y programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo: [https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/2022-09/NAP\\_ECUADOR.pdf](https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/2022-09/NAP_ECUADOR.pdf)
- Qadir, Drechsel, Jiménez, Kim, Pramanik, Mehta, . . . Adewumi. (11 de febrero de 2025). *The Royal Society of Chemistry*. doi:<https://doi.org/10.1039/d4ra04639k>

- Quirós-Bustos, N., Robles-Chaves, D., Caballero-Chavarría, A., & Calvo-Brenes, G. (2022). Contenido de metales pesados en varios ríos de Costa Rica. *Tecnología en Marcha*, 2-12. doi:<https://doi.org/10.18845/tm.v35i2.5532>
- Reyes, E., Villasana, R., Vázquez, G., & Alcalá, A. (2024). Determinación de Arsénico en Aguas Residuales Mediante Espectrofotometría de Absorción Atómica. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 1-14. doi:[https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v8i5.14542](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i5.14542)
- Riofrio, M., Tapia, J., Cabrera, R., & Pardo, P. (2025). Importancia de la educación ambiental para entender la contaminación de agua por metales pesados en las microcuencas de la provincia de cotopaxi. *Revista Científica Multidisciplinaria InvestiGo*, 312-323. doi:<https://doi.org/10.56519/4wr4j090>
- Rivera, C., Torres, M., Cañón, J., & Hurtado, M. (2025). Implementación de técnicas de análisis modernas para la detección de metales pesados en cuerpos. *EIE/ ACOFI*, 1-11. doi:<https://doi.org/10.26507/paper.4409>
- Rivera, L., Molina, J., & Contreras, C. (2023). La química verde como herramienta para la gestión ambiental en laboratorios de ensayo: aplicación en la determinación de mercurio en aguas por espectrofotometría de absorción atómica de vapor frío. *Revista EIA*, 2-24. doi:<https://doi.org/10.24050/reia.v20i39.1644>
- Sánchez-Araujo, V., Palomino-Pastrana, P., Chávez-Araujo, E., & Alvarez-Ticllasuca, A. (2021). Presencia de metales pesados del río Ichu en zonas adyacentes al distrito de Huancavelica, Perú. *Polo del Conocimiento*, 2-12. Obtenido de <https://www.polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/2627/5491>
- Schiavo, B., Morton-Bermea, O., Meza-Figueroa, D., & Arrendondo-Palacios, T. (2024). El mercurio como contaminante: fuentes, vías de exposición y efectos en la salud. *EPISTEMUS*, 1-24. doi:<https://doi.org/10.36790/epistemus.v18i36.306>
- Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente de Ecuador TULSMA*. (4 de noviembre de 2015). Obtenido de REFORMAR EL LIBRO IX DEL TEXTO UNIFICADO:

[https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-09/Documento\\_Registro-Oficial-No-387-04-noviembre-2015\\_0.pdf](https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-09/Documento_Registro-Oficial-No-387-04-noviembre-2015_0.pdf)

TULSMA. (27 de junio de 2017). *Texto Unificado de Legislación Secundaria (TULSMA), Libro VI, Anexo 1: Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso agua*. Quito: Decreto Ejecutivo 3516, Registro Oficial Edición Especial 2. Recuperado el 4 de noviembre de 2025, de Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica: <https://www.ambienteyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/06/Texto-Unificado-de-Legislacion-Secundaria-del-Ministerio-del-Ambiente.pdf>

Vázquez, C. (2022). Especiación de mercurio en el medio ambiente. *Isagogé*, 37-41. doi:[https://doi.org/10.1007/978-981-16-9694-2\\_1](https://doi.org/10.1007/978-981-16-9694-2_1)

Vega, J. (2023). Remoción de mercurio por humedales artificiales en minería de oro del departamento de Antioquia. *Universidad Militar Nueva Granada*, 1-25. Obtenido de <https://repository.umng.edu.co/server/api/core/bitstreams/08263e2f-c453-42ad-a310-ad05e61ee686/content>

youtopia. (14 de marzo de 2025). *Youtopia*. Recuperado el 6 de octubre de 2025, de Ecuador es pródigo en ríos, pero los infecta con aguas no tratadas: <https://youtopiaecuador.com/agua-residual-no-tratada-contaminacion-rios-ecuador/>

## Anexos

### Anexo 1. Registro fotográfico y georreferencial de puntos de muestreo



**Fuente.** Tomado de Google maps



**Fuente.** Tomado de Google maps



**Fuente.** Tomado de Google maps





**Fuente.** Tomado de Google maps



**Fuente.** Tomado de Google maps



**Fuente.** Tomado de Google maps



**Fuente.** Tomado de Google maps



**Fuente.** Tomado de Google maps



**Fuente.** Tomado de Google maps



**Fuente.** Tomado de Google maps



**Fuente.** Tomado de Google maps



**Fuente.** Tomado de Google maps



**Fuente.** Tomado de Google maps

## Anexo 2. Resultado de análisis por parte del laboratorio CE.SE.C.CA



LABORATORIO CE.SE.C.CA

### INFORME DE LABORATORIO

IE/CESECCA/66573

#### INFORMACIÓN DEL CLIENTE

**CLIENTE:** MUÑOZ MENDOZA ANTHONY PATRICIO  
**ATENCIÓN:** MUÑOZ MENDOZA ANTHONY PATRICIO  
**DIRECCIÓN:** EL PALMAR - ULEAM  
**ESPECIE:** N/A.  
**TIPO ENVASE:** BOTELLA DE PLASTICO.  
**No. CAJAS:** N/A.  
**UNIDADES/PESO:** 16MUESTRAS( 1 UNID. DE 500ML POR CADA MUESTRA)  
**MARCA:** N/A.  
**PAIS DE DESTINO:** N/A.  
**IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA:** AGUA RESIDUAL

#### INFORMACIÓN DEL LABORATORIO

**FECHA MUESTREO:** 5/5/2026 0:00:00  
**FECHA DE INGRESO:** 5/5/2026 0:00:00  
**FECHA INICIO ENSAYO:** 21/5/2026 0:00:00  
**FECHA FINALIZACION ENSAYO:** 22/5/2026 0:00:00  
**FECHA EMISION RESULTADOS:** 22/5/2026 15:42:47  
**FACTURA:** N/A.  
**ORDEN:** 66573  
**TIPO PRODUCTO:** AGUA RESIDUAL

| PARÁMETRO | LOTE     | RESULTADOS | UNIDAD | LOQ | LOD | U+- | NORMA |     | MÉTODO DE ANÁLISIS                                           |
|-----------|----------|------------|--------|-----|-----|-----|-------|-----|--------------------------------------------------------------|
|           |          |            |        |     |     |     | Mín   | Máx |                                                              |
| Mercurio* | # RB1.26 | 0,0006     | mg/l   | -   | -   | -   | -     | -   | PEE/CESECCA/MP/26 Método de Referencia Standard Methods 3112 |

INFORME DE LABORATORIO

IE/CESECCA/66574

**INFORMACIÓN DEL CLIENTE**

**CLIENTE:** MUÑOZ MENDOZA ANTHONY PATRICIO  
**ATENCIÓN:** MUÑOZ MENDOZA ANTHONY PATRICIO  
**DIRECCIÓN:** EL PALMAR - ULEAM  
**ESPECIE:** N/A.  
**TIPO ENVASE:** BOTELLA DE PLASTICO.  
**No. CAJAS:** N/A.  
**UNIDADES/PESO:** 16MUESTRAS( 1 UNID. DE 500ML POR CADA MUESTRA)  
**MARCA:** N/A.  
**PAIS DE DESTINO:** N/A.  
**IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA:** AGUA RESIDUAL

**INFORMACIÓN DEL LABORATORIO**

**FECHA MUESTREO:** 5/5/2026 0:00:00  
**FECHA DE INGRESO:** 5/5/2026 0:00:00  
**FECHA INICIO ENSAYO:** 21/5/2026 0:00:00  
**FECHA FINALIZACION ENSAYO:** 22/5/2026 0:00:00  
**FECHA EMISION RESULTADOS:** 22/5/2026 15:37:28  
**FACTURA:** N/A.  
**ORDEN:** 66574  
**TIPO PRODUCTO:** AGUA RESIDUAL

| PARÁMETRO | LOTE     | RESULTADOS | UNIDAD | LOQ | LOD | U+- | NORMA |     | MÉTODO DE ANÁLISIS                                           |
|-----------|----------|------------|--------|-----|-----|-----|-------|-----|--------------------------------------------------------------|
|           |          |            |        |     |     |     | Mín   | Máx |                                                              |
| Mercurio* | # RB2.26 | 0,0002     | mg/l   | -   | -   | -   | -     | -   | PEE/CESECCA/MP/26 Método de Referencia Standard Methods 3112 |

INFORME DE LABORATORIO

IE/CESECCA/66576

**INFORMACIÓN DEL CLIENTE**

**CLIENTE:** MUÑOZ MENDOZA ANTHONY PATRICIO  
**ATENCIÓN:** MUÑOZ MENDOZA ANTHONY PATRICIO  
**DIRECCIÓN:** EL PALMAR - ULEAM  
**ESPECIE:** N/A.  
**TIPO ENVASE:** BOTELLA DE PLASTICO.  
**No. CAJAS:** N/A.  
**UNIDADES/PESO:** 16MUESTRAS( 1 UNID. DE 500ML POR CADA MUESTRA)  
**MARCA:** N/A.  
**PAIS DE DESTINO:** N/A.  
**IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA:** AGUA RESIDUAL

**INFORMACIÓN DEL LABORATORIO**

**FECHA MUESTREO:** 5/5/2026 0:00:00  
**FECHA DE INGRESO:** 5/5/2026 0:00:00  
**FECHA INICIO ENSAYO:** 21/5/2026 0:00:00  
**FECHA FINALIZACION ENSAYO:** 22/5/2026 0:00:00  
**FECHA EMISION RESULTADOS:** 22/5/2026 15:43:54  
**FACTURA:** N/A.  
**ORDEN:** 66576  
**TIPO PRODUCTO:** AGUA RESIDUAL

| PARÁMETRO | LOTE     | RESULTADOS | UNIDAD | LOQ | LOD | U+- | NORMA |     | MÉTODO DE ANÁLISIS                                           |
|-----------|----------|------------|--------|-----|-----|-----|-------|-----|--------------------------------------------------------------|
|           |          |            |        |     |     |     | Mín   | Máx |                                                              |
| Mercurio* | # RB4.26 | 0,003      | mg/l   | -   | -   | -   | -     | -   | PEE/CESECCA/MP/26 Método de Referencia Standard Methods 3112 |

INFORME DE LABORATORIO

IE/CESECCA/66575

**INFORMACIÓN DEL CLIENTE**

**CLIENTE:** MUÑOZ MENDOZA ANTHONY PATRICIO  
**ATENCIÓN:** MUÑOZ MENDOZA ANTHONY PATRICIO  
**DIRECCIÓN:** EL PALMAR - ULEAM  
**ESPECIE:** N/A.  
**TIPO ENVASE:** BOTELLA DE PLASTICO.  
**No. CAJAS:** N/A.  
**UNIDADES/PESO:** 16MUESTRAS( 1 UNID. DE 500ML POR CADA MUESTRA)  
**MARCA:** N/A.  
**PAIS DE DESTINO:** N/A.  
**IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA:** AGUA RESIDUAL

**INFORMACIÓN DEL LABORATORIO**

**FECHA MUESTREO:** 5/5/2026 0:00:00  
**FECHA DE INGRESO:** 5/5/2026 0:00:00  
**FECHA INICIO ENSAYO:** 21/5/2026 0:00:00  
**FECHA FINALIZACION ENSAYO:** 22/5/2026 0:00:00  
**FECHA EMISION RESULTADOS:** 22/5/2026 15:43:08  
**FACTURA:** N/A.  
**ORDEN:** 66575  
**TIPO PRODUCTO:** AGUA RESIDUAL

| PARÁMETRO | LOTE     | RESULTADOS | UNIDAD | LOQ | LOD | U+- | NORMA |     | MÉTODO DE ANÁLISIS                                           |
|-----------|----------|------------|--------|-----|-----|-----|-------|-----|--------------------------------------------------------------|
|           |          |            |        |     |     |     | Mín   | Máx |                                                              |
| Mercurio* | # RB3.26 | 0,0001     | mg/l   | -   | -   | -   | -     | -   | PEE/CESECCA/MP/26 Método de Referencia Standard Methods 3112 |

INFORME DE LABORATORIO

IE/CESECCA/66577

**INFORMACIÓN DEL CLIENTE**

**CLIENTE:** MUÑOZ MENDOZA ANTHONY PATRICIO  
**ATENCIÓN:** MUÑOZ MENDOZA ANTHONY PATRICIO  
**DIRECCIÓN:** EL PALMAR - ULEAM  
**ESPECIE:** N/A.  
**TIPO ENVASE:** BOTELLA DE PLASTICO.  
**No. CAJAS:** N/A.  
**UNIDADES/PESO:** 16MUESTRAS( 1 UNID. DE 500ML POR CADA MUESTRA)  
**MARCA:** N/A.  
**PAIS DE DESTINO:** N/A.  
**IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA:** AGUA RESIDUAL

**INFORMACIÓN DEL LABORATORIO**

**FECHA MUESTREO:** 5/5/2026 0:00:00  
**FECHA DE INGRESO:** 5/5/2026 0:00:00  
**FECHA INICIO ENSAYO:** 21/5/2026 0:00:00  
**FECHA FINALIZACION ENSAYO:** 22/5/2026 0:00:00  
**FECHA EMISION RESULTADOS:** 22/5/2026 15:40:34  
**FACTURA:** N/A.  
**ORDEN:** 66577  
**TIPO PRODUCTO:** AGUA RESIDUAL

| PARÁMETRO | LOTE     | RESULTADOS | UNIDAD | LOQ | LOD | U+- | NORMA |     | MÉTODO DE ANÁLISIS                                           |
|-----------|----------|------------|--------|-----|-----|-----|-------|-----|--------------------------------------------------------------|
|           |          |            |        |     |     |     | Mín   | Máx |                                                              |
| Mercurio* | # RB5.26 | 0,0002     | mg/l   | -   | -   | -   | -     | -   | PEE/CESECCA/MP/26 Método de Referencia Standard Methods 3112 |

INFORME DE LABORATORIO

IE/CESECCA/66578

**INFORMACIÓN DEL CLIENTE**

**CLIENTE:** MUÑOZ MENDOZA ANTHONY PATRICIO  
**ATENCIÓN:** MUÑOZ MENDOZA ANTHONY PATRICIO  
**DIRECCIÓN:** EL PALMAR - ULEAM  
**ESPECIE:** N/A.  
**TIPO ENVASE:** BOTELLA DE PLASTICO.  
**No. CAJAS:** N/A.  
**UNIDADES/PESO:** 16MUESTRAS( 1 UNID. DE 500ML POR CADA MUESTRA)  
**MARCA:** N/A.  
**PAIS DE DESTINO:** N/A.  
**IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA:** AGUA RESIDUAL

**INFORMACIÓN DEL LABORATORIO**

**FECHA MUESTREO:** 5/5/2026 0:00:00  
**FECHA DE INGRESO:** 5/5/2026 0:00:00  
**FECHA INICIO ENSAYO:** 21/5/2026 0:00:00  
**FECHA FINALIZACION ENSAYO:** 22/5/2026 0:00:00  
**FECHA EMISION RESULTADOS:** 22/5/2026 15:38:55  
**FACTURA:** N/A.  
**ORDEN:** 66578  
**TIPO PRODUCTO:** AGUA RESIDUAL

| PARÁMETRO | LOTE     | RESULTADOS | UNIDAD | LOQ | LOD | U+- | NORMA |     | MÉTODO DE ANÁLISIS                                           |
|-----------|----------|------------|--------|-----|-----|-----|-------|-----|--------------------------------------------------------------|
|           |          |            |        |     |     |     | Mín   | Máx |                                                              |
| Mercurio* | # RB6.26 | 0,0009     | mg/l   | -   | -   | -   | -     | -   | PEE/CESECCA/MP/26 Método de Referencia Standard Methods 3112 |

INFORME DE LABORATORIO

IE/CESECCA/66579

**INFORMACIÓN DEL CLIENTE**

**CLIENTE:** MUÑOZ MENDOZA ANTHONY PATRICIO  
**ATENCIÓN:** MUÑOZ MENDOZA ANTHONY PATRICIO  
**DIRECCIÓN:** EL PALMAR - ULEAM  
**ESPECIE:** N/A.  
**TIPO ENVASE:** BOTELLA DE PLASTICO.  
**No. CAJAS:** N/A.  
**UNIDADES/PESO:** 16MUESTRAS( 1 UNID. DE 500ML POR CADA MUESTRA)  
**MARCA:** N/A.  
**PAIS DE DESTINO:** N/A.  
**IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA:** AGUA RESIDUAL

**INFORMACIÓN DEL LABORATORIO**

**FECHA MUESTREO:** 5/5/2026 0:00:00  
**FECHA DE INGRESO:** 5/5/2026 0:00:00  
**FECHA INICIO ENSAYO:** 21/5/2026 0:00:00  
**FECHA FINALIZACION ENSAYO:** 22/5/2026 0:00:00  
**FECHA EMISION RESULTADOS:** 22/5/2026 15:40:12  
**FACTURA:** N/A.  
**ORDEN:** 66579  
**TIPO PRODUCTO:** AGUA RESIDUAL

| PARÁMETRO | LOTE     | RESULTADOS | UNIDAD | LOQ | LOD | U+- | NORMA |     | MÉTODO DE ANÁLISIS                                           |
|-----------|----------|------------|--------|-----|-----|-----|-------|-----|--------------------------------------------------------------|
|           |          |            |        |     |     |     | Mín   | Máx |                                                              |
| Mercurio* | # RB7.26 | 0,0002     | mg/l   | -   | -   | -   | -     | -   | PEE/CESECCA/MP/26 Método de Referencia Standard Methods 3112 |

INFORME DE LABORATORIO

IE/CESECCA/66580

**INFORMACIÓN DEL CLIENTE**

**CLIENTE:** MUÑOZ MENDOZA ANTHONY PATRICIO  
**ATENCIÓN:** MUÑOZ MENDOZA ANTHONY PATRICIO  
**DIRECCIÓN:** EL PALMAR - ULEAM  
**ESPECIE:** N/A.  
**TIPO ENVASE:** BOTELLA DE PLASTICO.  
**No. CAJAS:** N/A.  
**UNIDADES/PESO:** 16MUESTRAS( 1 UNID. DE 500ML POR CADA MUESTRA)  
**MARCA:** N/A.  
**PAIS DE DESTINO:** N/A.  
**IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA:** AGUA RESIDUAL

**INFORMACIÓN DEL LABORATORIO**

**FECHA MUESTREO:** 5/5/2026 0:00:00  
**FECHA DE INGRESO:** 5/5/2026 0:00:00  
**FECHA INICIO ENSAYO:** 21/5/2026 0:00:00  
**FECHA FINALIZACION ENSAYO:** 22/5/2026 0:00:00  
**FECHA EMISION RESULTADOS:** 22/5/2026 15:39:49  
**FACTURA:** N/A.  
**ORDEN:** 66580  
**TIPO PRODUCTO:** AGUA RESIDUAL

| PARÁMETRO | LOTE     | RESULTADOS | UNIDAD | LOQ | LOD | U+- | NORMA |     | MÉTODO DE ANÁLISIS                                           |
|-----------|----------|------------|--------|-----|-----|-----|-------|-----|--------------------------------------------------------------|
|           |          |            |        |     |     |     | Mín   | Máx |                                                              |
| Mercurio* | # RB8.26 | 0,0002     | mg/l   | -   | -   | -   | -     | -   | PEE/CESECCA/MP/26 Método de Referencia Standard Methods 3112 |

INFORME DE LABORATORIO

IE/CESECCA/66581

**INFORMACIÓN DEL CLIENTE**

**CLIENTE:** MUÑOZ MENDOZA ANTHONY PATRICIO  
**ATENCIÓN:** MUÑOZ MENDOZA ANTHONY PATRICIO  
**DIRECCIÓN:** EL PALMAR - ULEAM  
**ESPECIE:** N/A.  
**TIPO ENVASE:** BOTELLA DE PLASTICO.  
**No. CAJAS:** N/A.  
**UNIDADES/PESO:** 16MUESTRAS( 1 UNID. DE 500ML POR CADA MUESTRA)  
**MARCA:** N/A.  
**PAIS DE DESTINO:** N/A.  
**IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA:** AGUA RESIDUAL

**INFORMACIÓN DEL LABORATORIO**

**FECHA MUESTREO:** 5/5/2026 0:00:00  
**FECHA DE INGRESO:** 5/5/2026 0:00:00  
**FECHA INICIO ENSAYO:** 21/5/2026 0:00:00  
**FECHA FINALIZACION ENSAYO:** 22/5/2026 0:00:00  
**FECHA EMISION RESULTADOS:** 22/5/2026 15:41:11  
**FACTURA:** N/A.  
**ORDEN:** 66581  
**TIPO PRODUCTO:** AGUA RESIDUAL

| PARÁMETRO | LOTE     | RESULTADOS | UNIDAD | LOQ | LOD | U+- | NORMA |     | MÉTODO DE ANÁLISIS                                           |
|-----------|----------|------------|--------|-----|-----|-----|-------|-----|--------------------------------------------------------------|
|           |          |            |        |     |     |     | Mín   | Máx |                                                              |
| Mercurio* | # RB9.26 | <0,0001    | mg/l   | -   | -   | -   | -     | -   | PEE/CESECCA/MP/26 Método de Referencia Standard Methods 3112 |

INFORME DE LABORATORIO

IE/CESECCA/66582

**INFORMACIÓN DEL CLIENTE**

**CLIENTE:** MUÑOZ MENDOZA ANTHONY PATRICIO  
**ATENCIÓN:** MUÑOZ MENDOZA ANTHONY PATRICIO  
**DIRECCIÓN:** EL PALMAR - ULEAM  
**ESPECIE:** N/A.  
**TIPO ENVASE:** BOTELLA DE PLASTICO.  
**No. CAJAS:** N/A.  
**UNIDADES/PESO:** 16MUESTRAS( 1 UNID. DE 500ML POR CADA MUESTRA)  
**MARCA:** N/A.  
**PAIS DE DESTINO:** N/A.  
**IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA:** AGUA RESIDUAL

**INFORMACIÓN DEL LABORATORIO**

**FECHA MUESTREO:** 5/5/2026 0:00:00  
**FECHA DE INGRESO:** 5/5/2026 0:00:00  
**FECHA INICIO ENSAYO:** 21/5/2026 0:00:00  
**FECHA FINALIZACION ENSAYO:** 22/5/2026 0:00:00  
**FECHA EMISION RESULTADOS:** 22/5/2026 15:41:37  
**FACTURA:** N/A.  
**ORDEN:** 66582  
**TIPO PRODUCTO:** AGUA RESIDUAL

| PARÁMETRO | LOTE      | RESULTADOS | UNIDAD | LOQ | LOD | U+- | NORMA |     | MÉTODO DE ANÁLISIS                                           |
|-----------|-----------|------------|--------|-----|-----|-----|-------|-----|--------------------------------------------------------------|
|           |           |            |        |     |     |     | Mín   | Máx |                                                              |
| Mercurio* | # RB10.26 | <0,0001    | mg/l   | -   | -   | -   | -     | -   | PEE/CESECCA/MP/26 Método de Referencia Standard Methods 3112 |

INFORME DE LABORATORIO

IE/CESECCA/66583

**INFORMACIÓN DEL CLIENTE**

**CLIENTE:** MUÑOZ MENDOZA ANTHONY PATRICIO  
**ATENCIÓN:** MUÑOZ MENDOZA ANTHONY PATRICIO  
**DIRECCIÓN:** EL PALMAR - ULEAM  
**ESPECIE:** N/A.  
**TIPO ENVASE:** BOTELLA DE PLASTICO.  
**No. CAJAS:** N/A.  
**UNIDADES/PESO:** 16MUESTRAS( 1 UNID. DE 500ML POR CADA MUESTRA)  
**MARCA:** N/A.  
**PAIS DE DESTINO:** N/A.  
**IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA:** AGUA RESIDUAL

**INFORMACIÓN DEL LABORATORIO**

**FECHA MUESTREO:** 5/5/2026 0:00:00  
**FECHA DE INGRESO:** 5/5/2026 0:00:00  
**FECHA INICIO ENSAYO:** 21/5/2026 0:00:00  
**FECHA FINALIZACIÓN ENSAYO:** 22/5/2026 0:00:00  
**FECHA EMISIÓN RESULTADOS:** 22/5/2026 15:42:30  
**FACTURA:** N/A.  
**ORDEN:** 66583  
**TIPO PRODUCTO:** AGUA RESIDUAL

| PARÁMETRO | LOTE      | RESULTADOS | UNIDAD | LOQ | LOD | U+- | NORMA |     | MÉTODO DE ANÁLISIS                                           |
|-----------|-----------|------------|--------|-----|-----|-----|-------|-----|--------------------------------------------------------------|
|           |           |            |        |     |     |     | Mín   | Máx |                                                              |
| Mercurio* | # RB11.26 | <0,0001    | mg/l   | -   | -   | -   | -     | -   | PEE/CESECCA/MP/26 Método de Referencia Standard Methods 3112 |

INFORME DE LABORATORIO

IE/CESECCA/66584

**INFORMACIÓN DEL CLIENTE**

**CLIENTE:** MUÑOZ MENDOZA ANTHONY PATRICIO  
**ATENCIÓN:** MUÑOZ MENDOZA ANTHONY PATRICIO  
**DIRECCIÓN:** EL PALMAR - ULEAM  
**ESPECIE:** N/A.  
**TIPO ENVASE:** BOTELLA DE PLASTICO.  
**No. CAJAS:** N/A.  
**UNIDADES/PESO:** 16MUESTRAS( 1 UNID. DE 500ML POR CADA MUESTRA)  
**MARCA:** N/A.  
**PAIS DE DESTINO:** N/A.  
**IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA:** AGUA RESIDUAL

**INFORMACIÓN DEL LABORATORIO**

**FECHA MUESTREO:** 5/5/2026 0:00:00  
**FECHA DE INGRESO:** 5/5/2026 0:00:00  
**FECHA INICIO ENSAYO:** 21/5/2026 0:00:00  
**FECHA FINALIZACIÓN ENSAYO:** 22/5/2026 0:00:00  
**FECHA EMISIÓN RESULTADOS:** 22/5/2026 15:43:28  
**FACTURA:** N/A.  
**ORDEN:** 66584  
**TIPO PRODUCTO:** AGUA RESIDUAL

| PARÁMETRO | LOTE      | RESULTADOS | UNIDAD | LOQ | LOD | U+- | NORMA |     | MÉTODO DE ANÁLISIS                                           |
|-----------|-----------|------------|--------|-----|-----|-----|-------|-----|--------------------------------------------------------------|
|           |           |            |        |     |     |     | Mín   | Máx |                                                              |
| Mercurio* | # RB12.26 | 0,0001     | mg/l   | -   | -   | -   | -     | -   | PEE/CESECCA/MP/26 Método de Referencia Standard Methods 3112 |

INFORME DE LABORATORIO

IE/CESECCA/66585

**INFORMACIÓN DEL CLIENTE**

**CLIENTE:** MUÑOZ MENDOZA ANTHONY PATRICIO  
**ATENCIÓN:** MUÑOZ MENDOZA ANTHONY PATRICIO  
**DIRECCIÓN:** EL PALMAR - ULEAM  
**ESPECIE:** N/A.  
**TIPO ENVASE:** BOTELLA DE PLASTICO.  
**No. CAJAS:** N/A.  
**UNIDADES/PESO:** 16MUESTRAS( 1 UNID. DE 500ML POR CADA MUESTRA)  
**MARCA:** N/A.  
**PAIS DE DESTINO:** N/A.  
**IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA:** AGUA RESIDUAL

**INFORMACIÓN DEL LABORATORIO**

**FECHA MUESTREO:** 5/5/2026 0:00:00  
**FECHA DE INGRESO:** 5/5/2026 0:00:00  
**FECHA INICIO ENSAYO:** 21/5/2026 0:00:00  
**FECHA FINALIZACIÓN ENSAYO:** 22/5/2026 0:00:00  
**FECHA EMISIÓN RESULTADOS:** 22/5/2026 15:40:53  
**FACTURA:** N/A.  
**ORDEN:** 66585  
**TIPO PRODUCTO:** AGUA RESIDUAL

| PARÁMETRO | LOTE      | RESULTADOS | UNIDAD | LOQ | LOD | U+- | NORMA |     | MÉTODO DE ANÁLISIS                                           |
|-----------|-----------|------------|--------|-----|-----|-----|-------|-----|--------------------------------------------------------------|
|           |           |            |        |     |     |     | Mín   | Máx |                                                              |
| Mercurio* | # RB13.26 | 0,002      | mg/l   | -   | -   | -   | -     | -   | PEE/CESECCA/MP/26 Método de Referencia Standard Methods 3112 |

INFORME DE LABORATORIO

IE/CESECCA/66586

**INFORMACIÓN DEL CLIENTE**

**CLIENTE:** MUÑOZ MENDOZA ANTHONY PATRICIO  
**ATENCIÓN:** MUÑOZ MENDOZA ANTHONY PATRICIO  
**DIRECCIÓN:** EL PALMAR - ULEAM  
**ESPECIE:** N/A.  
**TIPO ENVASE:** BOTELLA DE PLASTICO.  
**No. CAJAS:** N/A.  
**UNIDADES/PESO:** 16MUESTRAS( 1 UNID. DE 500ML POR CADA MUESTRA)  
**MARCA:** N/A.  
**PAIS DE DESTINO:** N/A.  
**IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA:** AGUA RESIDUAL

**INFORMACIÓN DEL LABORATORIO**

**FECHA MUESTREO:** 5/5/2026 0:00:00  
**FECHA DE INGRESO:** 5/5/2026 0:00:00  
**FECHA INICIO ENSAYO:** 21/5/2026 0:00:00  
**FECHA FINALIZACION ENSAYO:** 22/5/2026 0:00:00  
**FECHA EMISION RESULTADOS:** 22/5/2026 15:41:55  
**FACTURA:** N/A.  
**ORDEN:** 66586  
**TIPO PRODUCTO:** AGUA RESIDUAL

| PARÁMETRO | LOTE      | RESULTADOS | UNIDAD | LOQ | LOD | U+- | NORMA |     | MÉTODO DE ANÁLISIS                                           |
|-----------|-----------|------------|--------|-----|-----|-----|-------|-----|--------------------------------------------------------------|
|           |           |            |        |     |     |     | Mín   | Máx |                                                              |
| Mercurio* | # RB14.26 | 0,0008     | mg/l   | -   | -   | -   | -     | -   | PEE/CESECCA/MP/26 Método de Referencia Standard Methods 3112 |

INFORME DE LABORATORIO

IE/CESECCA/66587

**INFORMACIÓN DEL CLIENTE**

**CLIENTE:** MUÑOZ MENDOZA ANTHONY PATRICIO  
**ATENCIÓN:** MUÑOZ MENDOZA ANTHONY PATRICIO  
**DIRECCIÓN:** EL PALMAR - ULEAM  
**ESPECIE:** N/A.  
**TIPO ENVASE:** BOTELLA DE PLASTICO.  
**No. CAJAS:** N/A.  
**UNIDADES/PESO:** 16MUESTRAS( 1 UNID. DE 500ML POR CADA MUESTRA)  
**MARCA:** N/A.  
**PAIS DE DESTINO:** N/A.  
**IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA:** AGUA RESIDUAL

**INFORMACIÓN DEL LABORATORIO**

**FECHA MUESTREO:** 5/5/2026 0:00:00  
**FECHA DE INGRESO:** 5/5/2026 0:00:00  
**FECHA INICIO ENSAYO:** 21/5/2026 0:00:00  
**FECHA FINALIZACION ENSAYO:** 22/5/2026 0:00:00  
**FECHA EMISION RESULTADOS:** 22/5/2026 15:42:12  
**FACTURA:** N/A.  
**ORDEN:** 66587  
**TIPO PRODUCTO:** AGUA RESIDUAL

| PARÁMETRO | LOTE      | RESULTADOS | UNIDAD | LOQ | LOD | U+- | NORMA |     | MÉTODO DE ANÁLISIS                                           |
|-----------|-----------|------------|--------|-----|-----|-----|-------|-----|--------------------------------------------------------------|
|           |           |            |        |     |     |     | Mín   | Máx |                                                              |
| Mercurio* | # RB15.26 | <0,0001    | mg/l   | -   | -   | -   | -     | -   | PEE/CESECCA/MP/26 Método de Referencia Standard Methods 3112 |

INFORME DE LABORATORIO

IE/CESECCA/66588

**INFORMACIÓN DEL CLIENTE**

**CLIENTE:** MUÑOZ MENDOZA ANTHONY PATRICIO  
**ATENCIÓN:** MUÑOZ MENDOZA ANTHONY PATRICIO  
**DIRECCIÓN:** EL PALMAR - ULEAM  
**ESPECIE:** N/A.  
**TIPO ENVASE:** BOTELLA DE PLASTICO.  
**No. CAJAS:** N/A.  
**UNIDADES/PESO:** 16MUESTRAS( 1 UNID. DE 500ML POR CADA MUESTRA)  
**MARCA:** N/A.  
**PAIS DE DESTINO:** N/A.  
**IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA:** AGUA RESIDUAL

**INFORMACIÓN DEL LABORATORIO**

**FECHA MUESTREO:** 5/5/2026 0:00:00  
**FECHA DE INGRESO:** 5/5/2026 0:00:00  
**FECHA INICIO ENSAYO:** 21/5/2026 0:00:00  
**FECHA FINALIZACION ENSAYO:** 22/5/2026 0:00:00  
**FECHA EMISION RESULTADOS:** 22/5/2026 15:39:26  
**FACTURA:** N/A.  
**ORDEN:** 66588  
**TIPO PRODUCTO:** AGUA RESIDUAL

| PARÁMETRO | LOTE      | RESULTADOS | UNIDAD | LOQ | LOD | U+- | NORMA |     | MÉTODO DE ANÁLISIS                                           |
|-----------|-----------|------------|--------|-----|-----|-----|-------|-----|--------------------------------------------------------------|
|           |           |            |        |     |     |     | Mín   | Máx |                                                              |
| Mercurio* | # RB16.26 | <0,0001    | mg/l   | -   | -   | -   | -     | -   | PEE/CESECCA/MP/26 Método de Referencia Standard Methods 3112 |