

MONITOREO PARA DETERMINAR LA PRESENCIA DE MERCURIO EN
EFLUENTES, AFECTADOS POR ACTIVIDAD MINERA EN EL MUNICIPIO DE
SUAREZ - CAUCA



ANGIE LIZETH ROSERO ROSERO

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA AUTÓNOMA DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE
INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
POPAYÁN
18/08/2017

MONITOREO PARA DETERMINAR LA PRESENCIA DE MERCURIO EN
EFLUENTES, AFECTADOS POR ACTIVIDAD MINERA EN EL MUNICIPIO DE
SUAREZ - CAUCA



ANGIE LIZETH ROSERO ROSERO

Trabajo de grado para optar al título de
INGENIERO AMBIENTAL Y SANITARIO

Director trabajo de grado modalidad Pasantía

Francisco Idróbo
Ingeniero en Minas

Especialista en Gestión Integral de Riesgos de Desastre

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA AUTÓNOMA DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE
INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
POPAYÁN
18/08/2017

NOTA DE ACEPTACIÓN DEL DIRECTOR

El Director y los jurados del trabajo de grado, modalidad pasantía: “MONITOREO PARA DETERMINAR LA PRESENCIA DE MERCURIO EN EFLUENTES, AFECTADOS POR ACTIVIDAD MINERA EN EL MUNICIPIO DE SUAREZ - CAUCA” realizado por ANGIE LIZETH ROSERO ROSERO Una vez revisado el informe final y aprobada la sustentación, autorizan para que se realicen los trámites concernientes para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental y Sanitario.

DIRECTOR TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

FIRMA JURADO

FIRMA JURADO

DEDICATORIA

Primero quiero dedicar este nuevo logro a Dios por permitirme alcanzar esta meta por darme la fuerza, perseverancia y la sabiduría para realizar cada paso este trayecto nuevo en mi vida.

A mis padres **MARGOT ROSERO PÉREZ Y HUMBERTO ROSERO NARVÁEZ** que me han apoyado y han luchado sin importar las circunstancias cada momento por verme realizar este logro, son quienes me impulsan a seguir adelante y convertirme en el orgullo, felicidad de ellos y brindarles todo lo que está mi alcance, es por ellos quien soy lo que quiero llegar hacer en la vida.

A mi hermana **JENNIFER MARCELA ROSERO ROSERO** la persona que siempre me ha acompañado en las diferentes etapas de mi vida y ha estado a mi lado en cada momento.

Angie Lizeth Rosero Rosero

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por su inmenso amor, por darme la oportunidad de realizar un proceso tan importante de mi vida profesional en no dejarme decaer por cada circunstancia encontrada, por cuidarme y darme la oportunidad de conocer personas que fueron de gran ayuda y apoyo en el proceso de la pasantía.

De esta forma a mis padres por brindarme la confianza y el optimismo de seguir adelante y creer en mí sin importar las circunstancias que se me presentaran.

A los funcionarios de la CRC **Ing. Fabián Bonilla, Ing. Andrés Cajas, Ing. Oscar Vivas** personas que me apoyaron tuvieron la paciencia de enseñarme y brindarme conocimientos del tema respecto a mi pasantía.

Al señor **Gabriel Guasa, Manuel Zapata, Edilberto Tabordo, Ismael Juanillo** que me permitieron realizar el proyecto en sus entable por su tiempo y acompañamiento en cada proceso, y de quienes adquirí conocimientos de los procesos de minería.

Angie Lizeth Rosero Rosero

TABLA DE CONTENIDO

| | Pág. |
|--|-----------|
| INTRODUCCIÓN..... | 15 |
| CAPITULO I: PROBLEMA | 16 |
| 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 16 |
| 1.2 JUSTIFICACIÓN | 17 |
| 1.3 OBJETIVO | 18 |
| 1.3.1 Objetivo general..... | 18 |
| 1.3.2 Objetivos específicos | 18 |
| CAPITULO II: MARCO TEÓRICO O REFERENTES CONCEPTUALES | 19 |
| 2.1 ANTECEDENTES | 19 |
| 2.2 BASES TEÓRICAS | 22 |
| 2.2.1 La minería del oro artesanal y en pequeña escala. | 22 |
| 2.2.2 Mercurio (Hg) | 22 |
| 2.2.3 Parámetros fisicoquímicos | 23 |
| 2.2.4 Afectación ambiental en el Municipio de Suarez por actividad minera..... | 25 |
| 2.2.5 El uso del mercurio en la minería del oro artesanal y en pequeña escala..... | 26 |
| 2.2.6 Afectación al medioambiente por el uso de mercurio en la minería del oro artesanal y en pequeña escala | 27 |
| 2.3 BENEFICIO DEL ORO EN MINERÍA DE FILÓN | 27 |
| 2.4 ZONA DE LOCALIZACION DEL PROYECTO | 30 |
| 2.5 BASES LEGALES | 32 |
| CAPITULO III: METODOLOGÍA | 34 |
| 3.1 RECONOCIMIENTO DEL LUGAR DE ESTUDIO | 34 |
| 3.2 RECOLECCIÓN DE MUESTRAS | 36 |
| 3.2.1 Toma de muestra de agua residual..... | 36 |
| 3.2.2 Toma de muestra de sustrato o sedimento..... | 38 |
| 3.3 ANÁLISIS DE LABORATORIO DE MERCURIO | 39 |
| CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 42 |
| 4.1 ANÁLISIS DE LAS MINAS | 42 |
| 4.1.1 Proceso en el beneficio de oro..... | 43 |
| 4.1.2 Disposición final de los lodos | 45 |
| 4.2 PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS | 47 |

| | |
|---|-----------|
| 4.2.1 Resultados análisis de Mercurio | 49 |
| 4.2.1 Concentración de Mercurio en cada uno de los Efluentes | 52 |
| 4.2.2 Concentración de Mercurio en Sedimentos | 53 |
| 4.2.3 Resultados obtenidos de pH. | 54 |
| 4.2.4 Resultados obtenidos de Conductividad. | 55 |
| 4.2.5 Resultados obtenidos de Demanda Química de Oxígeno (DQO)..... | 56 |
| 4.2.6 Resultados obtenidos de Alcalinidad | 57 |
| 4.2.7 Resultados obtenidos de SST..... | 58 |
| 4.3 DETERMINACIÓN GRADO DE AFECTACIÓN | 60 |
| CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 65 |
| 5.1 CONCLUSIONES | 65 |
| 5.2 RECOMENDACIONES | 67 |
| BIBLIOGRAFIA..... | 69 |
| ANEXOS..... | 73 |

LISTA DE TABLAS

| | Pág. |
|--|------|
| Tabla 1. Extensión del Municipio de Suarez | 30 |
| Tabla 2. Parámetros Fisicoquímicos | 36 |
| Tabla 3. Resultados de los parámetros analizados en los diferentes entables..... | 48 |
| Tabla 4. Monitoreos de sedimentos en los diferentes entables | 49 |
| Tabla 5. Grado de afectación ambiental entable Gabriel Guasa (Turbina)..... | 60 |
| Tabla 6. Importancia ambiental entable Gabriel Guasa (Turbina)..... | 61 |
| Tabla 7. Importancia ambiental entable La Peña (Tamboral) | 61 |
| Tabla 8. Grado de afectación ambiental entable La Peña (Tamboral) | 62 |
| Tabla 9. Grado de afectación ambiental entable Tamboral (Tamboral) | 63 |
| Tabla 10. Importancia ambiental entable Tamboral (Tamboral) | 64 |

LISTA DE GRÁFICAS

| | Pág. |
|--|------|
| Gráfica 1. Cantidad de Bocaminas y Entables | 42 |
| Gráfica 2. Mercurio (Hg) en agua residual de los entables | 50 |
| Gráfica 3. Concentración de Mercurio en Sedimentos de los Efluentes | 53 |
| Gráfica 4. pH presente en el agua residual de los diferentes entables mineros | 54 |
| Gráfica 5. Conductividad presente en el agua residual de los diferentes entables mineros | 55 |
| Gráfica 6. Nivel de demanda química de oxígeno (DQO) presente en el agua residual de los diferentes entables mineros. | 56 |
| Gráfica 7. Alcalinidad presente en el agua residual de los diferentes entables mineros.... | 57 |
| Gráfica 8. Resultados obtenidos de SST en cada uno de los entables..... | 58 |

LISTA DE FIGURAS

| | Pág. |
|--|------|
| Figura 1. Esquema básico del beneficio de oro de filón en circuito abierto | 28 |
| Figura 2. Esquema básico del beneficio de oro de filón en circuito semicerrado | 29 |
| Figura 3. Colector de sedimentación de lodos | 37 |
| Figura 4. Tanques de sedimentación | 37 |
| Figura 5. Efluente Tamboral | 37 |
| Figura 6. Tanques de sedimentación | 38 |
| Figura 7. Efluente Canelo | 38 |
| Figura 8. Colector de agua | 39 |
| Figura 9. Margen del efluente..... | 39 |
| Figura 10. Diagrama de flujo análisis de Mercurio (Hg) en aguas y sedimento | 40 |
| Figura 11. Espectrofotómetro de absorción atómica con Generador de Hidruros..... | 41 |
| Figura 12. Bocamina la Fortaleza | 43 |
| Figura 13. Entable la Peña | 43 |
| Figura 14. Trituradora de quijada..... | 44 |
| Figura 15. Lugar de molienda..... | 44 |
| Figura 16. Barril de molienda..... | 44 |
| Figura 17. Canales | 44 |
| Figura 18. Colectores de agua y sedimento | 45 |
| Figura 19. Lodos entables Gabriel Guasa | 45 |
| Figura 20. Lodos Entable La Peña | 46 |
| Figura 21. Motobomba extracción | 46 |
| Figura 22. Planta de flotación | 46 |
| Figura 23. Tanques de sedimentación de lodos..... | 47 |

LISTA DE MAPAS

| | Pág. |
|--|------|
| Mapa 1. Ubicación de Suarez en el Departamento del Cauca | 31 |
| Mapa 2. Ubicación de puntos de muestreo..... | 35 |

LISTA DE ANEXOS

| | Pág. |
|---|------|
| Anexo 1. Procedimiento de recolección de muestras para agua y sedimento | 73 |
| Anexo 2. Equipos, Reactivos y materiales para el análisis de Mercurio | 74 |
| Anexo 3. Funcionamiento del Espectrofotómetro de absorción atómica con Generador de Hidruros..... | 75 |
| Anexo 4. Lectura de las muestras | 75 |
| Anexo 5. Curva de calibración..... | 77 |
| Anexo 6. Análisis de Resultados del espectrofotómetro absorción atómica | 78 |
| Anexo 7. Puntos de monitoreo en cada Entable | 78 |
| Anexo 8. Diseño Entable Gabriel Guasa | 79 |
| Anexo 9. Diseño Entable la Peña | 80 |
| Anexo 10. Diseño Entable Tamboral..... | 81 |
| Anexo 11. Resultados de los parametros fisicoquimicos en los tres entables. | 82 |
| Anexo 12. Registro fotográfico Entable Gabriel Guasa..... | 91 |
| Anexo 13. Registro fotográfico Entable Tamboral..... | 92 |
| Anexo 14. Registro fotográfico Entable La Peña | 92 |

RESUMEN

El presente proyecto tiene objetivo central, monitoreo para determinar la presencia de Mercurio en efluentes afectados por actividad minera en el Municipio de Suarez, se basó en el análisis de calidad de agua y sedimentos. El monitoreo se realizó en 3 entables representativos en donde dos de ellos realizaban su vertimiento hacia efluentes aferentes a la zona rural de Tamboral, se evaluaron parámetros fisicoquímicos como: pH, conductividad, sólidos totales, DQO, alcalinidad y mercurio. Las muestras se analizaron en el Laboratorio de la Corporación Autónoma Regional del Cauca (CRC), el contenido de mercurio en agua y sedimento se determinó mediante espectrometría de absorción atómica.

La concentración de mercurio hallada en los diferentes entables fueron muy relevantes y de gran proporción en agua como es el caso del entable La Peña, que contiene en los tanques de sedimentación 0,45 mg/L y en el efluente más afectado por el vertimiento con 0,174 mg/L, en el entable Tamboral se encontraron se encontró 0,033 mg/L en el vertimiento y 0,0125 mg/L en el efluente. Los valores encontrados se encuentran fuera de los límites permisibles para el mercurio establecidos en la Resolución 631 de 2015, en la sección de actividades mineras en relación con la extracción de oro y otros metales preciosos, evidenciando la alteración en la calidad del agua producto de la actividad de beneficio de oro en las minas. El entable que se encontraba en menor proporción en mercurio es el del señor Gabriel Guasa los cuales se vieron reflejados en el último monitoreo a los tanques de sedimentación, llegando cerca de los límites permisibles con una concentración de 0,00234 mg/L.

De igual forma se observó que los sólidos suspendidos totales sobrepasan los límites permisibles en los 3 entables, debido a que el proceso de beneficio de oro libera partículas de diferentes tamaños. Influyendo en la concentración gravimétrica de estos sólidos en el agua por la molienda de minería de filón.

En Colombia no se cuenta con una norma que reglamente la comparación de los niveles de mercurio en sedimentos, debido a esto se basó con el DECRETO SUPREMO N° 002-2013-MINAM, donde reglamenta y aprueba los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Perú, que de acuerdo a la norma los resultados de los sedimentos de efluentes no lograron pasar el límite permisible que es de 24 mg/kg.

ABSTRACT

The present project has central objective, monitoring to determine the presence of Mercury in effluents affected by mining activity in the Municipality of Suarez, was based on the analysis of water quality and sediments. The monitoring was carried out in 3 representative entablatures where two of them were shed to effluents afferent to the rural area of Tamboral. Physicochemical parameters such as pH, conductivity, total solids, COD, alkalinity and mercury were evaluated. Samples were analyzed at the Laboratory of the Regional Autonomous Corporation of Cauca (CRC), the mercury content in water and sediment was determined by atomic absorption spectrometry.

The concentration of mercury found in the different entables was very relevant and of great proportion in water, as in the case of the Peña entablature, which contains 0.45 mg / L in the sedimentation tanks and in the effluent most affected by the dumping with 0,174 mg/L, in the Tamboral entable were found 0.033 mg/L at the dumping and 0.0125 mg/L in the effluent. The values found are outside the allowable limits for mercury established in Resolution 631 of 2015, in the section on mining activities in relation to the extraction of gold and other precious metals, evidencing the alteration in the quality of the water produced by the Gold mining activity in the mines. The entablature found to be of lesser mercury content is that of Mr. Gabriel Guasa, which was reflected in the last monitoring of the sedimentation tanks, reaching close to the permissible limits with a concentration of 0.00234 mg/L.

In the same way, it was observed that the total suspended solids exceed the allowable limits in the 3 entables, because the process of benefit of gold releases particles of different sizes. Influencing the gravimetric concentration of these solids in the water by the milling of reef mining.

In Colombia, there is no rule that regulates the comparison of mercury levels in sediments, because of this, it was based on SUPREME DECREE No. 002-2013-MINAM, where it regulates and approves the Environmental Quality Standards (ECA) for Peru, that according to the norm the results of the sediments of effluents failed to pass the permissible limit that is of 24 mg/kg.

INTRODUCCIÓN

Colombia es un país rico en recursos minerales debido a los procesos geológicos que formaron sus valles, cordilleras y costas. La riqueza se hizo evidente desde tiempos precolombino [1]. Los recursos se han venido extrayendo de distintas formas, dependiendo principalmente de las características del yacimiento y del tipo de mineral. Uno de los minerales de mayor atracción por su belleza y maleabilidad es el oro, cuya extracción es una tradición que se ha desarrollado desde antiguas civilizaciones a nivel global [2].

El Departamento del Cauca se ha caracterizado por tener gran auge del sector minero de oro, debido a que ha generado beneficios económicos, pero también ha dejado daños irreversibles al medio ambiente y afectaciones a la salud de la población de los Municipios, debido al uso de las sustancias peligrosas como el mercurio, elemento calificado como peligroso desde el punto de vista ambiental y toxicológico.

La actividad minera de oro pequeña y mediana explotación es relevante especialmente en el Municipio de Suárez en donde se registra un impacto severo sobre los recursos naturales como fuentes hídricas, paisaje y vegetación. Que se han generado debido las escasas expectativas laborales de los habitantes de la zona los han obligado a realizar explotaciones mineras sobre terrenos del embalse de la propiedad EPSA o muy cerca de sus límites, entre ellos la minería aluvial que se aplica en la extracción de oro y gravas, tanto manual como mecanizada, y la implementación de nuevas de sustancias altamente tóxicas como el mercurio [3]. El mercurio proveniente de los entables mineros no solo afecta la zona donde es vertido, sino también aquellas ubicadas aguas abajo de los mismos. Este finalmente llegaría a zonas agrícolas, de pesca y a fuentes de abastecimiento de agua potable, donde por lo general los sistemas de captación, se encuentran ubicadas más cerca de los sedimentos, siendo mayor la contaminación en esta zona, que en la superficie de los ríos [4].

Por ello, se desea realizar el monitoreo a fin de analizar la calidad de agua y sustrato en zonas de extracción de oro con Mercurio, para poder identificar las condiciones de los recursos naturales asociados a la minería, como los efluentes donde se vierte estas aguas residuales y ver su grado de afectación, estableciendo los niveles máximos permisibles para los vertimientos líquidos, al servicio de alcantarillado público y cuerpos de agua superficial a través de la Resolución 0631 de 2015, y de esta manera brindar alternativas que permitan minimizar el impacto ambiental, aprovechamiento del mineral como el recurso hídrico y realizar una minería Responsable.

CAPITULO I: PROBLEMA

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Según la Unidad de Planeación Minero Energética, durante el año 2006 el desempeño del producto interno bruto de oro mostró un incremento de aproximadamente 6,8%, lo que constituye uno de los más altos registrados para el país en los últimos años y cuarto en América Latina, después de Venezuela, Argentina y Uruguay [5]. Esto se convirtió en un beneficio económico para el país, por ello la creación de mineras para explotación de beneficio de oro que tiende a aumentar; Sin embargo, la actividad está estrechamente relacionada con el daño extensivo al medio ambiente [6]. En Colombia, el uso indiscriminado de productos químicos en diferentes actividades que requieran realizar extracción de minerales, es una de las problemáticas ambientales con mayor relevancia; lo que ha ocasionado el deterioro de los efluentes al entrar en contacto con el mercurio.

En algunos Municipios del Departamento del Cauca (Caldono, Caloto, Suarez, entre otros), la minería es un factor económico muy importante, debido a que ayuda a la comunidad en condiciones de pobreza y desempleo a obtener ingresos que les permitan mantener su hogar en condiciones aceptables, pero también ha propiciado a que esta actividad se desarrolle de manera rudimentaria, anti-técnica e intensiva tanto legal como ilegal, es decir, sin la utilización de técnicas convencionales de exploración geológica, perforación, reservas probadas o de estudios de ingeniería [7].

Por ser la extracción con mercurio una de las tecnologías más factibles, “debido a los bajos costos de inversión y a la facilidad de la operación. Pero la falta de medidas de seguridad hace inevitable una significativa contaminación de los ríos” [6].

En el Municipio de Suarez, existe un alto uso de sustancias químicas peligrosas como el cianuro y mercurio, utilizado para la recuperación del oro, por ello la minería es una de las actividades que se encuentran en mayor cantidad, comparado con la ganadería y agricultura, debido a que la extracción de oro permite grandes índices de ganancia y rentabilidad a la comunidad, por su cortos tiempos de extracción y beneficio económico inmediato.

De acuerdo a estudios sobre metales pesados, en el medio ambiente acuático el mercurio inorgánico es depositado en los sedimentos, y convertido principalmente

en metilmercurio (MeHg) por acción bacteriana en un proceso de biometilación, aumentando de esta manera su biodisponibilidad para la biota acuática y posterior formación de mayor toxicidad, requiriendo de más tiempo para su eliminación, debido a que este se bioacumula a lo largo de la cadena trófica [8]. Ocasionando un alto grado de riesgo para el ambiente y salud humana. Por lo anterior, es necesario realizar seguimiento y monitoreo de los efluentes para determinar la presencia de este tipo de metal y sugerir alternativas de mitigación que beneficien a la comunidad.

1.2 JUSTIFICACIÓN

En la actualidad, minerales como el oro han traído consigo favorables condiciones económicas en el mercado internacional por ello, su explotación legal e ilegal a incrementado de manera exponencial en Colombia, sin tener en cuenta que estas explotaciones han comenzado a generar impactos negativos irreversibles al medio ambiente y, en especial sobre el recurso hídrico [9].

La minería a pequeña escala, normalmente se lleva a cabo para la subsistencia de comunidades como afrodescendientes y campesinos. Esta característica la convierte en una importante fuente de generación de empleo y de beneficios colaterales productivos, principalmente en zonas rurales más apartadas y con mayores índices de necesidades básicas insatisfechas [10]. Uno de los problemas más frecuentes entre la comunidad minera aurífera es la carencia de conocimiento y sensibilización de los efectos que se pueden generar en el cuerpo humano debido a la exposición prolongada a metales como el mercurio. Lo anterior, sumado con la ausencia de monitoreos permanentes, la inexistencia de prácticas para el manejo de desechos (vertimientos líquidos y material estéril), y la ausencia de políticas nacionales que permitan controlar estas sustancias han generado impactos ambientales negativos como también nocivos e irreversibles consecuencias sobre la salud [11].

Según, la Unidad de Planeación Minera Energética (UPME), “El uso de mercurio en actividades propias de la minería aurífera, a mediano y largo plazo, puede contaminar y acidificar el recurso hídrico, generar impactos negativos en la supervivencia de las poblaciones y biodiversidad del ecosistema acuático, por exposiciones crónicas y prolongadas a los mismos” [9].

Por tal razón, es preciso realizar un seguimiento y monitoreo, desde el punto de vista teórico, metodológico y práctico que logre identificar la presencia y concentración del mercurio en los efluentes del Municipio de Suarez (Cauca),

teniendo en cuenta la legislación de la ley 1658, en el cual se establecen disposiciones para la comercialización y uso del mercurio como se especifica en el artículo 3 (reducción y eliminación del uso de mercurio) y así, mejorar las condiciones de producción minera y minimizar los impactos negativos causados por la labor extractiva.

1.3 OBJETIVO

1.3.1 Objetivo general

Realizar el monitoreo para determinar la presencia de mercurio en efluentes por actividad minera en los entables de la vereda Turbina y el Tamboral del Municipio de Suarez – Cauca.

1.3.2 Objetivos específicos

- 1.3.2.1** Realizar una valoración de los niveles de mercurio total encontrados y compararlos con los parámetros definidos en la normatividad vigente; a fin de verificar el cumplimiento o no de la misma.
- 1.3.2.2** Medir algunos parámetros físico-químicos como (DQO, SST, pH, conductividad, alcalinidad y T°) que permitan determinar el grado de afectación por la actividad minera en el Municipio de Suarez Cauca.
- 1.3.2.3** Sugerir alternativas tendientes a mejorar las prácticas de producción y mitigación de los impactos ambientales generados por la minería con mercurio en las fuentes hídricas del área de influencia.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO O REFERENTES CONCEPTUALES

2.1 ANTECEDENTES

La minería de oro artesanal y en pequeña escala es la extracción de minerales, más común que realizan los mineros en explotaciones pequeñas o medianas, usando técnicas rudimentarias [2]. Este proceso es realizado utilizando mercurio elemental, el cual forma aleaciones con varios metales, entre ellos el oro, y de esta forma logra extraerlo del material rocoso [11]. Gran Parte del mercurio utilizado en el proceso del beneficio de oro llega a la atmósfera, es depositado en los cuerpos de agua cercanos y transformado por las bacterias a metilmercurio, ion que se biomagnifica a través de la cadena trófica alcanzando los peces, y eventualmente a sus consumidores, entre ellos el hombre. El metilmercurio es mucho más tóxico que el mercurio elemental, aunque ambos impactan severamente la salud de los mineros, tanto por consumo de pescado como por exposición directa [12].

Los estudios de salud realizados en distintos lugares del mundo en los que se practica la Minería del oro artesanal y en pequeña escala muestran altos niveles de mercurio en los mineros. Algunos de ellos están expuestos a niveles de mercurio 50 veces superiores al límite máximo aceptable de exposición del público fijado por la Organización Mundial de la Salud (OMS). En un lugar, casi el 50% de los mineros que trabajaban en el proyecto Sufrían temblores involuntarios, síntoma clásico de daños al sistema nervioso inducidos por el mercurio [12].

Para la determinación y medición del mercurio se han realizado diferentes investigaciones, las cuales se basan en el método de La espectrofotometría de absorción atómica a vapor frío. Está fundamentada en la capacidad que tienen los elementos, en su estado atómico basal, de absorber radiación electromagnética a longitudes de onda específicas para cada elemento. La cantidad de energía absorbida es directamente proporcional a la concentración de los átomos del metal analizado, Los límites de detección logrados son del orden de ppm (partes por millón) [13].

En Estados Unidos la universidad de Texas en Austin, en el año 2014, se realizó un estudio en regiones afectadas por la minería del oro, la inhalación de vapores de mercurio junto con la ingesta de peces contaminados, constituyen las principales fuentes de contaminación con este metal, el cual afecta la salud humana de múltiples maneras. No obstante, otra fuente adicional reconocida por

la Organización Mundial de la Salud (OMS). Se observa que las aguas superficiales contienen bajos niveles de mercurio debido a que este es rápidamente consumido por microorganismos acuáticos, encontraron que bajo ciertas circunstancias su concentración en el agua puede alcanzar valores alarmantes, superando incluso los 2,0 µg/L —valor estipulado en la legislación colombiana para aquellas fuentes hídricas destinadas para consumo humano y doméstico—. En algunos Municipios colombianos se han detectado concentraciones de mercurio en aguas superficiales por encima de los 3,0 µg/L y en otros lugares del mundo por encima de los 8,0 µg/L, tal como ha sido reportado por diferentes investigadores [4].

En la zona de Pacarní- San Luis en el Departamento del Huila, año 2012, se realizó un estudio de Evaluación de la contaminación por vertimiento de mercurio en la zona minera al recurso hídrico, tanto en las quebradas como en el Rio Yaguará principal afluente de la zona Brazo de la Represa de Betania. Los resultados indicaron que el valor más alto de mercurio encontrado en sedimentos cercanos a la zona de explotación aurífera, fue de 1497µgHg/Kg debido a contaminación antrópica producto del beneficio del oro y, aunque este se reduce drásticamente aguas abajo, se puede generar un riesgo para las personas que habitan en este sector. Se observó que los valores reportados en este estudio exceden los límites permitidos para la preservación de flora y fauna según el Decreto 1594 del 84 y, sobrepasaron los valores recomendados por la Agencia de Protección Ambiental (EPA, siglas en inglés) para mercurio en agua dulce. Se evidenció la dispersión de la contaminación desde la zona Minera de Pacarní-San Luis hasta la Represa de Betania, ya que las corrientes arrastran el mercurio contenido en los sedimentos, desde la zona minera hasta la entrada de la represa de Betania [14].

En Medellín, en el año 2012, se realizó un estudio de fitotoxicidad del cadmio (Cd) y el mercurio (Hg) en la especie *Brassica nigra*; ya que los procesos intensivos de explotación agrícola y minera han generado problemas socio-ambientales, que pueden afectar, extensiones considerables de suelo, fuentes hídricas, la calidad el aire, la biota y la fauna. Por ello, se tomó la fitorremediación como una alternativa económica y eficiente de descontaminación de suelos. En este estudio, se evaluó la toxicidad del Cd y el Hg a la *Brassica nigra*, analizando los efectos tóxicos en germinación, crecimiento de raíz, desarrollo de biomasa y capacidad de acumulación que la planta tiene sobre los contaminantes. Se comprobó la eficiente acumulación de Cd y Hg, tanto para plántulas trasplantadas como germinadas en los medios contaminados, en concentraciones máximas de 15ppm Cd y 111ppm Hg en plántulas de germinación, y 20ppm Cd y 77ppm Hg en plántulas de trasplante. Sin encontrar efectos tóxicos significativos en el desarrollo de raíz y biomasa [15].

En Quinchía-Risaralda, en el periodo 2012-2013, se hizo una evaluación del contenido de mercurio en suelos y lechos de quebradas en la zona minera de Miraflores. Para ello, se realizó un muestreo sistemático considerando montajes de minería activa, inactiva y áreas sin intervenir; también se hicieron observaciones en las partes altas, medias y bajas en lechos de quebradas naturales y drenajes formados artificialmente por el desvío de cauces. El promedio de los valores de Hg (7,1 mg/kg) fueron más altos en aquellos lugares contiguos a los montajes y al aumentar la precipitación. Los valores de Hg encontrados exceden los niveles permisibles establecidos por países europeos. La degradación de suelos se presenta asociada con la contaminación y los residuos de roca dispuestos, hasta el punto de formar zonas baldías totalmente degradadas [16].

En Buenos Aires-Cauca, en el año 2007, la Corporación Autónoma Regional del Cauca (CRC), dentro de sus funciones de fiscalización, monitoreo y seguimiento ambiental, a través del equipo consultor intervino la zona y realizó actividades de campo y laboratorio para depósitos auríferos, plantas de beneficio y explotaciones mineras, para evitar a futuro el incremento de la contaminación generada por actividades mineras (extracción de oro) en la zona, donde se determinó que todas las plantas de la región aumentaron la concentración de metales pesados, entre ellos el mercurio, realizando un estudio de las especies químicas de la zona que se puede presentar en su mayoría en forma de sulfuro llamado cinabrio (HgS) que registra medidas aproximadas de 100 a 130ppb y en las colas de los molinos de pisones se encuentran entre 300ppb excediendo los límites permisibles en las fuentes hídricas de acuerdo a la normatividad vigente (Decreto 1594 de 1984) siendo de 2ppb [17].

En Suarez- Cauca, en el año 2017, la Corporación Universitaria Autónoma Del Cauca, a través del semillero SIMIR (semillero de Investigación de Minería Responsable) se realizaron diversos proyectos de investigación, se resalta como temas principales la minería y el uso de mercurio; entre los cuales destaca un proyecto denominado “Determinación De Los Niveles De Mercurio Presente En El Agua De Dos Quebradas, Receptoras De Vertimientos Mineros Que Descargan Aguas Al Embalse La Salvajina, Municipio De Suarez, Cauca”. tuvo como finalidad determinar los niveles de mercurio en las quebradas Turbina y Tamboral, receptoras de efluentes provenientes de la actividad minera de oro, en el Municipio de Suarez Cauca en la determinación de mercurio en aguas se obtuvo unos niveles de <0,0008 mg Hg/L para los muestreos 1 y 2 en las quebradas Turbina y Tamboral, para el último muestreo se registró un valor de 0,003mg Hg/L en ambas quebradas; mientras que para los sedimentos se obtuvo la máxima concentración de 12,15 mg Hg/Kg en la quebrada Turbina y 2,41 mg Hg/Kg en la quebrada Tamboral, lo que indica, que el mercurio presenta más afinidad de fijarse en la

materia orgánica que está fija en el suelo, donde el metal se adhiere al material particulado o en suspensión, así mismo, para los sólidos suspendidos en un punto de muestreo para la quebrada Tamboral sobrepasa el límite permisible con 60 y 764 mg/L. No obstante la variación de los parámetros fisicoquímicos analizados es poco significativa para los efluentes, debido a la influencia de las quebradas, por ser caudalosas y actuar como autodepuradoras [18].

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 La minería del oro artesanal y en pequeña escala. La minería del oro artesanal y en pequeña escala como la extracción de minerales, más comúnmente el oro, que realizan los mineros que trabajan en explotaciones pequeñas o medianas, usando técnicas rudimentarias. Se suele emplear prácticas sencillas, con inversiones económicas pequeñas. El mercurio se usa a menudo para separar el metal del mineral, y generalmente lo manejan personas cuya conciencia de los riesgos que implica, capacitación para minimizar esos riesgos y disponibilidad de equipo de seguridad son mínimas o nulas.

En este tipo de actividad utilizan grandes cantidades de mercurio para procesar el mineral, a menudo en condiciones de gran inseguridad y peligrosas para el medio ambiente. Además, el uso de mercurio es generalmente el método dominante y preferido de extracción de oro en este sector, ya que se considera bastante fácil de utilizar y a un bajo costo [2].

2.2.2 Mercurio (Hg). El mercurio es el único elemento metálico líquido a temperatura ambiente. Posee brillo parecido a la plata y a 25 °C tiene una densidad de 13.456 g/ml. A 20 °C la presión de vapor es de 0,00212 mm Hg, de tal forma que un recipiente abierto con mercurio metálico y expuesto en un ambiente cerrado, desprende vapor suficiente para saturar la atmósfera y exceder el límite máximo seguro de exposición ocupacional [19].

En la naturaleza el mercurio puede encontrarse en dos estados distintos:

a) El mercurio inorgánico (metálico o elemental Hg⁰): Compuestos derivados del mercurio monovalente o ion mercurioso (Hg-Hg)²⁺ y del mercurio divalente o ion mercúrico (Hg²⁺)

b) El mercurio orgánico (mercurio unido de forma covalente a los átomos de carbono): Los compuestos mercúricos son mucho más comunes que los compuestos mercuriosos. La mayor cantidad de Hg presente en el ambiente

(exceptuando la atmósfera) se encuentra en forma de sales mercúricas inorgánicas y compuestos organomercúricos; mientras que el Hg elemental en forma de vapor prevalece en la atmósfera [20].

2.2.2.1 Mercurio en el medio acuático. Los lugares con altas concentraciones comprobadas de mercurio (zonas mineras críticas), son fuentes importantes de dispersión del mercurio en los sistemas acuáticos y contribuyen a la contaminación por metilmercurio que es mucho más tóxico que el mercurio elemental y las sales inorgánicas. La contaminación alcanza los peces, la fauna y flora silvestres, con los efectos consiguientes en la vida de miles de personas, tanto de las que participan directamente en las actividades mineras como de las que viven en las cercanías [19].

El metilmercurio en los ecosistemas es originado principalmente a partir de la metilación del mercurio inorgánico por bacterias aerobias y anaerobias. En general, todas las formas de mercurio que entran en los sistemas acuáticos pueden convertirse en metilmercurio, el cual puede ser directamente bioacumulado por organismos acuáticos y biomagnificado a través de la cadena alimenticia. Alrededor del 90 % de todo el metilmercurio presente en los alimentos es absorbido a través del sistema digestivo, tanto en el hombre como en los animales [19].

2.2.2.2 Mercurio en el suelo. Otra especie de mercurio presente en proporciones muy pequeñas en suelos, pero de gran importancia, debido a su toxicidad y capacidad para la bioacumulación, es el metilmercurio. Su formación viene dada principalmente por varios procesos microbianos que actúan sobre compuestos de Hg (II); la proporción media respecto al total de mercurio presente en suelos y sedimentos suele ser inferior al 1%. Como es el caso de las especies de Hg (II), el metilmercurio presenta una gran afinidad por la materia orgánica, hecho que limita su movilidad en el medio ambiente [20].

2.2.3 Parámetros fisicoquímicos. La calidad de diferentes tipos de agua se ha valorado a partir de variables físicas, químicas y biológicas, evaluadas individualmente o en forma grupal. La ventaja de los métodos fisicoquímicos se basa en que sus análisis suelen ser más rápidos y pueden ser monitoreados con mayor frecuencia de acuerdo al tiempo determinado [21].

Con objeto de conocer el tipo y grado de alteración que ha sufrido, y consecuentemente como se encuentran modificadas sus propiedades para usos posteriores. Debido a que la alteración de la calidad del agua puede generarse por efectos naturales como por la actuación humana derivada de la actividad industrial, agropecuaria, doméstica o de cualquier otra índole.

2.2.3.1 pH. El término pH es una forma de expresar la concentración de ion hidrógeno o, más exacto, la actividad del ion hidrógeno. En general se usa para expresar la intensidad de la condición ácida o alcalina de una solución, sin que esto quiera decir que mida la acidez total o la alcalinidad total. El método es aplicable para diferentes tipos de agua como: superficiales, subterráneas, salinas, aguas residuales y residuales industriales.

El instrumento de medida del pH está constituido por un potenciómetro, un electrodo de vidrio, un electrodo de referencia y un mecanismo compensador de temperatura; cuando se sumergen los electrodos en la solución problema se completa el circuito [22].

2.2.3.2 Conductividad. La conductividad eléctrica, se define como la capacidad que tienen las sales inorgánicas en soluciones acuosas (electrolitos) para conducir la corriente eléctrica. Los iones cargados positivamente y negativamente son los que conducen la corriente eléctrica. Esta propiedad depende tanto de la presencia de estos iones como de su concentración, movilidad, valencia y temperatura de la medición.

En la mayoría de las soluciones acuosas, entre mayor sea la cantidad de sales disueltas, mayor será la conductividad; este efecto continúa hasta que la solución este tan saturada de iones, que se restringe la libertad de movimiento y la conductividad puede disminuir en lugar de aumentar dándose casos de dos diferentes concentraciones con la misma conductividad

La conductividad es el inverso de la resistencia específica, y se expresa en micromho por centímetro ($\mu\text{mho/cm}$) o milisiemens por metro (mS/m) en el sistema internacional de unidades. El intervalo de aplicación del método es de 10 a 10.000 (o hasta 50.000) ($\mu\text{mho/cm}$); las conductividades fuera de estos valores son difíciles de medir con los componentes electrónicos y celdas convencionales, este se mide con conductímetro [23].

2.2.3.3 Demanda Química De Oxígeno (DQO). La demanda química de oxígeno es definida como la cantidad específica de oxidante que reacción con una muestra bajo condiciones controladas. La cantidad de oxígeno consumido es expresada en términos de oxígeno equivalente.

La demanda química de oxígeno (DQO) es ampliamente usada como una forma de determinar la concentración de la materia orgánica en los residuos domésticos e industriales. Esta prueba permite determinar la cantidad de oxígeno que se requiere para la oxidación de la materia orgánica a dióxido de carbono y agua. Se

utiliza para medir el grado de contaminación y se expresa en miligramos de oxígeno diatómico por litro (mgO_2/L). Puede sufrir interferencias por la presencia de sustancias inorgánicas susceptibles de ser oxidadas tales como amonio, nitritos, sulfitos, entre otros; que también se reflejan en la medida. Por ello sus valores son más altos que la demanda bioquímica de oxígeno DBO_5 [24].

2.2.3.4 Sólidos Suspendidos Totales (SST). Los sólidos suspendidos totales o el residuo no filtrable de una muestra de agua natural, residual, industrial o doméstica, se definen como la porción de sólidos retenidos por un filtro de fibra de vidrio que posteriormente se seca a $103\text{-}105^\circ\text{C}$ hasta peso constante. El aumento de peso del filtro representa los sólidos totales en suspensión [25].

Estos consisten de partículas de material orgánico e inorgánico (arcillas) causantes de la turbidez. Una cantidad excesiva de sólidos suspendidos puede ser peligrosa para los peces y para otras formas de vida acuática por obstrucción de los órganos respiratorios de los peces (branquias) y reducción de la intensidad de la radiación luminosa y modificación de las cadenas alimentarias. Estos depósitos de sólidos se pueden sedimentar de tal manera que destruya la flora del fondo y los lugares de desove este se expresa en mg/L [25].

2.2.3.5 Alcalinidad. Capacidad del agua para neutralizar ácidos o aceptar protones; evita que los niveles de pH del agua lleguen a ser demasiado básico o ácido. Representa la suma de las bases que pueden ser tituladas en una muestra de agua. Dado que la alcalinidad de aguas superficiales está determinada generalmente por el contenido de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos, ésta se toma como un indicador de dichas especies iónicas. La alcalinidad estabiliza el agua en los niveles del pH alrededor de 7. Sin embargo, cuando la acidez es alta en el agua la alcalinidad disminuye, puede causar condiciones dañinas para la vida acuática.

Algunas sales de ácidos débiles como boratos, silicatos, nitratos y fosfatos pueden también contribuir a la alcalinidad de estar también presentes. Estos iones negativos en solución están comúnmente asociados o pareados con iones positivos de calcio, magnesio, potasio, sodio y otros cationes. El bicarbonato constituye la forma química de mayor contribución a la alcalinidad. Dicha especie iónica y el hidróxido son particularmente importantes cuando hay gran actividad fotosintética de algas o cuando hay descargas industriales en un cuerpo de agua se expresa en (mgCaCO_3/L) [26].

2.2.4 Afectación ambiental en el Municipio de Suarez por actividad minera. La actividad minera de oro y carbón en pequeña y mediana explotación es una

actividad relevante especialmente en el municipio de Suárez en donde se registra un impacto severo sobre los recursos naturales, paisaje y vegetación, siendo su mayor impacto la contaminación. La minería aluvial que se aplica en la extracción de oro y gravas, tanto manual como mecanizada, provoca contaminación y variación de cauces, sedimentación, erosión lateral, deforestación y extinción de fauna. Existen grandes deficiencias frente al manejo adecuado de los residuos líquidos municipales, agroindustriales y la escorrentía superficial urbana. Esta situación es una de las principales causas de diferentes problemas tales como las afecciones sobre la salud humana, la contaminación de las corrientes superficiales, pérdida de diversidad citica y limnológica, mayores costos en la potabilización y deterioro del paisaje [3].

2.2.5 El uso del mercurio en la minería del oro artesanal y en pequeña escala.

En la minería del oro artesanal y en pequeña escala se utilizan normalmente grandes cantidades de mercurio para procesar el mineral, a menudo en condiciones de gran inseguridad y peligrosas para el medio ambiente. Diferentes estudios que han realizado en el país distintas entidades tanto del sector gubernamental como privadas, indican que el uso de mercurio varía ampliamente de acuerdo no solo con las tecnologías y técnicas de explotación y de beneficio de oro empleada, sino también con la tradición del minero y la región donde se lleva a cabo esta actividad minera, dado que ha sido legada de generación en generación.

También influye en la cantidad necesaria de este metal la composición mineralógica del material, por ejemplo su contenido de sulfuros o de cuarzo o el mismo contenido de otros elementos metálicos aparte del oro. Así, se encuentra que en el proceso de amalgamación de minería de filón se llegan a usar entre 15 a 35 g Hg/g de oro recuperado cuando se utilizan canalones, de 7 a 10 g Hg/g de oro recuperado con placas amalgamadoras y entre 25 y 30 g Hg/g de oro recuperado con molinos de cocos [27].

Además, el uso de mercurio es generalmente el método dominante y preferido de extracción de oro en este sector, ya que se considera bastante fácil de utilizar y no es costoso. En general, en las operaciones de minería del oro en gran escala se ha ido eliminando gradualmente el uso del mercurio, sustituyéndolo por otras tecnologías. Como los métodos de separación o concentración por gravedad (por ejemplo, las cajas concentradoras alfombradas por dentro, los métodos magnéticos y las centrífugas) tienen grandes posibilidades de reducir el uso del mercurio y, en algunas situaciones concretas, de eliminarlo. En aproximadamente el 10% de los casos actuales de minería del oro artesanal y en pequeña escala [2].

2.2.6 Afectación al medioambiente por el uso de mercurio en la minería del oro artesanal y en pequeña escala. Los lugares con altas concentraciones comprobadas de metal de mercurio, normalmente ubicados en cursos de agua o cerca de éstos, se denominan “zonas mineras críticas”. Las dimensiones de las zonas críticas pueden ser de unos pocos metros cuadrados hasta de cientos de metros cuadrados. Son fuentes importantes de dispersión del mercurio en los sistemas acuáticos, que contribuyen a la contaminación por metilmercurio de los peces y la fauna y flora silvestres, con los efectos consiguientes en la vida de miles de personas, tanto de las que participan directamente en las actividades mineras como de las que viven en las cercanías. Generalmente, los relaves que contienen mercurio se vierten en masas de agua o cerca de ellas y, en consecuencia, el suelo, los ríos, arroyos, estanques y lagos quedan contaminados por largos períodos de tiempo.

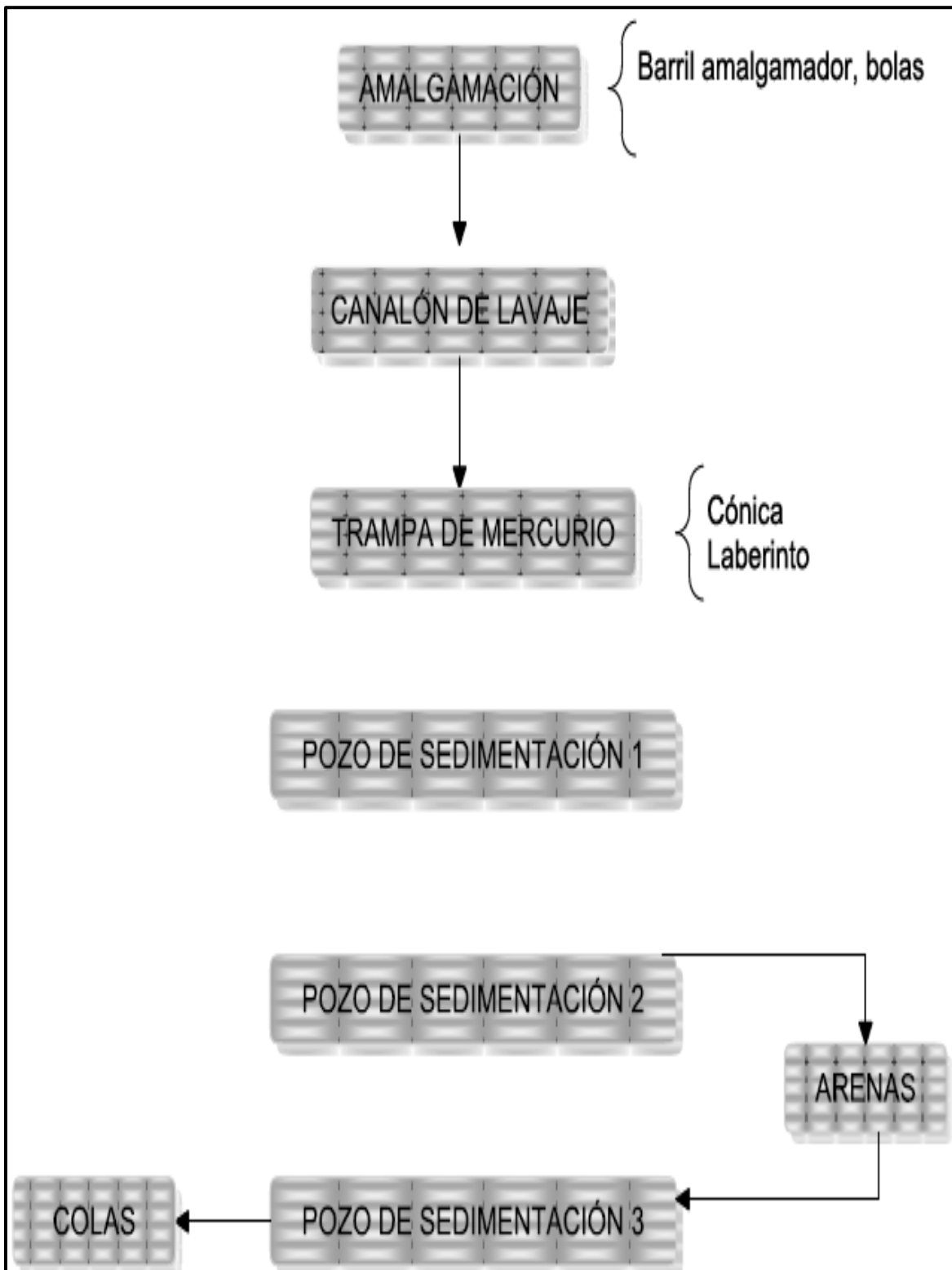
Hay miles de lugares contaminados que seguirán estando afectados durante décadas, y sus efectos van más allá del ámbito local, creando graves peligros de salud ambiental a largo plazo para las poblaciones que viven aguas abajo de las regiones mineras. Un peligro especial puede derivarse de la desintegración de los diques de relave causada por inundaciones o fenómenos meteorológicos extremas. Como consecuencia de ello, una gran cantidad de sedimentos cargados de mercurio son arrastrados aguas abajo. Un peligro conexo surge del uso combinado de mercurio con cianuración – esta es una combinación muy peligrosa, ya que promueve la metilación del mercurio [2].

2.3 BENEFICIO DEL ORO EN MINERÍA DE FILÓN

El mineral proveniente de las explotaciones que realiza en yacimientos primarios de veta o filón, llega a la planta de beneficio con un rango granulométrico muy heterogéneo; este mineral se apila en patios de recibo de carga o en tolvas de almacenamiento antes de iniciar el proceso de beneficio, que consta de varias etapas u operaciones, dependiendo si se utilizan circuitos abiertos o circuitos semicerrados [1].

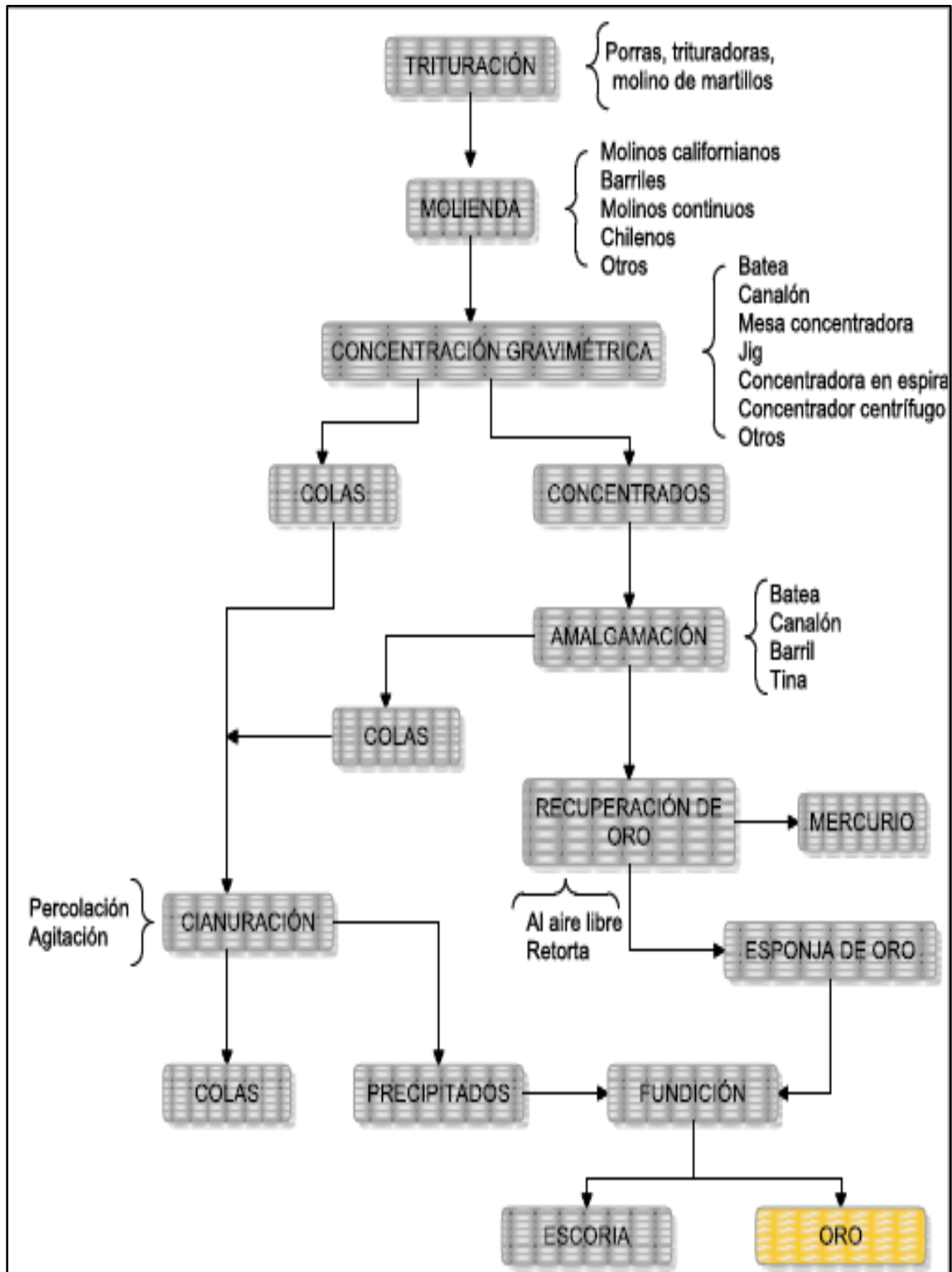
En las Figuras 1 y 2 se indican de manera esquemática el beneficio de mineral de filón en circuitos abiertos y semicerrados, respectivamente.

Figura 1. Esquema básico del beneficio de oro de filón en circuito abierto



Fuente: Programa de las naciones unidas para el medio ambiente – PNUMA.

Figura 2. Esquema básico del beneficio de oro de filón en circuito semicerrado



Fuente: Programa de las naciones unidas para el medio ambiente – PNUMA.

2.4 ZONA DE LOCALIZACION DEL PROYECTO

El Municipio de Suarez se encuentra ubicado al Noroccidente del Departamento del Cauca, entre las coordenadas IGAC 1'026.000 E, 802.000 N a 1'048.000 E, 832.000 N. Limita al norte y oriente con el municipio de Buenos Aires, al Suroriente y al Sur con el Municipio de Morales y al Occidente con López de Micay, con una extensión de 389,87 Km², de los cuales 3,57 Km² corresponde a la parte urbana. Con una altura sobre el nivel del mar de 1.050 m, temperatura media 27°C, tal como se observa en el mapa 1.

Cuenta con ríos importantes como el Cauca, Ovejas, Marilopito, Damián, Inguitó, Asnazú y Marilópez, con las Quebradas El Chupadero, La Chorrera, Los Pasos, Los Morados, La Laja, El Danubio y San Miguel. Un embalse artificial en la Hidroeléctrica de SALVAJINA, llamada Presa Ciro Molina Garcés [28].

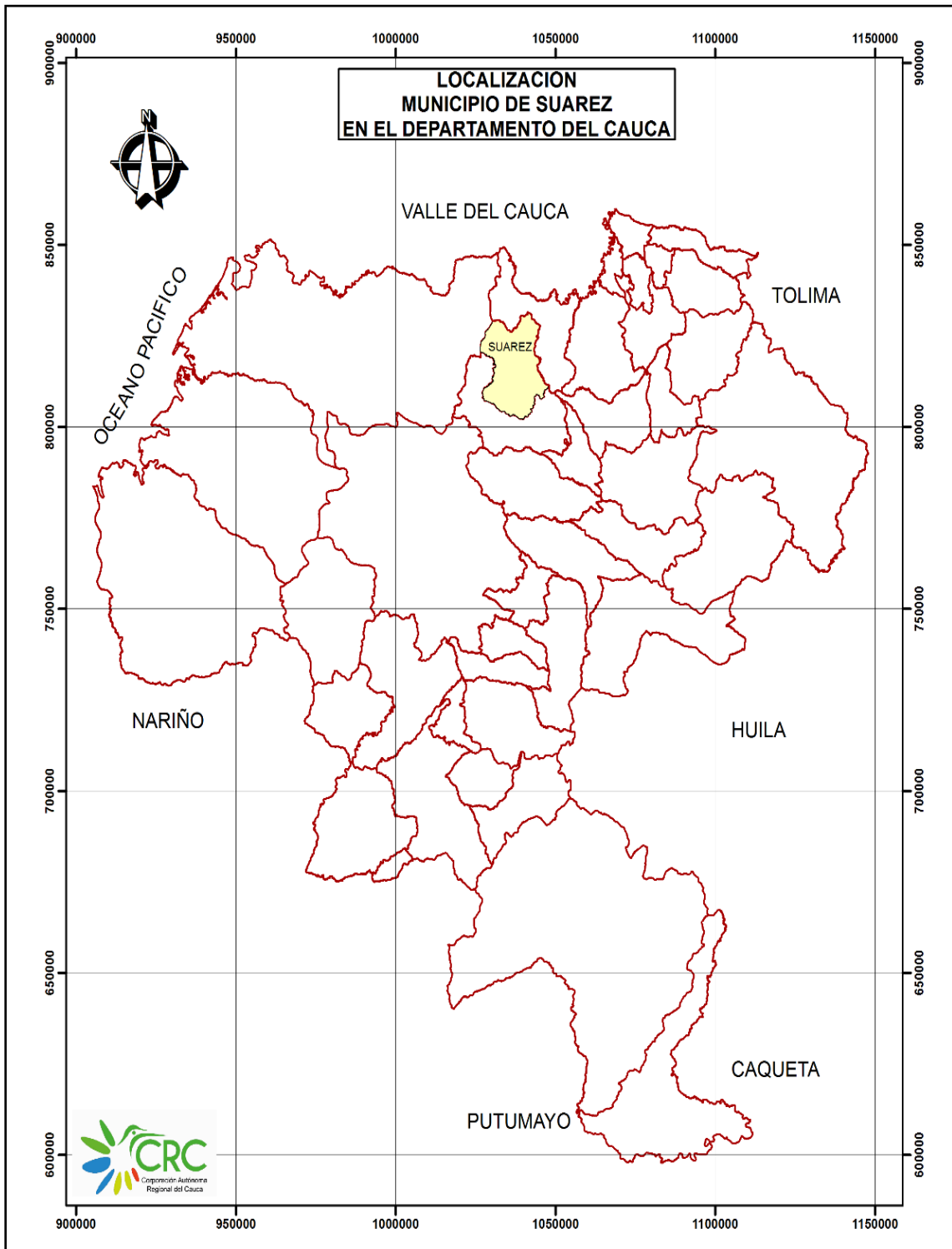
En su orografía se destacan los altos de Sardinas, Altamira, San Pablo, Las Tijeras, Delucha, Las Auroras y los Micos, Cerros como Alemania, Damián, El Jigal, Birimbí, La angarilla, El Alcalde, y Piedra Escrita, Lomas como Canoa, Redonda, El Mangón, Palma Rusia, Peñas blanca, Bellavista, Come dulce, Salvajina, La Toma, Cabuyal, La Estrella, La Alejandría, Los Motilones, Las Canoas, Loma de San Pablo, La Sierra, El Paso, El Pijol, Lomalta y Pechuga, La Alemania. Con alturas que van desde los 1000 m.s.n.m. hasta los 2500 m.s.n.m. Políticamente está dividido en los corregimientos de Mindalá, La Toma, Asnazú, Betulia, Agua Clara, Robles, Bella Vista y La Meseta [9]. La tabla 1 muestra la extensión tanto rural como urbana con que cuenta el Municipio de Suarez Cauca.

Tabla 1. Extensión del Municipio de Suarez

| Municipio | Extensión urbana | | Extensión rural | | Extensión total | |
|---------------|------------------|------------|-----------------|------------|-----------------|------------|
| | Extensión | Porcentaje | Extensión | Porcentaje | Extensión | Porcentaje |
| Suarez | 3,57 | 0,91% | 386,30 | 99,09% | 389,87 | 100% |

Fuente: Departamento Nacional de Planeación. [2015]

Mapa 1. Ubicación de Suarez en el Departamento del Cauca



Fuente: CRC. 2017 [33].

2.5 BASES LEGALES

A continuación se describen las normas que se tuvieron en cuenta para la elaboración del proyecto en el monitoreo para determinar la presencia de mercurio en efluentes, las cuales corresponden al marco normativo del área minera y área ambiental.

Marco normativo área minera

- **DECRETO 2811 DE 1974:** Código de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. En su capítulo II define la regulación en cuanto a la prevención y control de contaminación del recurso hídrico, desarrolla ampliamente lo referente a los vertimientos de agua residual, estudios de impacto ambiental y procesos sancionatorios en sus artículos. Art: 135, 147.
- **LEY 1658 DEL 15 DE JULIO DE 2013:** Por medio de la cual se establecen las disposiciones para la comercialización y el uso de mercurio en diferentes actividades industriales del país, se fijan requisitos e incentivos para su reducción y eliminación y se dictan otras dispersiones. ART.1, 3, 6, 7.
- **LEY 685 DEL 2001:** Código de Minas.
- **RESOLUCIÓN 333 DEL 2008:** Mediante Resolución 424 del 13 de noviembre de 2007 se declaró un Área de Reserva Especial, en jurisdicción de los municipios de Suárez y Buenos Aires, en el departamento del Cauca, de conformidad con el artículo 31 de la Ley 685 de 2001 que dispone: **"Reservas Especiales.** El Gobierno Nacional por motivos de orden social o económico determinados en cada caso, de oficio o por solicitud expresa de la comunidad minera.

Marco normativo área ambiental

- **RESOLUCIÓN 0631 DEL 17 DE MAYO DE 2015:** El cual establece en su artículo 100 los parámetros fisicoquímicos a monitorear y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales no domésticas–ArnD a cuerpos de aguas superficiales de actividades de la minería.
- **DECRETO 3930 DEL 25 DE OCTUBRE DE 2010:** Caracterización de los vertimientos de acuerdo con la frecuencia que se determine en el protocolo para el Monitoreo de los vertimientos en aguas superficiales en los cuales se

regular todo el tema de los métodos de análisis y de la toma de muestra.

- **RESOLUCIÓN 3930 DE 2010:** Por la cual se reglamenta parcialmente el título I de la ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II del título VI- parte III- libro II del decreto – ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones esta resolución tiene por objeto las disposiciones relacionadas con los recursos hídrico, el Ordenamiento del Recurso Hídrico y los vertimientos al recurso hídrico, al suelo y a los alcantarillados.
- **RESOLUCIÓN 2086 DE 2010:** Por la cual se adopta la metodología para la tasación de multas consagradas en el numeral 1o del artículo 40 de la Ley 1333 del 21 de julio de 2009 y se toman otras determinaciones. Artículo 7o. Grado de afectación ambiental.

CAPITULO III: METODOLOGÍA

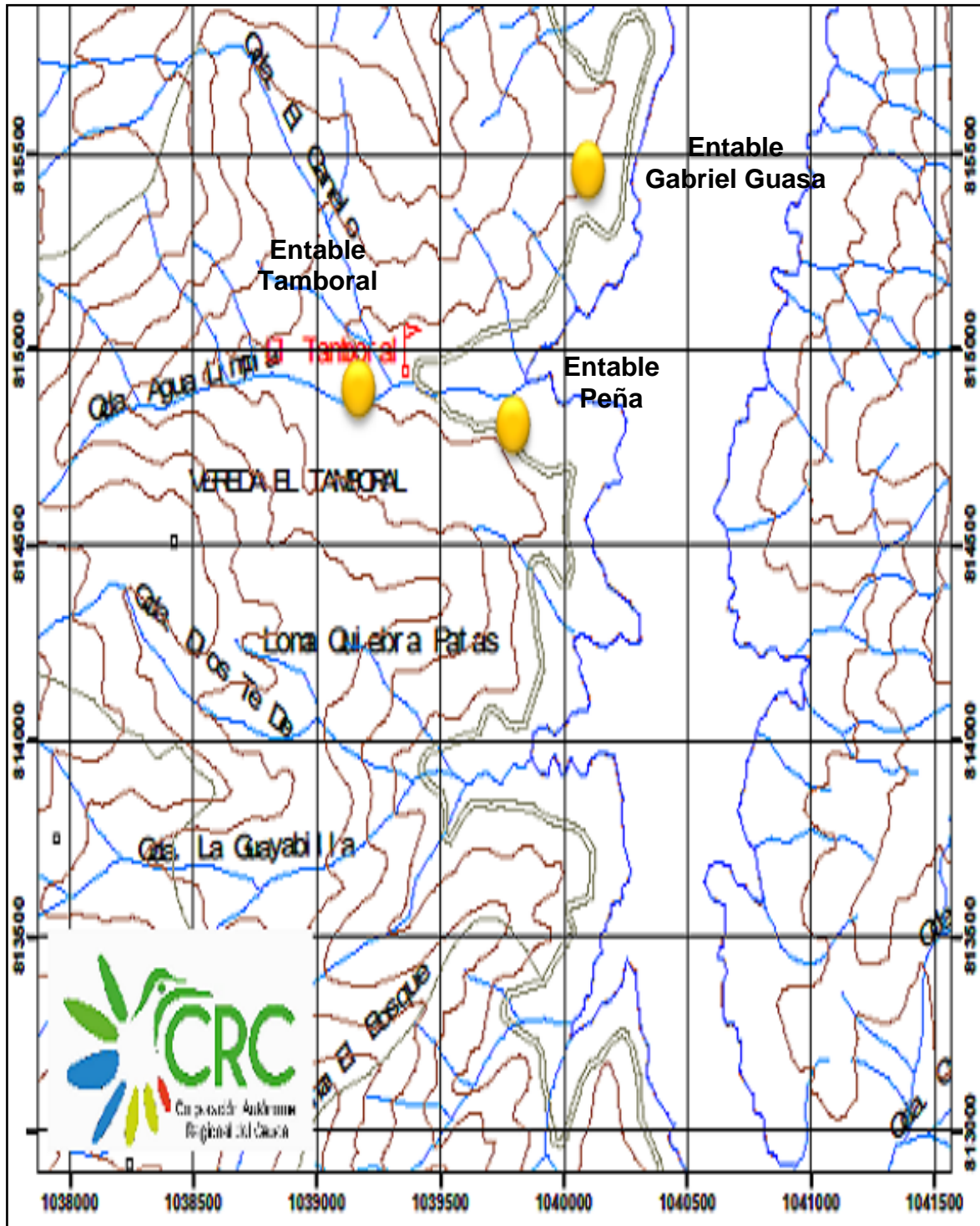
El monitoreo para determinar la presencia de mercurio en los efluentes es de gran importancia, debido a que ayuda a determinar el nivel de contaminación que se generen en ellos por los procesos realizados en los tres (03) entables del Municipio de Suarez Cauca, que realizan actividades mineras y por ende puede afectar las fuentes hídricas, ecosistema y la salud de la población en la zona de estudio.

3.1 RECONOCIMIENTO DEL LUGAR DE ESTUDIO

Se realizó un recorrido en la zona rural del Municipio de Suarez con la finalidad de identificar los entables que realizan el proceso de beneficio de oro y su extracción con mercurio, y así permitir la toma de muestras de agua y de sustrato; los entables se encuentran ubicados: Uno (01) en la vereda la Turbina, propietario el señor Gabriel Guasa y dos (02) en la vereda Tamboral, en el entable La Peña del señor Edilberto Tabordo y el otro entable nombrado Tamboral propietario Manuel Zapata ubicados al margen derecho del embalse la salvajina.

Los tres puntos seleccionados se tuvieron en cuenta de acuerdo a la ubicación de los entables, donde dos de ellos como el entable La Peña y Tamboral realizan su vertimiento directamente a los efluentes principales del área rural, y el otro se realiza por infiltración de suelo como es el entable del señor Gabriel Guasa, y de esta forma conocer la afectación y grado de contaminación por mercurio. Para realizar el posterior monitoreo se determinó en cada entable el vertimiento del proceso desde los tanques de sedimentación y por último hacia el efluente, la ubicación de los entables se muestra en el mapa 2.

Mapa 2. Ubicación de puntos de muestreo



Fuente: CRC, 2017 [33].

3.2 RECOLECCIÓN DE MUESTRAS

La recolección de muestras, se efectuó de acuerdo a las recomendaciones dadas por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales en conjunto con el Ministerio de Ambiente, y Desarrollo Sostenible de la República de Colombia, a través del instructivo para la toma de muestra de agua residual, donde se especifican el procedimiento, los requerimientos para conservación y almacenamiento de las mismas, las cuales son tenidas en cuenta por la Corporación Autónoma Regional del Cauca (CRC) [29][30]. Donde se especifica el procedimiento adecuado de acuerdo a los parámetros a tener en cuenta en la toma de muestras.

3.2.1 Toma de muestra de agua residual. Se realizaron tres monitoreos para la toma de muestras de agua residual la cual fue de forma puntual, en cada uno de los tres diferentes entables como el del señor Gabriel Guasa, La Peña y Tamboral, teniendo en cuenta instructivo de la CRC, para la toma de muestras y las técnicas de control de calidad del muestreo [29].

En los monitoreos se analizaron diferentes parámetros fisicoquímicos de interés para el estudio como se observa a continuación en la Tabla 2.

Tabla 2. Parámetros Fisicoquímicos

| Ítem | Parámetro | Método | Unidad |
|------|---------------|---|--------------------------|
| 1 | Mercurio | Absorción atómica con generador de hidruros | (mg/L) |
| 2 | DQO | Fotométrico | (mg/L) |
| 3 | SST | Gravimétrico | (mg/L) |
| 4 | pH | Potenciometrico | - |
| 5 | Conductividad | Electroquímico | (μ s/cm) |
| 7 | Alcalinidad | Titulométrico | (mgCaCO ₃ /L) |

Fuente: Elaboración propia

Las muestras se tomaron así: luego del primer monitoreo, el segundo se realizó con una frecuencia de una vez por cada dos meses, debido a condiciones internas de la Corporación y el tercer monitoreo por cada mes. Estas se analizaron en el laboratorio de la CRC, el cual se encuentra certificado por el IDEAM para análisis por la Resolución 2199 del 2016.

3.2.1.1 Proceso en la toma de muestra de agua residual para el entable del señor Gabriel Guasa. El entable es de menor tamaño, por lo cual se tomó una sola muestra de agua residual de los tanques de sedimentación, como se observa

en la figura 3.

Figura 3. Colector de sedimentación de lodos



Fuente: Elaboración propia

3.2.1.2. Proceso en la toma de muestra de agua residual para el entable la peña. Es el entable de mayor tamaño y está en gran parte del tiempo en funcionamiento; se tomaron dos muestras, la inicial en los tanques de sedimentación como se observa en la figura 4, y la final en donde termina el vertimiento que es el efluente Tamboral como se observa en la figura

Figura 4. Tanques de sedimentación



Figura 5. Efluente Tamboral



Fuente: Elaboración propia

3.2.1.3 Proceso en la toma de muestra de agua residual para el entable Tamboral. Igualmente que el entable la peña este es de gran tamaño solo que su funcionamiento no es muy constante, en él se tomaron dos muestras, la inicial en

los tanques de sedimentación como se observa en la figura 6, y la final en donde termina el vertimiento que es el efluente Canelo como se observa en la figura 7.

Figura 6. Tanques de sedimentación



Figura 7. Efluente Canelo



Fuente: Elaboración propia

3.2.2 Toma de muestra de sustrato o sedimento. De igual forma La toma de muestras de sustrato se realizaron de acuerdo al instructivo de la CRC, para la toma de muestras y las técnicas de control de calidad del muestreo. Estas se recolectaron teniendo en cuenta la ubicación y estructura de los entables descritos a continuación:

- Entable Gabriel Guasa: Se tomó una sola muestra de sedimento que fue del colector de agua y lodos que pertenecía al vertimiento final del entable como se observa en la figura 8. Debido a que este no realizaba su vertimiento hacia un efluente sino que se realizaba por infiltración al suelo.
- Entable Tamboral y la Peña: Se tomaron dos muestras, la inicial en los tanques de sedimentación de agua y lodos, la final después del vertimiento final hacia los efluentes de cada entable como se observa en la figura 9.

Figura 8. Colector de agua



Figura 9. Margen del efluente



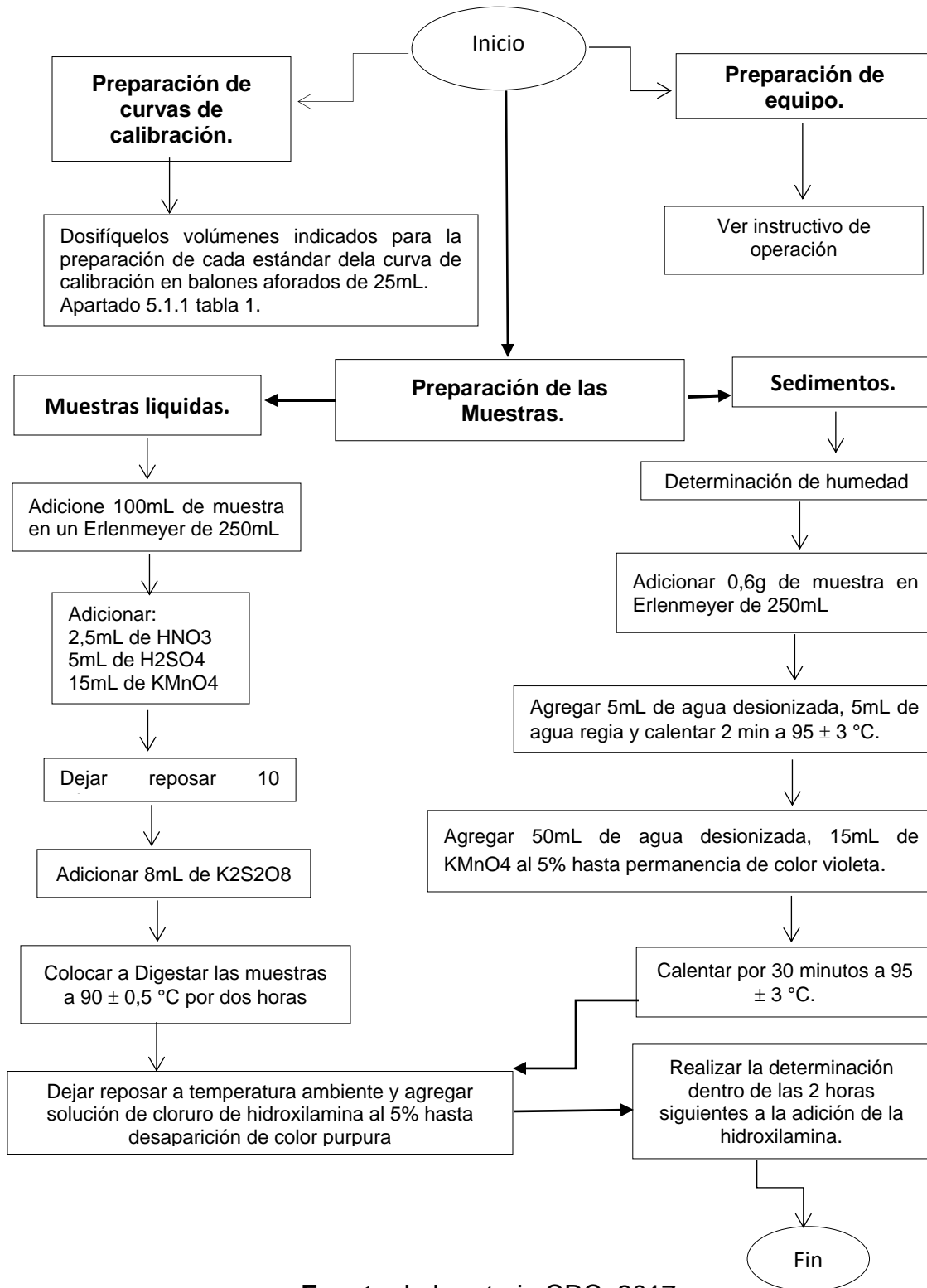
Fuente: Elaboración propia

3.3 ANÁLISIS DE LABORATORIO DE MERCURIO

El análisis de presencia de Mercurio en las muestras recolectadas se realizó en el Laboratorio Ambiental del Vivero La Florida de la Corporación Autónoma Regional del Cauca – CRC por parte del personal encargado, por lo que sólo se realizó acompañamiento para su observación, más no directamente el análisis. Para ello, se tuvo en cuenta los equipos, reactivos y materiales necesarios como se muestra en el anexo 2.

A continuación en la figura 10, se observa el procedimiento que se tienen en cuenta para el análisis de Mercurio (Hg) en aguas y sedimentos, que se realizó de acuerdo al método del Mercurio SM 3112, usando una curva de calibración de 1 a 10ppb de mercurio.

Figura 10. Diagrama de flujo análisis de Mercurio (Hg) en aguas y sedimento



Fuente: Laboratorio CRC, 2017

Para el funcionamiento del espectrofotómetro de absorción atómica (Thermo ScientificiCE 3000) el cual se observa en la figura 11, su lectura de muestras se realiza con el protocolo establecido por el laboratorio Ambiental de la Corporación Autónoma Regional del Cauca (CRC). Su procedimiento se observa en el anexo 3 y 4.

Figura 11. Espectrofotómetro de absorción atómica con Generador de Hidruros



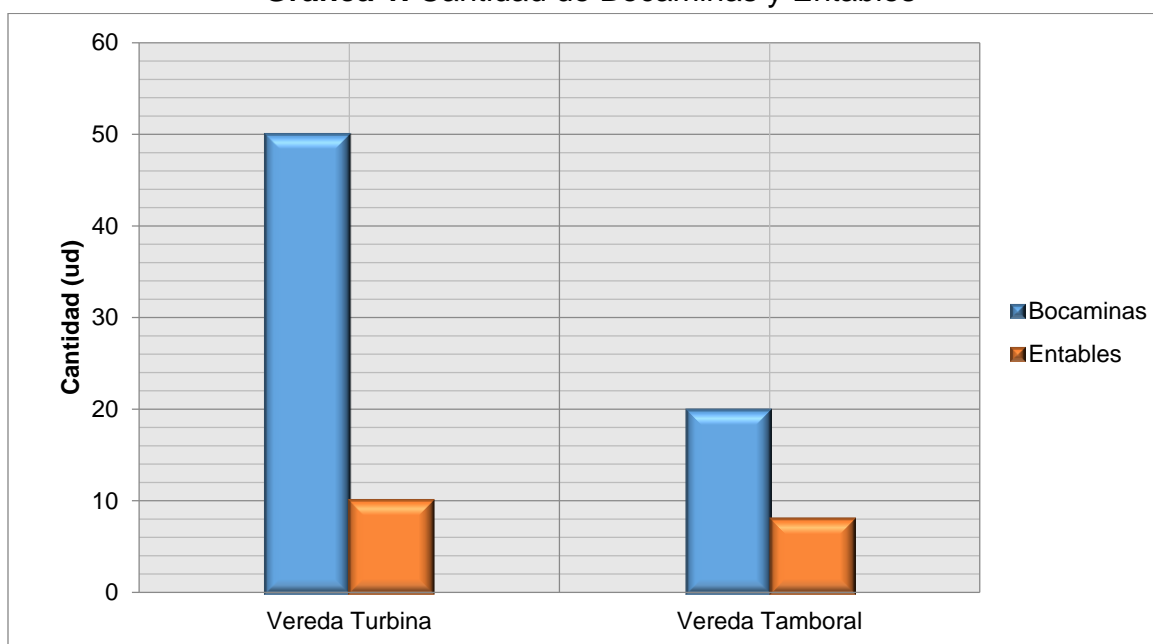
Fuente: Elaboración propia

CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 ANÁLISIS DE LAS MINAS

Se realizó un diagnóstico en cada vereda y se determinó la cantidad de bocaminas (lugar donde se realiza minería subterránea de filón, tal como se muestra en la Figura. 19) y entables (lugar donde se realiza proceso del beneficio de oro como se observa en la figura 20): La cantidad se muestra en la gráfica 1:

Gráfica 1. Cantidad de Bocaminas y Entables



Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la anterior gráfica, en la vereda la Turbina hay un mayor número de bocaminas y entables que en la vereda Tamboral, un aspecto relevante en que se observó en la vereda Tamboral es que posee entables de gran tamaño, los cuales están constantemente en funcionamiento debido a que están configurados para realizar el beneficio del material extraído de otras bocaminas que no poseen entables, cobrando por el tiempo y la cantidad de material molido.

Figura 12. Bocamina la Fortaleza



Figura 13. Entable la Peña



Fuente: Elaboración propia

De acuerdo al reconocimiento de campo se seleccionaron 3 entables, en su selección se tuvo en cuenta la ubicación que tienen con los efluentes principales de las veredas su tamaño y el constante funcionamiento en el proceso del beneficio de oro, estos se determinaron de esta forma: Dos en la vereda Tamboral que son de servicio público, y el otro en la vereda Turbina de pequeño tamaño, donde sólo su propietario realiza el proceso para el beneficio de oro.

En los entables se observa que el proceso de beneficio de oro realizado es común, su diferencia se basa en la disposición de lodos que maneja cada entable y se desarrolla de la siguiente forma:

4.1.1 Proceso en el beneficio de oro

4.1.1.1 Trituración. La trituración del material se realiza de manera manual con la ayuda de una barra se consigue transformar el material en uno de menor tamaño como se observa en la figura 14.

4.1.1.2 Molienda. Se introduce el material a barriles se le adiciona bolas de acero, agua, mercurio, limón y material mineralizado se cierra y se deja actuar por tres horas hasta conseguir que la roca se convierta en lodo como se observa en la figura 15.

Figura 14. Trituradora de quijada



Figura 15. Lugar de molienda



Fuente: Elaboración propia

4.1.1.3 Amalgación. El material mineralizado es sacado de los barriles llevados a un tanque, posteriormente la solución rica es llevada a una licuadora y mediante agitación de la misma se precipita el oro amalgamado formando una retorta como se observa en la figura 16.

4.1.1.4 Canales. El canal es el encargado de conducir el agua residual junto con los lodos y residuos de material mineralizado que se puede recuperar durante el recorrido de las colas como se observa en la figura 17.

Figura 16. Barril de molienda



Figura 17. Canales



Fuente: Elaboración propia.

4.1.1.5 Colectores en concreto. Construido en paredes de concreto, de diferentes tamaños y profundidad, lugar donde se deposita el vertimiento de las aguas residuales con los lodos sedimentados después del proceso como se observa en la figura 18.

Figura 18. Colectores de agua y sedimento



Fuente: Elaboración propia.

4.1.2 Disposición final de los lodos. Los lodos generados en los entables son dispuestos de diferente forma en cada uno de los entables, así:

4.1.2.1 Entable Gabriel Guasa. Se observa que cada entable maneja distinta forma la disposición de lodos, en el entable del señor Gabriel Guasa no cuenta con ninguna alternativa o forma de aprovechamiento de estos sino como un lecho de secado como lo indica la figura 19. Generando un gran impacto al ambiente, y sobre todo al recurso hídrico debido a que estos finalizan en el embalse de la Salvajina.

Figura 19. Lodos entables Gabriel Guasa



Fuente: Elaboración propia

4.1.2.2 Entable La Peña. Los lodos son retirados cada 20 días de los tanques de sedimentación como se observa en la figura 20, se realiza su venta debido a que ellos no cuenta con el lugar materiales y equipos para obtener beneficio de estos, aunque se observa que para su transporte hay un lapso de tiempo largo para las

concentraciones de mercurio utilizadas en el entable para el beneficio de oro, generando afectaciones al suelo y al recurso hídrico debido a que estos sedimentos son transportados por escorrentía superficial hasta el efluente cercano como es el Tamboral.

Figura 20. Lodos Entable La Peña



Fuente: Elaboración propia

4.1.2.3 Entable Tamboral. Los lodos en el entable son retirados cada 15 días de los tanques de sedimentación, con una motobomba y transportados a la planta de flotación como se observa en la figura 21. La flotación está compuesta de un compartimiento metálico, formando un hélice agitador y que al girar produce un vacío ingresando el aire necesario para formar burbujas por el mineral de oro y reactivos químicos especiales para flotar el oro, su estructura se observa a continuación en la figura 22.

Figura 21. Motobomba extracción



Figura 22. Planta de flotación



Fuente: Elaboración propia

Después de realizar la flotación, los lodos son vertidos a tanques como se observa en la figura 23. Donde luego son transportados en volquetas a higerillas, lugar que se realiza el proceso de cianuración.

Figura 23. Tanques de sedimentación de lodos



Fuente: Elaboración propia

4.2 PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS

El diagnóstico fisicoquímico en la columna de agua es el de mayor interés en cada monitoreo, debido a que indica los parámetros relevantes tomados, como se muestran en la tabla 3, el entable ubicado en la vereda la Turbina solo se realizaron en el tanque de sedimentación debido a que el vertimiento final de estas aguas, fueron dirigidas a través de una tubería que se acoplaba a los entables encontrados alrededor, los entables como la Peña y Tamboral los monitoreos se realizaron en el vertimiento del tanque de sedimentación y vertimiento hacia cada efluente, de acuerdo a los resultados obtenidos se determina que los parámetros como pH, y DQO se encuentran dentro del límite permisible, estipulados en la Resolución 631 del 2015 en los vertimientos puntuales de agua residual en actividades mineras..

Tabla 3. Resultados de los parámetros analizados en los diferentes entables

| Parámetros | Ubicación | Entable Gabriel Guasa | | | Entable la Peña | | | Entable Tamboral | | | Límite permisible Resolución 631 del 2015/2115 del 2007 |
|-------------------------|-------------------------|-----------------------|--------------|----------------|-----------------|--------------|---------------|------------------|---------------|---------------|---|
| | | Monitoreo | | | | | | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | |
| pH | Tanque de sedimentación | 6,3 | 7,42 | 7,99 | 7,04 | 7,05 | 7,61 | 7,03 | 7,30 | 8,06 | 6,00 a 9,00 |
| | Efluente | - | - | - | 7,55 | 7,33 | 7,95 | 7,15 | 7,58 | 7,92 | |
| Conductividad (µs/cm) | Tanque de sedimentación | 778 | 438 | 545 | 469 | 275 | 437 | 222 | 252 | 119 | 1000 |
| | Efluente | - | - | - | 121 | 286 | 188 | 210 | 145 | 139 | |
| DQO (mg/L) | Tanque de sedimentación | 17,9 | <15 | <15 | 126 | 22.1 | <15 | 61.7 | <15 | <15 | 150 |
| | Efluente | - | - | - | <15 | <15 | <15 | 101 | <15 | <15 | |
| SST (mg/L) | Tanque de sedimentación | <u>223</u> | 24,04 | <u>1606</u> | <u>182</u> | <u>7545</u> | <u>1667</u> | <u>32,5</u> | <u>455</u> | <u>409</u> | 50 |
| | Efluente | - | - | - | 122 | <u>4290</u> | <u>573</u> | <u>492</u> | <u>273</u> | <u>1618</u> | |
| Alcalinidad (mgCaCO3/L) | Tanque de sedimentación | 89,1 | 35,7 | - | 60,3 | - | - | 77,9 | - | - | 2000 |
| | Efluente | - | - | - | 56,2 | - | - | 92,8 | - | - | |
| Mercurio (mg/L) | Tanque de sedimentación | <u>0,0197</u> | <u>0,004</u> | <u>0,00236</u> | <u>0,141</u> | <u>0,45</u> | <u>0,17</u> | <u>0,00323</u> | <u>0,0198</u> | <u>0,0125</u> | 0,002 |
| | Efluente | - | - | - | <u>0,0114</u> | <u>0,174</u> | <u>0,0461</u> | <u>0,0749</u> | <u>0,0401</u> | <u>0,033</u> | |

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, los parámetros como Alcalinidad y conductividad se encuentran dentro de los límites permisibles de acuerdo a lo establecido en la Resolución 2115 del 2007, que señala las características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad de agua para consumo humano; según menciona esta resolución, para Colombia, el valor máximo es aceptable, algo que no se observó con los sólidos suspendidos Totales y mercurio que se pasan del límite permisible establecido por Resolución 631 del 2015 están subrayados en la tabla

Tabla 4. Monitoreos de sedimentos en los diferentes entables

| Resultados De Sedimentos Mercurio (mg/kg) | | | | |
|--|-------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|
| Entable Gabriel Guasa | | | | |
| Lugar | Primer monitoreo | Segundo monitoreo | Tercer monitoreo | Limite permisible |
| Vertimiento Tanque sedimentación | - | 0,0054 | 3,862,421 | 24 mg/kg |
| Entable la Peña | | | | |
| Tanque sedimentación | 510,922 | - | 453,742 | 24 mg/kg |
| Quebrada Tamboral | - | 0,00476 | 20,193 | |
| Entable Tamboral | | | | |
| Tanque sedimentación | 1,183 | - | - | 24 mg/kg |
| Quebrada Canelo | 1,114 | 0,00898 | - | |

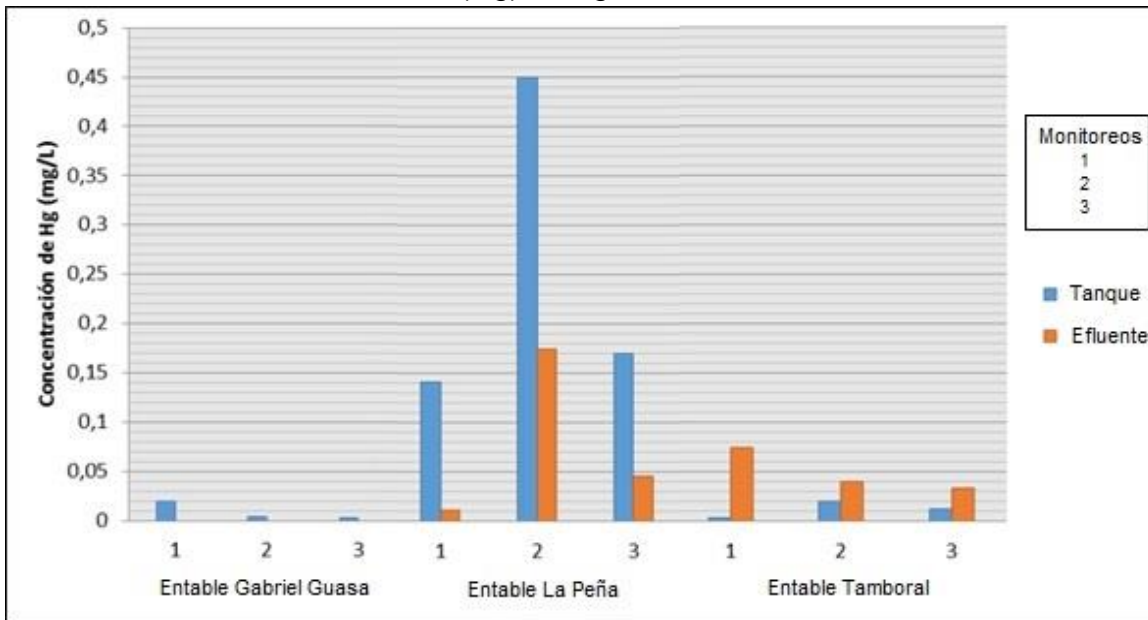
Fuente. Elaboración propia

En la tabla 4 se observa que los monitoreos no se realizaron en forma sucesiva en los entables, debido a factores externos como los cambios de clima, y retiro de lodos en los tanques de sedimentación.

En Colombia no se cuenta con una norma que reglamente la comparación de los niveles de mercurio en sedimentos, debido a esto se basó con el DECRETO SUPREMO N° 002-2013-MINAM, donde reglamenta y aprueba los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Perú, que de acuerdo a la norma los resultados de los sedimentos el entable Tamboral pasa el límite permisible que es de 24mg/kg.

4.2.1 Resultados análisis de Mercurio. A continuación se puede observar los resultados obtenidos en los monitoreos de Mercurio realizado en los diferentes entables.

Gráfica 2. Mercurio (Hg) en agua residual de los entables



Fuente: Elaboración propia

Como se observa en los resultados obtenidos de la gráfica 2, tomados en el tanque de sedimentación el entable del señor Gabriel Guasa indica el comportamiento de la concentración es decreciente a medida que se desarrolla cada uno de los monitoreos. En el primer monitoreo se observa una mayor concentración (0,0197 mg/L) puesto que la muestra fue tomada cuando se realizaba el proceso de beneficio de oro en su momento, el segundo (0,004 mg/L) y tercer monitoreo (0,00236 mg/L) disminuyeron (ver tabla 6), ya que había sido suspendido el proceso durante unos días por parte del propietario; como también la disminución de mercurio a utilizar en el proceso. El tercer monitoreo está cerca de lograr el límite permisible establecido de 0,002 mg/L de acuerdo a la resolución 631 del 2015.

En el entable “La Peña” se realizaron en el vertimiento del tanque de sedimentación y en el vertimiento hacia el efluente, se resalta que este último vertimiento no es directamente al efluente, sino que se produce a través de una escorrentía superficial en el suelo a una distancia de 60 m, hasta llegar a la quebrada Tamboral que desemboca al embalse la Salvajina.

De acuerdo a los resultados obtenidos en la gráfica 2 tomados en diferentes lugares, se observa que la presencia de mercurio tiene relación en el comportamiento que presenta la concentración a medida que se desarrolla cada uno de los monitoreos. En el primer monitoreo se observa en ambas barras del tanque y efluente los valores más bajos de concentración comparados entre los

otros, esto se debe a que no estaban trabajando en el entable en las horas de la mañana, al obtener gran proporción en el segundo monitoreo se tuvo en cuenta que se realizara el proceso de beneficio de oro, por ello la muestra se tomó después de ser transportados por los tanques de sedimentación hasta el punto de vertimiento; el tercer monitoreo se encuentra en un valor promedio (ver tabla 4), pero de igual forma estos pasan los límites permisibles como menciona la Resolución 631 del 2015.

También se puede observar que las concentraciones tienen grandes diferencias en los dos lugares de vertimientos, siendo el del tanque de sedimentación de valor más alto, debido a que en ellos se realiza el almacenamiento de las aguas residuales; la muestra del efluente se considera menor porque desde el vertimiento hasta el efluente lo hace por medio de la escorrentía superficial y se puede inferir que parte del mercurio queda en el suelo disminuyendo la concentración.

En el entable Tamboral, muestra que en el efluente el Canelo se observan altas concentraciones de mercurio, especialmente en el primer monitoreo con un valor de 0,0749 mg/L y se observa un decrecimiento hasta el final (ver tabla 4); cabe resaltar, que en el lugar se realizaba actividad por parte de los usuarios influyendo en las variaciones de los monitoreos realizados de concentraciones de mercurio encontradas. Por otro lado, en los tanques de sedimentación se observa menores proporciones comparados al efluente, lo cual lleva a deducir que puede deberse a que el efluente recibe el vertimiento a una distancia corta de tres metros, además de que recibe concentraciones de mercurio de otros entables ubicados en la parte alta.

De acuerdo a los resultados de mercurio obtenidos en el laboratorio de la CRC, se muestra la variabilidad de las concentraciones durante los meses que se realizó el monitoreo. Se puede deducir que los vertimientos del entable del señor Gabriel Guasa, La Peña y Tamboral presentan concentraciones de mercurio superiores al valor máximo que establece la Resolución 0631 de 2015, que su límite permisible es de 0,002 mg/L.

Los vertimientos que presentaron mayor concentración de mercurio fue el entable La Peña, debido a que tiene gran magnitud contando con 40 barriles de molienda, además de que se realiza de lunes a sábado el proceso de beneficio de oro constantemente por parte de las personas que pagan por el servicio de molienda. El mercurio utilizado en molienda corresponde a 3 onzas por cada barril, donde la cantidad de barriles utilizados dependía del material a procesar; en estas

ocasiones eran mínimo 8 barriles de molienda, lo cual refleja que la cantidad de mercurio era en gran proporción aunque se recuperaba un porcentaje pequeño.

De acuerdo al análisis y estructura de los entables se observa algo particular en el entable Tamboral, puesto que presenta características similares al entable La Peña, no sólo presta el servicio de molienda sino que tiene un total de 52 barriles en funcionamiento y la cantidad de mercurio a utilizar es la misma, sin embargo, presenta cantidades inferiores de mercurio por lo que lleva a deducir que se debe a que el entable Tamboral utiliza floculante cloruro férrico (DQFLOC510) agregándolo y permitiendo sedimentar de forma más rápida los lodos donde se concentra gran parte del mercurio; la aplicación del floculante se realiza antes de ingresar a los tanques de sedimentación para su vertimiento final, esto se hace cada vez que se realiza el proceso de beneficio de oro; este subproducto es recolectado en un máximo de 15 días para el proceso de flotación como lo indica la figura 22.

4.2.1 Concentración de Mercurio en cada uno de los Efluentes. La gráfica 2 muestra el resultado obtenido de la concentración de mercurio presente en cada uno de los efluentes (Quebrada Canelo, Quebrada Tamboral aguas arriba y Quebrada Tamboral desembocadura a la salvajina).

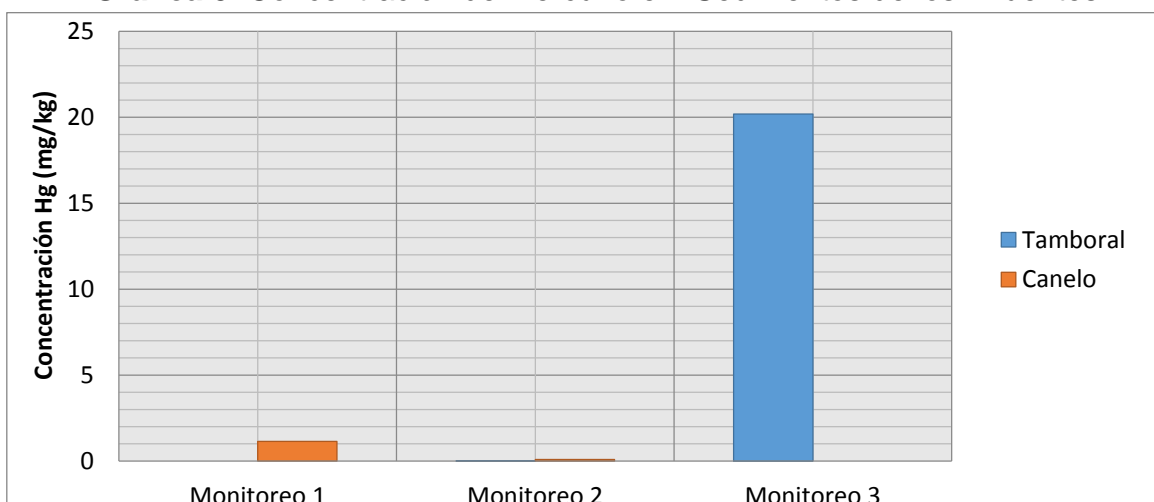
Se observa que el recurso hídrico ha sido fuertemente afectado por las altas concentraciones de Mercurio presente en los vertimientos de los entables La Peña y Tamboral, excediendo el valor máximo que admite la resolución 0631 de 2015, donde el límite permisible es de 0,002 mg/L. También se puede mencionar que el efluente Canelo comparado con el Tamboral es de menor caudal, pequeña magnitud y sus concentraciones varían de forma decreciente; este tiende a unirse con la quebrada Tamboral al final.

Los vertimientos del efluente Tamboral presentaron mayor proporción de mercurio, donde el más alto fue de 0,174 mg/L generado por el entable la Peña. El resultado obtenido del punto monitoreado en la desembocadura de Tamboral al embalse la Salvajina permite observar que no ingresa la misma concentración a pesar de recibir mercurio; es importante resaltar que las elevadas concentraciones de mercurio en aguas superficiales pueden deberse a factores como: Altas concentraciones de mercurio tanto en sedimentos como en material suspendido, la profundidad a la cual se toma la muestra, el clima y condiciones hidrológicas, la limnología del cuerpo de agua, la cantidad de mercurio vertido y transformado en otras especies. Igualmente, se confirma que hay afectación y contaminación por este metal donde las fuentes hídricas pueden ocasionar problemas de salud a la comunidad aledaña, debido a que los habitantes además de ingerir alimentos

contaminados con mercurio, también consumen el agua sin ningún tratamiento para estos vertimientos.

4.2.2 Concentración de Mercurio en Sedimentos. A continuación el resultado obtenido de la concentración de mercurio presente en sedimentos de cada uno de los efluentes (Quebrada Canelo, Quebrada Tamboral).

Gráfica 3. Concentración de Mercurio en Sedimentos de los Efluentes



Fuente: Elaboración propia

La gráfica 3, refleja la concentración más alta de mercurio en el sedimento del efluente Tamboral con 20,193mg/kg y menor en el efluente Canelo con 0,0898mg/kg; al considerar que en la actualidad no existe una norma que reglamente los niveles máximos permisibles de mercurio en suelo para Colombia, se hace necesario basarse en una norma internacional y para ello se utilizó el Decreto Supremo N° 002-2013-MINAM, con que se reglamenta y aprueba los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para el Suelo en Perú; considerando como nivel máximo permisible de mercurio para uso de suelo Comercial, Industrial y Extractivos un valor de **24 mg/kg**, por lo tanto estos valores de concentración no fueron superados por niveles encontrados en el sustrato de los efluentes.

La variación de concentraciones entre los efluentes se deben a las distancias encontradas del entable al efluente, en el caso del Canelo su distancia es de 3m, lo cual permite que haya un vertimiento casi directo, contrario a lo que sucede en la quebrada Tamboral, ya que tiene una distancia de 60m y en el transporte por escorrentía superficial este se va acumulando en el suelo, disminuyendo las concentraciones de mercurio al efluente.

Es claro que a pesar de no encontrar concentraciones altas en los lechos de los

efluentes hay presencia de mercurio que tenderá aumentar debido a los vertimientos realizados, de acuerdo a los estudios efectuados, el mercurio se acumula en sedimentos en la base de los cuerpos de agua, donde los microorganismos tales como bacterias que viven allí pueden convertirlo a la forma orgánica del metilmercurio, que es eliminado por los gusanos y otros animales pequeños que viven en los sedimentos. Este acumula en peces que se alimentan de estos animales y en peces más grandes que se alimentan de peces más pequeños. De esta manera, el metilmercurio por su toxicidad, alta solubilidad en lípidos y su facilidad para atravesar membranas se distribuye a través de todo el organismo, acumulándose en los peces a concentraciones más elevadas que las presentes en el agua [29]. Por ello, conllevará a una gran afectación ambiental y social a los habitantes de la vereda Tamboral y Turbina del Municipio de Suarez.

4.2.3 Resultados obtenidos de pH. La gráfica 4 muestra el pH presente en los vertimientos líquidos de cada uno de los entables mineros (Gabriel Guasa, La Peña y El Tamboral).

Gráfica 4. pH presente en el agua residual de los diferentes entables mineros



Fuente: Elaboración propia

En la gráfica 4, se observa que los monitoreos realizados en los 3 entables del Municipio de Suarez presentan cumplimiento a los valores permisibles de esta propiedad fisicoquímica, en relación a la normatividad Colombiana (Resolución 631 de 2015).

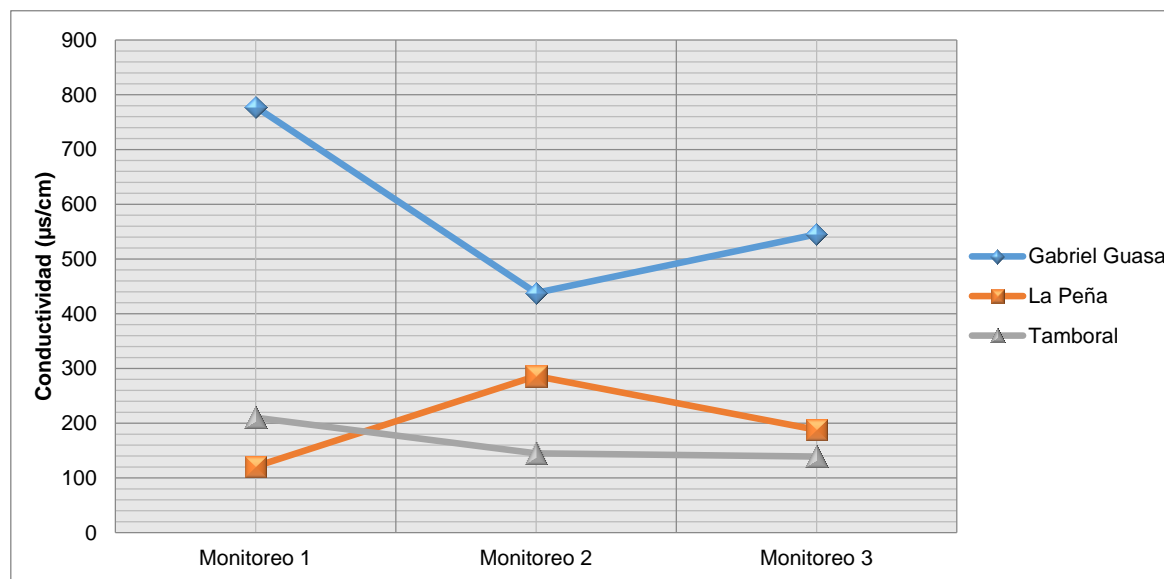
El pH es uno de los factores que controla la movilidad de los metales pesados, la mayoría son más móviles en condiciones ácidas. En general, el pH en suelos y

sedimentos fueron de neutros a medianamente alcalinos; por lo tanto, muestran muy baja movilidad de mercurio. Se mencionan que existe una sorción máxima de mercurio entre pH 4-5, mientras que la mínima desorción se encuentra en pH 5-7 y la desorción se incrementa con pH 7-9. Higuera et al. (2003), refieren que el pH próximo a la neutralidad no contribuye a movilizar al mercurio y no favorece las transformaciones mineralógicas que implica la hidrólisis de los sulfuros [20].

Las propiedades intrínsecas de los terrenos y suelos proporcionan mejores condiciones favorables para la acumulación de mercurio en comparación a los sedimentos de acuerdo al alto contenido de materia orgánica, arcilla y capacidad de intercambio catiónico. Estas propiedades causan retención, fijación e inmovilización de mercurio [20].

4.2.4 Resultados obtenidos de Conductividad. La gráfica 5, muestra los resultados que se obtuvieron de conductividad en cada uno de los entables monitoreados (Gabriel Guasa, La Peña y el Tamboral).

Gráfica 5. Conductividad presente en el agua residual de los diferentes entables mineros



Fuente: Elaboración propia

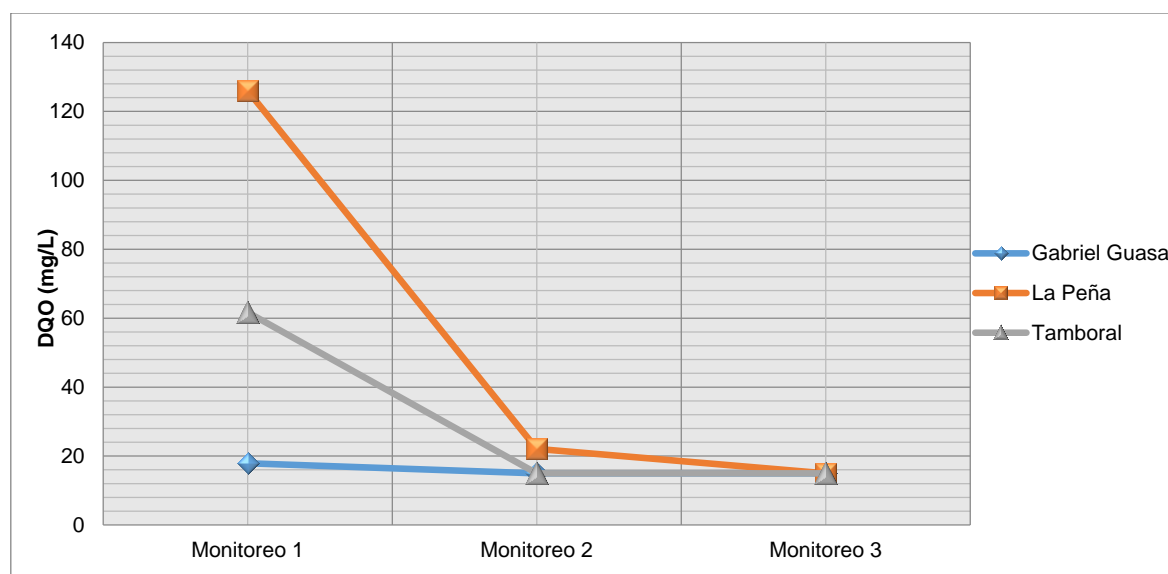
En la gráfica 5, se observa que el entable del señor Gabriel Guasa obtuvo mayor valor de conductividad con 545µs/cm; teniendo en cuenta que estas concentraciones son tomadas del tanque de sedimentación, seguido de la Peña con 469µs/cm, y de menor valor en el Tamboral con 252µs/cm. De acuerdo a la Resolución 2115 del Año 2007, señala características, instrumentos básicos y

frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad de agua para consumo humano; según indica esta resolución, para Colombia el valor máximo aceptable para Conductividad en el agua puede ser hasta de 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, dejando entre ver que los resultados de monitoreo no pasan los límites permisibles establecidos.

La conductividad eléctrica de una solución es una medida de capacidad de la misma para transportar la corriente eléctrica y permite conocer la concentración de especies iónicas presentes en el agua, que en este caso son estables [31]. Se deduce que se debe al constante lavado de sales solubles en el proceso de beneficio de oro.

4.2.5 Resultados obtenidos de Demanda Química de Oxígeno (DQO). La gráfica 6 muestra el nivel de Demanda Química de Oxígeno presente en los vertimientos líquidos de cada uno de los entables mineros (Gabriel Guasa, La Peña y el Tamboral).

Gráfica 6. Nivel de demanda química de oxígeno (DQO) presente en el agua residual de los diferentes entables mineros.



Fuente: Elaboración propia

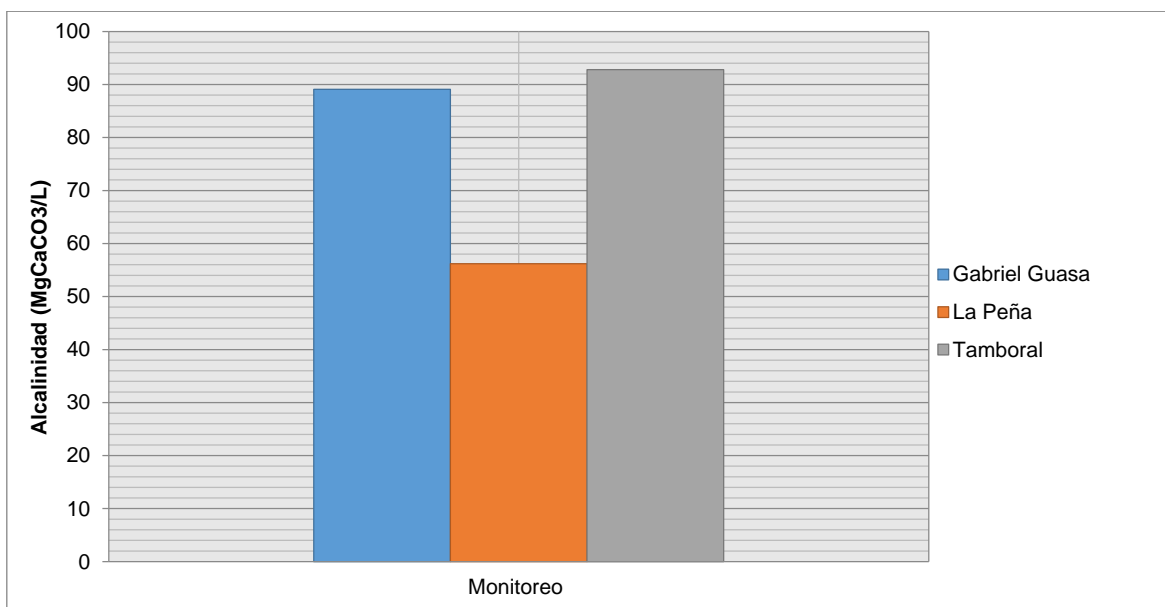
Como se puede observar en la gráfica 6, el entable Tamboral presentó mayor nivel de DQO (101mg/L) en comparación a los entables de Gabriel Guasa y la Peña (17,9 y 15 mg/L, respectivamente). Esta propiedad química, también se encuentra regulada por la Resolución 631 del Año 2015, en la sección de “Actividades Mineras”, en relación con la extracción de oro y otros metales preciosos, la norma

determina que el valor límite máximo permisible para la Demanda Química de Oxígeno no deberá superar los 150mg/L, concluyendo que los tres entables presentan valores de DQO considerablemente buenos por encontrarse por debajo del máximo permisible.

Se muestra también que en la mayoría de los monitoreos, los valores son bajos en los puntos de muestreo, teniendo en cuenta que la DQO es la cantidad de oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica bajo condiciones específicas de agente oxidante, temperatura y tiempo; permitiendo determinar las condiciones de biodegradabilidad y el contenido de sustancias tóxicas [32]. Lo que indica que no se presentan medios biológicos (bacterias) para descomponer los desechos orgánicos, ya que estos medios pudieron ser eliminados durante el proceso de remoción de material vegetal con los sistemas de extracción utilizados para encontrar el mineral.

4.2.6 Resultados obtenidos de Alcalinidad. La gráfica 7 muestra los resultados de alcalinidad presente en los vertimientos líquidos de los diferentes entables mineros Gabriel Guasa, La Peña y el Tamboral).

Gráfica 7. Alcalinidad presente en el agua residual de los diferentes entables mineros.



Fuente: Elaboración propia

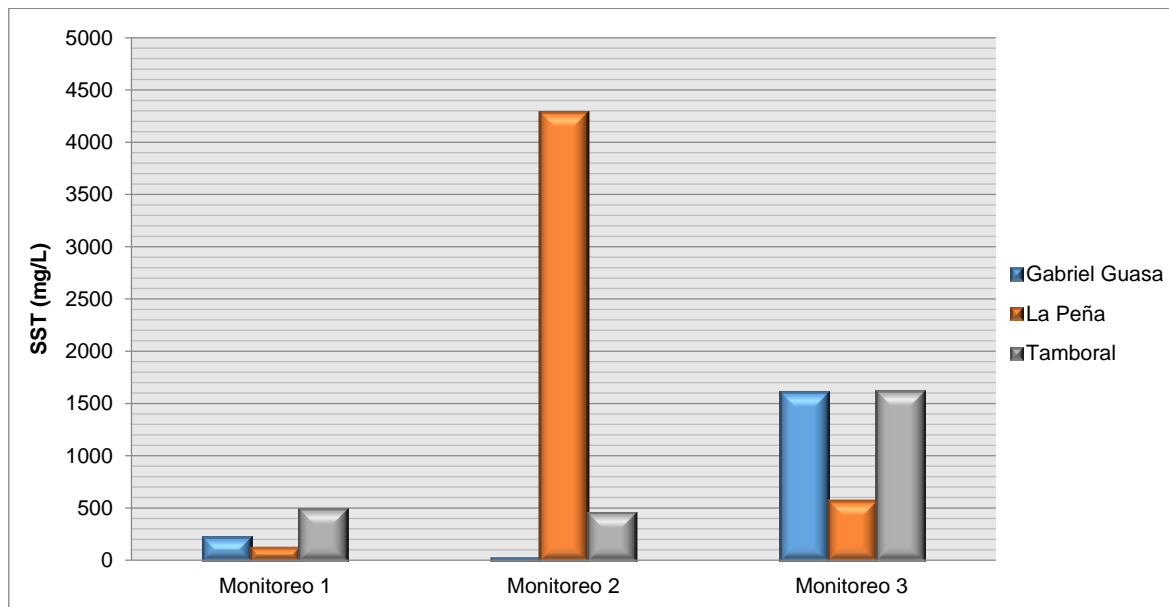
La gráfica 7, muestra que hay una diferencia de valores obtenidos en el análisis de alcalinidad en los tres entables, donde los de mayor valor son de Gabriel Guasa

(89,1MgCaCO₃/L) y El Tamboral (77,9MgCaCO₃/L), y de menor valor en el entable La Peña con 56,2 mgCaCO₃/L; de acuerdo a la Resolución 2115 del Año 2007 señala características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad de agua para consumo humano; según indica esta resolución, para Colombia el valor máximo aceptable para Conductividad en el agua, puede ser hasta de 2000mgCaCO₃/L, dejando entre ver que los resultados de monitoreo no pasan los límites permisibles establecidos.

Se debe tener presente que muchas rocas de las cuales se realizan para el proceso de beneficio de oro, contienen minerales que consumen de forma natural los ácidos producidos en la oxidación de los sulfuros. Este proceso de neutralización natural es intenso cuando existe carbonato cálcico (principal constituyente de las calizas), pero también son neutralizantes los carbonatos de hierro y magnesio, y los hidróxidos de hierro y aluminio, que pueden ayudar a elevar el pH hasta niveles aceptables [20], indicado en la gráfica 9.

4.2.7 Resultados obtenidos de SST. La gráfica 8 muestra los resultados de alcalinidad presente en los vertimientos líquidos de los diferentes entables mineros Gabriel Guasa, La Peña y el Tamboral).

Gráfica 8. Resultados obtenidos de SST en cada uno de los entables



Fuente: Elaboración propia

Tal como se observa en la gráfica 8, en los monitoreos realizados en cada uno de los entables se presentan vertimientos de agua residual con diferentes valores de concentración el más alto es el del entable la Peña con un valor de 4290mg/L,

todos tienen gran presencia de sólidos suspendidos, incumpliendo el límite permisible impuesto por la Resolución 631 del Año 2015, donde se establece la concentración de Sólidos Suspendidos Totales (SST) en máximo 50 mg/L, para actividades de extracción de oro y otros metales.

Estos sólidos suspendidos totales provienen de la roca extraída del subsuelo, que al atravesar diferentes procesos libera partículas de diferentes tamaños. Todo se reduce a que los factores que influyen en la concentración gravimétrica de estos sólidos en el agua por la molienda de minería de filón, se debe a que el lodo genera alta viscosidad de la pulpa, afectando particularmente la recuperación de oro fino o de las láminas, por lo tanto es necesario lavar o “desamblar” antes de concentrar.

Estos sólidos generan un aporte negativo a la calidad del vertimiento líquido en cada mina, puesto que no solo afectan su aspecto visual por el aumento de la turbidez, sino que además estas partículas tienen la capacidad de albergar en su estructura otros contaminantes como metales pesados.

4.3 DETERMINACIÓN GRADO DE AFECTACIÓN

A continuación se presenta la valoración de los entables que permiten determinar el grado de afectación e importancia ambiental, según los atributos y ponderación que se obtenga de acuerdo a la Resolución 2086 de 2010, así:

Tabla 5. Grado de afectación ambiental entable Gabriel Guasa (Turbina)

| Atributos | Ponderación | Calificación según ponderación | Descripción de la Calificación |
|-----------------------------|-------------|--|---|
| INTENSIDAD (IN) | 1 | Afectación comprendida entre el 0 y 33% | Dicha labor no cuenta con vertimiento directamente a un efluente, el entable está sometido el recurso, tales como extracción de mineral, concesión de aguas subterráneas, entre otros aunque se maneje un caudal muy pequeño. |
| EXTENSIÓN (EX) | 1 | Cuando la afectación incide en un área determinada inferior a una ha | Según lo verificado en la visita actual el sitio de influencia es menor a una hectárea |
| PERSISTENCIA (PE) | 3 | Cuando la afectación no es permanente en el tiempo, se establece un plazo temporal de manifestación entre seis (6) meses y cinco (5) años. | Las actividades generan en el recurso una afectación que persiste en el tiempo, pero si no es de gran magnitud se puede lograr una recuperación en menos de 5 años. |
| REVERSIBILIDAD (RV) | 3 | La alteración puede ser asimilada por entorno de forma medible en un periodo entre 1 y 10 años. | En que la situación ambiental mejore depende de que el propietario del establecimiento si haya realizado los trámites de legalización en donde se le obligue a la implementación de un sistema de tratamiento en un tiempo inferior a un año, además de la minimización en el uso de sustancias químicas en el proceso. |
| RECUPERABILIDAD (MC) | 3 | Se logra en un plazo comprendido entre 6 meses y 5 años. | Una vez se deje de actuar sobre el recurso y se desarrollen las medidas instauradas por la corporación así como la tareas provistas en los tramites de legalización e implementación, fortalecerá a controlar la afectación ambiental del recurso suelo. |

Fuente: Resolución 2086 de 2010

RECURSO AGUA

Se estima con la siguiente fórmula:

$$I = (3 \cdot IN) + (2 \cdot EX) + PE + RV + MC$$

$$I = (3 \cdot 1) + (2 \cdot 1) + 3 + 3 + 3 = 14$$

Tabla 6. Importancia ambiental entable Gabriel Guasa (Turbina)

| Calificación | Medida Cualitativa | Rango | Valor Calificado |
|--|--------------------|---------|------------------|
| IMPORTANCIA (I) Medida cualitativa del impacto a partir del grado de incidencia de la alteración producida y de sus efectos | Irrelevante | 8 | |
| | Leve | 9 – 20 | 14 |
| | Moderado | 21 – 40 | |
| | Severo | 41 – 60 | |
| | Crítico | 61 – 80 | |

Fuente: Resolución 2086 de 2010

De acuerdo a los datos obtenidos anteriormente, se define que la afectación tanto al recurso agua como al suelo es LEVE, debido a que el entable no está en funcionamiento constantemente, pero se verifica el incumplimiento en los primeros monitoreos a valores superiores a lo estipulado en la resolución 0631 de 2015, puesto que en ella se considera el límite permisible de 0,002mg/L, aunque se observa que no es de gran magnitud.

RECURSO AGUA: Se estima con la siguiente fórmula y los valores son obtenidos de la tabla 11, Grado de afectación ambiental entable la peña (Tamboral)

$$I = (3 \cdot IN) + (2 \cdot EX) + PE + RV + MC$$

$$I = (3 \cdot 12) + (2 \cdot 1) + 5 + 3 + 3 = 49$$

Tabla 7. Importancia ambiental entable La Peña (Tamboral)

| Calificación | Medida Cualitativa | Rango | Valor Calificado |
|--|--------------------|---------|------------------|
| IMPORTANCIA (I) Medida cualitativa del impacto a partir del grado de incidencia de la alteración producida y de sus efectos | Irrelevante | 8 | |
| | Leve | 9 – 20 | |
| | Moderado | 21 – 40 | |
| | Severo | 41 – 60 | 49 |
| | Crítico | 61 – 80 | |

Fuente: Resolución 2086 de 2010

De acuerdo a lo datos obtenidos arriba, se determina que la afectación al recurso agua es SEVERO, según lo observado la mina está en funcionamiento constante, no presenta tratamientos para agua residual y tampoco los respectivos permisos (permiso de vertimientos y concesión de aguas); se verifica el incumplimiento a la norma debido a que el entable la Peña presenta valores superiores a lo estipulado en la resolución 0631 de 2015, estipulando un límite permisible de 0,002 mg/L.

Tabla 8. Grado de afectación ambiental entable La Peña (Tamboral)

| Atributos | Ponderación | Calificación según ponderación | Descripción de la Calificación |
|----------------------|--------------------|---|---|
| INTENSIDAD (IN) | 12 | Afectación de bien de protección representada en una desviación del estándar fijado por la norma igual o superior o al 100% | La caracterización de las aguas superficiales del efluente el Tamboral presenta una desviación estándar de afectación superando hasta 4 veces los valores permitidos por la Res. 631 de 2015 |
| EXTENSIÓN (EX) | 1 | Cuando la afectación incide en un área determinada inferior a una hectárea (ha) | Según lo observado en los monitoreos, el sitio de influencia es menor a una hectárea |
| PERSISTENCIA (PE) | 5 | La afectación es superior a cinco años | Sin la implementación de medidas que aseguren una minería limpia, el bien de protección no retomará las condiciones previas sino hasta un periodo de cinco años, debido a la magnitud e intensidad de daño generado al medio |
| REVERSIBILIDAD (RV) | 3 | La alteración puede ser asimilada por entorno de forma medible en un periodo entre 1 y 10 años. | El estudio permitió concluir que la quebrada Tamboral, contiene una fuerte relación con la autodepuración y movilidad de los sólidos suspendidos y metales sedimentados, esto deja evidencia que es posible que el medio se recupere por sí mismo en un intervalo de tiempo prudente. |
| RECUPERABILIDAD (MC) | 3 | Caso en que la afectación puede eliminarse por la acción humana, al establecerse las oportunas medidas correctivas, y así mismo, aquel en el que la alteración que sucede puede ser compensable en un periodo comprendido entre 6 meses y 5 años. | La intensidad de las actividades mineras, continuidad en las mismas, sumado a los tipos de extracción (Filón y Aluvial) del oro, considera una recuperabilidad de hasta 5 años, con medidas de restauración ambiental y la magnitud del tamaño de la zona minera. |

Fuente: Resolución 2086 de 2010

Tabla 9. Grado de afectación ambiental entable Tamboral (Tamboral)

| Atributos | Ponderación | Calificación según ponderación | Descripción de la Calificación |
|----------------------|--------------------|--|---|
| INTENSIDAD (IN) | 8 | Afectación de bien de protección representada en una desviación del estándar fijado por la norma y comprendida en el rango entre 67% y 99% | Dicha labor está sometido el recurso hídrico, tales como el proceso de beneficio de oro y concesión de aguas superficiales, entre otros. |
| EXTENSIÓN (EX) | 1 | Cuando la afectación puede determinarse en un área localizada e inferior a una (1) hectárea. | Según lo observado en los monitoreos, el sitio de influencia es menor a una hectárea |
| PERSISTENCIA (PE) | 3 | La afectación no es permanente en el tiempo se establece un plazo temporal entre 6 meses y 5 años | Sin la implementación de medidas que aseguren una minería limpia, el bien de protección no retomará las condiciones previas sino hasta un periodo de cinco años, debido a la magnitud e intensidad de daño generado al medio. |
| REVERSIBILIDAD (RV) | 3 | La alteración puede ser asimilada por entorno de forma medible en un periodo entre 1 y 10 años. | En que la situación ambiental mejore depende de que el propietario del establecimiento si haya realizado los trámites de legalización en donde se le obligue a la implementación de un sistema de tratamiento en un tiempo inferior a un año, además de la minimización en el uso de sustancias químicas en el proceso. |
| RECUPERABILIDAD (MC) | 3 | Se logra en un periodo comprendido entre 6 meses y 5 años. | El estudio permitió concluir que el efluente el Canelo, contiene una fuerte relación con la autodepuración y movilidad de los sólidos suspendidos y metales sedimentados, esto deja evidencia que es posible que el medio se recupere por sí mismo en un intervalo de tiempo prudente. |

Fuente: Resolución 2086 de 2010

RECURSO AGUA

Se estima con la siguiente fórmula:

$$I = (3*IN) + (2*EX) + PE + RV + MC$$

$$I = (3*8) + (2*1) + 3+3+3= 35$$

Tabla 10. Importancia ambiental entable Tamboral (Tamboral)

| Calificación | Medida Cualitativa | Rango | Valor Calificado |
|--|--------------------|---------|------------------|
| IMPORTANCIA (I) Medida cualitativa del impacto a partir del grado de incidencia de la alteración producida y de sus efectos | Irrelevante | 8 | |
| | Leve | 9 – 20 | |
| | Moderado | 21 – 40 | 35 |
| | Severo | 41 – 60 | |
| | Crítico | 61 – 80 | |

Fuente: Resolución 2086 de 2010

De acuerdo a los datos obtenidos anteriormente, se define que la afectación al recurso agua es MODERADO, el entable está en funcionamiento y presenta valores superiores a lo estipulado en la resolución 0631 de 2015, puesto que en ella se considera el límite permisible de 0,002mg/L.

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

El monitoreo realizado en los tres diferentes entables ubicados en la vereda la Turbina y Tamboral del Municipio de Suarez (Cauca), permitió determinar las afectaciones encontradas en los efluentes que reciben el vertimiento de aguas residuales por el proceso de beneficio de oro, con la realización de la toma de muestras de agua y sedimentos producto de las labores allí desarrolladas.

Se determinó que en los entables la Peña y Tamboral realizan su vertimiento hacia los efluentes como el Tamboral y el Canelo, los cuales se están viendo afectados con grandes concentraciones de mercurio de acuerdo a los monitoreos realizados oscilan entre 0,141 mg/L y 0,45 mg/L, sin ningún tratamiento adecuado e incumpliendo la **Resolución 631 de 2015**, por medio del cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones; estipula que el valor máximo permisible de mercurio en actividades mineras es de 0,002mg/L, valor superado por los vertimientos generados en los entables.

En los resultados analizados del monitoreo se evidencia que los parámetros fisicoquímicos tomados en los tres entables como conductividad, pH, alcalinidad y DQO se encuentran dentro del límite permisible como lo menciona la Resolución 631 para actividades mineras y la 2115 del 2007 que señala características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad de agua para consumo humano.

De acuerdo a los análisis realizados y a la Resolución 2086 se determinó la afectación ambiental generada en los efluentes del entable la Peña, Tamboral y en el entable del señor Gabriel Guasa fue del vertimiento del tanque de sedimentación, ya que en el sitio no hay un vertimiento directo a un efluente.

A partir de los monitoreos realizados en el entable Gabriel Guasa se encontró un grado de afectación ambiental LEVE, puesta que la actividad de extracción y beneficio de oro es poco constante y han venido reduciendo las concentraciones de mercurio en la actividad. Se resalta que el entable es legal y se encuentra dentro del área de reserva especial por medio de la Resolución.

Debido a los análisis del entable la peña y lo evidenciado en las visitas técnicas realizadas, la importancia que se le otorga a los impactos ambientales generados por la actividad desarrollada es SEVERO; los niveles de mercurio registrados son altamente significativos, no cuentan con ningún tratamiento para aguas residuales y la cantidad de mercurio utilizada es alta, se mantiene constantemente en actividad; es importante resaltar, que el entable es ilegal por tanto no cuenta con los permisos solicitados por la Corporación Autónoma Regional Del Cauca.

En el entable Tamboral los vertimientos al efluente resultaron MODERADO, en la actividad de extracción y beneficio de oro, teniendo en cuenta que los valores exceden el máximo permitido por la norma; sin embargo, la actividad minera desarrollada en el predio no es considerada de gran escala, y los recursos naturales que se ven comprometidos puede llegar a recuperarse en un término medio, si el propietario adelanta las medidas necesarias para el tratamiento de agua residual e implementación de tecnología limpia permitiendo reducir el mercurio, se señala que el entable se encuentra dentro del área de reserva especial.

En la actualidad ninguna norma ambiental colombiana estipula las concentraciones máximas admisibles para Mercurio en el suelo, debido a lo anterior y la necesidad de conocer si los niveles de sustrato en los entables se encontraban alterados, se utilizó el Decreto Supremo N° 002-2013-MINAM, con el que se reglamenta y se aprueban los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Perú, que dispone un valor límite de 24 (mg/kg) MS. Por tanto, los resultados obtenidos en los tanques de sedimentación de los entables son los de mayor proporción y en los efluentes no son tan altos pero de igual forma se genera una gran afectación en el recurso suelo.

Debido a las afectaciones encontradas no es aconsejable que la comunidad aledaña a los efluentes hagan uso de este para consumo humano, por las afectaciones que puede generarse en la salud supone un riesgo para la salud humana, por su acumulación en el cerebro y riñones, provocando a largo plazo enfermedades neurológicas [33].

5.2 RECOMENDACIONES

Con la finalidad de reducir el impacto generado a los efluentes por la actividad minera de los diferentes entables en el Municipio de Suarez (Cauca) se realiza las siguientes recomendaciones:

- Implementar medidas correctivas y estratégicas en el proceso de extracción de beneficio de oro, que permitan no sólo la disminución de la cantidad de agua que se utiliza para el lavado, sino que esta pueda ser recirculada.
- Implementar mangueras resistentes a la presión, para que de esta forma se pueda agregar una llave que permita manejar el cierre y abrirla cuando sea necesario, puesto que los entables no la poseen y por ello el agua se bota constantemente.
- Sugerir el rediseño de los tanques de almacenamiento, ya que no tienen la capacidad suficiente para el caudal de vertimientos residuales que se generan ocasionando rebose de estas en el suelo.
- La utilización de biotecnologías como fitorremediación, micorremediación, permitirán la degradación de aguas residuales de compuestos dañinos derivados del mercurio generados en la minería, en la fitorremediación se adopta la opción de un tratamiento de humedales con heliconias las cuales resultan ser grandes receptoras de mercurio según estudios realizados por el SENA Regional del Cauca (Popayán).
- Implementación de tecnologías de coagulación, floculación y filtración con carbón activado granular pueden generar desarrollo sostenible, que permita la convergencia entre las necesidades productivas de la región y la obligación de cuidar el medio ambiente y sus recursos naturales como resultado del aprovechamiento de los mismos.
- Producción más limpia en la trituración y molienda con la implementación de barriles o molinos amalgamadores.
- Producción más limpia en la concentración gravimétrica, como el uso de mesas concentradoras que permiten la separación más fina del oro sin agregar mercurio.

- Se sugiere un lecho de secado adecuado, el cual es un complemento de los sistemas de tratamiento, que permite la depuración de lodos generados en actividades industriales.
- Contar con los permisos ambientales sugeridos por la Corporación Autónoma Regional del Cauca.
- La Corporación Autónoma Regional del Cauca a través del proyecto de pasantía desea que los propietarios de los entables conozcan las afectaciones generadas por el mercurio, e invitar a mejorar las prácticas realizadas a través de la implementación de tecnología limpia, reestructura de los tanques de sedimentación y realicen los permisos correspondientes para la actividad minera (Titulo minero, permiso de vertimiento, y concesión de aguas) para evitar impactos ambientales al medio, teniendo en cuenta que el mercurio será eliminado completamente de acuerdo a la Resolución 631 del 2015.

BIBLIOGRAFIA

- [1] MADS - PNUMA, “Sinopsis Nacional de la Minería Aurífera Artesanal y de Pequeña Escala,” *Programa las Nac. Unidas para el Medio Ambient. y Minist. Ambient. Y Desarro. Sosten.*, no. Mc, p. 72, 2012.
- [2] Programa de las naciones unidas para el medio Ambiente, “El uso del minería del oro artesanal y en pequeña escala,” *Programa las Nac. Unidas para el medio Ambient.*, vol. 3, p. 20, 2008.
- [3] Alcaldía Municipal Suárez –Cauca, “Plan de Desarrollo del Municipio de Suárez para el periodo 2.016 – 2.019.” Suarez (Cauca), p. 304, 2016.
- [4] F. A. Díaz-Arriaga, “Mercurio en la minería del oro: impacto en las fuentes hídricas destinadas para consumo humano Mercury in ASGM and its impact on water resources used for domestic water supply,” *Rev. salud pública*, vol. 16, no. 6, pp. 947–957, 2014.
- [5] A. Editorial, T. H. Molina, and D. Reservados, “Boletín Estadístico de Minas y Energía.” .
- [6] O. D. H. Cordoba, “BIOACUMULACION DE MERCURIO EN LARVAS DE ANUROS EN ZONA DE IMPACTO PPPOR LA MINERIA DE ORO EN EL MEDIO DAGUA, BUENAVENTURA,” Universidad del Valle, 2013.
- [7] L. Güiza-suárez, “La Minería Manual En Colombia : Una Comparación Con América Latina Manual Mining in Colombia : a Comparison With Other Countries in Latin America,” pp. 37–44, 2014.
- [8] G. Castro Sanguinetti, “Efecto del mercurio en los peces y la salud pública en el Perú,” *Salud Anim.*, pp. 1–11, 2011.
- [9] L. Güiza Suárez, “Perspectiva jurídica de los impactos ambientales sobre los recursos hídricos provocados por la minería en Colombia * Juridical Perspective of Environmental Impact on Water Resources Caused by Mining in Colombia,” *Opinión Jurídica- Universidda de Medellín*, pp. 123–140, 2011.

- [10] M. y D. S. Proyecto, Minería, “Alcance y Estructura del Proyecto Notas,” *Business*. .
- [11] J. Oliviero Verbel, “Efectos de la minería en Colombia sobre la salud humana,” *Univ. Cart.*, pp. 5–13, 2010.
- [12] R. Eia, “Efectos del mercurio sobre algunas plantas acuáticas tropicales,” pp. 57–67, 2006.
- [13] P. R. MACHADO and J. S. V. HERRERA, “VALIDACION DE LA METODOLOGIA PARA EL ANALISIS DE MERCURIO EN AGUA TRATADA Y CRUDA, Y ESTANDARIZACION DEL ANALISIS DE MERCURIO EN PESCADOS POR EL METODO DE ABSORCION ATOMICAVAPOR FRIO PARA EL LABORATORIO DE ANALISIS DE AGUAS Y ALIMENTOS DE LA UNIVERSIDAD T,” UNIVERSIDAD TECNOLOGICA DE PEREIRA, 2013.
- [14] S. Luis, “Evaluación de la contaminación por vertimiento de mercurio en la zona minera , Pacarní - San Luis Departamento del Huila Assessment of water pollution due to mercury pouring,” vol. 12, 2013.
- [15] B. Nigra, “FITOTOXICIDAD DEL CADMIO (Cd) Y EL MERCURIO (Hg) EN LA ESPECIE,” no. Cd, 2012.
- [16] D. Miraflores, J. Carlos, C. García, J. Paola, A. Morales, and M. Paredes, “Evaluación del contenido de mercurio en suelos y lechos de quebradas en la zona minera,” 2014.
- [17] C. Autónoma and R. Del, “CONTAMINACIÓN POR MERCURIO Y OTROS CAUCA ” APOYO A PROYECTOS DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA EN MINERÍA PARA LOS DISTRITOS MINEROS DEL CAUCA ” CRC,” 2007.
- [18] M. E. G. URRUTIA and K. M. L. ROSERO, “DETERMINACIÓN DE LOS NIVELES DE MERCURIO PRESENTE EN EL AGUA DE DOS QUEBRADAS, RECEPTORAS DE VERTIMIENTOS MINEROS QUE DESCARGAN AGUAS AL EMBALSE LA SALVAJINA, MUNICIPIO DE SUAREZ, CAUCA.,” Corporacion universitaria autonoma del Cauca, 2017.

- [19] S. E. . F. J. de V. Cano, "Biomédica Instituto Nacional de Salud," Bogota, 2012.
- [20] R. Martínez, "Fraccionamiento De Suelos Contaminados Con Mercurio En El Sur De La Sierra Gorda De Querétaro, México," *Univ. Nac. Auton. Mex.*, pp. 3–14, 2015.
- [21] N. Eugenia, S. Ruiz, Y. Carvajal, and J. Carlos, "Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua A review of physical-chemical parameters as water quality and contamination indicators," vol. 27, no. 3, pp. 172–181, 2007.
- [22] J. G. A. B, M. S. Gaitan, and M. E. D. S, "Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales." pp. 1–7, 2007.
- [23] C. Eléctrica, "Conductividad eléctrica.," no. en cm. pp. 1–21.
- [24] Laboratorio de Química Ambiental Ideam, "Demanda Quimica De Oxigeno," *Julio 1997*, no. 2, pp. 2–6, 1997.
- [25] M. E. D. S, "Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales 7." pp. 1–7, 2007.
- [26] C. Alberto, S. Sierra, M. Enrique, and C. Bertel, "BÁSICOS EN AGUAS Marlon Enrique Castillo Bertel."
- [27] M. de M. y E.-U. de planeacion mienro Energetico, "estudio de la cadena del mercurio en colombia co enfasis en la actividad minera de oro," 2014.
- [28] L. A. M. de S. y la F. C. A. GEOSIG, "Esquema Ordenamiento Territorial." pp. 1–54, 2001.
- [29] I. Para and T. D. E. Muestras, "Corporacion autonoma regional del cauca laboratorio ambiental instructivo para toma de muestras de agua." 2016.

- [30] “Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – República de Colombia.” 2009.
- [31] V. R. Gómez Clara, González Remedios, “Conductividad De Las Disoluciones Electrolíticas,” no. 3. 2010.
- [32] CRC. Corporacion Autonoma Regional del Cauca "Laboratorio de muestras y analisis certificado por el IDEAM."
- [33] CRC. Corporacion Autonoma Regional del Cauca "Departamento de Planeacion"

ANEXOS

Anexo 1. Procedimiento de recolección de muestras para agua y sedimento

El procedimiento se realizó de acuerdo a indicaciones establecidas por la Corporación Autónoma Regional del Cauca CRC, de la siguiente forma:

➤ Planificación y programación del muestreo

A través de un adecuado plan de muestreo (Formato FT-PDPA-LA106), se podrán obtener muestras representativas y resultados confiables; depende fundamentalmente del objetivo, tipo y/o uso del agua. En esta etapa se debe definir:

- Sitios y frecuencia del muestreo de acuerdo con el objetivo (Accesibilidad, distancia desde el laboratorio y seguridad).
- Fecha y logística para el monitoreo
- Personal técnico requerido.
- Equipos y materiales.
- Tipo de muestra : puntual o compuesta (N° de alícuotas)
- Número de muestras.
- Parámetros a evaluar: Campo y laboratorio.
- Método de medición de caudal
- La capacidad del Laboratorio en cuanto a la cantidad y al tipo de análisis a realizar.

➤ Materiales para la toma de muestras

| Descripción | |
|-------------|---|
| M | Neveras de poliuretano con suficientes bolsas de hielo para mantener una temperatura cercana a 4°C. |
| A | |
| T | Envases plásticos de un1 Lt |
| E | Bolsas ziploc |
| R | |
| I | Guantes |
| A | Cinta enmascarar |
| L | |
| E | Esfero (bolígrafo) y marcador de tinta indeleble. |
| S | Botas de caucho |

Fuente: Elaboración propia

➤ **Preservación de la muestra**

Una vez realizada la toma de las muestras, estas deben ser preservadas con el objetivo de retardar los cambios químicos y biológicos que continúan después de que la muestra se retira de su fuente. Se deben refrigerar inmediatamente en nevera con hielo a una temperatura entre $> 0^{\circ}\text{C}$ y $\leq 6^{\circ}\text{C}$.

➤ **Transporte y entrega de la muestra en el laboratorio**

En el momento de transportar las muestras se debe revisar que los recipientes estén correctamente tapados y rotulados para evitar derrames, contaminación o confusión.

Las muestras deben ser entregadas en el Laboratorio Ambiental lo más pronto posible después de recolectadas.

Anexo 2. Equipos, Reactivos y materiales para el análisis de Mercurio

| | Descripción | Cantidad | Unidad |
|--|---|-----------------|---------------|
| M A T E R I A L E S | Balones aforados de 25, 50, 100, 250 y 1000 mL clase A | 1 | mL |
| | Beaker de 100, 200, 500 y 1000 mL | 1 | mL |
| | Erlenmeyer de 50, 100 y 250 mL | 1 | mL |
| | Probeta de 100 y 250 mL | 1 | mL |
| | Espátula | 1 | mL |
| | Frasco lavador | 1 | mL |
| E Q U I P O S | Espectrofotómetro de absorción atómica thermoScientificiCE 3000 | 1 | μL |
| | Generadores de hidruros ThermoScientificic VP 100 | 1 | — |
| | Baño Maria | 1 | — |
| | Balanza analítica | 1 | Mg |
| | Equipo de agitación lineal | 1 | — |
| | Cabina extractora de gases | 1 | — |
| | Transfer pipeta Brand 25-250 U | 1 | μL |
| R E A T I V O S | Agua desionizada | | |
| | Patrón de mercurio (1000ppm) marca Panreac | | |
| | Ácido clorhídrico grado analito libre de mercurio (HCl) | | |
| | Hidróxido de sodio (NaOH) | | |

| | |
|--|--|
| C T I V O S | Boro Hidruro De Sodio (NaBH_4) |
| | Cloruro Estañoso (SnCl_2) |
| | Permanganato De potasio (KMnO_4) |
| | Persulfato De Potasio ($\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$) |
| | Ácido Sulfúrico Concentrado (H_2SO_4) |
| | Ácido Nítrico Concentrado (HNO_3) |
| | Cloruro de hidroxilamina (NH_2HCl) |
| | Ácido acético glacial concentrado |

Fuente: Elaboración propia

Anexo 3. Funcionamiento del Espectrofotómetro de absorción atómica con Generador de Hidruros

- a. Se conectó y encendió tanto el computador como el espectrofotómetro, donde actúa con un software (TERMO SOLAAR); este inicia con el funcionamiento del generador de hidruros vp100.
- b. Se procedió a tomar las tres mangueras del generador de hidruro, siendo la primera del agente reductor o boro hidruro de sodio, la segunda la que toma del ácido clorhídrico, y la tercera es la manguera de la muestra; estos conducen a la cámara de reacción donde se mezclan, generando hidruro de mercurio atómico muy volátil este vapor de mercurio es conducido a una celda colocada en el paso del haz de luz donde ocurre la interacción entre esta radiación y los átomos de mercurio, produciéndose absorción que alcanza una sensibilidad de hasta 1ppb[32].

Anexo 4. Lectura de las muestras

El procedimiento para la lectura de cada una de las muestras es el siguiente:

- a. El equipo automáticamente empieza a pedir un blanco de la curva y los estándares, realizando la linealidad directamente y determinando si la curva es confiable, se realizan con los siguientes datos que lo indica el un software (TERMO SOLAAR),

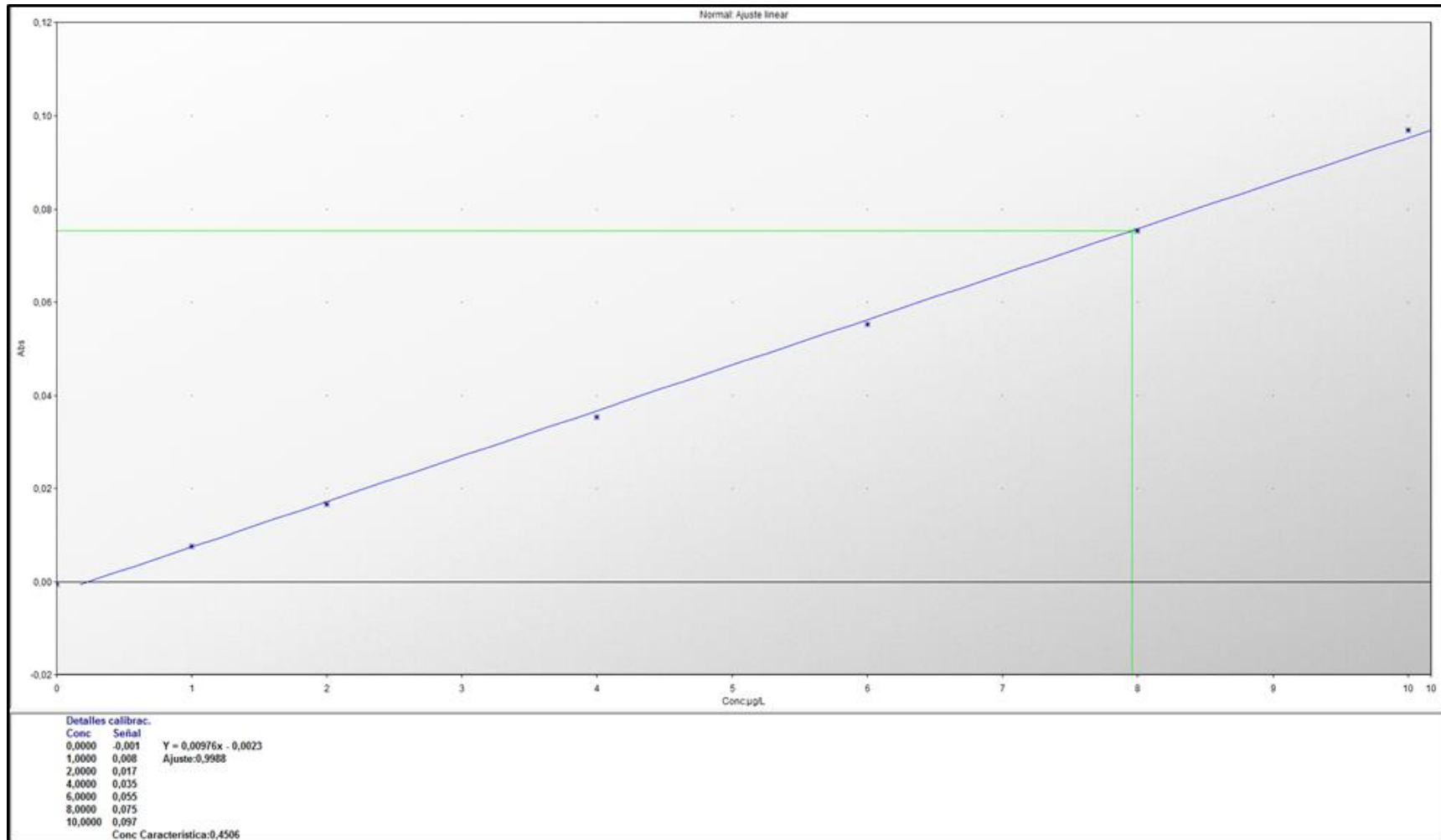
En la siguiente tabla se observa los valores de absorción de Hg en cada concentración que forman la curva de calibración.

| ID Muestra | Señal | Rsd | Concentración | Concentración corregida |
|--------------|--------|------|---------------|-------------------------|
| Análisis 145 | | | 12:19:30 | 25/04/2017 |
| Hg | Abs | % | ug/L | ug/L |
| Blanco | -0,001 | 10,3 | 0,0000 | |
| Estándar 1 | 0,007 | 2,2 | 1,0000 | |
| Estándar 2 | 0,01 | 1,3 | 2,0000 | |
| Estándar 3 | 0,037 | 0,4 | 4,0000 | |
| Estándar 4 | 0,059 | 0,9 | 6,0000 | |
| Estándar 5 | 0,080 | 0,3 | 8,0000 | |
| Estándar 6 | 0,101 | 0,2 | 10,0000 | |

Fuente: software (TERMO SOLAAR)

Luego de realizar la curva de calibración, se procede a introducir la muestra; su valor de absorbancia debe estar dentro de la curva e indicando la concentración en ppb del agua o sedimento encontrado. Cuando este se pasa que es lo más común en sedimentos por las grandes concentraciones encontradas, se diluye en agua de acuerdo a la concentración obtenida haciendo que se encuentre dentro de la curva.

Anexo 5. Curva de calibración



Fuente: software (TERMO SOLAR)

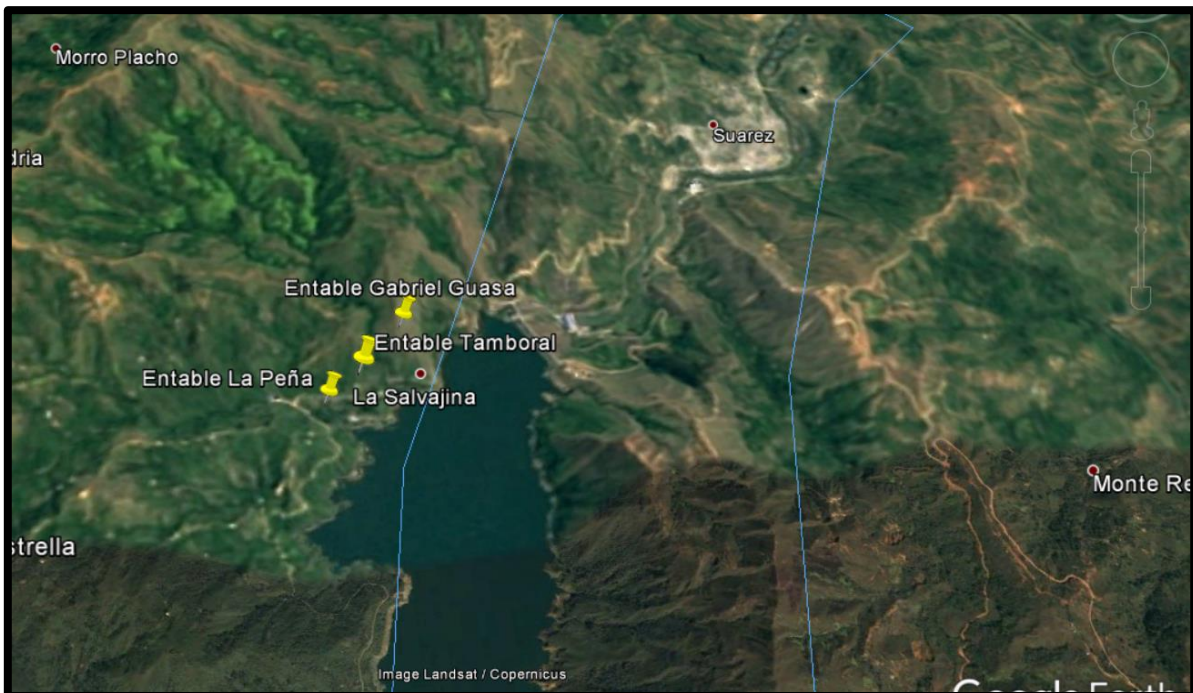
Anexo 6. Análisis de Resultados del espectrofotómetro absorción atómica



Fuente: Elaboración propia

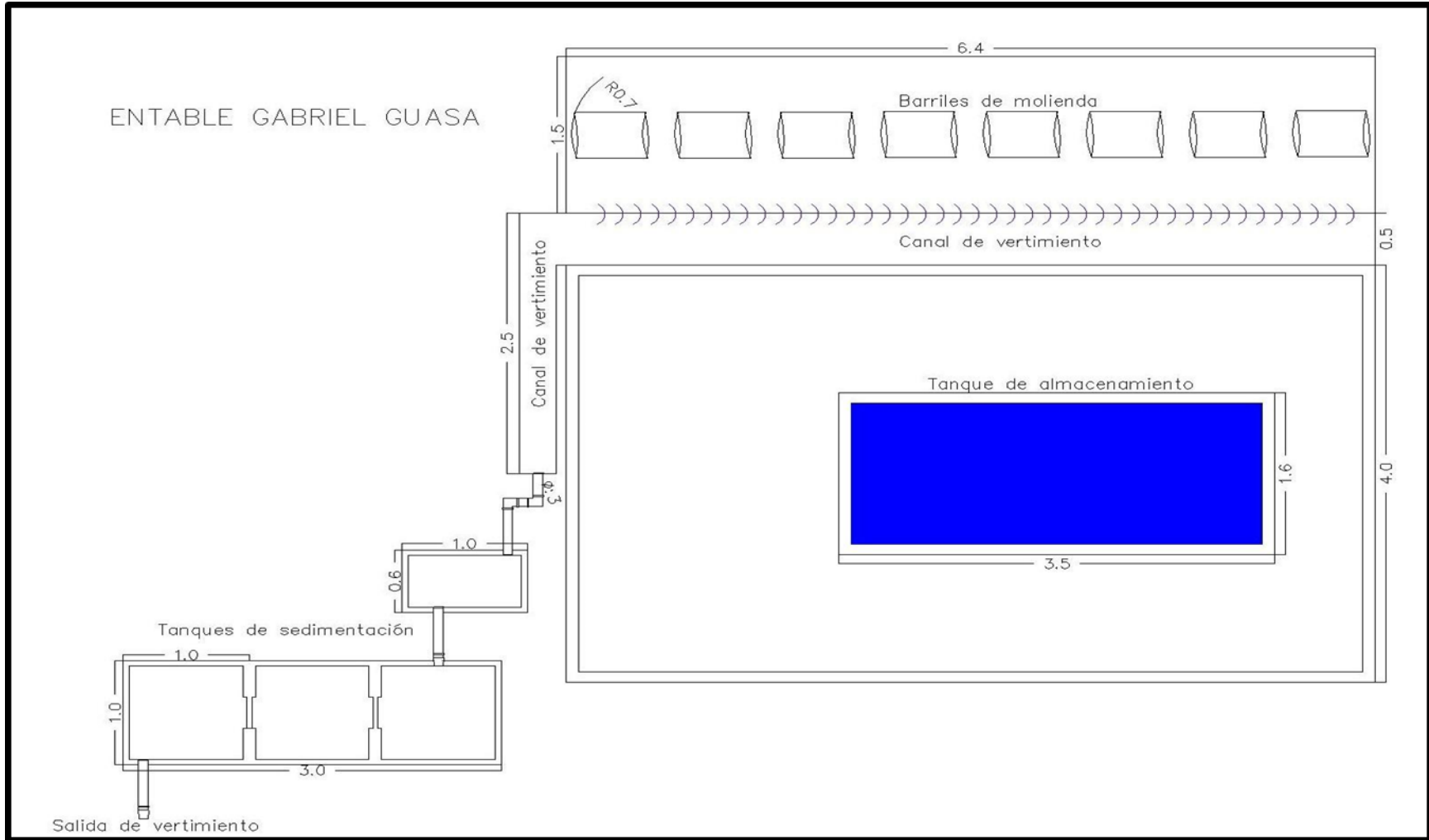
- a. Una vez terminado el análisis, estos son registrados en el software SOLAAR y copiados en el formato de resultados.

Anexo 7. Puntos de monitoreo en cada Entable



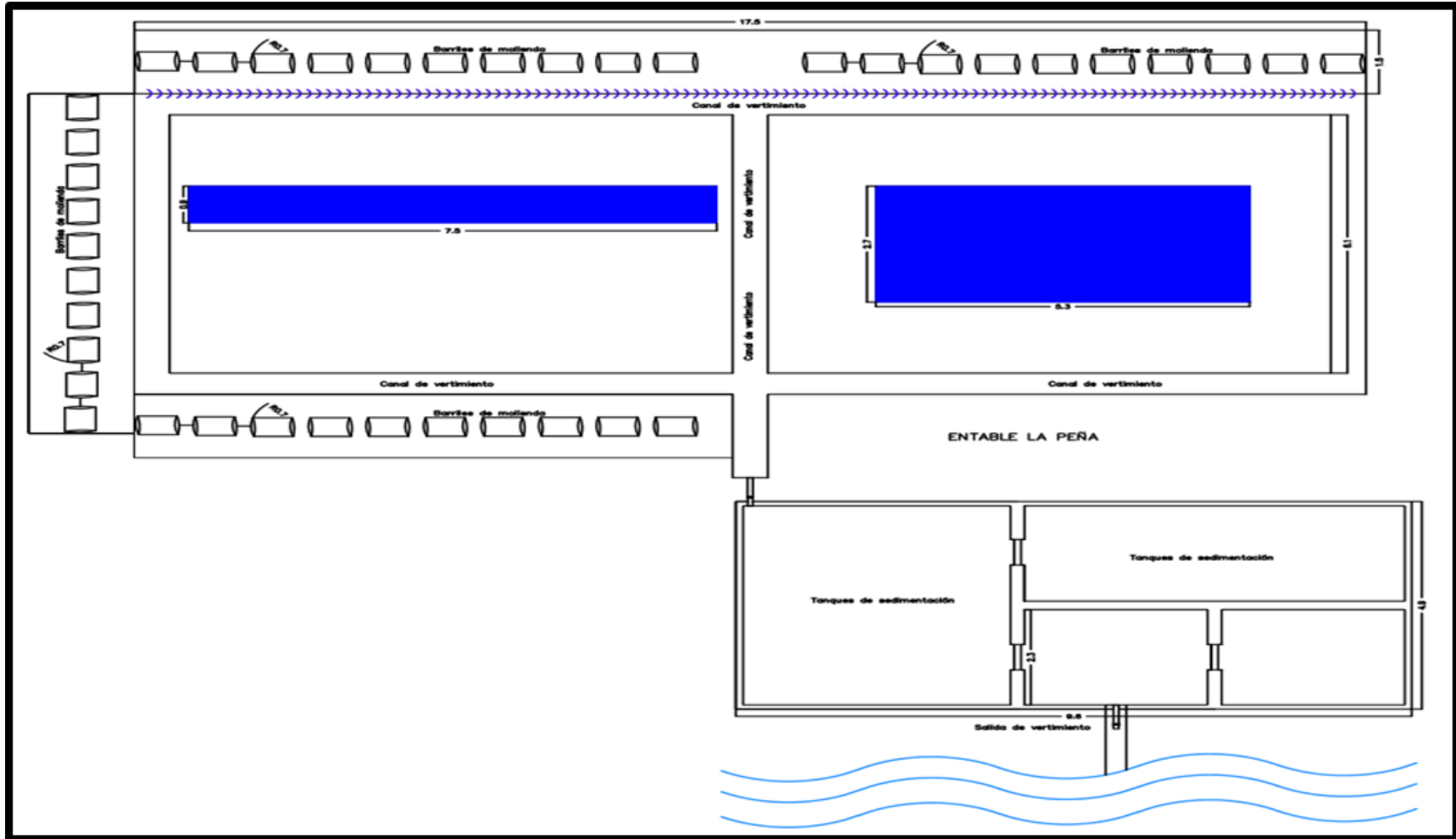
Fuente: Google Eart

Anexo 8. Diseño Entable Gabriel Guasa



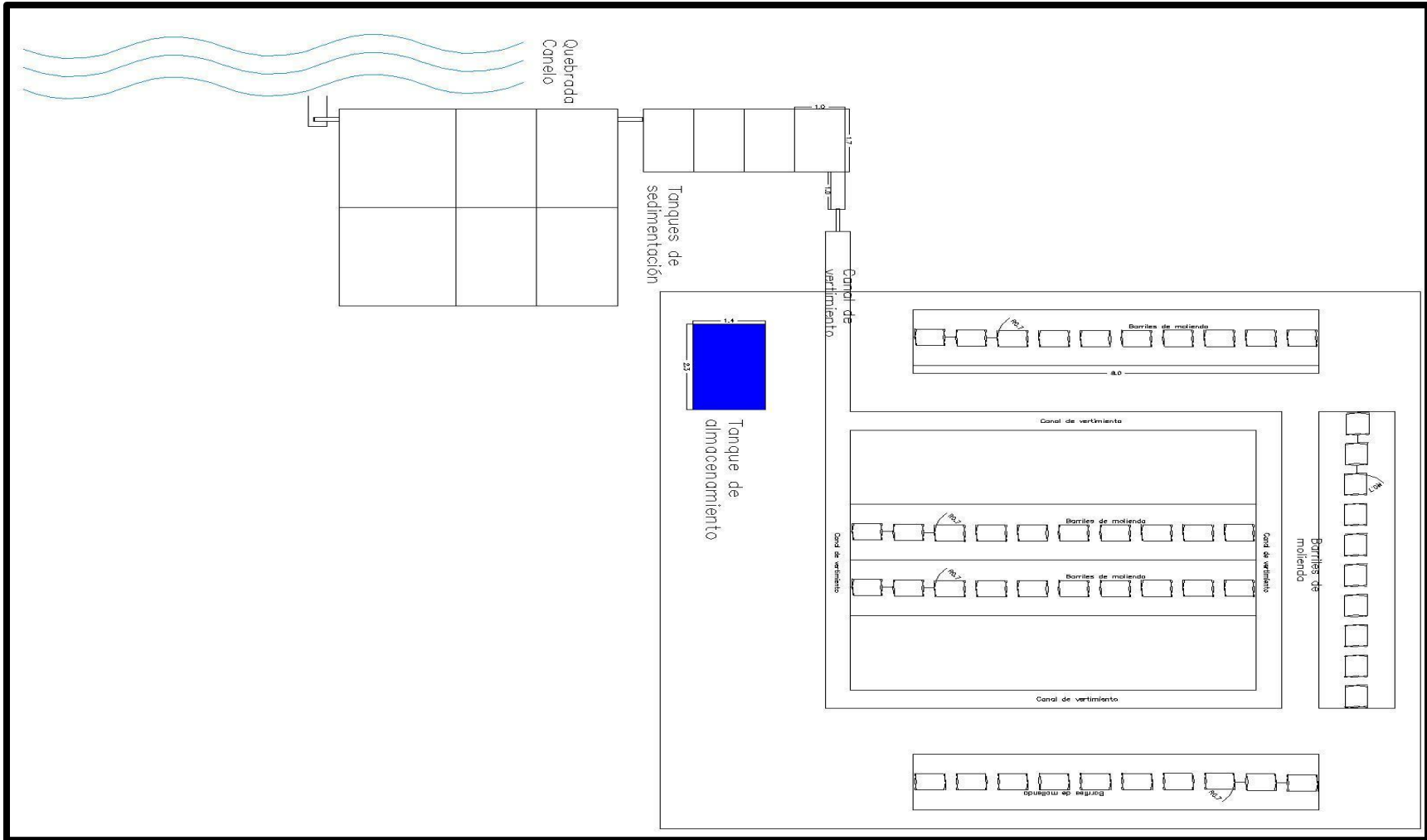
Fuente. Elaboración Pablo Maigual- Angie Rosero

Anexo 9. Diseño Entable la Peña



Fuente. Elaboración Pablo Maigual – Angie Rosero

Anexo 10. Diseño Entable Tamboral



Fuente: Elaboración Pablo Maigual- Angie Rosero

Anexo 11. Resultados de los parametros fisicoquimicos en los tres entables.

| | | |
|--|---|---|
| | Reporte N° 431 CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CAUCA LABORATORIO AMBIENTAL REPORTE DE RESULTADOS – MUESTRA DE AGUA | Código: FT-PDPA-LAB27 Fecha: 13/02/2013 Versión: 3 Página 1 de 1 |
|--|---|---|

Fecha: Noviembre 21 de 2016.

| | |
|---|--|
| Cliente: Subdirección Defensa del Patrimonio Ambiental Dirección: Carrera 7 N° 1N-28 | Solicitud N°: 294 Teléfono: 8203232 |
| Municipio de muestreo: Suarez | Fecha de Recepción: Noviembre 1 de 2016. Fecha de Análisis: Noviembre 1 a noviembre 10. |

Muestreo:

| | |
|---------------------------|--------------------------------|
| Plan de Muestreo N° | No suministrado por el cliente |
| Fecha de Muestreo | No suministrado por el cliente |
| Lugar de muestreo | Suarez |
| Procedimiento de muestreo | No suministrado por el cliente |
| Condiciones ambientales | No suministrado por el cliente |

Identificación de la muestra

| Código Muestra | Sitio de Muestreo |
|----------------|-------------------------|
| 1013 | Mina Edis, muestra N° 1 |
| 1014 | Mina Edis, salida N° 2 |

Resultados laboratorio:

| Variable | Método | Unidad | Resultados | |
|---------------|----------------------|------------------------|------------|---------|
| | | | 1013 | 1014 |
| pH | SM 4500-H B | Unidad | 7.03 | 7.15 |
| Conductividad | SM 2510 B | µS/cm. | 222 | 210 |
| Alcalinidad | SM 2320 B | mgCaCO ₃ /L | 77.9 | 92.8 |
| DQO | SM5220D, modificado | mg/L | 61.7 | 101 |
| SST | SM2540D | mg/L | 32.5 | 492 |
| Cianuro | SM4500-CN° E, modifi | mg/L | < 0.002 | < 0.002 |
| Mercurio | SM 3112 B | µg/L | 3.23 | 74.9 |

Observaciones:

| |
|---|
| -Los resultados que se relacionan en este informe hacen referencia únicamente a las muestras analizadas. -Este documento no puede ser reproducido parcial o totalmente sin la debida autorización del Laboratorio Ambiental. |
|---|

DIEGO ZULUAGA VERA
 Responsable Laboratorio Ambiental

Carrera 7ª 1N - 28 Edificio Edgar Negret Dueñas
 Fbco: 8203232 fax: 002 8203251
 Línea verde: 018000932655
 www.crc.gov.co

Laboratorio Ambiental: Vivero CRC, Vereda González, Popayán Telefax: 8245602



Reporte N° 432

| | | |
|--|---|--|
| | CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CAUCA LABORATORIO AMBIENTAL REPORTE DE RESULTADOS – MUESTRA DE SEDIMENTOS | Código: FT-PDPA-LA027 |
| | | Fecha: 13/02/2013 Versión: 3 Página 1 de 1 |

Fecha: Noviembre 21 de 2016.

| | |
|---|--|
| Cliente: Subdirección Defensa del Patrimonio Ambiental Dirección: Carrera 7 N° 1N-28 | Solicitud N°: 294 Teléfono: 8203232 |
| Municipio de muestreo: Suarez | Fecha de Recepción: Noviembre 1 de 2016. Fecha de Análisis: Noviembre 1 a noviembre 10. |

Muestreo:

| | |
|---------------------------|--------------------------------|
| Plan de Muestreo N° | No suministrado por el cliente |
| Fecha de Muestreo | No suministrado por el cliente |
| Lugar de muestreo | Buenos Aires |
| Procedimiento de muestreo | No suministrado por el cliente |
| Condiciones ambientales | No suministrado por el cliente |

Identificación de la muestra

| Código Muestra | Sitio de Muestreo |
|----------------|--------------------------------------|
| 1015 | Mina Edis, antes de vertimiento N° 1 |
| 1016 | Mina Edis, salida N° 2 |

Resultados laboratorio:

| Variable | Método | Unidad | Resultados | |
|----------|----------------------|--------|------------|------|
| | | | 1015 | 1016 |
| Mercurio | SM 3112 B; 7471B EPA | mg/Kg | 1183 | 1114 |

Observaciones:

| |
|---|
| -Los resultados que se relacionan en este informe hacen referencia únicamente a las muestras analizadas. -Este documento no puede ser reproducido parcial o totalmente sin la debida autorización del Laboratorio Ambiental. |
|---|

DIEGO ZULUAGA VERA
 Responsable Laboratorio Ambiental

Carrera 7 # 1N - 28 Edificio Edgar Negrat Dueñas
 Pbx: 8203232 fax: 092 8203251
 Línea vóida: 018000992855
www.crc.gov.co

Laboratorio Ambiental: Vivero CRC, Vereda González, Popayán Telefax: 8245802



Reporte N° 465

| | | |
|--|--|--|
| | CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CAUCA LABORATORIO AMBIENTAL | Código: FT-PDPA-LA027 |
| | | Fecha: 13/02/2013 Versión: 3 Página 1 de 1 |

Fecha: Diciembre 2 de 2016.

| | |
|--|---|
| Cliente: Subdirección Defensa del Patrimonio Ambiental | Solicitud N°: 317 |
| Dirección: Carrera 7 N° 1N-28 | Teléfono: 8203232 |
| Municipio de muestreo: Suarez | Fecha de Recepción: Noviembre 17 de 2016. |
| | Fecha de Análisis: Noviembre 17 a noviembre 30. |

Muestreo:

| | |
|---------------------------|--------------------------------|
| Plan de Muestreo N° | No suministrado por el cliente |
| Fecha de Muestreo | No suministrado por el cliente |
| Lugar de muestreo | Suarez |
| Procedimiento de muestreo | No suministrado por el cliente |
| Condiciones ambientales | No suministrado por el cliente |

Identificación de la muestra

| Código Muestra | Sitio de Muestreo |
|----------------|--------------------------------------|
| 1083 | Entable Gabriel Guaza |
| 1084 | Muestra 1, mina |
| 1085 | Quebrada Tamboral, aguas arriba |
| 1086 | Quebrada Tamboral, desembocadura |
| 1087 | Quebrada aguas abajo del vertimiento |

Resultados laboratorio:

| Variable | Método | Unidad | Resultados | | | | |
|---------------|---------------------|-------------------------|------------|-------|-------|-------|-------|
| | | | 1083 | 1084 | 1085 | 1086 | 1087 |
| pH | SM 4500-H B | Unidad | 6.30 | 7.04 | 7.55 | 7.62 | 7.72 |
| Conductividad | SM 2510 B | µS/cm. | 778 | 469 | 121 | 129 | 136 |
| Alcalinidad | SM 2320 B | mg CaCO ₃ /L | 89.1 | 60.3 | 56.2 | 63.0 | 45.9 |
| DQO | SM5220D, modificado | mg/L | 17.9 | 126 | < 15 | 29.2 | < 15 |
| SST | SM2540D | mg/L | 223 | 182 | 122 | 146 | 26.5 |
| Cianuro | SM4500-CN E, modifi | mg/L | 0.004 | 0.006 | 0.006 | 0.009 | 0.002 |
| Mercurio | SM 3112 B | µg/L | 19.7 | 141 | 11.4 | 25.6 | 2.52 |

Observaciones:

| |
|---|
| -Los resultados que se relacionan en este informe hacen referencia únicamente a las muestras analizadas. -Este documento no puede ser reproducido parcial o totalmente sin la debida autorización del Laboratorio Ambiental. |
|---|

DIEGO ZULUAGA VERA
 Responsable Laboratorio Ambiental

Carrera 7 # 1N - 28 Edificio Edgar Negret Dueñas
 Hbx: 8203232 fax: 062 8203201
 Línea verde: 018000032655
 www.crc.gov.co

Laboratorio Ambiental: Vivero CRC, Vereda González, Popayán Telefax: 8245802



Reporte N° 466

| | | |
|--|---|--|
| | CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CAUCA LABORATORIO AMBIENTAL REPORTE DE RESULTADOS – MUESTRA DE SEDIMENTOS | Código: FT-PDPA-LA027 |
| | | Fecha: 13/02/2013 Versión: 3 Página 1 de 1 |

Fecha: Diciembre 2 de 2016.

| | | |
|--|---|-------------------|
| Cliente: Subdirección Defensa del Patrimonio Ambiental Dirección: Carrera 7 N° 1N-28 Municipio de muestreo: Suarez | Teléfono: 8203232 Fecha de Recepción: Noviembre 17 de 2016. Fecha de Análisis: Noviembre 17 a noviembre 30. | Solicitud N°: 317 |
|--|---|-------------------|

Muestreo:

| | |
|---------------------------|--------------------------------|
| Plan de Muestreo N° | No suministrado por el cliente |
| Fecha de Muestreo | No suministrado por el cliente |
| Lugar de muestreo | Suarez |
| Procedimiento de muestreo | No suministrado por el cliente |
| Condiciones ambientales | No suministrado por el cliente |

Identificación de la muestra

| Código Muestra | Sitio de Muestreo |
|----------------|---------------------------------|
| 1088 | Muestra 1, vertimiento |
| 1089 | Quebrada Tamboral, aguas arriba |

Resultados laboratorio:

| Variable | Método | Unidad | Resultados | |
|----------|----------------------|--------|------------|--------|
| | | | 1088 | 1089 |
| Mercurio | SM 3112 B; 7471B EPA | µg/Kg | 510922 | 233735 |

Observaciones:

| |
|---|
| -Los resultados que se relacionan en este informe hacen referencia únicamente a las muestras analizadas. -Este documento no puede ser reproducido parcial o totalmente sin la debida autorización del Laboratorio Ambiental. |
|---|

DIEGO ZULUAGA VERA
 Responsable Laboratorio Ambiental

Carrera 7# 1N - 28 Edificio Edgar Negret Dueñas
 Hbx: 8203232 fax: 8203231
 Línea verde: 018000932655
 www.crc.gov.co

Laboratorio Ambiental: Vivero CRC, Vereda González, Popayán Telefax: 8246602



Reporte N° 063

| | | |
|--|--|-----------------------|
| | CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CAUCA LABORATORIO AMBIENTAL REPORTE DE RESULTADOS – MUESTRA DE AGUA | Código: FT-PDPA-LA027 |
| | | Fecha: 13/02/2013 |
| | | Versión: 3 |
| | | Página 1 de 1 |

Fecha: Marzo 9 de 2017.

| | |
|--|--|
| Cliente: Subdirección Defensa del Patrimonio Ambiental | Solicitud N°: 046 |
| Dirección: Carrera 7, N° 1N-28, Popayán | Teléfono: 8203232 |
| Municipio de muestreo: Suarez | Fecha de Recepción: Febrero 23 de 2017. |
| | Fecha de Análisis: Febrero 23 a marzo 6. |

Muestreo:

| | |
|---------------------------|--------------------|
| Plan de Muestreo N° | N/A |
| Fecha de Muestreo | Febrero 23 de 2017 |
| Lugar de Muestreo | Suárez |
| Procedimiento de muestreo | N/A |
| Condiciones ambientales | N/A |

Identificación de la muestra

| Código Muestra | Sitio de Muestreo |
|----------------|--------------------------------|
| 0122 | Bocamina Gabriel Guazá |
| 0123 | Vertimiento mina Gabriel Guazá |

Resultados laboratorio:

| Variable | Método | Unidad | Resultados | |
|---------------|---------------------|------------------------|------------|------|
| | | | 0122 | 0123 |
| pH | SM 4500-H B | Unidad | 7.77 | 7.42 |
| Conductividad | SM 2510 B | µS/cm. | 415 | 438 |
| DQO | SM5220D, modificado | mg/L | < 15 | < 15 |
| SST | SM2540D | mg/L | 21.5 | 24.0 |
| Alcalinidad | SM 2320B | mgCaCO ₃ /L | 35.7 | 37.7 |
| Mercurio | SM 3112 B | µg/L | 5.4 | 4.0 |

Observaciones:

| |
|---|
| -Los resultados que se relacionan en este informe hacen referencia únicamente a las muestras analizadas. -Este documento no puede ser reproducido parcial o totalmente sin la debida autorización del Laboratorio Ambiental. |
|---|


DIEGO ZULUAGA VERA
Responsable Laboratorio Ambiental

Carrera 7 # 1N - 28 Edificio Edgar Negret Dueñas
 Fbco: 8203232 fax: 092 8203251
 Línea verde: 018000932855
 www.crc.gov.co

Laboratorio Ambiental: Viviero CRC, Vereda González, Popayán Telefax: 8245602



Reporte N° 064

| | | |
|---|--|--|
|  | CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CAUCA LABORATORIO AMBIENTAL | Código: FT-PDPA-LA027 |
| | REPORTE DE RESULTADOS – MUESTRA DE SEDIAMTOS- | Fecha: 13/02/2013 Versión: 3 Página 1 de 1 |

Fecha: Marzo 9 de 2017.

| | |
|--|--|
| Cliente: Subdirección Defensa del Patrimonio Ambiental | Solicitud N°: 046 |
| Dirección: Carrera 7, N° 1N-28, Popayán | Teléfono: 8203232 |
| Municipio de muestreo: Suarez | Fecha de Recepción: Febrero 23 de 2017. |
| | Fecha de Análisis: Febrero 23 a marzo 6. |

Muestreo:

| | |
|---------------------------|--------------------|
| Plan de Muestreo N° | N/A |
| Fecha de Muestreo | Febrero 23 de 2017 |
| Lugar de Muestreo | Suárez |
| Procedimiento de muestreo | N/A |
| Condiciones ambientales | N/A |

Identificación de la muestra


| | |
|----------------|-------------------------------------|
| Código Muestra | Sitio de Muestreo |
| 0124 | Lodo Vertimiento mina Gabriel Guazá |

Resultados laboratorio:

| Variable | Método | Unidad | Resultados |
|----------|----------------------|--------|------------|
| Mercurio | SM 3112 B; 7471B EPA | µg/Kg | 78785 |

Observaciones:

-Los resultados que se relacionan en este informe hacen referencia únicamente a las muestras analizadas.
-Este documento no puede ser reproducido parcial o totalmente sin la debida autorización del Laboratorio Ambiental.


DIEGO ZULUAGA VERA
Responsable Laboratorio Ambiental

Carrera 7 # 1N - 28 Edificio Edgar Negret Dueñas
Fbco: 8203232 fax: 8203231
Línea verde: 018000032855
www.crc.gov.co

Laboratorio Ambiental: Vivero CRC, Vereda González, Popayán Telefax: 8245802



Reporte N° 094

| | | |
|--|---|------------------------|
| | CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CAUCA LABORATORIO AMBIENTAL REPORTE DE RESULTADOS – MUESTRA DE AGUA- | Código: FT-PDPA-LA.027 |
| | | Fecha: 13/02/2013 |
| | | Versión: 3 |
| | | Página 1 de 1 |

Fecha: Marzo 30 de 2017.

| | |
|--|---|
| Cliente: Subdirección Defensa del Patrimonio Ambiental | Solicitud N°: 065 |
| Dirección: Carrera 7, N° 1N-28, Popayán | Teléfono: 8203232 |
| Municipio de muestreo: Suarez | Fecha de Recepción: Marzo 15 de 2017. |
| | Fecha de Análisis: Marzo 15 a marzo 30. |

Muestreo:

| | |
|---------------------------|--------|
| Plan de Muestreo N° | N/A |
| Fecha de Muestreo | N/A |
| Lugar de Muestreo | Suarez |
| Procedimiento de muestreo | N/A |
| Condiciones ambientales | N/A |

Identificación de la muestra

| Código Muestra | Sitio de Muestreo |
|----------------|---|
| 0180 | Vertimiento tanque de sedimentación mina La Palma |
| 0182 | Vertimiento quebrada Tamboral, mina La Palma |
| 0183 | Vertimiento quebrada El Higuieron, mina Tamboral |
| 0185 | Entrada tanque de sedimentación, mina Tamboral |
| 0186 | Salida tanque de sedimentación, mina Tamboral |

Resultados laboratorio:

| Variable | Método | Unidad | Resultados | | | | |
|---------------|---------------------|--------|------------|------|------|------|------|
| | | | 0180 | 0182 | 0183 | 0185 | 0186 |
| pH | SM 4500-H B | Unidad | 7.05 | 7.33 | 7.30 | 7.58 | 7.70 |
| Conductividad | SM 2510 B | µS/cm. | 275 | 286 | 252 | 145 | 308 |
| DQO | SM5220D, modificado | mg/L | 22.1 | < 15 | < 15 | < 15 | 35.5 |
| SST | SM2540D | mg/L | 7545 | 4290 | 455 | 273 | 910 |
| Mercurio | SM 3112 B | µg/L | 450 | 174 | 19.8 | 40.1 | 40.9 |

Observaciones:

| |
|---|
| -Los resultados que se relacionan en este informe hacen referencia únicamente a las muestras analizadas. -Este documento no puede ser reproducido parcial o totalmente sin la debida autorización del Laboratorio Ambiental. |
|---|

DIEGO ZULUAGA VERA
 Responsable Laboratorio Ambiental

Carrera 7 # 1N - 28 Edificio Edgar Negret Dueñas
 Hbx: 8203232 fax: 8203251
 Línea verde: 01800092855
www.crc.gov.co

Laboratorio Ambiental: Vivero CRC, Vereda González, Popayán Telefax: 8245802



Reporte N° 123

| | | |
|--|--|-----------------------|
| | CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CAUCA LABORATORIO AMBIENTAL | Código: FT-PDPA-LA027 |
| | | Fecha: 13/02/2013 |
| | | Versión: 3 |
| | | Página 1 de 1 |

Fecha: Abril 25 de 2017.

| | |
|--|--|
| Cliente: Subdirección Defensa del Patrimonio Ambiental Dirección: Carrera 7 N° 1N-28, Popayán | Teléfono: 8203232 Solicitud N°: 089 |
| Municipio de muestreo: Suarez | Fecha de Recepción: Abril 6 de 2017. Fecha de Análisis: Abril 6 a abril 21. |

Muestreo:

| | |
|---------------------------|--------|
| Plan de Muestreo N° | N/A |
| Fecha de Muestreo | N/A |
| Lugar de Muestreo | Suarez |
| Procedimiento de muestreo | N/A |
| Condiciones ambientales | N/A |

Identificación de la muestra

| Código Muestra | Sitio de Muestreo |
|----------------|---|
| 0237 | Entable Peña, tanque de sedimentación |
| 0238 | Entable Peña, quebrada Tamboral |
| 0239 | Entable Tamboral, tanque de sedimentación |
| 0240 | Entable Tamboral, quebrada Canelo |
| 0241 | Entable Gabriel García, tanque de sedimentación |

Resultados laboratorio:

| Variable | Método | Unidad | Resultados | | | | |
|---------------|---------------------|--------|------------|------|------|------|------|
| | | | 0237 | 0238 | 0239 | 0240 | 0241 |
| pH | SM 4500-H B | Unidad | 7.81 | 7.95 | 8.06 | 7.92 | 7.99 |
| Conductividad | SM 2510 B | µS/cm. | 437 | 188 | 119 | 139 | 545 |
| DQO | SM5220D, modificado | mg/L | < 15 | < 15 | < 15 | < 15 | < 15 |
| SST | SM2540D | mg/L | 1667 | 573 | 409 | 1618 | 1606 |
| Mercurio | SM 3112 B | µg/L | 170 | 46.1 | 12.5 | 33.0 | 2.36 |

Observaciones:

| |
|---|
| -Los resultados que se relacionan en este informe hacen referencia únicamente a las muestras analizadas. -Este documento no puede ser reproducido parcial o totalmente sin la debida autorización del Laboratorio Ambiental. |
|---|

DIEGO ZULUAGA VERA
 Responsable Laboratorio Ambiental

Carrera 7 # 1N - 28 Edificio Edgar Negret Dueñas
 Fbco: 8203232 fax: 082 8203251
 Línea verde: 018000032653
 www.crc.gov.co

Laboratorio Ambiental: Vivero CRC, Vereda González, Popayán Telefax: 8245802



Reporte N° 124

| | | |
|--|--|-----------------------|
| | <p align="center">CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CAUCA LABORATORIO AMBIENTAL</p> <p align="center">REPORTE DE RESULTADOS – MUESTRA DE SEDIMENTOS--</p> | Código: FT-PDPA-LA027 |
| | | Fecha: 13/02/2013 |
| | | Versión: 3 |
| | | Página 1 de 1 |

Fecha: Abril 25 de 2017.

| | |
|--|--|
| Cliente: Subdirección Defensa del Patrimonio Ambiental | Solicitud N°: 089 |
| Dirección: Carrera 7 N° 1N-28, Popayán | Teléfono: 8203232 |
| Municipio de muestreo: Suarez | Fecha de Recepción: Abril 6 de 2017. |
| | Fecha de Análisis: Abril 6 a abril 21. |

Muestreo:

| | |
|---------------------------|--------|
| Plan de Muestreo N° | N/A |
| Fecha de Muestreo | N/A |
| Lugar de Muestreo | Suarez |
| Procedimiento de muestreo | N/A |
| Condiciones ambientales | N/A |

Identificación de la muestra

| Código Muestra | Sitio de Muestreo |
|----------------|---|
| 0242 | Entable Peña, quebrada Tamboral |
| 0243 | Entable Peña, tanque de sedimentación |
| 0244 | Entable Gabriel García, tanque de sedimentación |

Resultados laboratorio:

| Variable | Método | Unidad | Resultados | | |
|----------|----------------------|--------|------------|--------|---------|
| | | | 0242 | 0243 | 0244 |
| Mercurio | SM 3112 B; 7471B EPA | µg/Kg | 20193 | 453742 | 3862421 |

Observaciones:

| |
|---|
| <p>-Los resultados que se relacionan en este informe hacen referencia únicamente a las muestras analizadas. -Este documento no puede ser reproducido parcial o totalmente sin la debida autorización del Laboratorio Ambiental.</p> |
|---|

DIEGO ZULUAGA VERA
 Responsable Laboratorio Ambiental

Carrera 7 # 1N - 28 Edificio Edgar Negret Dueñas
 Fbco: 8203232 fax: 892 8203251
 Línea verde: 018000032655
 www.crc.gov.co

Laboratorio Ambiental: Vivero CRC, Vereda González, Popayán Telefax: 8245802



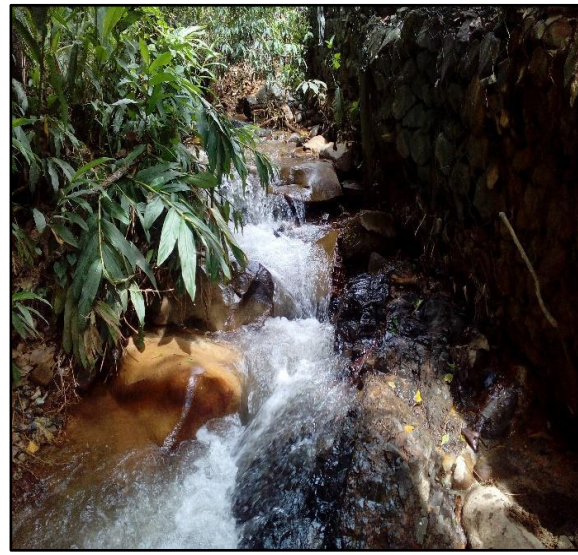
Fuente: Laboratorio CRC

Anexo 12. Registro fotográfico Entable Gabriel Guasa



Fuente: Elaboración propia

Anexo 13. Registro fotográfico Entable Tamboral



Fuente: Elaboración propia

ANEXO 14. Registro fotográfico Entable La Peña



Fuente: Elaboración propia

