

DETERMINACIÓN DE MERCURIO Y CIANURO EN EFLUENTES Y DIQUES  
DE COLA EN CUATRO ENTABLES MINEROS DE ORO DEL MUNICIPIO DEL  
TAMBO, CAUCA.



CORPORACION UNIVERSITARIA  
**AUTONOMA**  
DEL CAUCA

DIANA PATRICIA SÁNCHEZ TORRES  
JOJAN ALBEYRO CASTRO AGUIÑO

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA AUTÓNOMA DEL CAUCA  
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE  
PROGRAMA INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA  
POPAYÁN  
2019

DETERMINACIÓN DE MERCURIO Y CIANURO EN EFLUENTES Y DIQUES  
DE COLA EN CUATRO ENTABLES MINEROS DE ORO DEL MUNICIPIO DEL  
TAMBO, CAUCA.



CORPORACION UNIVERSITARIA  
**AUTONOMA**  
DEL CAUCA

DIANA PATRICIA SANCHEZ TORRES  
JOJAN ALBEYRO CASTRO AGUIÑO

Trabajo de Grado, en modalidad investigación para optar al título de Ingeniería  
Ambiental y Sanitaria

DIRECTORA  
NATALIA SAMBONI, QUIMICA

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA AUTÓNOMA DEL CAUCA  
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE  
PROGRAMA INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA  
POPAYÁN  
2019

## NOTA DE ACEPTACIÓN

Una vez revisado el documento final del trabajo de grado titulado “Determinación de mercurio y cianuro en efluentes y diques de cola en cuatro entables mineros de oro del municipio del Tambo, Cauca”; realizado por los alumnos Diana Patricia Sánchez Torres y Jojan Albeyro Castro Aguiño, se autoriza la sustentación del mismo para optar al título Profesional en Ingeniería Ambiental y Sanitaria.

---

Natalia Samboni  
Directora  
Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria  
Corporación Universitaria Autónoma del Cauca

---

Carlos Torrado  
Jurado  
Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria  
Corporación Universitaria Autónoma del Cauca

---

Arnold Arias  
Jurado  
Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria  
Corporación Universitaria Autónoma del Cauca

Popayán, 01 de marzo, 2019

**DEDICATORIA**  
**DIANA PATRICIA SÁNCHEZ TORRES**

Dedico este trabajo a Dios por todas sus bendiciones, protegerme de todo mal, darme la fuerza y perseverancia para superar cada obstáculo de mi vida.

Especialmente se lo dedico a mi amada abuela Rosa María Sánchez, quién me dejó un gran legado de vida, que fue parte de todo mi proceso de formación para ser la mujer de hoy en día y mi mayor motivación para culminar esta etapa como profesional.

A mi padre Luis Enrique Sánchez, que ha sido de gran admiración y mi ejemplo a seguir. A mi madre Emperatriz Torres una mujer ejemplar que ha entregado lo mejor de sí misma para que nunca nos falte. A mi hermano Luis Daniel Sánchez un gran apoyo en mi vida y mi compañía durante muchos años.

A toda mi familia, amigos y compañeros quienes aportaron de una u otra forma un granito de arena en mi experiencia de vida.

## **AGRADECIMIENTOS**

### **DIANA PATRICIA SÁNCHEZ TORRES**

Quiero agradecer a Dios por darme la vida, salud, por brindarme sabiduría para guiar cada uno de mis pasos en todo el proceso de mi vida como persona y profesional.

A mis padres Luis Enrique Sánchez y Emperatriz Torres quienes con su esfuerzo, dedicación, apoyo y su incondicional amor han sido mis mejores maestros de vida, para alcanzar mis metas y sueños.

A los funcionarios de la CRC Ecólogo Hernán Marulanda, Yenny Muñoz y grupo de trabajo CRC, quienes me ofrecieron todo el apoyo y sabiduría en el proceso de mi pasantía.

Al profesor e Ingeniero Carlos Torrado y Biólogo Arnold Arias, quienes nos guiaron con sus conocimientos e experiencias. A la Química Natalia Samboni Ruiz por ser nuestra directora y guía en el trabajo de grado, pero sobre todo por sus tan valiosos aportes, apoyo, entrega, disposición y tiempo para aclarar cualquier inquietud o duda.

Mi mayor gratitud a la Cooperativa de Fondas- Limoncitos, al Ingeniero Edgar Pérez, a Don Omar Manrique, a los señores Horacio Restrepo del entable el Trio II; José Edgar Marín del entable el Cuarzo; Yeiner Alirio Gómez del entable la Vega y Gerardo Antonio Ibarra del entable el Roble. Por abrirnos las puertas para poder desarrollar nuestro trabajo de grado, por su gran disposición, colaboración, por instruirnos con su experiencia y sabiduría.

## **DEDICATORIA**

### **JOJAN ALBEYRO CASTRO AGUIÑO**

Inicialmente deseo dedicarle este trabajo de investigación a Dios por ser siempre ese sentimiento de alegría, tranquilidad y serenidad en cada momento de esta etapa de vida que esta próxima a culminar espero ser digno por tan valioso esfuerzo.

A todas las personas que siempre creyeron en mi capacidad, capacidad que tenemos todos, es grato saber la fuerza y determinación que poseemos cuando queremos alcanzar algo.

A mi madre (Nancy Aguiño Bonilla), y hermanos (Rosy Castro Aguiño, Edward Castro Aguiño, Keisy Castro Aguiño) no hay un día en el que no le agradezca a dios el haberme colocado entre ustedes, la fortuna más grande es tenerlos conmigo y el tesoro más valioso son todos y cada uno de los valores que me inculcaron.

Si algo me enseñó esta carrera es que existen personas valiosas, compañeros de armas Diana Sánchez Torres, y demás compañeros de promoción valió la pena luchar juntos por una meta, si bien a de terminar esta etapa me queda la satisfacción de haber compartido con personas tan valiosas como ustedes, les doy las gracias por su apoyo y afecto.

Se requiere de muchos estudios para ser profesional, pero se requiere de toda una vida para aprender a ser persona.

## **AGRADECIMIENTO**

### **JOJAN ALBEYRO CASTRO AGUIÑO**

Agradecemos a Dios por bendecirnos la vida, por guiarnos a lo largo de nuestra existencia, ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad.

Gracias a nuestros padres por ser los principales promotores de nuestros sueños, por confiar y creer en nuestras expectativas, por los consejos, valores y principios que nos han inculcado. Agradecemos a nuestros docentes de la Corporación Universitaria Autónoma del Cauca del programa de Ciencias Ambientales y Desarrollo Sostenible, por haber compartido sus conocimientos a lo largo de la preparación de nuestra profesión, de manera especial, a la Corporación Autónoma Regional del Cauca (CRC) quien hizo realidad esta investigación con sus aportes económicos y acompañamiento, Ingeniera Química Natalia Samboni Ruiz e Ingeniero Carlos Torrado Cuellar tutor de nuestro proyecto de investigación, ante tantos grupos, supieron como guiarnos en tan arduo trabajo deseo expresar mi gratitud hacia ustedes deseándoles éxito y el mayor de los augurios en su trayectoria profesional, quienes han guiado con su paciencia, y su rectitud como docentes, y a los habitantes de la comunidad de Fondas Limoncitos por su valioso aporte para nuestra investigación.

## TABLA DE CONTENIDO

|   | Pág.      |
|---|-----------|
| <b>RESUMEN .....</b>  | <b>15</b> |
| <b>ABSTRACT.....</b>  | <b>16</b> |
| <b>INTRODUCCIÓN .....</b>   | <b>17</b> |
| <b>CAPITULO I: PROBLEMA .....</b>   | <b>18</b> |
| <b>1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>  | <b>18</b> |
| <b>1.3 JUSTIFICACIÓN.....</b>   | <b>19</b> |
| <b>1.4 OBJETIVOS.....</b>   | <b>19</b> |
| 1.4.1 Objetivo General .....  | 19        |
| 1.4.2 Objetivos específicos.....  | 19        |
| <b>CAPITULO II: MARCO TEORICO .....</b>   | <b>20</b> |
| <b>2.1 ANTECEDENTES .....</b>   | <b>20</b> |
| <b>2.2 BASES TEORICAS .....</b>   | <b>21</b> |
| <b>2.2.1 Minería.....</b>   | <b>22</b> |
| <b>2.2.2 Tipos de minería.....</b>  | <b>22</b> |
| ➤ Minería en Pequeña escala .....   | 22        |
| ➤ Minería Tradicional .....   | 22        |
| ➤ Minería Ilegal .....  | 22        |
| ➤ Minería de Hecho .....  | 23        |
| ➤ Minería de filón .....  | 23        |
| ➤ La extracción del oro en veta en la pequeña minería: .....                                    | 23        |
| ➤ La explotación de oro de aluvión: .....   | 23        |
| ➤ La pequeña minería a cielo abierto: .....   | 24        |
| ➤ Minería subterránea: .....  | 24        |
| <b>2.2.3 Impactos Ambientales generados por la actividad de minería de oro.</b><br><b>.....</b> | <b>24</b> |
| ➤ Material Particulado .....  | 24        |
| ➤ Gases .....   | 24        |
| ➤ Ruido .....   | 24        |
| ➤ Suelo .....   | 24        |
| <b>2.2.4 Recuperación de oro mediante cianuro o mercurio.....</b>                               | <b>25</b> |
| <b>2.2.5 Mercurio .....</b>   | <b>25</b> |
| ➤ Propiedades fisicoquímicas .....  | 25        |
| ➤ Uso del mercurio .....  | 26        |



|  |           |
|--|-----------|
| ➤ Niveles de mercurio a nivel ambiental y exposición humana .....                            | 26        |
| ➤ El mercurio en la atmósfera.....   | 26        |
| ➤ El mercurio en los suelos .....  | 27        |
| ➤ Exposición al mercurio a través del consumo de agua.....                                   | 27        |
| <b>2.2.6 Cianuro.....</b>  | <b>28</b> |
| ➤ Propiedades fisicoquímicas del ion cianuro.....  | 28        |
| ➤ Propiedades fisicoquímicas del cianuro .....   | 28        |
| ➤ Compuestos Complejos de Cianuro .....  | 28        |
| ➤ Cianuro Total (TCN) .....  | 29        |
| ➤ Mecanismos y niveles de toxicidad del cianuro .....  | 29        |
| ➤ Exposición de cianuro en los humanos .....   | 29        |
| ➤ El cianuro en los ecosistemas acuáticos .....  | 29        |
| ➤ El cianuro en la atmósfera .....   | 30        |
| ➤ El cianuro en el suelo .....   | 30        |
| <b>2.3 ZONA DE ESTUDIO .....</b>   | <b>31</b> |
| 2.3.1 Localización del Proyecto.....   | 31        |
| <b>2.4 BASES LEGALES .....</b>   | <b>32</b> |
| 2.4.1 MARCO NORMATIVO ÁREA MINERA.....   | 32        |
| 2.4.2 MARCO NORMATIVO ÁREA AMBIENTAL .....   | 32        |
| <b>CAPITULO III: METODOLOGÍA.....</b>  | <b>33</b> |
| <b>3.1 Fase I. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO .....</b>                                 | <b>33</b> |
| 3.1.1 CARACTERIZACIÓN DE LOS ENTABLES INTERVENIDOS EN EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN .....     | 33        |
| 3.1.2 Medición de Parámetros fisicoquímicos .....  | 33        |
| <b>4. FASE II EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES.....</b>                                    | <b>35</b> |
| 4.1. Evaluación de zona de estudio.....  | 35        |
| 4.2 Impacto Ambiental.....   | 35        |
| <b>5. RESULTADOS Y ANÁLISIS.....</b>   | <b>38</b> |
| <b>5.1 CARACTERIZACIÓN DE LOS ENTABLES INTERVENIDOS EN EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....</b> | <b>38</b> |
| <b>5.1.1 CARACTERIZACIÓN PLANTA DE BENEFICIO EL TRIO II.....</b>                             | <b>38</b> |
| Caracterización línea base planta de beneficio de minerales auríferos el Trio II .....       | 38        |
| <b>5.1.2 CARACTERIZACIÓN PLANTA DE BENEFICIO LA VEGA.....</b>                                | <b>40</b> |
| <b>5.1.3 CARACTERIZACIÓN DE LAS PLANTAS DE BENEFICIO EL CUARZO Y EL ROBLE.....</b>           | <b>41</b> |
| <b>5.2 Parámetros fisicoquímicos.....</b>  | <b>43</b> |
| 5.2.1 Caracterización fisicoquímica.....   | 43        |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>5.3 DETERMINACIÓN GRADO DE AFECTACIÓN .....</b> | <b>50</b> |
| <b>5. CONCLUSIONES .....</b>                       | <b>62</b> |
| <b>6. RECOMENDACIONES .....</b>                    | <b>64</b> |
| <b>8. Bibliografías.....</b>                       | <b>65</b> |
| <b>ANEXOS .....</b>                                | <b>70</b> |

## LISTA DE TABLAS

|   | Pág. |
|---|------|
| <b>Tabla 1.</b> Información entables intervenidos.....  | 33   |
| <b>Tabla 2.</b> Conservación, análisis y límites permisibles normativos.....                            | 34   |
| <b>Tabla 3.</b> Matriz grado de afectación ambiental .....  | 35   |
| <b>Tabla 4.</b> Importancia Ambiental .....   | 37   |
| <b>Tabla 5.</b> Resultados de los parámetros fusicoquimicos analizados en los diferentes entables ..... | 43   |
| <b>Tabla 6.</b> Concentración de Mercurio en sedimentos en los entables.....                            | 49   |
| <b>Tabla 7.</b> Concentración de Mercurio en prueba piloto .....  | 50   |
| <b>Tabla 8.</b> Grado de afectación ambiental entable el Trio II.....                                   | 51   |
| <b>Tabla 9.</b> Importancia ambiental entable el Trio II .....  | 52   |
| <b>Tabla 10.</b> Grado de afectación ambiental entable el Trio II.....                                  | 52   |
| <b>Tabla 11.</b> Importancia ambiental entable el Trio II .....   | 53   |
| <b>Tabla 12.</b> Grado de afectación ambiental entable el Roble .....                                   | 55   |
| <b>Tabla 13.</b> Importancia ambiental entable el Roble.....  | 56   |
| <b>Tabla 14.</b> Grado de afectación ambiental entable el Roble .....                                   | 57   |
| <b>Tabla 15.</b> Importancia ambiental entable el Roble .....   | 58   |
| <b>Tabla 16.</b> Grado de afectación ambiental. Entables el Cuarzo y la Vega .....                      | 58   |
| <b>Tabla 17.</b> Importancia ambiental de los entables el Cuarzo y la Vega.....                         | 59   |
| <b>Tabla 18.</b> Grado de afectación ambiental. Entables el Cuarzo y la Vega. ....                      | 60   |
| <b>Tabla 19.</b> Importancia ambiental de los entables El Cuarzo y la Vega .....                        | 61   |

## LISTA DE FIGURAS

|  | <b>Pág.</b> |
|--|-------------|
| <b>Figura 1.</b> Esquema de extracción de oro .....                | 22          |
| <b>Figura 2.</b> Municipio del Tambo – Cauca. ....                 | 31          |
| <b>Figura 3.</b> Infraestructura del Entable El Trio II .....      | 39          |
| <b>Figura 4.</b> Esquema del proceso del entable el Trio II .....  | 39          |
| <b>Figura 5.</b> Esquema del proceso del entable La Vega .....     | 40          |
| <b>Figura 6.</b> Esquema del proceso del Cuarzo y El Roble .....   | 41          |
| <b>Figura 7.</b> Esquema del proceso del entable El Roble .....    | 42          |
| <b>Figura 8.</b> Prueba piloto entable El Trio II .....            | 49          |
| <b>Figura 9.</b> Disposición de lodos del entable el Trio II ..... | 54          |
| <b>Figura 10.</b> Afectación paisajística y erosión.....           | 54          |
| <b>Figura 11.</b> Disposición de lodos los entables la Vega. ....  | 56          |
| <b>Figura 12.</b> Disposición de lodos los entables el Roble. .... | 56          |
| <b>Figura 13.</b> Disposición de lodos del entable el cuarzo.....  | 61          |
| <b>Figura 14.</b> Afectación paisajística y erosión.....           | 61          |

## LISTA DE GRAFICOS

|  | <b>Pág.</b> |
|--|-------------|
| <b>Grafica 1.</b> pH en efluentes y en los entables mineros. ....                              | 44          |
| <b>Grafica 2.</b> Conductividad en efluentes y en los entables mineros. ....                   | 45          |
| <b>Grafica 3.</b> DQO en efluentes y en los entables mineros.....                              | 45          |
| <b>Grafica 4.</b> SST en efluentes y en los entables mineros. ....                             | 46          |
| <b>Grafica 5.</b> Concentración de cianuro en efluentes y en los entables .....                | 47          |
| <b>Grafica 6.</b> Concentración de Mercurio en cada uno de los entables y efluentes..<br>..... | 48          |

## LISTA DE ANEXOS

|  | <b>Pág.</b> |
|--|-------------|
| <b>Anexo 1.</b> Formato de encuesta.....   | 70          |
| <b>Anexo 2.</b> Caracterización de las líneas bases de las cuatro (4) plantas de beneficios de oro. .... | 78          |
| <b>Anexo 3.</b> Reporte de resultados laboratorio CRC, 1er Monitoreo.....                                | 81          |
| <b>Anexo 4.</b> Reporte de resultados laboratorio CRC, 2do Monitoreo.....                                | 84          |
| <b>Anexo 5.</b> Reporte de resultados laboratorio CRC, 3er Monitoreo.....                                | 88          |
| <b>Anexo 6.</b> Reporte de resultados de la prueba piloto.....   | 92          |
| <b>Anexo 7.</b> Registro fotografico entable el Trio II.....   | 94          |
| <b>Anexo 8.</b> Registro fotográfico entable el Roble.....   | 95          |
| <b>Anexo 10.</b> Registro fotográfico entable el la Vega.....  | 97          |
| <b>Anexo 11.</b> Registro fotográfico de Monitoreos y quebradas. ....                                    | 98          |
| <b>Anexo 12.</b> Registro fotográfico de la prueba piloto. ....  | 99          |

## RESUMEN

En este trabajo de investigación se determinó la presencia de mercurio y cianuro tanto en efluentes como en los diques de cola, producto del beneficio de oro en el municipio del Tambo – departamento del Cauca. Para el desarrollo de la investigación se realizaron tres (3) monitoreos en cuatro (4) entables representativos de la zona rural de Fondas Limoncitos.

Se evaluó para cada entable: aguas arriba, punto de descarga, aguas abajo y sustrato, tomando muestra simples y procesadas en el laboratorio ambiental de la Corporación Autónoma Regional del Cauca (CRC), certificada por el IDEAM para análisis fisicoquímicos de aguas por la Resolución 2199 del 2016, donde se determinó mercurio, cianuro, sólidos suspendidos totales, alcalinidad, conductividad, temperatura, pH y DQO.

Los datos fisicoquímicos se compararon con la Resolución 0631 de 2015, encontrando valores en un rango entre 0.003 - 152mg/L para Cianuro y de mercurio < 0.00035 - 0.431 mg/L. Encontrando que los niveles de mercurio en sedimentos presenta valores inferiores a lo estipulados por la norma, que se evaluaron con el DECRETO SUPREMO N° 002-2013-MINAM, con el que se reglamenta y se aprueban los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Perú. Debido a que en Colombia no se cuenta con una normatividad que permita reglamentar la comparación de los niveles de mercurio en lodos.

**Palabras claves:** Beneficio de oro, Entable Minero, Mercurio, Cianuro, Vertimientos, Sedimentos.

## ABSTRACT

Through this research work, the presences of mercury and cyanide result of the extraction of gold in the Municipality of Tambo – (Cauca) were determined, both in effluents and in tail dikes. For the development of this research, Three (3) monitoring tests were established in four (4) stacks of boards, representative of the rural area of Fondas - Limoncitos.

For each one of the selected points, a basic sample was set. Namely upstream, unloading point, downstream and substrate; applying the "Water sampling format" that is implemented by the Regional Autonomous Corporation of Cauca (CRC), certified by the IDEAM for analysis, through Resolution 2199 of 2016), and processed in the laboratory of this entity; where mercury, cyanide, total suspended solids, alkalinity, conductivity, temperature, pH and COD were found.

The physicochemical data were compared with Resolution 0631 of 2015, finding values in a range between 0.003 - 152 mg / L for Cyanide and mercury <0.00035 - 0.431 mg / L. Finding what the level of mercury in sediments have values below those ones stipulated by the legislation, based on the SUPREME DECREE N ° 002-2013-MINAM, which regulates and approves the Environmental Quality Standards (ECA) for Peru. Since there is no regulation in Colombia that allows regulating the comparison of mercury levels in sludge.

**Key words:** Gold Profit, Gold Profit, Mercury, Cyanide, Vertimientos, Sediments.



## INTRODUCCIÓN

Colombia cuenta con una geología que facilita la producción y el desarrollo de la minería, la actividad minera representa en el país un significativo aporte al desarrollo económico y social de los territorios, generando un efecto en el aumento de los ingresos y promoviendo el mejoramiento del desempeño empresarial, en condiciones de responsabilidad social y ambiental, impulsando el desarrollo en lugares en los cuales la minería es un bastión fundamental para la lucha contra la pobreza, la marginalidad y la vulnerabilidad, Sin embargo en la actualidad el desarrollo indiscriminado de esta actividad se realiza más de forma ilegal (80%) que legal (20%).[1]

La minería ilegal está tomando mucha fuerza y el gobierno Nacional no puede descuidar un enemigo que cada día se hace más fuerte, el problema de la minería ilegal se basa en la adquisición de permisos y licencias ambientales, tanto la minería legal como ilegal afecta que afecta directamente la morfología de los ríos, causando desvíos de cause naturales, perdida sus ambiente, y alteración de sus variables físico-químicas, lo que reduce la disponibilidad de micro hábitats, la variedad trófica y la disminución en la riqueza, diversidad y composición de los organismos ícticos que viven estos ecosistemas.[2]

A nivel local en el Departamento del Cauca en el municipio de Fondas, se realiza el desarrollo de la actividad minera, gran parte de las minas se encuentran legalizadas y su extracción del oro se realiza mediante sustancias altamente tóxicas como es el cianuro y mercurio, que ocasionan en la fuente hídrica la disminución de los niveles de oxígeno afectando los procesos fotosintéticos de las plantas acuáticas, además incrementando la bioacumulación que afectan la cadena trófica, disminuyendo las funciones ecológicas del ecosistema.

Es por ello que ante esta necesidad de buscar nuevas alternativas que contribuyan a disminuir la problemática ambiental, la Corporación Autónoma Regional del Cauca (CRC) mediante el contrato 0939/02 introdujo el programa de competitividad y limpia de Minería, el cual y dentro de sus objetivos precisa la necesidad de conocer el estado actual de la región y por ende la obtención de la información como elemento de investigación, organización, planificación, regulación y normalización del sector minero, para hacer de esta, una actividad sostenible en el tiempo y generadora de calidad de vida para los pobladores dedicados a la explotación de los geo recursos.[3]

## CAPITULO I: PROBLEMA

### 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En América Latina la minería se ha convertido en una importante fuente de subsistencia de personas que se encuentran en condiciones de pobreza en zonas rurales [4]. Dadas las dificultades económicas y técnicas que tienen estos mineros, la mayor parte de la actividad se encuentra fuera del marco de la ley. [5]

En Colombia se utilizan algunas sustancias clasificadas como peligrosas, como el cianuro y mercurio para el proceso de beneficio de oro, que al implementarse de forma inadecuado gran parte de este metal llega a la atmósfera, es depositado en los cuerpos de agua cercanos y transformado por las bacterias a metilmercurio, ión que se biomagnifica a través de la cadena trófica, alcanzando los peces y eventualmente a sus consumidores, entre ellos el hombre [6]. Por otra parte el mercurio proveniente de los entables mineros no solo afecta la región donde es vertido, sino también aquellas ubicadas aguas abajo de los mismos. [7]

La extracción de oro se realiza usando mercurio seguido de cianuro, uno de los métodos más comunes en nuestro país que posteriormente es liberado en forma de complejos con metales pesados, muy solubles y de alto impacto medioambiental, además como el manejo inadecuado de relaves pueden elevarla por encima de los niveles permisibles de estas sustancias, dando origen a ambientes tóxicos [8]. Cada uno de estos compuestos químicos finalmente llegaría a zonas agrícolas, de pesca y a fuentes de abastecimiento de agua potable, por lo general, las bocatomas o sistemas de captación, se encuentran ubicadas más cerca de los sedimentos, donde es mayor la contaminación que de la superficie de los ríos. [9]

En el Departamento del Cauca en el Municipio del Tambo se ha venido presentando un incremento indiscriminado en la actividad de explotación minera "oro", asentándose a sus alrededores minas a cielo abierto a lo largo y ancho de los ríos donde se han afectado la calidad de los ecosistemas de la zona. Por lo que estas actividades están presentando alteraciones de las fuentes hídricas en este territorio.

Este proyecto se desarrolló en la Cooperativa de Fondas Limoncitos ubicado en Municipio del Tambo – Cauca. Donde se realizó la identificación del contenido de cianuro y mercurio en los efluentes y diques e cola en cuatro entables, que permitieron realizar una evaluación de impacto ambiental y sugerir alternativas y/o prácticas en el sector minero que contribuyan a preservar, recuperar y mejorar la calidad de las fuentes hídricas.

### **1.3 JUSTIFICACIÓN**

En Colombia la minería ha tenido un auge muy marcado en los últimos años, trayendo consigo situaciones ambientales, sociales, políticas, culturales y económicas, en el ámbito ambiental, uno de los mayores impactos negativos ha sido sobre el recurso hídrico, afectando directamente la calidad de vida de muchas poblaciones. [10]

El uso del mercurio y cianuro está ligado al trabajo de la minería en pequeña escala (MPE), que permite el sustento de un gran número de familias. La Organización Internacional del Trabajo (OIT) y el Global Mercury Project (GMP) estiman que en el Mundo más de 12 millones de personas dependen de la MPE aurífera y usan predominantemente el mercurio para recuperar el oro; como consecuencia esta actividad contamina el ambiente con más de 800 Toneladas/año de mercurio.[11]

En Colombia la Contraloría General ha afirmado que 17 Departamentos y 80 Municipios del país están afectados por la minería del oro. No obstante, otro aspecto importante de esta problemática es el relacionado con el consumo de agua por parte de pobladores en regiones afectadas por la minería del oro, o localizadas aguas abajo de las mismas; así como su impacto en la salud humana. Adicionalmente, poco se dice sobre el incumplimiento de la ley cuando se trata de garantizar bajos niveles de contaminantes en las fuentes hídricas, con el fin de proteger la vida acuática y la destinación del recurso para consumo humano y doméstico. [12]

Para la Corporación Autónoma Regional del Cauca, como ente responsable de la vigilancia ambiental en la región, es muy importante evaluar el impacto de la minería de oro determinando los niveles de mercurio y cianuro en efluentes y diques de cola, debido al proceso de beneficio de oro con el fin de generar alternativas que ayuden a la conservación y calidad principalmente de las fuentes hídricas en el Municipio del Tambo, Cauca.

### **1.4 OBJETIVOS**

#### **1.4.1 Objetivo General**

➤ Determinar los niveles de mercurio y cianuro en los efluentes y/o diques de colas y en cuerpos receptores de cuatro entables de la Cooperativa de mineros de Fondas Limoncitos en el Tambo, Cauca.

#### **1.4.2 Objetivos específicos**

➤ Comparar las concentraciones de los parámetros fisicoquímicos con la resolución 0631 de 2015 en los vertimientos puntuales.

➤ Determinar el grado de afectación ambiental de las fuentes superficiales por la actividad minera de los cuatro entables en el Municipio del Tambo.

➤ Evaluar el impacto ambiental en el Municipio del Tambo producido por la actividad minera de oro.

## CAPITULO II: MARCO TEORICO

### 2.1 ANTECEDENTES

Alrededor del mundo la minería de oro ha utilizado sustancias químicas como el mercurio y el cianuro, que producen una serie de contaminantes gaseosos, líquidos y sólidos que a su vez generan alteraciones en el suelo, aire y agua. Ocasionando en ellos la degradación ambiental y la depredación de recursos naturales. Para disminuir el uso del mercurio en Colombia se estableció la Ley 1658 del 15 de julio de 2013 "Por medio de la cual se establecen disposiciones para la comercialización y el uso de mercurio en las diferentes actividades industriales del país, se fijan requisitos e incentivos para su reducción y eliminación y se dictan otras disposiciones".[13]

El mercurio es uno de los metales pesados implementado en el proceso de beneficio de oro que mayor preocupación está causando en el mundo por su efecto de bioacumulación. Cuando este llega a fuentes hídricas y ha transcurrido un tiempo, es transformado a metilmercurio ( $CH_3Hg$ ), que es un compuesto organometálico, liposoluble y con una elevada toxicidad, puesto que puede atravesar fácilmente las membranas biológicas y en particular la piel, a partir de aquí sigue la incorporación del metal en la cadena trófica.[8] Por otra parte el cianuro es también utilizado en el proceso de lixiviación o cianuración en minería, para la recuperación de oro del resto de material removido por el cual se separan los componentes solubles del material sólido inerte. [14]

En Estados Unidos la universidad de Texas en Austin, en el año 2014, 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  $2,0 \mu\text{g/L}$  —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  $3,0 \mu\text{g/L}$  y en otros lugares del mundo por encima de los  $8,0 \mu\text{g/L}$ , tal como ha sido reportado por diferentes investigadores.[15]

En Ecuador la Universidad Técnica de Machala, en el año 2016, se analizó el contenido total de Hg en sedimentos superficiales en tres localidades de la zona costera de la Provincia de El Oro, en cada localidad se seleccionaron 9 zonas de muestreo, en los cuales se evaluó: sólidos totales (ST), humedad (H), materia orgánica (MO) y Hg total. La concentración del Hg fue determinada por espectrofotometría de absorción atómica por generación de hidruros con atomización en una celda de cuarzo. Las concentraciones de Hg presentaron diferencias significativas entre las localidades, con la mayor concentración en el estero Huaylá (intervalo:  $6,57-7,61 \text{ mg kg}^{-1}$ ) y la menor en Bajo Alto (intervalo:  $3,46-4,83 \text{ mg kg}^{-1}$ ). Los niveles de Hg en los sedimentos sugieren una evidente

incorporación antrópica en las tres localidades del perfil costero de la provincia de El Oro, lo cual representa un riesgo para la biota y la salud humana. [17]

En Colombia, se ha distinguido por ser un país con depósitos extraíbles de oro donde el tipo predominante de explotación ha sido a pequeña escala y de manera artesanal, lo cual ha traído como consecuencia impactos ambientales considerables, productos en su mayoría de malos procesos de beneficio.[18]

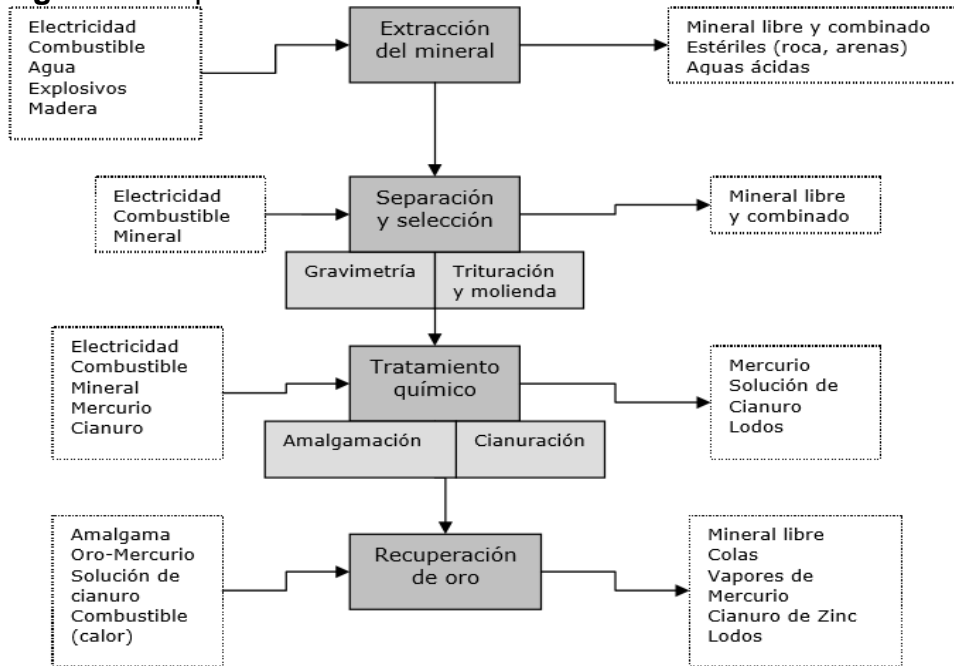
El desconocimiento de algunos procesos y prácticas acarrea una baja recuperación de oro, mal aprovechamiento de los recursos minerales y altos niveles de contaminación de varias zonas mineras de nuestro país. Las plantas, beneficiadoras o “entables” del mineral están construidos, en la mayoría de los casos, cerca de ríos y quebradas, en el mismo sitio se localizan los campamentos y casetas para guardar explosivos, equipos, herramientas e insumos. [19]

En el Cauca, en el año 2017, la Corporación Autónoma Regional del Cauca, realizó una evaluación de la calidad del agua y sedimentos en cuencas de los Municipios de Rosas y La Sierra en zonas de extracción de oro, que utilizan mercurio y cianuro en el beneficio; las muestras fueron analizadas por el laboratorio de análisis de agua y sustrato de la Corporación Autónoma Regional del Cauca CRC. Para el análisis de mercurio en agua y sedimentos se utilizó el método de absorción atómica con generador de hidruros; para la identificación de Cianuro en agua residual y sustrato es fotométrico. La concentración de mercurio en agua fue comparada con la Resolución 631 de 2015 y se evidencia la alteración en la calidad de los vertimientos líquidos producto de la actividad de beneficio de oro en las minas. La comparación de los niveles de mercurio en sedimentos fue hecha con el DECRETO SUPREMO N° 002-2013-MINAM, con el que se reglamenta y se aprueban los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Perú, y de igual forma presenta valores superiores estipulados por la norma. [20]

## **2.2 BASES TEORICAS**

- En Colombia el oro se encuentra generalmente distribuido en rocas, en muy pequeñas cantidades e inclusive en las aguas marinas. En el país la minería artesanal y de pequeña escala explota yacimientos de oro extendidos principalmente a lo largo de las cordilleras Central y Occidental y sus respectivos valles interandinos. Los yacimientos son básicamente de dos tipos: Los primarios o de filón y los secundarios o aluviales. [21]
- La explotación de metales preciosos por parte de pequeños mineros y mineros artesanales se realiza de dos maneras: La informal (minería tradicional y/o minería de hecho y minería ilegal), que carecen de títulos mineros o licencias ambientales, que incumple los requerimiento de seguridad social, de seguridad en los sitios de trabajo y la minería formal, que cumple con la normativa minera, ambiental y de trabajo.[22]

**Figura 1. Esquema de extracción de oro**



Fuente: SGM, 2017

## 2.2.1 Minería

La minería es una de las actividades más antiguas de la humanidad, consiste en la obtención selectiva de minerales y otros materiales a partir de la corteza terrestre. Minería Ciencia, técnicas y actividades que tienen que ver con el descubrimiento y la explotación de yacimientos minerales. Estrictamente hablando, el término se relaciona con los trabajos subterráneos encaminados al arranque y al tratamiento de una mena o la roca asociada. En la práctica, el término incluye las operaciones a cielo abierto, canteras, dragado aluvial y operaciones combinadas que incluyen el tratamiento y la transformación bajo tierra o en superficie. [23]

### 2.2.2 Tipos de minería.

- **Minería en Pequeña escala:** En la actualidad el término minería de pequeña escala o pequeña minería corresponde más a una apreciación de tamaño y organización de la explotación minera que a una clasificación válida en el ordenamiento minero Nacional.[24]
- **Minería Tradicional:** De acuerdo a la Ley 1382 de 2010 del Congreso de Colombia, Parágrafo 1, Artículo 1: “Se entiende por Minería Tradicional aquellas que realizan personas o grupos de personas o comunidades que exploten minas de propiedad Estatal sin título inscrito en el Registro Minero Nacional y que acrediten que los trabajos mineros se vienen adelantando en forma continua durante cinco (5) años, a través de documentación comercial y técnica; una existencia mínima de diez (10) años anteriores a la vigencia de esta Ley”. [24]
- **Minería Ilegal:** El Código de Minas (Congreso de la República, Ley 685 de 2001, Art. 159) describe la minería ilegal como la actividad exploratoria o de

extracción de minerales, bien sean propiedad de la nación o de particulares, que se desarrolla sin el correspondiente título minero vigente o sin la autorización del titular de la propiedad privada donde se ubique el proyecto. Además, el Código Penal (Congreso de la República, Ley 599 de 2000, Art. 244, según el Código de Minas) la señala como un delito, la legislación ambiental (Congreso de la República, Ley 99 de 1993) establece los mecanismos para ejercer la Autoridad Ambiental sobre ella, en caso de destrucción del Medio Ambiente. [25]

- **Minería de Hecho:** El artículo 58 de la Ley 141 de 1994, el cual es referenciado por el Código de Minas en el artículo que regula precisamente el proceso de legalización minera se utiliza el concepto de “minería de hecho” en lugar del de “minería ilegal”, para referirse de igual forma, a las personas que sin título minero vigente llevan a cabo actividades mineras. Al respecto, se considera que el concepto de “minería de hecho”, en lugar del concepto de “minería ilegal”, refleja de una mejor manera la realidad social de las personas que ejercen esta actividad con cierto tiempo de antelación y como medio de subsistencia y que en muchos casos no han logrado regularizar o legalizar sus actividades debido a las dificultades en el cumplimiento de los requisitos exigidos por las autoridades mineras y ambientales para tal fin, sumado a los obstáculos tecnológicos, educativos y de distancias geográficas que deben suplir estas comunidades para tener acceso a la información. [26]
- **Minería de filón:** Es un sistema extractivo de minerales, que mediante la perforación de socavones realiza la explotación de yacimientos en roca. Los filones se forman por el llenado con menas minerales de una grieta o fisura preexistente. El mineral proveniente de las explotaciones que realiza en la minería a pequeña escala en yacimientos primarios de 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. [27]
- **La extracción del oro en veta en la pequeña minería:** Se realiza mediante variaciones del sistema de cámaras y pilares, en la mayoría de ellas siguiendo el filón en el rumbo y buzamiento, haciendo ensayos y cateo para así determinar las zonas más ricas, mediante “cúbicos” por los cuales se acceda a las zonas meteorizadas del filón en donde se han presentado fenómenos de concentración por lixiviación (minería selectiva). El beneficio se realiza en casas o entables mineros (pequeñas plantas mineralúgicas). [28]
- **La explotación de oro de aluvión:** Es un sistema extractivo de minerales acumulados en los canales de las corrientes, en las planicies inundables, en los deltas, lechos o terrazas aluviales de los ríos. Que comprende actividades como preparación, acceso a la zona, operación, beneficio o transformación del mineral, transporte del material y abandono. En el territorio Colombiano la explotación del oro aluvial, se efectúa de diferentes maneras y equipos más comunes que se utilizan en la zona: Con motobombas, arrancando el mineral a presión; Mini dragas de succión, localizadas en las principales corrientes de agua; Retroexcavadora, buldóceres y palas. [29]

- **La pequeña minería a cielo abierto:** La minería a cielo abierto es una actividad industrial que consiste en la remoción de grandes cantidades de suelo y subsuelo, que es posteriormente procesado para extraer el mineral. Aunque carecen de equipos adecuados, se vale de bombas a baja presión accionadas por motores a gasolina (con potencias promedias de 16 HP), canalones de madera, herramientas manuales como martillos, picos, palas, mangueras y boquillas, entre otras, manipuladas por personal no especializado. Igualmente, se viene masificando la utilización de draguetas en la minería a cielo abierto para la explotación de depósitos aluviales. [30]
- **Minería subterránea:** La minería subterránea abarca todas las labores destinadas a explotar materias primas por medios técnicos. Además de la extracción y el transporte, comprende las actividades de prospección y exploración, la dotación de infraestructura (conexión a la red vial, construcción de depósitos e instalaciones exteriores tales como oficinas administrativas, talleres, etc.), así como las medidas destinadas a garantizar la seguridad de los mineros. Su sistema de explotación emplea taladros y martillos manuales, sin embargo, cada vez es más generalizado el martillo hidráulico de compresor portátil, junto a los coches de tracción humana y las carretillas de mano para el transporte. También son comunes las trituradoras de quijada, los molinos tipo californiano (pisones) y de bolas, al igual que los barriles amalgamadores. [31]

### 2.2.3 Impactos Ambientales generados por la actividad de minera de oro.

- **Material Particulado:** Las operaciones de perforación y arranque del mineral, las áreas de apilamiento, disposición de estériles y el tráfico de vehículos son fuente de material particulado. [32]
- **Gases:** Los humos originados en el tráfico vehicular y por los equipos operados con gasolina y diesel, afectan y degradan la calidad del aire. Especial interés Sanitario y Ambiental, lo tiene el empleo generalizado del mercurio en el proceso de amalgamación y fundición o quema, con la generación de vapores y gases.

El deterioro de la calidad del aire en las regiones auríferas, por el sistema aluvial o de filón es fundamentalmente causado por las emisiones de material particulado, gases y ruido, generados en las etapas de montaje y operación. [33]

- **Ruido:** Las principales fuentes de ruido en las minas están asociadas a la operación de maquinaria, equipos (dragas, motobombas, taladros), y al tráfico vehicular en las zonas de explotación. [34]
- **Suelo:** Las actividades asociadas a la minería y las derivadas de la actividad misma, afectan la superficie terrestre por el descapote o movimiento de mantos superficiales para la preparación del sitio y la instalación de facilidades preliminares como campamentos, talleres, bodegas, que conllevan a la pérdida de suelo y paisajística. El movimiento de maquinaria pesada, utilización de áreas para acopio, la remoción y apilamiento de todo el material, disposición de arenas con mercurio y cianuro, estériles como lodos producto del proceso de beneficio, acumulación de material en escombreras y la no



reconformación de zonas explotadas, ocasionan impactos ambientales sobre el suelo y el paisaje asociados a la pérdida de su capacidad productiva y restricciones en su uso. [35]

- Existe la generación o incremento de procesos erosivos en los frentes de explotación activos y abandonados, especialmente por movimientos en masa y erosión superficial que ocasiona la pérdida de suelos y desestabilización de zonas. En el caso de la minería subterránea los procesos de subsidencia y deslizamientos, ocasionan riesgos no solo a los mineros, sino a las comunidades aledañas a las minas, sobre todo en terrenos pendientes. [36]

#### **2.2.4 Recuperación de oro mediante cianuro o mercurio**

Para recuperar el oro se realiza mediante el proceso de amalgamación y cianuración. La recuperación del mineral, utilizando estos metales pesados sin el control y manejo adecuado, ha sido una práctica tradicional en el país, especialmente por la pequeña y mediana minería. Los compuestos de cianuro tienen la propiedad de disolver el oro y la plata contenidos en el mineral, después de recuperar los metales nobles por precipitación con zinc (viruta o polvo). Este consistente en el tratamiento del mineral, sometido a trituración y molienda, con cianuro de sodio o de potasio. [37]

Otra manera para la recuperación del oro es utilizando mercurio, esta práctica también es implementada entre la población minera. Las emisiones de mercurio se producen tanto en forma de mercurio metálico durante el proceso de amalgamación, como en forma de vapor durante la separación oro-mercurio. El comportamiento del mercurio metálico consiste en la incorporación a las fuentes de agua y los suelos, efectuando su bioacumulación en los organismos vivos. Las dos formas de acumulación constituyen severos y graves impactos tanto al hombre como a los ecosistemas, dada su toxicidad.

Estos métodos utilizados rudimentariamente, son causa de graves impactos, tanto sanitarios como ambientales, dada la toxicidad del metal y que se generan vertimientos a directos a los ecosistemas. [38]

**2.2.5 Mercurio:** El mercurio es un metal noble pesado del grupo IIB, su símbolo Hg y su peso atómico es de 200,59. El nombre “mercurio” es derivado del griego hydrargyros que significa “plata líquida”. El cual puede formarse con otros elementos: mercurio elemental, inorgánico y orgánico; estas formas difieren en sus características biológicas y toxicológicas, es soluble únicamente en soluciones oxidantes y sus compuestos son muy tóxicos. [39]

- **Propiedades fisicoquímicas:** El mercurio es un metal brillante color plata, que a temperatura ambiente se encuentra en estado líquido, es el único metal pesado extrema volátil. En estado metálico posee una alta presión de vapor ( $1,3 \times 10^{-3}$  mm), lo cual hace que se evapore fácilmente a temperatura ambiente. Su concentración en el aire puede alcanzar hasta  $0,014 \text{ mg/m}^3$  y a  $100^\circ\text{C}$  hasta  $2,4 \text{ mg/m}^3$ . Generalmente se habla de vapor de mercurio (es incoloro), cuando el mercurio elemental se encuentra presente en la atmosfera o de mercurio metálico cuando está en su forma líquida.

Químicamente el mercurio es bastante inerte, como lo indica su elevado potencial estándar positivo +0,85 V y su posición en la serie electromotriz. No se oxida en el aire a temperaturas ordinarias, pero se combina lentamente con el oxígeno cuando se mantiene en la atmósfera cerca de su punto de ebullición (300 a 350 °C) y se mantiene en forma el óxido de mercurio Hg, pero alrededor de 400°C la energía libre. [40]

- **Uso del mercurio:** Después de una molienda relativamente gruesa el mercurio o se usa para amalgamación directa de una mena (por ejemplo con planchas amalgamadoras) o para amalgamar concentrados obtenidos por varios procesos gravimétricos (canaletas, mesas vibradoras, jigs, etc.). La amalgamación de mercurio/oro que resulta del proceso se somete a un proceso de refogado al soplete y conforme se va calentando la amalgamación, el mercurio se volatiliza en forma gaseosa, dejando una pequeña cantidad de oro. [41]
- **Niveles de mercurio a nivel ambiental y exposición humana:** El metal posee características potencialmente tóxicas. La inadecuada disposición de los residuos del mercurio junto con el de sustancias químicas utilizadas en la minería aurífera disminuyen el oxígeno disuelto e incrementan los niveles de demanda bioquímica y demanda química del oxígeno en aguas superficiales, que afecta la existencia de vida orgánica y su aprovechamiento en otras actividades antrópicas. [42]

Se puede encontrar en la naturaleza en forma del mineral cinabrio, que es un sulfuro de mercurio o principalmente en bolsas de mercurio – metal. El sulfuro de mercurio es prácticamente inatacable por lo que la incorporación del mercurio a las cadenas tróficas por esta vía es insignificante. [43]

La principal incorporación de mercurio a las cadenas tróficas, es a partir del propio mercurio metálico debido a que es volátil y a temperatura ambiente se está sublimando. En persistencia y bioacumulación; aproximadamente un 95% se encuentra en los suelos, en los sedimentos y en todo organismo viviente, alrededor de un 3% en el agua mientras que el 2% restante, existe como vapor en la atmósfera. [44]

- **El mercurio en la atmósfera:** El mercurio tiene un tiempo de residencia que varía bastante en la función en la que se encuentre el Hg(0) tiene un tiempo de residencia media de alrededor de un año, mientras que el mercurio oxidado Hg(II) tiene un periodo que oscilan entre horas y meses, que le permite viajar grandes distancias y depositarse en otros lugares. [45]

Así el Hg tiene un tiempo de residencia media del alrededor de un año, mientras que el mercurio oxidado Hg(II) tiene tiempos de residencia que oscilan entre horas y meses, debido a que puede ser depositado relativa facilidad, tanto por vía húmeda como por vía seca.

Al contraste con el mercurio inorgánico, el mercurio elemental no es susceptible a ninguno de los principales mecanismos de deposición seca, a la vez que presenta una muy baja solubilidad en agua. Sin embargo, el mercurio elemental puede ser depositado a través de una serie de mecanismos que

implican su conversación a mercurio inorgánico en las propias gotas de agua de las nubes.

Generando problemas de contaminación y representa un riesgo para la salud humana y la de los ecosistemas, ya que puede modificar una gran variedad de células y de procesos bioquímicos; adicionalmente, se ha demostrado que el mercurio interfiere en la síntesis de proteínas y ácidos nucleicos e inhibe varias enzimas citosólicas, afectando el sistema nervioso central. [46]

➤ **El mercurio en los suelos:** Las especies de Hg(II) están sujetas a un amplio abanico de reacciones químicas y biológicas. Las condiciones del suelo (pH, temperatura, contenido en ácido húmico, etc) son normalmente favorables para la formación de compuestos inorgánicos de Hg(II) como  $\text{HgCl}_2$  o  $\text{Hg}(\text{OH})_2$  y compuestos inorgánicos de Hg(II) complejados con aniones orgánicos. Sin embargo, no está todavía claro si el Hg en sedimentos se encuentra en forma de  $\text{HgCl}_2$  o  $\text{Hg}(\text{OH})_2$ , cuando se encuentra complejado por sustancias orgánicas o en las formas menos reactivas de HgS o HgO con una menor tenencia a la metilación que las anteriores). Aunque algunos compuestos inorgánicos de Hg(II) son bastante solubles y en consecuencia móviles; que suelen formar complejos con la materia orgánica (sobre todo ácidos málfúvicos y húmicos) y arcillas de los suelos. [47]

El mercurio presente en proporciones muy pequeñas en suelos y sedimentos, pero de gran importancia debido a su toxicidad y capacidad para la bioacumulación, es el metilmercurio; que presenta gran afinidad por la materia orgánica, hecho que limita su movilidad en el medio ambiente.

En particular el metilmercurio presenta una clara acumulación en las cadenas alimenticias de los ecosistemas acuáticos. Esta bio-acumulación puede ser separada en dos grandes subgrupos, micro-invertebrados presentes en los sedimentos benthicos, la comunidad de fitoplacton y zooplacton. [48]

➤ **Exposición al mercurio a través del consumo de agua:** Los ecosistemas acuáticos en la minería aurífera, se afectan en forma importante por los sedimentos y vertimientos resultantes de la explotación, especialmente por el contenido de metales pesados: los primeros porque disminuyen el paso de energía solar afectando los procesos fotosintéticos de las plantas acuáticas, alimento de los peces y otros animales; los segundos por su comportamiento dentro de la cadena trófica, que finalmente llega al hombre. [49]

Puesto que en las regiones afectadas por la minería del oro el mayor riesgo de contaminación con mercurio se debe al consumo continuo de peces contaminados y a la inhalación de vapores de mercurio, por lo general suelen omitirse otras formas de contaminación, que si bien no son tan tóxicas como las antes mencionadas, también contribuyen de manera gradual al deterioro de la salud humana. [50]

El comportamiento del mercurio metálico consiste en la incorporación a las fuentes de agua y los suelos, efectuando su bioacumulación en los organismos vivos. El vapor de mercurio pasa a la atmósfera donde es transportado e incorporado dentro del ciclo hidrológico. Las dos formas de acumulación constituyen severos y graves impactos tanto al hombre como a los

ecosistemas, dada su toxicidad. La recuperación del oro utilizando cianuro, es otra práctica difundida entre la población minera, consistente en el tratamiento del mineral, sometido a trituración y molienda, con cianuro de sodio o de potasio. Los compuestos de cianuro tienen la propiedad de disolver el oro y la plata contenidos en el mineral, después de recuperar los metales nobles por precipitación con zinc (viruta o polvo). Este método utilizado rudimentariamente, es causa de graves impactos, tanto sanitarios como ambientales, dada la toxicidad del metal. [51]

**2.2.6 Cianuro:** Es usado en forma de cianuro sódico, que es un compuesto sólido e incoloro que hidroliza fácilmente en presencia de agua y óxido de carbono (IV) para dar carbonato de sodio y ácido cianhídrico. Tiene un olor como almendras amargas. [52]

- **Propiedades fisicoquímicas del ion cianuro:** El cianuro puede ser un gas ácido e incoloro, muy tóxico -potencialmente letal- y corrosivo, que se descompone en contacto con agua. Se conocen varias formas: cianuro de hidrógeno (HCN), el cloruro de cianógeno (ClCN), en forma de cristales como el cianuro de sodio (NaCN) o el cianuro de potasio (KCN). Estas sales son sólidos blancos que en ambientes húmedos exhiben un olor amargo a almendra. El cianuro de potasio (KCN) es soluble, tiene una densidad relativa 1,52, su punto de fusión es de 653 °C y su peso molecular es 65,1. El cianuro es utilizado en el proceso de lixiviación o cianuración en minería para la recuperación de oro, plata y platino del resto de material removido por el cual se separan los componentes solubles del material sólido inerte. [53]
- **Propiedades fisicoquímicas del cianuro:** El cianuro puede ser un gas incoloro, muy tóxico -potencialmente letal- y corrosivo, que se descompone en contacto con agua. Se conocen varias formas: cianuro de hidrógeno (HCN), el cloruro de cianógeno (ClCN), en forma de cristales como el cianuro de sodio (NaCN) o el cianuro de potasio (KCN). Estas sales son sólidos blancos que en ambientes húmedos exhiben un olor amargo a almendra. El cianuro de potasio (KCN) es soluble, tiene una densidad relativa 1,52, su punto de fusión es de 653 °C y su peso molecular es 65,1. El cianuro es utilizado en el proceso de lixiviación o cianuración en minería para la recuperación de oro, plata y platino del resto de material removido por el cual se separan los componentes solubles del material sólido inerte. [54]
- **Compuestos Complejos de Cianuro:** Compuestos formados en el proceso de lixiviación del oro, como los Cianuros de hierro, Ferrocianuros, en el cual el hierro reducido con la valencia + 2 y el Ferricianuros, en donde el hierro se encuentra oxidado con valencia + 3. El ferrocianuro es la forma usual en solución a potenciales redox ambientales pero, rápidamente se puede oxidar a ferricianuro. Los cianuros de hierro desde el punto de vista ambiental requieren especial atención debido a su gran estabilidad en ausencia de luz y su tendencia a disociarse en su presencia.

Aunque esos complejos resisten la degradación natural hasta la disipación total del cianuro libre y de los complejos de cianuro metálico más rápidamente degradables, los ferricianuros son capaces de desprender niveles tóxicos de ácido cianhídrico cuando se exponen a intensa radiación ultravioleta. [55]

- **Cianuro Total (TCN):** Se denomina así a todos los compuestos de cianuro existentes en una solución acuosa. Este es un término que se emplea en los procedimientos analíticos. El cianuro total incluye el cianuro libre, los cianuros simples y los todos los cianuros complejos. [55]
- **Mecanismos y niveles de toxicidad del cianuro:** El cianuro libre se incorpora en un organismo por inhalación, ingestión o absorción a través de la piel. Su toxicidad puede ser aguda o crónica. La toxicidad aguda está asociada con los efectos letales inmediatos observados en organismos expuestos a concentraciones elevadas de un compuesto particular. El periodo de toxicidad aguda va desde unos pocos minutos a varios días. La toxicidad aguda se mide por el LC<sub>50</sub> (lethalconcentration), que corresponde a la concentración letal de un tóxico que causa la muerte del cincuenta por ciento de la población de organismos durante un periodo de tiempo determinado. El periodo de tiempo usual es de 96 horas a cuatro días. [56]
- **Exposición de cianuro en los humanos:** Las exposiciones prolongadas a concentraciones subletales conducen a la toxicidad crónica, que se manifiesta por incapacidad motriz y anormalidades fisiológicas permanentes. Aunque el cianuro no es un tóxico que se acumule en el organismo, los metales ligados al cianuro pueden bioconcentrarse o bioacumularse, provocando un daño fisiológico permanente o haciendo que un organismo sea inapropiado para el consumo por seres humanos o animales. Cuando el cianuro entra en contacto con las células vivas produce una reacción química que inhibe las funciones respiratorias, con lo cual la célula deja de respirar y muere. En los humanos, basta una ingesta equivalente a dos granos de arroz para ocasionar la muerte. Por otro lado aun tomando todas las precauciones exigidas en su manipulación, se ha demostrado que la exposición por largos periodos a bajas concentraciones de esta sustancia, genera dificultades respiratorias, desequilibrios tiroideos, vómitos, dolores de cabeza, entre otros trastornos.

El cianuro es una sustancia química mortal que actúa rápidamente. La exposición a niveles altos de cianuro daña el cerebro y el corazón, y puede causar el coma y la muerte. La exposición a bajos niveles puede causar problemas respiratorios, dolores cardíacos, vómitos, cambios en la sangre, dolores de cabeza y el aumento del tamaño de la glándula tiroides. El cianuro no es el único residuo tóxico asociado con la extracción de oro: cuando la roca es extraída y expuesta a la lluvia y el aire por primera vez, puede contener sulfuros que reaccionan con el oxígeno y que se convierten en ácido sulfúrico. Este ácido también libera metales pesados como el cadmio, el plomo y el mercurio, que son perjudiciales para las personas y los peces, incluso a bajas concentraciones. [57]

- **El cianuro en los ecosistemas acuáticos:** La inadecuada disposición de los residuos de sustancias químicas utilizadas como cianuro en la minería aurífera disminuyen el oxígeno disuelto e incrementan los niveles de demanda bioquímica y demanda química del oxígeno en aguas superficiales, que afecta la existencia de vida orgánica y su aprovechamiento en otras actividades antrópicas.

El cianuro puede permanecer por períodos de tiempo muy largos en las aguas subterráneas porque el sol y el oxígeno necesarios para descomponerlo en sustancias menos dañinas se encuentran ausentes allí. La contaminación de las aguas subterráneas es la forma más importante de contaminación con cianuro en las minas por lixiviación con cianuro. [58]

- **El cianuro en la atmósfera:** El cianuro entra al aire, al agua y al suelo como consecuencia de procesos naturales y de actividades industriales. El cianuro se encuentra en el aire generalmente en niveles mucho menores que los que pueden ser peligrosos. En el aire, el cianuro está presente principalmente como cianuro de hidrógeno gaseoso. Una pequeña porción del cianuro en el aire está presente como pequeñas partículas de polvo. Este polvo eventualmente se deposita sobre el suelo y el agua. La lluvia y la nieve ayudan a remover las partículas de cianuro del aire. El cianuro de hidrógeno gaseoso es difícil de remover del aire por deposición, o a través de la lluvia o la nieve.

La vida media (el tiempo necesario para remover la mitad del material) del cianuro de hidrógeno en la atmósfera es alrededor de 1 a 3 años. La mayor parte del cianuro en el agua superficial formará cianuro de hidrógeno y se evaporará. Sin embargo, la cantidad de cianuro de hidrógeno que se forma generalmente no es suficiente como para afectar la salud de seres humanos. Una porción del cianuro en el agua será transformada por microorganismos (plantas y animales de tamaño muy pequeño) a sustancias químicas menos perjudiciales o formará un complejo con metales, como por ejemplo el hierro. La vida media del cianuro en el agua no se conoce. El cianuro en el agua no se acumula en el cuerpo de los peces. [59]

**El cianuro en el suelo:** Los cianuros son relativamente móviles en el suelo. Una vez en el suelo, el cianuro puede ser removido a través de varios procesos. Como la extracción, lavado, Flushing, Electrocinética, Barreras permeables activas, Inyección de aire comprimido, Pozos de recirculación, Oxidación ultravioleta, Biodegradación asistida y Biotransformación de metales.

Algunos compuestos de cianuro en el suelo pueden formar cianuro de hidrógeno y evaporarse, mientras que otros serán transformados a otras sustancias químicas por los microorganismos en el suelo.

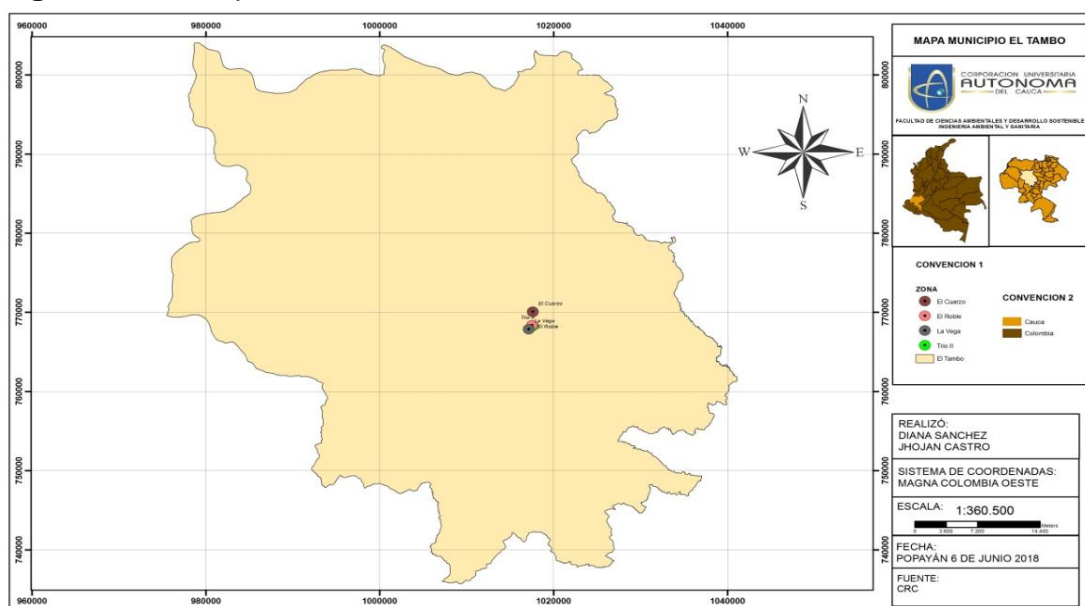
Consecuentemente, los cianuros generalmente no se filtran hacia el agua subterránea. Sin embargo, se ha detectado cianuro en aguas subterráneas de unos pocos vertederos y en sitios para disposición de residuos industriales. Las concentraciones altas de cianuro que se encuentran en algunos filtrados de vertederos y en la basura que se almacena en algunos sitios son tóxicas para los microorganismos del suelo. Debido a que estos microorganismos ya no pueden transformar el cianuro a otras formas químicas, el cianuro puede pasar a través del suelo hacia el agua subterránea. [60]

## 2.3 ZONA DE ESTUDIO

### 2.3.1 Localización del Proyecto

El Municipio del Tambo está ubicado geográficamente con una latitud Norte de 2° 27' 5" y 76° 48' 39" de longitud Oeste. Está conformado por 19 corregimientos los cuales agrupan a 227 veredas, una cabecera municipal con 14 Barrios debidamente registrados. Presenta una extensión de 3280 Km<sup>2</sup>, con una altitud de 1750 m.s.n.m y una temperatura promedio de 18°C. Tiene tres pisos térmicos frío, medio y cálido que favorecen gran diversidad de cultivos.[61]

**Figura 2.** Municipio del Tambo – Cauca.



Fuente: Elaboración propia.

La hidrografía del Municipio está dividida de acuerdo a sus regiones naturales. En el caso de la región Alto Cauca que pertenece a la cuenca del río Cauca recibe aguas de los ríos Hondo, Sucio y Suguengue, y de menor caudal de los ríos Piedras, Suguenguito, Ortega, Blanco y Minayaco. En el caso de la región del río Micay, se destacan tres cuencas: cuenca de río Mechengué - San Joaquín, cuenca del río Topé y la subcuenca del río Agua Clara. Finalmente la región del río Patía se encuentra la cuenca del río Timbío y las subcuencas de los ríos Sucio, Jején y Guabas.[62]

En el Municipio se encuentran estratos Arbóreo, arbustivo y herbáceo. Entre las especies más comunes es el roble (*Quercus humboldtii*), huesecillo (*Licaria*), caspio (*Miconia*). En la vereda de fondas hay presencia de Aguacatillo (*Persea*), Encenillo (*Weinmannia*), pinos (*Podocarpus*), manzano de oso (*Oreopanax*), mestizo. [63]

## 2.4 BASES LEGALES

Para la elaboración del proyecto sobre la determinación de mercurio y cianuro en efluentes y diques de colas en el monitoreo se tendrán en cuenta el marco normativo del área minera y área ambiental.

### 2.4.1 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 acuerdo Municipal No.016 del 24 de agosto de 2006, se declaró Área de Reserva Especial, en jurisdicción de los Municipios del Tambo, 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.

### 2.4.2 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

Este proceso se llevó a cabo en dos (2) etapas durante un periodo de cinco (5) meses en el que se realizó un trabajo de campo que permitió recolectar información en la zona, toma de las muestras de aguas y sedimentos. Las etapas se describen a continuación.

#### 3.1 Fase I. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

Se implementó el monitoreo para establecer la presencia de mercurio y cianuro en los efluentes, como también en los diques de cola, este es un método de gran importancia para determinar los niveles de contaminación que se generen en ellos debido a los procesos realizados en cuatro (4) entables del Municipio del Tambo-Cauca, donde se realizan actividades mineras que pueden estar afectando las fuentes hídricas, recurso suelo, aire, la flora, fauna y la salud de la población en la región de estudio.

##### 3.1.1 CARACTERIZACIÓN DE LOS ENTABLES INTERVENIDOS EN EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En la tabla 1, se indican las coordenadas de los cuatro (4) entables seleccionados en la zona rural de Fondas - Limoncitos del Municipio del Tambo - Cauca. Los cuales pertenecen a la Cooperativa de Fondas Limoncitos y fueron objeto del estudio de investigación.

**Tabla 1.** Información entables intervenidos.

| N° de Entable | Propietario del Entable | Nombre del entable | Coordenadas |            | Altitud (m.s.n.m) |
|---------------|-------------------------|--------------------|-------------|------------|-------------------|
|               |                         |                    | N (m)       | E (m)      |                   |
| 1             | Horacio Restrepo        | El Trio II         | 768282,03   | 1017600,42 | 1757,20           |
| 2             | Gerardo Ibarra          | El Roble           | 768357,67   | 1017511,69 | 2029,59           |
| 3             | Yeiner Gómez            | La Vega            | 767869,75   | 1017141,75 | 1992,69           |
| 4             | Edgar Marín             | El Cuarzo          | 770058,07   | 1017591,34 | -11.8             |

**Fuente:** Elaboración propia

Para obtener información básica acerca de la caracterización de los entables (permisos ambientales, manejo y tratamientos de aguas residuales y lodos, sitios de disposición final), se realizó una serie de preguntas mediante una encuesta (Anexo 1) a los propietarios de los entables intervenidos en la investigación, con el objetivo de identificar las actividades o procesos que desarrollan en el beneficio de oro.

##### 3.1.2 Medición de Parámetros fisicoquímicos

Para la caracterización de los parámetros fisicoquímicos se realizó la toma de las muestras de agua residual y sedimentos, de los cuatro entables

establecidos obteniendo (3) puntos de monitoreo aguas arriba, aguas abajo y en los diques de colas, de forma puntual. En la tabla 2 se indican el tipo de muestra y su sistema de conservación.

**Tabla 2.** Conservación, análisis y límites permisibles normativos.

| PARÁMETROS                           | RECIPIENTE Y VOLUMEN MÍNIMO (mL) | PRESERVACIÓN Y ALMACENAMIENTO MÁXIMO RECOMENDADO  | MÉTODO                                      | (Valores permisibles Res. 0631/2015) |
|--------------------------------------|----------------------------------|---|---|--------------------------------------|
| DQO (mg/L)                           | P, V<br>100                      | Analizar lo más pronto posible, o agregar H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> hasta pH<2; refrigerar entre 0 °C y ≤ a 6 °C<br>7 Días   | Fotométrico                                 | 150.00                               |
| Mercurio ( mg/L)                     | P (A), V(A)<br>500               | Agregar HNO <sub>3</sub> hasta pH<2, refrigerar entre >0 °C y ≤ a 6 °C<br>28 Días   | Absorción atómica con generador de hidruros | 0.002                                |
| Cianuro (mg/L)                       | P, V<br>500                      | Análisis inmediato o Agregar NaOH hasta pH>12, refrigerar entre >0 °C y ≤ a 6 °C en la oscuridad <sup>6</sup> , adicionar tiosulfato si hay cloro residual presente<br>24 Horas | Fotométrico                                 | 1.00                                 |
| Alcalinidad (mgCaCO <sub>3</sub> /L) | P, V<br>200                      | Refrigerar<br>24Horas   | Titulométrico                               | Análisis y Reporte                   |
| SST (mg/L)                           | P,V<br>200                       | Refrigerar entre >0 °C y ≤ a 6 °C<br>7 Días   | Gravimétrico                                | 50.00                                |
| Conductividad (µs/cm )               | P<br>1000                        | 28 Días   | Electroquímico                              | N/A                                  |
| pH                                   | P<br>1000                        | 0.25 Horas  | Potenciométrico                             | 6.00 a 9.00                          |
| Temperatura                          | P<br>1000                        | 0.25 Horas  |   | N/A                                  |

Fuente: CRC, 2016.

Los tres (3) monitoreos, se llevaron a cabo durante el mes de noviembre de 2017 y los dos siguientes en el mes de marzo de 2018. En cuanto a la toma de sedimento consistió en obtener una cantidad de sustrato la cual se introdujo en una bolsa ziploc pequeña con una capacidad aproximada de 500 g. Se rotuló la muestra y se procedió a su respectiva refrigeración.

Es importante mencionar que la recolección y toma de muestras se ejecutó usando el “Formato de toma de muestras de agua” (FT-PDPA-LA106) que implementa la Corporación Autónoma Regional del Cauca (CRC), certificado por el IDEAM para análisis por la Resolución 2199 del 2016). [64]

Las muestras obtenidas en el trabajo de campo fueron enviadas a los laboratorio de la CRC el cual se encuentra certificado por el IDEAM por la Resolución 2199 del 2016, con el objetivo de que se les analizaran los siguientes parámetros, DQO, mercurio, pH, Cianuro, alcalinidad, SST, conductividad. Una vez entregados los resultados por el laboratorio de la CRC se procedió a realizar una análisis comparativo de estos valores obtenidos con los valores permisibles establecidos en la resolución 0631 de 2015 como se puede observar en la tabla 2.

## 4. FASE II EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES

### 4.1. Evaluación de zona de estudio.

Para el desarrollo de la evaluación de impacto ambiental en la zona de estudio se realizó la identificación de los impactos ambientales causados en el recurso hídrico y del suelo que se ocasionan debido a la actividad de beneficio de oro, para poder determinar y evaluar los impactos fue necesario aplicar la Resolución 2086 de 2010, Artículo 7° Grado de Afectación Ambiental.

### 4.2 Impacto Ambiental.

La tabla 3, muestra el método matricial para evaluar los impactos ambientales que se presenta en la zona de estudio, mediante parámetros como: Intensidad (IN), Extensión (EX), Persistencia (PE), Reversibilidad (RV) y Recuperabilidad (MC), además de la calificación ambiental y la significancia.

**Tabla 3.** Matriz grado de afectación ambiental

| Atributos                | Definición  | Calificación  | Ponderación |
|--------------------------|---|---|-------------|
| <b>INTENSIDAD (IN)</b>   | Define el grado de incidencia de la acción sobre el bien de protección  | Afectación de bien de protección representada en un desviación del estándar fijado por la norma y comprendida en el rango entre 0 y 33%   | 1           |
|                          |   | Afectación de bien de protección representada en un desviación del estándar fijado por la norma y comprendida en el rango entre 34% y 66% | 4           |
|                          |   | Afectación de bien de protección representada en un desviación del estándar fijado por la norma y comprendida en el rango entre 67 y 99%  | 8           |
|                          |   | Afectación de bien de protección representada en un desviación del estándar fijado por la norma igual o superior al 100%                  | 12          |
| <b>EXTENSIÓN (EX)</b>    | Se refiere al área de influencia del impacto en relación con el entorno | Cuando la afectación puede determinarse en un área localizada e inferior a una (1) hectárea   | 1           |
|                          |   | Cuando la afectación incide en un área determinada entre (1) hectárea y cinco (5) hectáreas   | 4           |
|                          |   | Cuando la afectación se manifiesta en un área superior 5) hectáreas   | 12          |
| <b>PERSISTENCIA (PE)</b> | Se refiere al tiempo que permanecería el efecto desde su aparición y    | Si la duración del efecto es menor a seis (6) meses   | 1           |
|                          |   | Cuando la afectación no es permanente en el tiempo se   | 3           |

| Atributos                   | Definición   | Calificación  | Ponderación |
|-----------------------------|--|---|-------------|
|                             | hasta que el bien de protección retorne a las condiciones previas a la acción  | establece un plazo temporal de manifestación entre seis (6) meses y cinco (5) años.   |             |
|                             |  | Cuando el efecto supone una alteración indefinida en el tiempo de los bienes de protección o cuando la alteración es superior a cinco (5) años.   | 5           |
| <b>REVERSIBILIDAD (RV)</b>  | Capacidad del bien de protección ambiental afectado de volver a sus condiciones anteriores a la afectación por medios naturales, una vez se haya dejado de actuar sobre el ambiente. | Cuando la alteración puede ser asimilada por el entorno de forma medible en un periodo menor a un (1) año.  | 1           |
|                             |  | Aquel en el que la alteración pueda ser asimilada por el entorno de forma medible en el mediano plazo, debido al funcionamiento de los procesos naturales de la sucesión ecológica y de los mecanismos de autodepuración del medio. Es decir, entre uno (1) y diez (10) años. | 3           |
|                             |  | La alteración puede ser asimilada por entorno de forma medible en un periodo entre 1 y 10 años  | 5           |
| <b>RECUPERABILIDAD (MC)</b> | Capacidad de recuperación del bien de protección por medio de la implementación de medidas de gestión ambiental.   | Si se logra en un plazo inferior a seis (6) meses.  | 1           |
|                             |  | Caso en que la afectación puede eliminarse por la acción humana al establecer las oportunas medidas correctivas, y así mismo, aquel en el que la alteración que sucede puede ser compensable en un periodo comprendido entre seis (6) meses y cinco (5) años.                 | 3           |
|                             |  | Caso en el que la alteración del medio o pérdida que se supone es imposible de reparar tanto por la acción natural como la acción humana.   | 10          |

**Fuente:** Resolución 2086 de 2010

Una vez calificados cada uno de los atributos, se procedió a determinar la importancia de la afectación representada en la siguiente ecuación:

$$I = (3 * IN) + (2 * EX) + PE + RV + MC \quad \text{Ecuación 1}$$

Grado de afectación: Permite clasificar cada uno de los recursos (hídrico y suelo) obteniendo el valor obtenido de la importancia (I): Irrelevante, Leve, Moderada, Severa o Crítica, atendiendo los valores presentados en la tabla

**Tabla 4. Importancia Ambiental**

| Calificación           | Descripción  | Medida Cualitativa | Rango   |
|------------------------|--|--------------------|---------|
| <b>IMPORTANCIA (I)</b> | 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 |
|                        |  | Crítico            | 61 – 80 |

**Fuente:** Resolución 2086 de 2010

Una vez determinada la importancia de la afectación, se procede a establecer el grado de afectación ambiental para finalmente realizar las recomendaciones que sean de forma preventiva o que mitiguen los impactos ambientales generados por la actividad de beneficio de oro.

## 5. RESULTADOS Y ANÁLISIS

### 5.1 CARACTERIZACIÓN DE LOS ENTABLES INTERVENIDOS EN EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.

Los cuatro entables poseen título minero con placa de identificación 18114 con vigencia hasta el año 2018, con una extensión de predios entre ½ Ha El Roble, 1Ha para La Vega y El Cuarzo, 2 Ha El Trio II. En cuanto a los permisos ambientales los cuatro entables poseen Licencia Ambiental y solo concesión de aguas los entables El Trio II y El Roble.

Por otra parte las plantas de extracción de oro de cada entable cuentan con un personal entre 2 y 3 trabajadores en cada uno de las plantas de beneficio, además de ello presentan la correspondiente señalización, elementos de protección personal, un lugar de almacenamiento (bodega) para los químicos y separación de los residuos sólidos.

El agua subterránea que emplean en este procedimiento es extraída mediante motobombas de la bocamina la Vega y a su vez es reutilizada solo en los entables el Trio II mediante tanques.

Es importante resaltar que para el proceso de beneficio del oro utilizan sustancias químicas como cianuro en una dosis de 3kg x 1m<sup>3</sup> de agua y para neutralizar las aguas residuales de la actividad se implementa peróxido de hidrogeno ½ de galón x Tonelada o Hipoclorito de sodio.

En el manejo y tratamiento de los residuos estériles la mayoría de los entables tienen un sitio específico donde realizan el almacenamiento y disposiciones de estos, que posteriormente se venden o acumulan en posetas o relabera.

A continuación se describen los procesos que se desarrollan en cada uno de los entables para la extracción del oro:

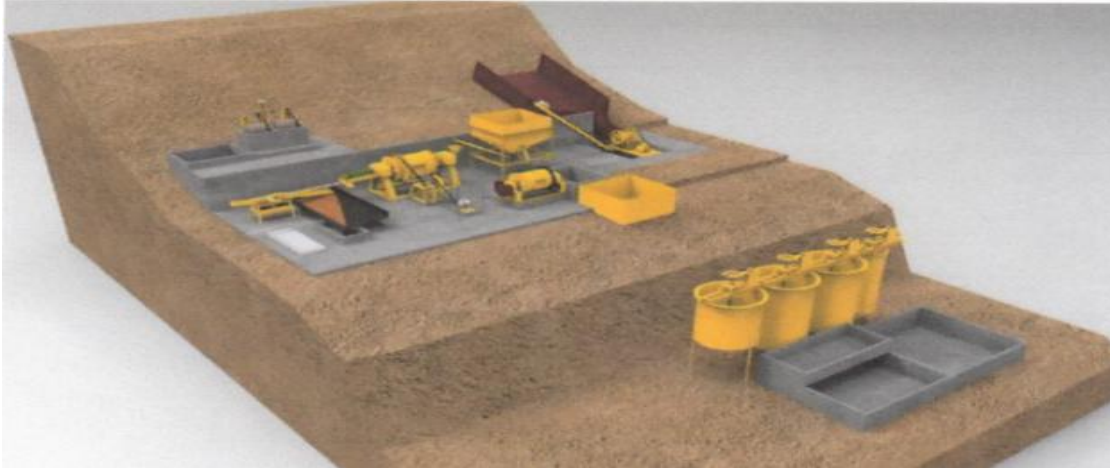
#### 5.1.1 CARACTERIZACIÓN PLANTA DE BENEFICIO EL TRIO II.

##### **Caracterización línea base planta de beneficio de minerales auríferos el Trio II.**

En la figura 3. Se observa su infraestructura que posee:

- Tolva de almacenamiento inclinada
- Tolva de mineral grueso
- Trituradora de quijadas
- Banda transportadora alimentadora de molino
- Trituradora de martillos
- Molino de bolas
- Mesa vibratoria Diagonal
- Remoedor
- Tanque de descarga del remoedor
- Tanque de descarga y lavado de mineral
- Tanques metálico de cianuración

**Figura 3.** Infraestructura del Entable El Trio II



**Fuente:** Cooperativa de Fondas, 2018.

En la figura 4, se presenta el esquema del proceso del entable el Trio II. El tiempo de operación de la planta es de 7 años, cabe resaltar que hace aproximadamente dos (2) años se inició con el proceso de sustitución del mercurio por el cianuro. En este entable la producción de beneficio de oro es más grande a comparación de los demás, teniendo en cuenta que quincenalmente en la planta se generan de 180 a 210 toneladas de material en molienda, de acuerdo al tenor se obtiene entre 0 a 6 gramos de oro por tonelada, para un promedio mínimo entre 300 - 350 gramos de oro, que en ocasiones puede aumentar, pero todo depende de la variación del tenor. Y en gasto de agua quincenal es aproximadamente de 12.300 Litros de agua y utilizan 37 kg de cianuro.

**Figura 4.** Esquema del proceso del entable el Trio II

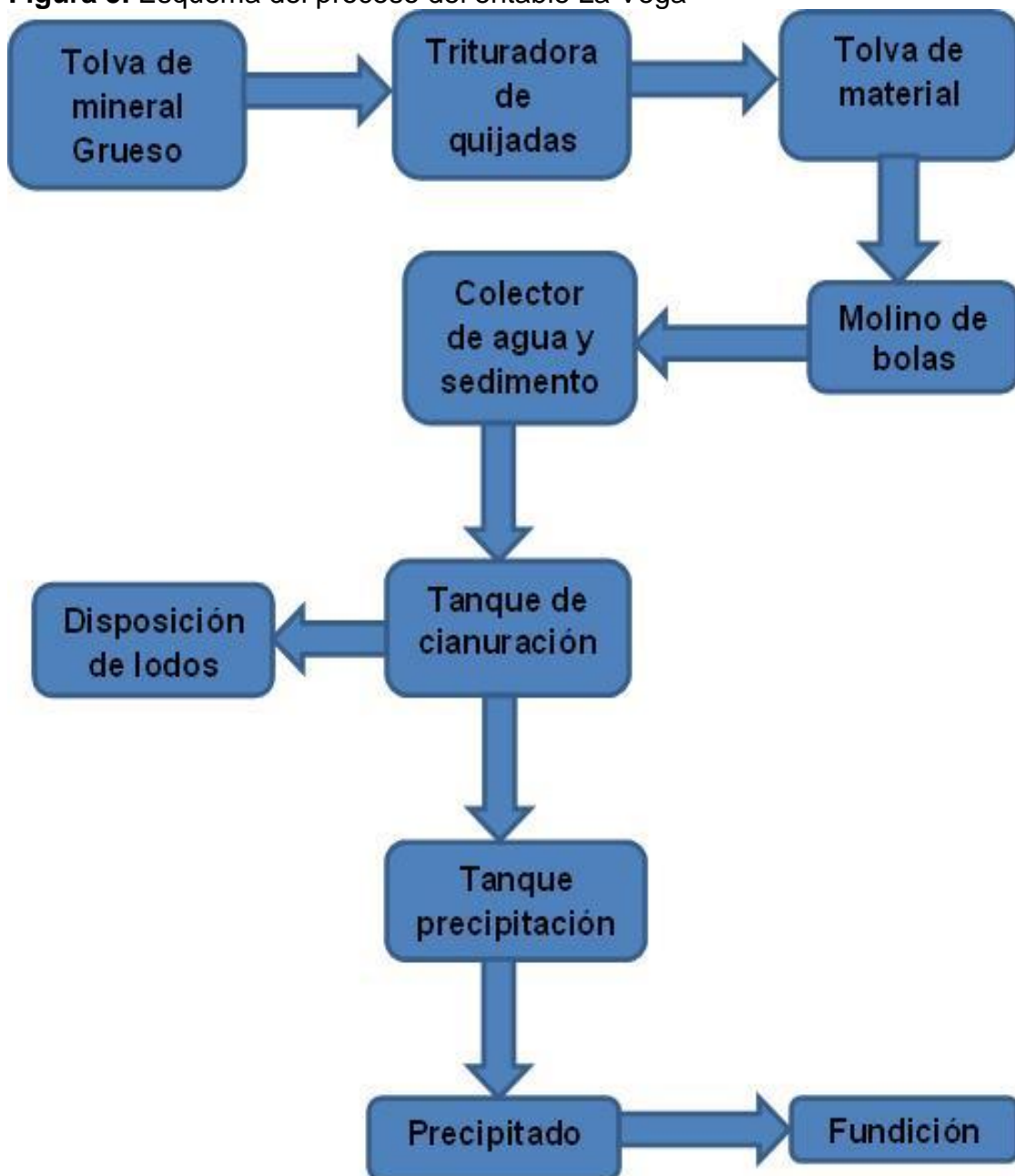


**Fuente:** Elaboración Propia, 2018.

### 5.1.2 CARACTERIZACIÓN PLANTA DE BENEFICIO LA VEGA

Esta planta de beneficio de oro trabaja de forma discontinua cada vez que haya material para realizar la molienda. Aproximadamente hace 10 meses cambiaron el uso de mercurio por cianuro. Su producción quincenal es de 30 toneladas material de molienda, utilizando 8 kilos de cianuro y 6.600 litros de agua, para un promedio 238 - 250 gramos de oro.

Figura 5. Esquema del proceso del entable La Vega



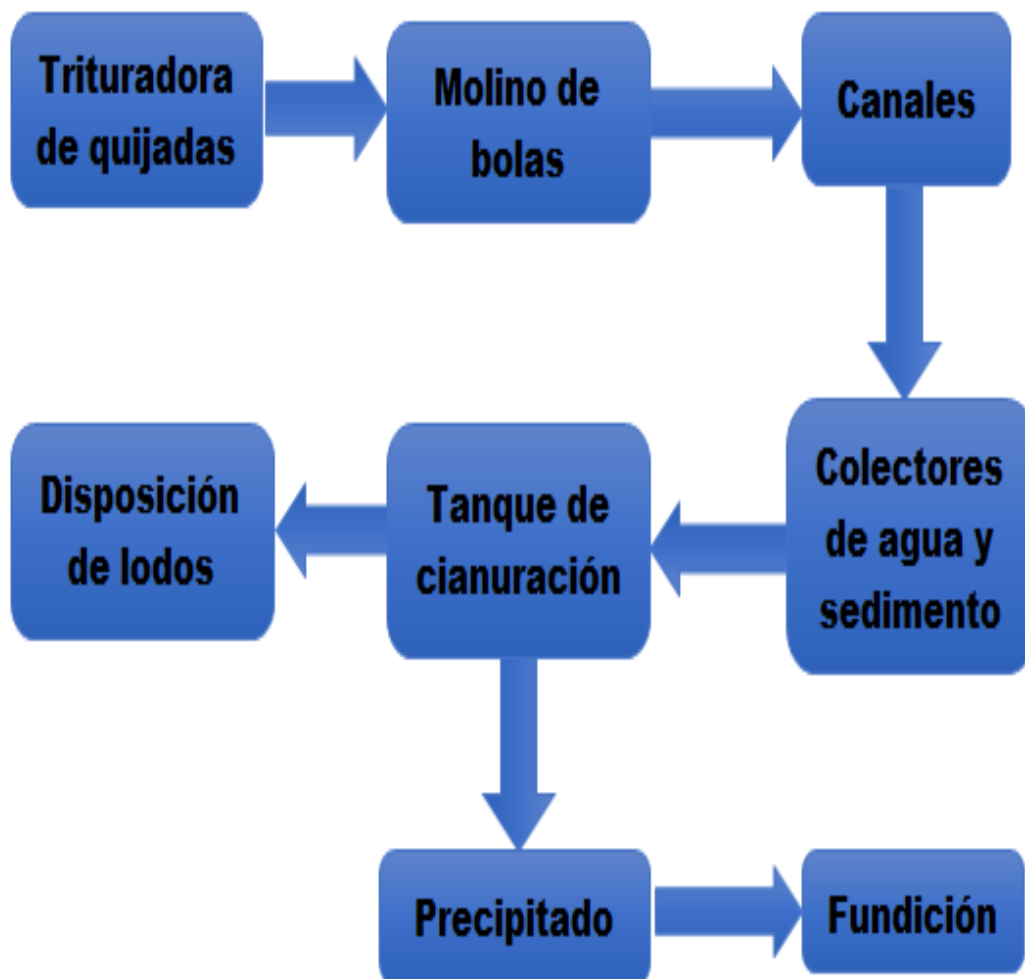
Fuente: Elaboración Propia, 2018.



### 5.1.3 CARACTERIZACIÓN DE LAS PLANTAS DE BENEFICIO EL CUARZO Y EL ROBLE.

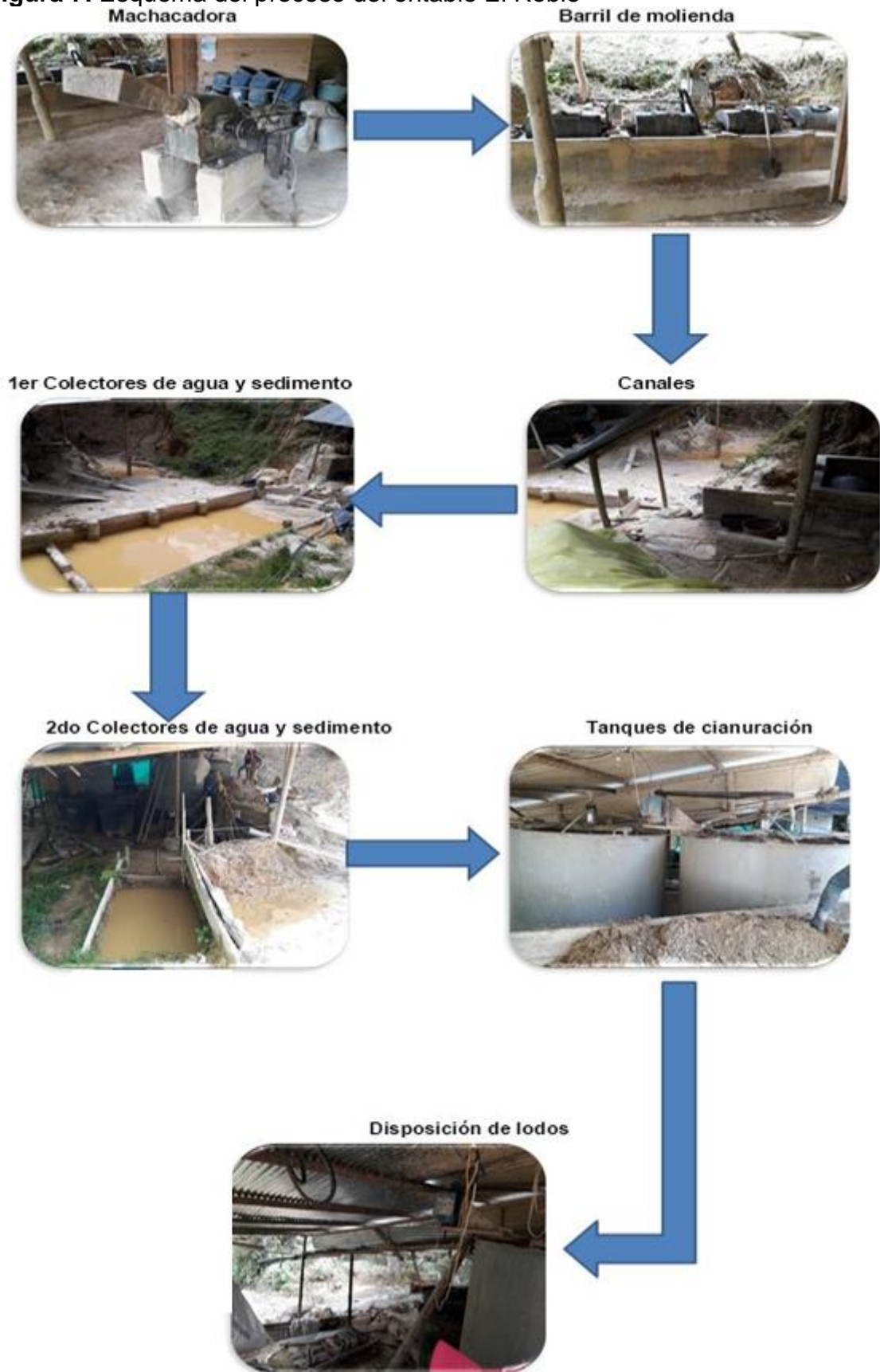
Se realiza un solo esquema para estos dos entables (el Cuarzo y el Roble), debido a que su infraestructura y procesos son similares. El Cuarzo es uno de los entables que ha realizado el proceso de sustitución del mercurio por cianuro debido a que hace aproximadamente 10 meses se realizó el montaje del tanque de cianuración en la planta. Su producción semanal de material de molienda es de 6 toneladas, implementando 6 kg de cianuro, 20 kg de cal, y 4900 litros de agua, para un promedio de 36 gr de oro. En cuanto al entable el Roble se puede mencionar que alrededor de 9 meses elimino el uso del mercurio por cianuro, su producción por mes es de 8 Ton del material cada 3 meses, utilizan 16 kg de cianuro, 4000 litros de agua y para un promedio de 25 gr de oro. La actividad no se realiza de forma continua, razón por la cual ocasionalmente alquilan los barriles para que otras personas realicen la molienda.

**Figura 6.** Esquema del proceso del Cuarzo y El Roble



**Fuente:** Elaboración Propia, 2018.

**Figura 7.** Esquema del proceso del entable El Roble



**Fuente:** Elaboración Propia, 2018.

## 5.2 Parámetros fisicoquímicos.

### 5.2.1 Caracterización fisicoquímica.

En la tabla 5 se muestran los parámetros fisicoquímicos como es turbiedad, pH, SST, DQO, conductividad, sedimentos, cianuro y mercurio medidos en cada uno de los entables y efluentes, así mismo se resaltan los valores que sobrepasan los límites permisibles de acuerdo a lo establecido en la Resolución 0631 del 2015. Es importante mencionar que el único parámetro que se encuentra dentro de la norma son los sedimentos.

**Tabla 5.** Resultados de los parámetros fisicoquímicos analizados en los diferentes entables

| Parámetros            | Ubicación    | Entable El Trio II |               |                | Entable El Roble |              |              | Entable El Cuarzo |              |               | Entable La Vega |             |                | Resolución 0631 del 2015 |
|-----------------------|--------------|--------------------|---------------|----------------|------------------|--------------|--------------|-------------------|--------------|---------------|-----------------|-------------|----------------|--------------------------|
|                       |              | Monitoreo          | 1             | 2              | 3                | 1            | 2            | 3                 | 1            | 2             | 3               | 1           | 2              |                          |
| pH                    | Descarga     | 7.95               | 7.76          | 8.38           | 6.93             | <b>11.3</b>  | <b>9.68</b>  | --                | <b>11.4</b>  | <b>12.2</b>   | 5.75            | 7.43        | 7.60           | 6,00 a 9,00              |
|                       | Aguas Arriba | 7.25               | 8.02          | 6.73           | 7.25             | 8.02         | 6.73         | ---               | -----        | -----         | -----           | -----       | -----          |                          |
|                       | Aguas Abajo  | 7.41               | 7.63          | 6.77           | 7.41             | 7.63         | 6.77         | ---               | -----        | -----         | 6.95            | 7.56        | 6.71           |                          |
| Conductividad (µs/cm) | Descarga     | 357                | 200           | 292            | 117              | 474          | 109          | ---               | <b>1290</b>  | 753           | 215             | 81.0        | 248            | 1000                     |
|                       | Aguas Arriba | 66.1               | 34.9          | 65.2           | 66.1             | 34.9         | 65.2         | ---               | -----        | -----         | -----           | -----       | -----          |                          |
|                       | Aguas Abajo  | 75.7               | 60.7          | 90.5           | 75.7             | 60.7         | 90.5         | ---               | -----        | -----         | 45.5            | 45.3        | 61.2           |                          |
| DQO (mg/L)            | Descarga     | 133                | <15           | <15            | <15              | 20.7         | <15          | --                | <b>201</b>   | <b>851</b>    | <b>356</b>      | ----        | 79.2           | 150                      |
|                       | Aguas Arriba | 72.4               | <15           | <15            | 72.4             | <15          | <15          | ---               | -----        | -----         | -----           | -----       | -----          |                          |
|                       | Aguas Abajo  | 136                | <15           | <15            | 136              | <15          | <15          | --                | -----        | -----         | 26.0            | <15         | <15            |                          |
| SST (mg/L)            | Descarga     | <b>15537</b>       | <b>121050</b> | <b>135090</b>  | -----            | <b>39070</b> | <b>3530</b>  | --                | <b>70150</b> | <b>100520</b> | <b>4605</b>     | <b>466</b>  | <b>7940</b>    | 50                       |
|                       | Aguas Arriba | <b>3420</b>        | <b>10610</b>  | <b>2040</b>    | <b>3420</b>      | <b>10610</b> | <b>2040</b>  | ---               | -----        | -----         | -----           | -----       | -----          |                          |
|                       | Aguas Abajo  | <b>7283</b>        | <b>5115</b>   | <b>3530</b>    | <b>7283</b>      | <b>5115</b>  | <b>3530</b>  | ---               | -----        | -----         | <b>569</b>      | <b>3010</b> | <b>4650</b>    |                          |
| Cianuro (mg/L)        | Descarga     | <b>1.85</b>        | 0.04          | 0.094          | 0.003            | <b>85.0</b>  | 0.234        | ----              | <b>152</b>   | <b>121</b>    | <b>5.35</b>     | 0.03        | 0.127          | 1.00                     |
|                       | Aguas Arriba | 0.003              | 0.10          | 0.009          | 0.003            | 0.10         | 0.009        | ----              | -----        | -----         | -----           | -----       | -----          |                          |
|                       | Aguas Abajo  | 0.009              | 0.03          | 0.202          | 0.009            | 0.03         | 0.202        | ----              | -----        | -----         | 0.031           | 0.10        | 0.014          |                          |
| Mercurio (mg/L)       | Descarga     | <0.00035           | <0.00035      | <b>0.00441</b> | 0.00037          | <b>0.182</b> | <b>0.239</b> | ----              | <b>0.225</b> | <b>0.431</b>  | 0.00146         | 0.00183     | <b>0.0146</b>  | 0,002                    |
|                       | Aguas Arriba | <0.00035           | <0.00035      | 0.00179        | <0.00035         | <0.00035     | 0.00179      | ----              | -----        | -----         | -----           | -----       | -----          |                          |
|                       | Aguas Abajo  | <0.00035           | <0.00035      | 0.00225        | <0.00035         | <0.00035     | 0.00225      | ----              | -----        | -----         | 0.00073         | <0.00035    | <b>0.00344</b> |                          |

Fuente. Elaboración propia.

A continuación se describe en que entables, el punto de monitoreo y en cuáles de los tres monitores no cumplieron con lo exigido en la normatividad:

### ➤ pH

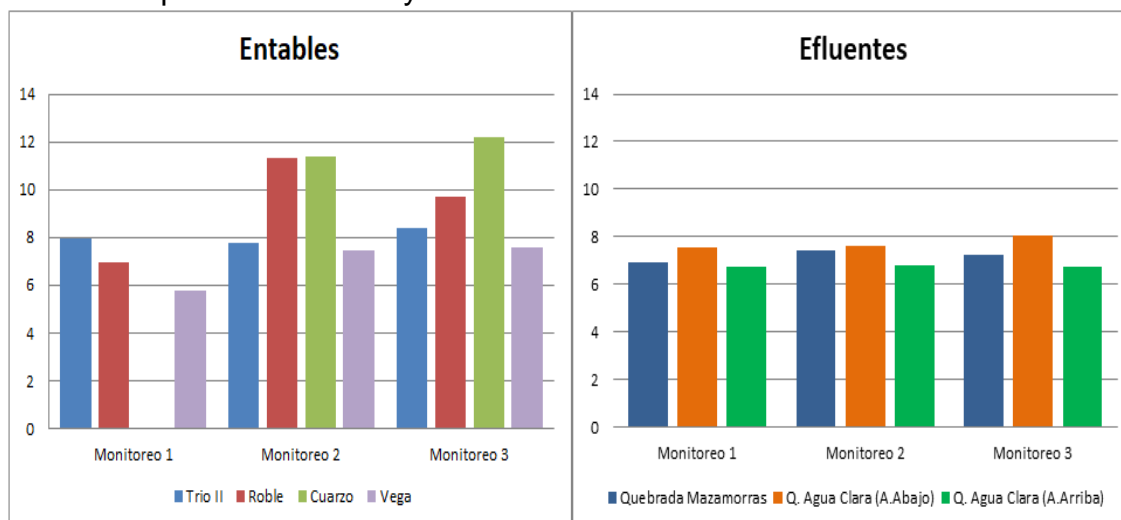
Como se observa en la gráfica 1, los altos valores de pH se obtienen en el entable el Cuarzo y el Roble en los monitores (2) y (3). En un rango de 9.68 y 12.2, valores que indican aguas básicas que pueden ser ocasionadas por el desarrollo de la actividad principalmente en los procesos de neutralización de las aguas residuales que utilizan sustancias químicas como peróxido de hidrogeno, hipoclorito de sodio y cal.

Además otras de la razones que contribuyen a el aumento de estos valores es la presencia de minerales existentes en el ecosistema como es la arcilla y limo, que proporcionan propiedades fundamentales, destacando su carga eléctrica negativa y con ella una propiedad química esencial como es la capacidad de intercambio catiónico.

Adicionalmente el desarrollo de la actividad fotosintética de las plantas que reduce el contenido de CO<sub>2</sub> en el agua mientras que la respiración de los organismos heterótrofos produce CO<sub>2</sub>, causando un desequilibrio carbónico a la actividad vital de los microorganismos que influyen drásticamente en los cambios de pH.

En general el comportamiento del pH no está acorde a las condiciones naturales de los cuerpo de agua ubicados en alta montaña que históricamente se ubican en 6.5 y 7.5 [65]

**Gráfica 1.** pH en efluentes y en los entables mineros.



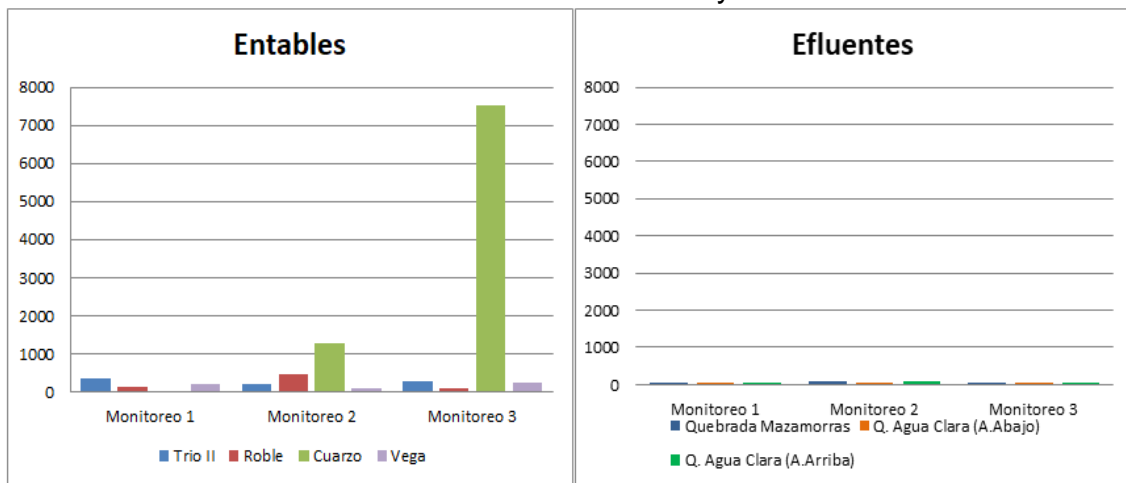
Fuente: Elaboración Propia, 2018.

### ➤ Conductividad

En la gráfica 2, se observa que el entable el Cuarzo obtuvo los mayores valores de conductividad con 1290 y 7533  $\mu\text{s}/\text{cm}$  en los puntos de descarga. La conductividad eléctrica (CE) refleja la mineralización, presencia de sales, conjugando cationes y aniones disueltos [66]. Lo que indica que una conductividad alta en cuerpos hídricos tiene varias implicaciones

ambientales como puesto que conduce al crecimiento de algas y posterior agotamiento del oxígeno [67]. Sus valores pueden incrementarse por vertimientos de sustancias químicas como cianuro y mercurio.

**Grafica 2.** Conductividad en los entables mineros y en efluentes.



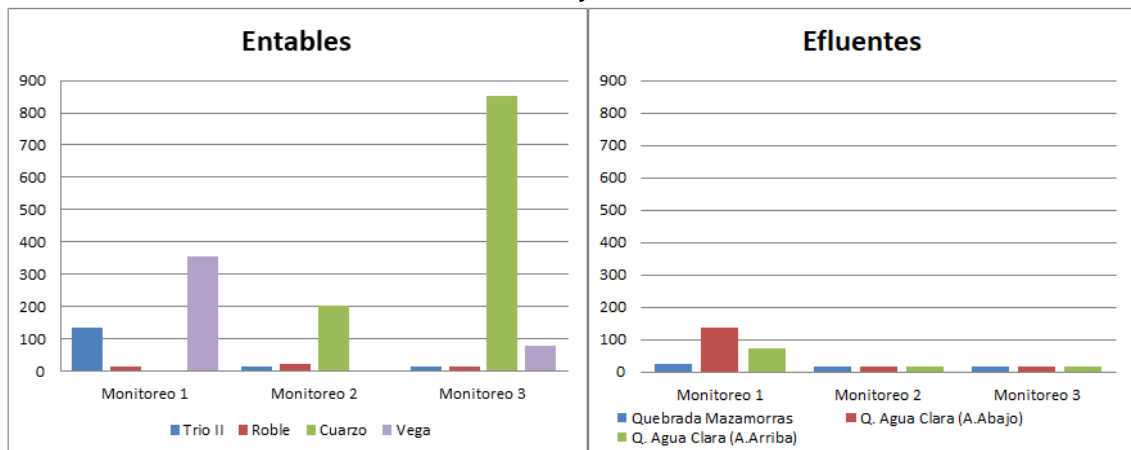
Fuente: Elaboración Propia, 2018.

➤ **Demanda Química de Oxígeno (DQO).**

La grafica 3, se puede apreciar que los valores del parámetro DQO que sobrepasan los límites permisibles están en un rango de 201 – 851 mg/L, son el Cuarzo y la Vega en 3 de los 3 puntos monitoreados (descarga, aguas arriba y aguas abajo).

Que indican que existen niveles altos de materia inorgánica que pueden ser producidos de forma natural en el ecosistema y por el arrastre de los sedimentos presentes en el suelo. Materia orgánica que al ser degradada por procesos de oxidación química y biológica requieren altos niveles de oxígeno el aumento de la DQO contribuye a la disminución de la capacidad de depuración de las fuentes hídricas, disminución del oxígeno disuelto, salinización de los suelos y pérdida de la biodiversidad acuática y calidad del uso. [67].

**Grafica 3.** DQO en efluentes y en los entables mineros.

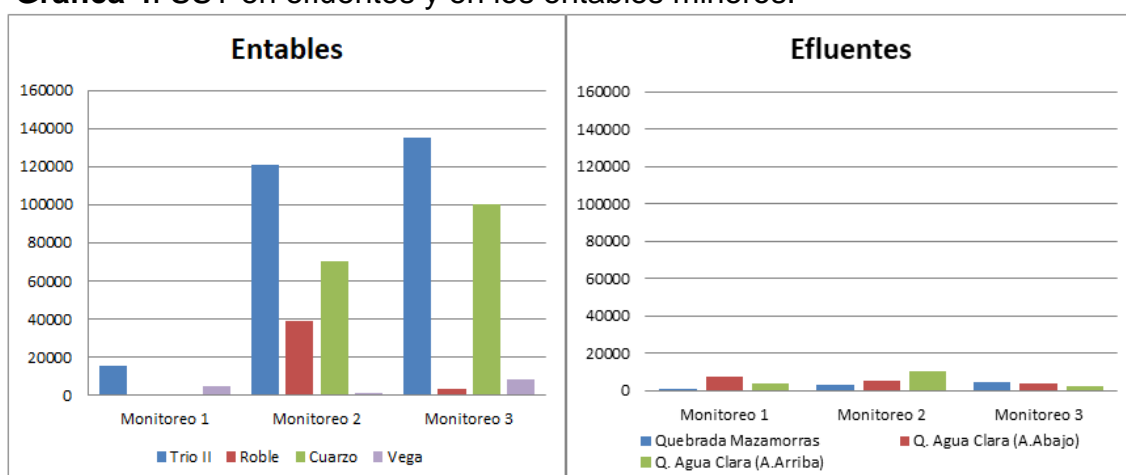


Fuente: Elaboración Propia, 2018.

## ➤ SST

Como se observa en la gráfica 4, en cada uno de los monitores realizados en los entable y efluentes, se presentan valores de concentración con rangos de 466 – 135090 mg/L, todos tienen gran presencia de sólidos suspendidos, pero valores considerablemente altos en los 3 muestreos del entable el Trio y en tercer monitoreo del entable e Cuarzo, sobrepasando los límites permisibles.

**Grafica 4.** SST en efluentes y en los entables mineros.



**Fuente:** Elaboración Propia, 2018.

Estos valores se deben a que las aguas residuales provenientes de la industria minera generan gran cantidad SST, debido a la trituración que se emplea con el fin de convertir las rocas de las minas en material de menor tamaño que acaba aportando partículas suspendidas al agua, como también pueden provenir de los minerales de las rocas o suelo que son arrastrados con la corriente, el aumento de sus valores puede estar asociado a los tiempos de lluvia ocasionando que el lodo genere 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. [69]

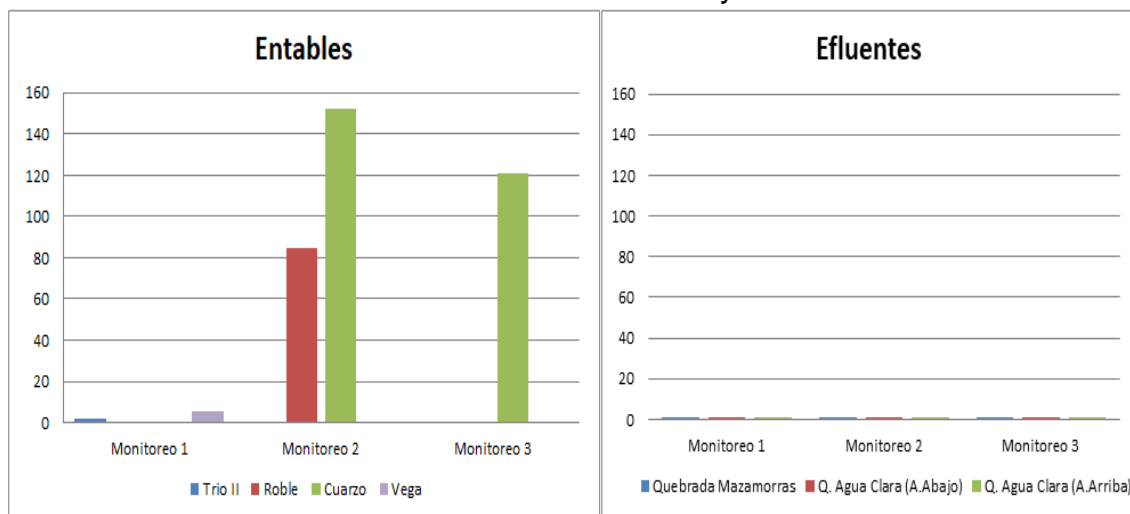
Las partículas suspendidas también son destructivas para muchos organismos acuáticos tales como los macro invertebrados que se encuentran en el agua. Pueden obstruir las branquias de los peces e interferir con su habilidad para encontrar alimento. También pueden enterrar las criaturas que viven en el fondo y los huevos, además de ello las partículas suspendidas pueden transportar contaminantes en el agua [70].

## ➤ Concentración de Cianuro

En la gráfica 5, se puede apreciar que los valores más altos obtenidos de cianuro se presenta el entable el Cuarzo con valores de 121 - 152 mg/L, sobrepasando el límite permisible establecido de 1,00 mg/L de acuerdo a la resolución 0631 del 2015 porque a pesar de que el cianuro se mezcla con un curso de agua y se diluye, no desaparece, al contrario su comportamiento puede variar de acuerdo a las condiciones (luz, temperatura, presencia de

oxígeno, pH, etc.), transformándose con el tiempo, en sustancias más tóxicas como son cianatos, tiocianatos, sulfocianatos. [71]

**Grafica 5.** Concentración de cianuro en efluentes y en los entables



**Fuente:** Elaboración Propia, 2018.

Los valores bajos se encontraron en los primeros muestreos de Cianuro que oscilan entre 0.003 – 0.009 mg/L en la quebrada Agua Clara (aguas abajo y aguas arriba) y en el entable el Roble, debido a que adicionan sustancias químicas como el hipoclorito de sodio y peróxido de hidrogeno para neutralizar la carga de concentración de cianuro de las aguas residuales del beneficio de oro. La presencia de estos valores en las fuentes hídricas, se puede atribuir a las descargas de otras plantas de beneficio de oro que vertían o vierten directa o indirectamente a los cuerpos de aguas.

Otras de las razones que pueden contribuir a la disminución de la carga contaminante es que en estas plantas la actividad no se realiza de forma continua. El peróxido de hidrogeno (PH) al ser un fuerte agente oxidante que degrada al cianuro transformándolo en cianato, el cual es mucho menos tóxico. Este desinfectante ecológico al reaccionar se descompone en agua y oxígeno, sin producir ningún efecto nocivo en el medioambiente. [72]

Es importante mencionar que el cianuro afecta a todos los seres vivos en distintas concentraciones y su efecto puede ser tóxico o letal (la muerte). En exposición aguda (en una sola vez) en el ser humano 150 mg (0,15 gramos) pueden provocar la muerte. Los peces son más sensibles aún (en menores concentraciones se mueren) y además existen reportados efectos crónicos (exposiciones que no provocan la muerte o toxicidad evidente, pero que sí producen daños por exposición a dosis pequeñas a largo plazo). [73]

➤ **Concentración de Mercurio en entables y efluentes.**

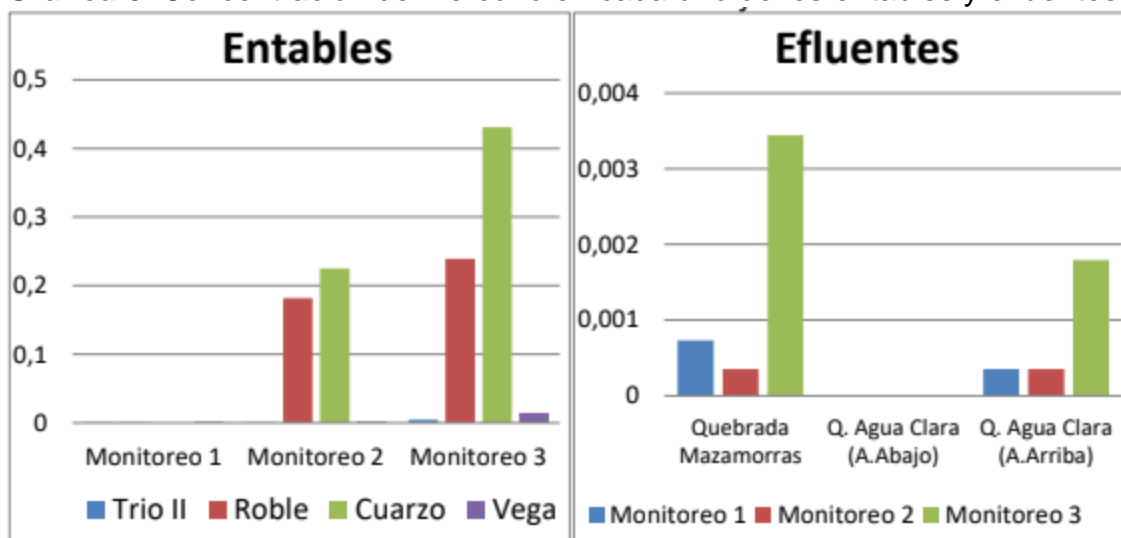
En la gráfica 6, se puede apreciar que los valores más altos obtenidos de mercurio se presentan en los entables el Cuarzo 0.225 – 0.431 mg/L y el Roble con valores de 0.182 – 0.239 mg/L, sobrepasando el límite permisible



establecido de 1,00 mg/L de acuerdo a la resolución 0631 del 2015.

El incremento de estos valores puede atribuirse a los niveles de concentración de mercurio contenidos en las colas de las plantas que se descargaban a los cuerpos de aguas, además de que en el momento existen entables cercanos a estos que pueden aumentar los niveles de mercurio teniendo en cuenta que estos entables aún no han realizado la sustitución o eliminación del mercurio por el cambio de amalgamación por cianuración.

**Grafica 6.** Concentración de Mercurio en cada uno de los entables y efluentes.



**Fuente:** Elaboración Propia, 2018

En el entable el Trio II y en las quebradas de estudio se encuentran los valores más bajos de mercurio (<0.00035 mg/L), posiblemente porque con el paso de los años y el cambio de la sustitución o eliminación del mercurio por cianuración se ha producido una reducción en estos niveles, otras de las razones obedece al paso de los fenómenos naturales como el fenómeno del niño que según indican puede producir un lavado o movilización de los depósitos de los ríos que pueden poseer grandes cantidades de mercurio, mediante la mezcla de aguas con altas y bajas concentraciones. [74]

#### ➤ **Concentración de Mercurio en Sedimentos.**

Debido a que en Colombia no se cuenta con una normatividad reglamentada para realizar una comparación de los niveles de mercurio en sedimentos, se basó en el DECRETO SUPREMO N° 002-2013-MINAM, donde reglamenta y aprueba los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Perú.

En la tabla 6, se presentan los resultados del contenido de mercurio en sedimentos de los cuatro entables y efluentes, que de acuerdo a la norma establecida indica que los resultados obtenidos en sedimentos de los anteriormente mencionados, ninguno sobrepasan los límites permisibles. Como se observa en la tabla 7, mediante una prueba piloto que se realizó en el entable el Trio se logró establecer presencia de mercurio, lo que indica que esta sustancia con el transcurso del tiempo se ha ido bioacumulando y



sedimentando. Como consecuencia de ello, conlleva a la afectación directa (flor y fauna) e indirecta a la cadena trófica.

**Tabla 6.** Concentración de Mercurio en sedimentos en los entables y efluentes

| <b>Sedimentos de Mercurio (mg/kg)</b>   |                         |                          |                         |                          |
|---|-------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|
| <b>Entable El TRIO II</b>               |                         |                          |                         |                          |
| <b>Lugar</b>                            | <b>Primer monitoreo</b> | <b>Segundo monitoreo</b> | <b>Tercer monitoreo</b> | <b>Limite permisible</b> |
| <b>Descarga</b>                         | 3.551                   | 11.741                   | 9.097                   | 24 mg/kg                 |
| <b>Quebrada Agua Clara Aguas Abajo</b>  | _____                   | 1.859                    | _____                   | 24 mg/kg                 |
| <b>Entable EL ROBLE</b>                 |                         |                          |                         |                          |
| <b>Descarga</b>                         | -----                   | 12.185                   | 10.625                  | 24 mg/kg                 |
| <b>Quebrada Agua Clara Aguas Arriba</b> | 1.723                   | _____                    | 1.123                   | 24 mg/kg                 |
| <b>Entable EL CUARZO</b>                |                         |                          |                         |                          |
| <b>Descarga</b>                         | -----                   | 17.776                   | 14.192                  | 24 mg/kg                 |
| <b>Entable LA VEGA</b>                  |                         |                          |                         |                          |
| <b>Descarga</b>                         | 16.145                  | 17.334                   | 4.945                   | 24 mg/kg                 |
| <b>Mazamorras</b>                       | 2.985                   | -----                    | 2.893                   | 24 mg/kg                 |

**Fuente.** Elaboración propia.

Se realizó una prueba piloto ver en el anexo 6. Este consistió en alimentar dos (2) barriles, cada uno con 90 kilogramos de lodos y agua, adicionándole a uno (1) de los cocos el producto Axxion Gold + Acción Recover productos de la empresa QUIMECOL y el otro sin este como se muestra en la figura 8, posteriormente se selló y se realizó la molienda por 5 horas, para finalmente tomar las muestras de sedimento de acuerdo al protocolo de la CRC.

**Figura 8.** Prueba piloto entable El Trio II



**Fuente.** Elaboración propia.

## Axxion Gold

El producto Axxion Gold, es la combinación de agentes geológicos de última generación y catalizadores que sincronizados mediante la cinética química que al entrar en contacto con el material cálcico, la neutraliza separando el oro y otros elementos del material rocoso y lodos. También tiene la capacidad de ajustarse a las diferentes mineralogías de las regiones, se puede utilizar en circuitos cerrados en la molienda o circuitos abiertos en la minería de filón y aluvión.

## Axxion Recovery

Es un producto enfocado en la recuperación de lodos contaminados con mercurio, al entrar en contacto con este agentes logra separarlo de los demás elementos así facilitando su recuperación independientemente del tiempo de que tengan los lodos o arenas contaminadas.

La combinación de estos dos (2) productos, genera un método de minería que está encaminado a un mejor aprovechamiento y biorremediación para la extracción del metal y descontaminación de lodos o material particulado denominado “desecho”.

**Tabla 7.** Concentración de Mercurio en prueba piloto

| <b>Sedimentos de Mercurio (mg/kg)</b>       |   |                          |
|---|---|--------------------------|
| <b>Prueba piloto del entable El TRIO II</b> |   |                          |
| <b>Con Axxion Gold + Acción Recover</b>     | <b>Sin Axxion Gold + Acción Recover</b> | <b>Limite permisible</b> |
| 153.84                                      | 42.91                                   | 24 mg/kg                 |

**Fuente.** Elaboración propia.

## 5.3 DETERMINACIÓN GRADO DE AFECTACIÓN

A continuación se presenta la valoración de los entables (4) de estudio que permitieron determinar el grado de afectación e importancia ambiental, según los atributos y ponderación que se obtenga de acuerdo a la Resolución 2086 de 2010, de la siguiente manera.

### Recurso hídrico

En la tabla 8, se estima el grado de afectación ambiental en el recurso hídrico por las actividades de oro del entable el Trio II

**Tabla 8.** Grado de afectación ambiental entable el Trio II

| Atributos            | Descripción de la Calificación   | Calificación según ponderación  | Ponderación |
|----------------------|--|---|-------------|
| INTENSIDAD (IN)      | Esta labor utiliza el recurso hídrico en el proceso de beneficio de oro y genera vertimientos directos e indirectos a fuentes hídricas.  | Afectación de bien de protección representada en un desviación del estándar fijado por la norma y comprendida en el rango entre 67 y 99%  | 8           |
| EXTENSIÓN (EX)       | Según lo evidenciado en las visitas a los sitios de intervención, se resalta que esta entre una hectárea.  | Afectación de bien de protección representada en un desviación del estándar fijado por la norma y comprendida en el rango entre 34% y 66% | 4           |
| PERSISTENCIA (PE)    | Con la implementación de medidas que aseguren una minería limpia, este recurso retomará las condiciones previas en un periodo de cinco años, debido a la magnitud e intensidad de daño generado al medio.  | La afectación es permanente en el tiempo se establece un plazo de alteración superior a 5 años.   | 5           |
| REVERSIBILIDAD (RV)  | Para que la situación ambiental mejore depende de que los propietarios de los entables, implementen un sistema de tratamiento a corto plazo, además de la minimización o sustitución en el uso de sustancias químicas en el proceso (cianuro).           | La alteración puede ser asimilada por entorno de forma medible en un periodo entre 1 y 10 años) años.                                     | 5           |
| RECUPERABILIDAD (MC) | Una vez se deje de actuar sobre el recurso y se implementen las medidas establecidas por la Corporación, así como lo provisto en los trámites de legalización e implementación. Para fortalecer y controlar la afectación ambiental del recurso hídrico. | Se logra en un plazo comprendido entre 6 meses y 5 años.  | 10          |

Fuente: Resolución 2086 de 2010

**Recurso Agua:** Se estima con la siguiente fórmula y con los valores que se obtienen de la tabla 8; grado de afectación ambiental entables el Trio II

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

$$I = (3 \cdot 8) + (2 \cdot 4) + 5 + 5 + 10$$

$$I = 52$$

**Tabla 9.** Importancia ambiental entable el Trio II

| Calificación  | Medida Cualitativa | Rango   | Valor Calificado |
|---|--------------------|---------|------------------|
| <b>IMPORTANCIA (I)</b><br>Medida cualitativa del impacto a partir del grado de incidencia de la alteración producida y de sus efectos | Irrelevante        | 8       | <b>52</b>        |
|   | Leve               | 9 – 20  |                  |
|   | Moderado           | 21 – 40 |                  |
|   | Severo             | 41 – 60 |                  |
|   | Crítico            | 61 – 80 |                  |

**Fuente:** Resolución 2086 de 2010

Como se evidencia en la tabla 9, la importancia ambiental del entable el Trio II presenta un grado de afectación **SEVERO**, en este caso en el recurso agua. Los impactos son ocasionados por los procesos de trituración, molienda, transporte del mineral y la utilización de sustancias químicas como el cianuro. Estas etapas generan impactos a corto y largo plazo como modificación de hábitats acuáticos, pérdida de individuos de flora y fauna acuática, modificación en la composición y estructura de las comunidades hidrobiológicas. Generando el deterioro de la calidad del agua, que por escorrentía superficial pueden alcanzar cuerpos de agua superficial o depositarse en zonas inundables.

### Recurso suelo

En la tabla 10, se evalúa el grado de afectación ambiental, en cuanto recurso suelo por el beneficio de oro del entable el Trio II.

**Tabla 10.** Grado de afectación ambiental entable el Trio II

| Atributos         | Descripción de la Calificación   | Calificación según ponderación  | Ponderación |
|-------------------|--|---|-------------|
| INTENSIDAD (IN)   | La actividad está sometida el recurso, tales como extracción de mineral, vertimientos al suelo, entre otros. | Afectación de bien de protección representada en un desviación del estándar fijado por la norma y comprendida en el rango entre 67 y 99%  | 8           |
| EXTENSIÓN (EX)    | Según se evidenció con las visitas en las zonas de trabajo, influencia entre área de una (2) a hectáreas.    | Afectación de bien de protección representada en un desviación del estándar fijado por la norma y comprendida en el rango entre 34% y 66% | 4           |
| PERSISTENCIA (PE) | Las actividades generan en el recurso una afectación que persiste en el tiempo a largo plazo.                | La afectación es permanente en el tiempo se establece un plazo de alteración superior a 5 años.   | 5           |

| Atributos            | Descripción de la Calificación   | Calificación según ponderación  | Ponderación |
|----------------------|--|---|-------------|
| REVERSIBILIDAD (RV)  | El que la situación ambiental mejore depende de que los propietarios de los entables, realicen los trámites de legalización y obtén por la implementación de un sistema de tratamiento en un tiempo a corto plazo, además de la minimización en el uso de sustancias químicas en el proceso. | La alteración puede ser asimilada por entorno de forma medible en un periodo entre 1 y 10 años) años. | 5           |
| RECUPERABILIDAD (MC) | Una vez se deje de actuar sobre el recurso y se desarrollen las medidas necesarias por la corporación, y se implementen acciones correctivas, legalización para su funcionamiento, esto fortalecerá y controlará la afectación ambiental del recurso suelo.                                  | Se logra en un plazo comprendido entre 6 meses y 5 años.  | 10          |

Fuente: Resolución 2086 de 2010

**Recurso Suelo:** Se estima con la siguiente fórmula y con los valores que se obtienen de la tabla 10; grado de afectación ambiental entables el Trio II

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

$$I = (3 \cdot 8) + (2 \cdot 4) + 5 + 5 + 10$$

$$I = 52$$

**Tabla 11.** Importancia ambiental entable el Trio II

| Calificación  | Medida Cualitativa | Rango   | Valor Calificado |
|---|--------------------|---------|------------------|
| <b>IMPORTANCIA (I)</b><br>Medida cualitativa del impacto a partir del grado de incidencia de la alteración producida y de sus efectos | Irrelevante        | 8       | <b>52</b>        |
|   | Leve               | 9 – 20  |                  |
|   | Moderado           | 21 – 40 |                  |
|   | Severo             | 41 – 60 |                  |
|   | Crítico            | 61 – 80 |                  |

Fuente: Resolución 2086 de 2010

De acuerdo a los datos obtenidos anteriormente en el entable el Trio II presenta un grado de afectación **SEVERO**, al recurso suelo. Figura 9, se puede evidenciar que en el desarrollo de la actividad se generan residuos como lodos, su inadecuada disposición ocasiona la remoción de arena generando un hueco o (poseta, cambiando o modificando las características del suelo, alteración de las propiedades físico químicas y microbiológicas del suelos. En la figura 10, se puede observar la afectación paisajística, pérdida del suelo que conlleva a la



generación de erosión por la desprotección de los materiales que constituyen el suelo, aumentando la superficie de contacto con agentes detonantes de los procesos morfodinámicos como lluvia y escorrentía.

**Figura 9.** Disposición de lodos del entable el Trio II



**Fuente.** Elaboración propia.

**Figura 10.** Afectación paisajística y erosión.



**Fuente.** Elaboración propia.

## **ENTABLES LA VEGA Y EL ROBLE**

### **Recurso hídrico**

En la tabla 12, se estima el grado de afectación ambiental en el recurso hídrico por las actividades de oro de los entables la Vega y el Roble.

**Tabla 12.** Grado de afectación ambiental los entables la Vega y el Roble.

| Atributos            | Descripción de la Calificación   | Calificación según ponderación  | Ponderación |
|----------------------|--|---|-------------|
| INTENSIDAD (IN)      | Esta labor utiliza el recurso hídrico en el proceso de beneficio de oro y genera vertimientos directos e indirectos a fuentes hídricas.  | Afectación comprendida entre el 33% y 66%   | 4           |
| EXTENSIÓN (EX)       | Según lo evidenciado en las visitas a los sitios de intervención, se resalta que esta entre una hectárea.  | Cuando la afectación incide en un área determinada inferior a una ha                              | 1           |
| PERSISTENCIA (PE)    | Con la implementación de medidas que aseguren una minería limpia, este recurso retomará las condiciones previas en un periodo de cinco años, debido a la magnitud e intensidad de daño generado al medio.  | La afectación no es permanente en el tiempo se establece un plazo temporal entre 6 meses y 5 años | 3           |
| REVERSIBILIDAD (RV)  | Para que la situación ambiental mejore depende de que los propietarios de los entables, implementen un sistema de tratamiento a corto plazo, además de la minimización o sustitución en el uso de sustancias químicas en el proceso (cianuro).           | La alteración puede ser asimilada por entorno de forma medible en un periodo entre 1 y 10 años.   | 3           |
| RECUPERABILIDAD (MC) | Una vez se deje de actuar sobre el recurso y se implementen las medidas establecidas por la Corporación, así como lo provisto en los trámites de legalización e implementación. Para fortalecer y controlar la afectación ambiental del recurso hídrico. | Se logra en un periodo comprendido entre 6 meses y 5 años.  | 3           |

**Fuente:** Resolución 2086 de 2010

**Recurso Agua:** Se estima con la siguiente fórmula y con los valores que se obtienen de la tabla 12; grado de afectación ambiental los entables la Vega y el Roble.

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

$$I = (3*4) + (2*1) + 3 + 3 + 3$$

$$I = 23$$



**Tabla 13.** Importancia ambiental los entables la Vega y el Roble.

| Calificación  | Medida Cualitativa | Rango   | Valor Calificado |
|---|--------------------|---------|------------------|
| <b>IMPORTANCIA (I)</b><br>Medida cualitativa del impacto a partir del grado de incidencia de la alteración producida y de sus efectos | Irrelevante        | 8       | <b>23</b>        |
|   | Leve               | 9 – 20  |                  |
|   | Moderado           | 21 – 40 |                  |
|   | Severo             | 41 – 60 |                  |
|   | Crítico            | 61 – 80 |                  |

**Fuente:** Resolución 2086 de 2010

De acuerdo a los datos obtenidos anteriormente los entables la Vega y el Roble presentan un grado de afectación **MODERADO**, en el recurso agua. La actividad de beneficio de oro, en este caso los altos valores en sedimentos que generan cambios en la calidad fisicoquímica y biológica de los cuerpos de agua, como la pérdida de individuos de flora y fauna acuática. Como se observa en figura 11 y 12, la disposición inadecuada de lodos que pueden contener sustancias químicas como el cianuro que por escorrentía pueden afectar cuerpos de agua subterráneos.

**Figura 11.** Disposición de lodos los entables la Vega.



**Fuente.** Elaboración propia.

**Figura 12.** Disposición de lodos los entables el Roble.



**Fuente.** Elaboración propia.



## Recurso suelo

En la tabla 14, se evalúa el grado de afectación ambiental, en cuanto recurso suelo por el beneficio de oro los entables la Vega y el Roble.

**Tabla 14.** Grado de afectación ambiental los entables la Vega y el Roble.

| Atributos            | Descripción de la Calificación   | Calificación según ponderación  | Ponderación |
|----------------------|--|---|-------------|
| INTENSIDAD (IN)      | La actividad está sometida el recurso, tales como extracción de mineral, vertimientos al suelo, entre otros.   | Afectación comprendida entre el 34 y 66%  | 4           |
| EXTENSIÓN (EX)       | Según se evidenció con las visitas en las zonas de trabajo, influencia un área menor a una hectárea.   | Cuando la afectación incide en un área determinada inferior a una Ha                            | 1           |
| PERSISTENCIA (PE)    | Las actividades generan en el recurso una afectación que persiste en el tiempo a largo plazo.  | La afectación es permanente en el tiempo se establece un plazo de alteración superior a 5 años. | 5           |
| REVERSIBILIDAD (RV)  | El que la situación ambiental mejore depende de que los propietarios de los entables, realicen los trámites de legalización y obtén por la implementación de un sistema de tratamiento en un tiempo a corto plazo, además de la minimización en el uso de sustancias químicas en el proceso. | La alteración puede ser asimilada por entorno de forma medible en un periodo entre 1 y 10 años. | 3           |
| RECUPERABILIDAD (MC) | Una vez se deje de actuar sobre el recurso y se desarrollen las medidas necesarias por la corporación, y se implementen acciones correctivas, legalización para su funcionamiento, esto fortalecerá y controlará la afectación ambiental del recurso suelo.                                  | Se logra en un plazo comprendido entre 6 meses y 5 años.  | 3           |

**Fuente:** Resolución 2086 de 2010

**Recurso Suelo:** Se estima con la siguiente fórmula y con los valores que se obtienen de la tabla 14; grado de afectación ambiental los entables la Vega y el Roble.

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

$$I = (3*4) + (2*1) + 5 + 3 + 3$$

$$I = 25$$

**Tabla 15.** Importancia ambiental los entables la Vega y el Roble.

| Calificación   | Medida Cualitativa | Rango   | Valor Calificado |
|--|--------------------|---------|------------------|
| <b>IMPORTANCIA (I)</b><br><b>Medida cualitativa del impacto a partir del grado de incidencia de la alteración producida y de sus efectos</b> | Irrelevante        | 8       | <b>25</b>        |
|  | Leve               | 9 – 20  |                  |
|  | Moderado           | 21 – 40 |                  |
|  | Severo             | 41 – 60 |                  |
|  | Crítico            | 61 – 80 |                  |

Fuente: Resolución 2086 de 2010

De acuerdo a los datos obtenidos anteriormente los entables la Vega y el Roble presentan un grado de afectación **MODERADO**, al recurso suelo. Debido a que esta intervención antrópica se genera pérdida de la cobertura vegetal induciendo a procesos erosivos y la pérdida de especies endémicas. Como también la alteración de las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas del suelo pérdida de suelo.

### ENTABLE EL CUARZO

#### Recurso Agua.

En la tabla 16, se valora el grado de afectación ambiental en el recurso del agua por la producción del beneficio de oro del entable el cuarzo.

**Tabla 16.** Grado de afectación ambiental del entable el cuarzo.

| Atributos            | Descripción de la Calificación   | Calificación según ponderación  | Ponderación |
|----------------------|--|---|-------------|
| INTENSIDAD (IN)      | Esta actividad utiliza los recursos naturales como el agua, extracción de minerales, generan vertimientos a fuentes hídricas, entre otros.   | Afectación de bien de protección representada en una desviación del estándar fijado por la norma y comprendida en el rango entre 67% y 99%. | 4           |
| EXTENSIÓN (EX)       | Según lo evidenciado en las visitas a los sitios de intervención, se resalta que esta entre una hectárea.  | Cuando la afectación incide en un área determinada entre (1) y cinco (5) hectáreas  | 4           |
| PERSISTENCIA (PE)    | Las actividades generan en el recurso una afectación que persiste en el tiempo, en un periodo mayor a cinco años hasta que el recurso se restaure.   | El efecto supone una alteración de los bienes de protección con una alteración es superior a 5 años.  | 5           |
| REVERSIBILIDAD (RV)  | El que la situación ambiental mejore depende de que los propietarios de los entables, inicien la sustitución del Mercurio y cianuro e implementen prácticas de minería limpia, y sistemas de tratamientos para mitigar el impacto. | La alteración puede ser asimilada por entorno de forma medible en un periodo entre 1 y 10 años.   | 5           |
| RECUPERABILIDAD (MC) | Una vez se deje de actuar sobre el recurso y se implementen las medidas instauradas por la Autoridad ambiental. Como también los acuerdos provistos  | Caso en que la alteración del medio o perdida que supone es imposible de reparar, tanto por la acción natural como por acción               | 10          |

| Atributos | Descripción de la Calificación  | Calificación según ponderación | Ponderación |
|-----------|---|--------------------------------|-------------|
|           | dentro de los trámites de legalización e implementación, que permitirá mejorar y controlar la afectación ambiental del recurso hídrico. | humana                         |             |

**Fuente:** Resolución 2086 de 2010.

**Recurso Agua:** Se estima con la siguiente fórmula y con los valores que se obtienen de la tabla 16, grado de afectación ambiental del entable el cuarzo.

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

$$I = (3 \cdot 4) + (2 \cdot 4) + 5 + 5 + 10$$

$$I = 40$$

**Tabla 17.** Importancia ambiental del entable el cuarzo.

| Calificación  | Medida Cualitativa | Rango   | Valor Calificado |
|---|--------------------|---------|------------------|
| IMPORTANCIA (I)<br><br>Medida cualitativa del impacto a partir del grado de incidencia de la alteración producida y de sus efectos. | Irrelevante        | 8       | <b>40</b>        |
|   | Leve               | 9 – 20  |                  |
|   | 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 al recurso agua son **MODERADOS** del entable el cuarzo. Si el propietario toma las medidas correctivas o mitigan los impactos ambientales causando pueden aumentar o disminuir su valor.

Las actividades de extracción del beneficio de oro, generan cambios en la calidad fisicoquímica y biológica de los cuerpos de agua, debido a la implantación de sustancias químicas como el cianuro y mercurio, que aún se encuentran trazas de mercurio en el agua lo que indica que a pesar que se realizó la sustitución por mercurio quedan trazas de mercurio.

El mercurio contenido en el agua es bioacumulando por los peces a través del proceso de biotransformación realizado por los microorganismos acuáticos, generando pérdida de flora y fauna en el ecosistema acuático.

Por otra parte la inadecuada disposición de lodos, afectan la cobertura vegetal por cuanto disminuyen la capacidad de las plantas para realizar procesos fotosintéticos.

### **Recurso Suelo.**

La tabla 18, se estima el grado de afectación ambiental, en el recurso suelo a causa de las actividades de oro realizadas del entable el cuarzo.

**Tabla 18.** Grado de afectación ambiental del entable el cuarzo.

| Atributos            | Descripción de la Calificación   | Calificación según ponderación  | Ponderación |
|----------------------|--|---|-------------|
| INTENSIDAD (IN)      | Las actividades de beneficio de oro están obligadas a la extracción de material rocoso por método de socavones, causando eliminación de capa vegetal y pérdida de su estado natural, vertimientos al suelo, entre otros.   | Afectación de bien de protección representada en una desviación del estándar fijado por la norma y comprendida en el rango entre 67% y 99%. | 4           |
| EXTENSIÓN (EX)       | Según lo verificado en las visitas al sitio de investigación, la influencia que esta entre una hectárea.   | Cuando la afectación incide en un área determinada entre (1) y cinco (5) hectáreas  | 4           |
| PERSISTENCIA (PE)    | Las actividades generan en el recurso una afectación que persiste en el tiempo, en un periodo mayor a cinco años hasta que el recurso retorne a sus condiciones iniciales. Si las actividades continúan, el propietario del predio contribuiría los impactos al medio si cumple con los permisos y normatividad ambiental. | El efecto supone una alteración de los bienes de protección con una alteración superior a 5 años.   | 5           |
| REVERSIBILIDAD (RV)  | El que la situación ambiental mejore depende de que los propietarios de los entables, inicien la sustitución del Mercurio y cianuro e implementen prácticas de minería limpia, y sistemas de tratamientos para mitigar el impacto.   | La alteración puede ser asimilada por entorno de forma medible en un periodo entre 1 y 10 años.   | 5           |
| RECUPERABILIDAD (MC) | Una vez se deje de actuar sobre el recurso y desarrollen las medidas correctivas, así como la implementación de nuevas alternativas de recuperación de estos suelos desnudos para evitar que el impacto negativo persista en el tiempo y siga afectando los recursos naturales.  | Caso en que la alteración del medio o pérdida que supone es imposible de reparar, tanto por la acción natural como por acción humana        | 10          |

**Fuente:** Resolución 2086 de 2010

**Recurso Suelo:** Se estima con la siguiente fórmula y con los valores que se obtienen de la tabla 18; grado de afectación ambiental del entable el cuarzo.

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

$$I = (3*4) + (2*4) + 5 + 5 + 10$$

$$I = 40$$

**Tabla 19.** Importancia ambiental de los entables la Vega y el Roble

| Calificación  | Medida Cualitativa | Rango   | Valor Calificado |
|---|--------------------|---------|------------------|
| IMPORTANCIA (I)<br><br>Medida cualitativa del impacto a partir del grado de incidencia de la alteración producida y de sus efectos. | Irrelevante        | 8       | <b>40</b>        |
|   | Leve               | 9 – 20  |                  |
|   | 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 al suelo son **MODERADOS** del entable el cuarzo. Las actividades en los procesos de extracción del beneficio del oro, generan que las propiedades del suelo sean susceptibles a ser modificadas por los residuos de los reactivos como el cianuro y mercurio.

La disposición inadecuada de lodos ver en figura 13, estos procesos afectan la cobertura vegetal por cuanto disminuyen la capacidad de las plantas para realizar procesos fotosintéticos. Como la fragmentación de hábitats, pérdida de individuos de las poblaciones de fauna terrestre y modificación de las poblaciones de fauna terrestre.

En la figura 14, se puede evidenciar la afectación paisajística y la erosión, debido a la desprotección de los materiales que constituyen el suelo, aumentando la superficie de contacto con agentes detonantes de los procesos morfodinámicos como lluvia y escorrentía.

**Figura 13.** Disposición de lodos del entable el cuarzo.



**Fuente.** Elaboración propia.

**Figura 14.** Afectación paisajística y erosión.



**Fuente.** Elaboración propia.

## **CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **5. CONCLUSIONES**

- Al realizar la comparación de las concentraciones de los parámetros fisicoquímicos con la resolución 0631 de 2015 en los vertimientos puntuales. Se estableció que los valores más altos con rangos de 0.182 – 0.239 mg/L y 0.225 – 0.431 mg/L, se encontraron en los entables el Roble y el Cuarzo sobrepasando los límites permisibles de 0,002mg/L para mercurio y 1,00 (mg/L) para Cianuro. En cuanto a los sólidos suspendidos totales (SST) su valor máximo permisible es 50 mg/L, este parámetro lo sobrepasaron los (4) cuatro entables y efluentes de la quebrada Mazamorras y Agua Clara (aguas arriba y aguas abajo), con el mayor valor en el Trio II con 135090 mg/L y el menor valor en la Vega con 466 mg/L.
- Para el sustrato se realizó una comparación con la normatividad internacional en el DECRETO SUPREMO N° 002-2013-MINAM, como nivel máximo permisible de mercurio para uso de suelo Comercial/ Industrial/ Extractivos, un valor de 24 (mg/kg) MS, lo cual indica que estos no sobrepasan los valores para mercurio máximos permitidos encontrando en rangos de un valor mínimo 3.551 mg/Kg en el entable El Trio II y máximo de 17.776 mg/Kg entable el Cuarzo.
- De acuerdo a los análisis de laboratorio del entable el Trio II y lo evidenciado en las visitas técnicas realizadas, debido a la actividad desarrollada se otorga un grado de afectación ambiental SEVERO en los recursos agua y suelo; debido a que tienen una gran producción y su actividad es de forma continua necesitando y generando grandes cantidades de lixiviados y lodos, además sus niveles SST registrados son altamente significativos, aunque ya se ha realizado la sustitución de mercurio aún hay presencia de trazas, implementan el peróxido de hidrogeno e hipoclorito de sodio para bajar las cargas de concentración de cianuro.
- Los entables el Roble y la Vega se determina un grado de afectación ambiental MODERADO en los recursos agua y suelo, 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 estos entables no es considerada de gran escala y los recursos naturales que se ven comprometidos puede llegar a recuperarse en un término medio, si los propietarios adelanta las medidas necesarias para el tratamiento de aguas residuales e implementación de tecnología limpias. A pesar que ha realizado la sustitución de mercurio, aún hay presencia de trazas de este químico que sobrepasan la resolución, implementan el peróxido de hidrogeno e hipoclorito de sodio para bajar las cargas de concentración de cianuro.
- A partir de las visitas técnicas realizadas al entable el Cuarzo, se consideró un grado de afectación ambiental MODERADO debido a la actividad de extracción

y beneficio de oro, al considerarse además que los resultados del análisis de laboratorio de las muestras de agua arrojaron valores por encima de los valores máximos permitidos por la norma en SST, Conductividad, cianuro y mercurio; 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 corregir o mitigar estas medidas necesarias para el tratamiento de aguas residuales e implementación de tecnología limpias. A pesar que implementa el peróxido de hidrogeno e hipoclorito de sodio aun presentan altos valores de 152 – 121 para cianuro y trazas de mercurio aunque ya se ha realizado la sustitución de mercurio.

- En esta zona de influencia se identifica afectación paisajística generada por la explotación minera de oro por erosión laminar debido al inadecuado manejo de algunos los lodos.
- Se resalta que la Cooperativa de Fondas ha iniciado la sustitución de mercurio hace aproximadamente un año en gran parte de los entables que pertenecen a esta, se realizó una prueba piloto en el entable el Trio II en sedimentos que arrojaron valores de 153.84 mg/kg con Axxion Gold + Acción Recover y sin este producto de 42.91 mg/kg sobrepasando los limites, este como alternativa para sustituir de forma definitiva el mercurio y cianuro. De esta forma cumplir con lo estipulado por la ley 1658 del 2013 Artículo 3 “Reducción y eliminación del uso de mercurio”.

## 6. RECOMENDACIONES

- La Cooperativa de Fondas Limoncitos debe incorporar una política ambiental que establezca sistemas de tratamientos de tal forma que se tomen acciones para el control y manejo de lodos generados durante el proceso del beneficio de oro, además de realizar estudios de tipo económico en base a la producción donde se analice el costo del beneficio.
- Se deben establecer alternativas para el tratamiento de efluentes por parte de las plantas de beneficio de oro como es la utilización de coagulantes naturales semillas de moringa, Cassia Fistua, Guasuma Ulmifolia y MO, que estén al alcance de los mineros y que garantice una eficiencia para cumplir con la normatividad colombiana, además de un desarrollo sostenible.
- 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.
- Instalar macro medidores de agua que permitan llevar un registro exacto del agua que se extrae de los socavones de la mina, además del consumo de agua en los procesos de molienda y/o cianuración.
- Mediante la recolección de aguas lluvias se puede generar un aprovechamiento, instalando canales en los tejados de los entables, dirigiéndolos a un tanque de almacenamiento y reutilizarlas en los procesos.
- Incentivar y apoyar líneas de investigación en el país con gremios mineros para el aprovechamiento y uso de material estéril o escombro, teniendo en cuenta aspectos de viabilidad técnica y una posible oferta de mercado.
- Implementar medidas correctivas y estratégicas en la disminución de la cantidad de agua que se utiliza para el lavado y que estas puedan ser recirculada. Implementando mangueras resistentes a la presión y empalmes que no permitan la fuga de esta misma.
- La realización de un estudio mineralógico del suelo para identificar las propiedades del suelo de esta zona de estudio, con el fin de realizar un aprovechamiento óptimo de los minerales encontrados.



## 8. Bibliografías

- [1] Ministerio de Minas y Energía. La minería Colombiana. 2009.
- [2] La minería ilegal en Colombia: Un conflicto de narrativas: Illegal mining in Colombia. 2015.
- [3] CRC. Diagnostico geológico minero, ambiental, social y económico Distrito minero de Fondas el Tambo – Cauca. 2003
- [4] Organización Internacional del Trabajo (OIT), 1999. Social and labour issues in small-scale mines; report for the tripartite meeting on social and labour issues in small-scale mines: Geneva, Suiza, International Labour Office, Reporte Técnico.
- [5] Fisher, E., Mwaipopo, R., Mutagwaba, W., Nyange, D., & Yaron, G., 2009. The ladder that sends us to wealth: Artisanal mining and poverty reduction in Tanzania: Resources Policy, 34(1-2), pp. 32-38.
- [6] Nevado JJB, Martín-Doimeadios RCR, Bernardo FJG, Moreno MJ, Herculano AM, et al. Mercury in the Tapajós River basin, Brazilian Amazon: a review. Environment International 2010;36(6):593-608.
- [7] Perú Postcode. Ubicaciones, código postal, etc. [en línea]. Disponible en:
- [8] Maurice-Bourgoin L, Quiroga I, Chincheros J, Courau P. Mercury distribution in waters and fishes of the upper Madeira rivers and mercury exposure in riparian Amazonian populations. Science of the Total Environment. 2000;260(1-3):73-86.
- [9] Vega G., Antonio J. Nivel de contaminación por metales pesados (pb, cu, hg, as y fe) en el río el toro, distrito de Huamachuco de la provincia de Sánchez Carrión durante año 2009 – 2010. 2012
- [10] Olivero J. Efectos de la minería en Colombia sobre la salud humana.
- [11] Farith, A. Díaz, A. Mercurio en la minería del oro: impacto en las fuentes hídricas destinadas para consumo humano. 2014
- [12] Contraloría General de la República. La explotación ilícita de recursos minerales en Colombia: Casos Valle del Cauca (Río Dagua) – Chocó (Río San Juan) Efectos sociales y ambientales
- [13] Plan Estratégico Sectorial para la Eliminación del Uso del Mercurio: La ruta hacia un beneficio sostenible del oro. República de Colombia - derechos reservados Bogotá D.C. Junio de 2016
- [14] El uso del mercurio en la minería del oro artesanal y en pequeña escala. 2006

- [15] Diaz A., Farith A. Mercurio en la minería del oro: impacto en las fuentes hídricas destinadas para consumo humano  
Revista de Salud Pública (2015), 16(6):947.
- [16] Marín A., Gonzalez V., Lapo B., Molina E., Lemus M. Niveles de mercurio en sedimentos de la zona costera de El Oro, Ecuador. 2016
- [17] Plenge F., Grández J., Fernández J. Mercurio y salud en Madre de Dios, Perú. 2009
- [18] Güiza L. La pequeña minería en Colombia: Una actividad no tan pequeña. 2013.
- [20] Decreto Supremo N° 002-2013-MINAM .- Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo: Perú: 3294.pdf
- [21] Traslaviña J., García I., Pedraza J., Laverde D. Caracterización de los minerales auríferos de la zona minera de san pedro frío (Bolívar - Colombia), para la selección de los procesos de extracción. 2005
- [22] Clasificación Industrial Internacional Uniforme de todas las actividades económicas Revisión 3.1 Adaptada para Colombia
- [23] Ministerio de Minas y Energía: Glosario Técnico Minero. 2015.
- [24] Minería artesanal y en pequeña escala. MMSD, Proyecto Minería, minerales y Desarrollo Sustentable.
- [25] César A., Peralta I. La pequeña minería y la minería artesanal manual: Para entender y los decretos legislativos vinculados a la minería ilegal.
- [26] Minería de hecho en Colombia: Defensoría Delegada para los Derechos Colectivos y del Ambiente. 2010
- [27] Sandoval M. Habitus productivo y minería: el caso de Marmato, Caldas. 2012
- [28] Ministerio de Minas y Energía. Métodos de exploración minera: Vetas y Aluvión.
- [29] Ministerio de Minas y Energía - Unidad de Planeación Minero Energético y Universidad de Córdoba. Estudio de la cadena del mercurio en Colombia con énfasis en la actividad minera de oro, tomo 3. 2014
- [30] Hammond D., Rosales J., Ouboter P. Gestión del Impacto de la Explotación Minera a Cielo Abierto sobre el Agua Dulce en América Latina. 2013
- [31] Estudio Fedesarrollo Informe Completo Minería. La Minería en Colombia Informe de Fedesarrollo-2008.pdf. (s. f.).

[32] Pedraza J. Desarrollo de un protocolo y sistema experto para la adaptación de factores de emisión y la estimación de emisiones de material particulado (pst, pm10 y pm2.5) en proyectos mineros. 2013

[34] Guía minero ambiental de explotación: Manejo de Impactos Ambientales

[35] Moncada N. La responsabilidad social en el sector minero en Colombia. 2016

[36] Fernández O. Elaboración de un estado de arte para los impactos ambientales que genera la pequeña minería de oro en aluvi3n y tecnologías apropiadas para su prevenci3n, mitigaci3n y correcci3n

[37] J. Oliviero Verbel, "Efectos de la minería en Colombia sobre la salud humana," *Univ. Cart.*, pp. 5–13, 2010.

[38] Diagn3stico de la informaci3n ambiental y social respecto a la actividad minera y la extracci3n ilícita en el territorio Colombiano.2017

[39] Martiez X. El mercurio como contaminante global. Desarrollo de metodologías para su determinaci3n en suelos contaminados y estrategias para la reducci3n en su liberaci3n al medio ambiente. 2004

[40] Weinberg J. Introducci3n a la Contaminaci3n por Mercurio para las ONG. 2007

[41] Mercurio, cianuro, minería y contaminaci3n. 2012

[42] Mercurio: Cartilla de Informaci3n. Diseño en tapa: Movimiento Mundial para el Cuidado de la Salud libre de Mercurio. Publicaci3n de Salud sin Daño. 2007

[43] Jara C. Elementos base para la Gestió3n Ambiental del mercurio en Chile. 2007

[44] Lillo J. Impactos de la minería en el Impactos de la minería en el medio natural medio natural.

[45] Yasno B. Impacto Medioambiental por la explotaci3n ilegal de Oro en el Departamento del Choc3

[46] Sánchez J., Sánchez P. Oro ilegal, alternativa criminal. 2015

[47] Camargo G., Carlos J. Evaluaci3n del contenido de mercurio en suelos y lechos de quebradas en la zona minera de Miraflores, Quinchía, Colombia. *Acta Agron3mica*(2014),64(2):165

[48] Producci3n más limpia en la minería del oro en Colombia mercurio, cianuro y otras sustancias. Subdirecci3n de Planeaci3n Minera. 2007

[49] Posada M., Arroyave M. Efectos del mercurio sobre algunas plantas acuáticas tropicales. *Revista EIA*, ISSN 1794-1237 Número 6, p. 57-67. 2006.

- [50] Plan único Nacional de mercurio: Aportes y participación de Minambiente, Minminas, Minsalud, Mintrabajo, Mintransporte, Minagricultura, Mincomercio, Minrelaciones, ANM y UPME. 2014
- [51] Contaminación por Mercurio y otros distritos mineros de Buenos Aires – Cauca. 2007
- [52] Ramírez A. Toxicidad del cianuro. Investigación bibliográfica de sus efectos en animales y en el hombre.
- [53] Mark J., Karen Hagelstein., Terry I. Mudder., El manejo del cianuro en la extracción de oro.
- [54] Efectos del cianuro en la salud humana (fuente: CAEM). 2011
- [55] Guía para la acción comunitaria de proyecto de ley para la prohibición de uso de cianuro de sodio en la minería. 2011
- [56] Esquivel D. Realidades sobre el uso del cianuro. 2013
- [57] Proceso de tratamiento para la recuperación de oro en el asentamiento minero artesanal de Misky, Perú, 2009
- [58] Casallas M., Martínez J. Panorama de la minería del oro en Colombia. 2015
- [59] Ana C., Gaviria C. Análisis de alternativas para la degradación del cianuro en efluentes líquidos y sólidos del municipio de Segovia, Antioquia y en la planta de beneficio de la empresa mineros Nacionales, Municipio de Marmato, Caldas.
- [60] Pinzón J., Ruiz M., JAIMES L. Actividades Técnicas del proyecto río Surata para el manejo de mercurio y cianuro. En Seminario taller Pequeña minería aurífera: Hacia un Manejo Ambiental de mercurio y cianuro. (2830 de julio de 2004: Bucaramanga). CD. 14p.
- [61] Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Estudio de Perfil Productivo Rural y Urbano del Municipio de el Tambo, Cauca.
- [62] Plan de desarrollo “El Tambo Somos Todos” 2012-2015 Municipio de El Tambo Cauca.
- [63] Plan de manejo 2005 -2009 Parque Nacional Natural Munchique.
- [64] Corporación Autónoma Regional del Cauca Laboratorio Ambiental. Instructivo para toma de muestras de agua. 2016
- [65] Roldán P., Gabriel. 1992. Fundamentos de Limnología Neotropical. 1º edición. Editorial Universidad de Antioquia. Colección Ciencia y Tecnología U de A. 529 pp. Medellín, Colombia.

- [66] Esquivel, "Flora arborea de la Ciudad de Ibagué", Universidad del Tolima, Colombia, 2009.
- [67] Alvarez, P., Gutiérrez, M., Valencia, J. & Pérez, C. Pedagógico. 2015
- [68] Calidad de aguas. IDEAM. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. 2018
- [69] P.V.Amanda y H.S.Alfonso, "Metodología general para la presentación de Estudios Ambientales", Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Colombia, 2005.
- [70] G. Roldan, "Bioindicación de la calidad de Agua en Colombia, uso del método del BWMP/Col", universidad de antioquia, pp.170-175, 2003
- [71] Gesta agua Grupo de Estudio Técnico Ambiental. Parámetros organolépticos
- [72] Departamento Pastoral de la Diócesis de San Carlos de Bariloche. La minería del oro a cielo abierto utilizando lixiviación con cianuro. 2004
- [73] Sánchez L., Andrade A. Determinación de la concentración letal media (CL50-96) del cianuro, por medio de bioensayos sobre alevinos de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*). 2009
- [74] Contreras R., Pinzón J. Proyecto Río Suratá. Propuesta de manejo integrado del mercurio en el proceso de amalgamación en Vetas y California (Departamento de Santander, Colombia). En: Jornada internacional sobre el impacto ambiental del mercurio utilizado por la minería aurífera artesanal en Iberoamérica (26-28 de septiembre de 2001: Perú), CD. p 23

## ANEXOS

### Anexo 1. Formato de encuesta

- Encuesta entable el Trio II


|   |   |
|---|---|
|  <p>CORPORACIÓN UNIVERSITARIA<br/>AUTÓNOMA<br/>DEL CAUCA</p>   | <b>ENCUESTA A USUARIOS O PROPIETARIOS DE LOS ENTABLES EN EL MUNICIPIO DEL TAMBO - CAUCA</b> |
| <ol style="list-style-type: none"><li>Nombre del usuario o propietario del entable: <u>Horacio Restrepo</u></li><li>Número de identificación: <u>71081453</u></li><li>Nombre del entable: <u>El Trio Agua Clara</u></li><li>Es usted el propietario del predio: Si <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Arrendo <input type="checkbox"/></li><li>Cuál es la extensión del predio: <u>2 hectáreas</u></li><li>Placa de identificación: <u>10114</u></li><li>Posee Título minero: Si <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> En proceso <input type="checkbox"/></li><li>Posee permisos ambientales: Si <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> En proceso <input type="checkbox"/><br/>Cuales? <u>Licencia Ambiental, Concepción de Aguas</u></li><li>Número de trabajadores del entable: <u>5</u></li><li>Los trabajadores cuentan con los elementos de protección<br/>Gafas <input checked="" type="checkbox"/> Guantes <input checked="" type="checkbox"/> Uniforme o ropa de trabajo <input checked="" type="checkbox"/> Cascos <input checked="" type="checkbox"/> Tapa oídos <input checked="" type="checkbox"/><br/>Otros: Cuales? <u>Botas, Tapa bocas</u></li><li>Que tipo de sustancia utiliza en el entable para el proceso de beneficio de oro?<br/>Cianuro <input checked="" type="checkbox"/> Mercurio <input type="checkbox"/> Otros: Cuál? _____</li><li>Cuál es la dosis de la sustancia química que utiliza? <u>3 kg x 1 H<sup>3</sup> de Agua</u></li><li>Mezcla la sustancia química con algún recurso natural? Otros: Cuál? <u>Agua</u></li><li>Lugar de almacenamiento de la sustancia (s) química (s)<br/>Bodega <input checked="" type="checkbox"/> Al aire Libre <input type="checkbox"/> Vivienda <input type="checkbox"/> Otro: Cuál? _____</li><li>En su predio o aledaño a este existe algún río, quebrada o lago?<br/>Si <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Nombre: _____</li><li>Posee algún sistema de recuperación o reutilización de la sustancia química?<br/>Si <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/> Cuál? _____</li><li>Posee algún sistema de recuperación o reutilización de agua?<br/>Si <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Cuál? <u>Lavados de cal.</u></li><li>Lugar de vertimientos de los residuos líquidos provenientes de la actividad minera?<br/>Suelo <input type="checkbox"/> Río <input type="checkbox"/> Quebrada <input type="checkbox"/> Lago <input type="checkbox"/> Pozo <input checked="" type="checkbox"/> Otro: Cuál? _____</li><li>Realiza algún tratamiento para los vertimientos provenientes de la actividad minera?<br/>Si <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Cuál? <u>Neutralizar</u></li></ol> |   |

| ASPECTO  | CUMPLE |    | DESCRIPCIÓN  |
|--|--------|----|--|
|  | SI     | NO |  |
| Señalización zona minera                                 | X      |    | Nombre del Estable.<br>• Peligros Identificados                |
| Adecuado uso de los elementos de protección personal.    | X      |    | Los trabajadores utilizan los EPP adecuadamente en las labores |
| Disponibilidad de agua para el beneficio.                | X      |    | Se utiliza el agua que sale de la mina "Subterránea"           |
| Adecuado manejo y tratamiento de los residuos estériles. | X      |    | Acumulación de material en sitios destinados.                  |
| Sistema de drenaje.                                      | X      |    | Se cuenta con filtros de arena.                                |
| Tratamiento de vertimientos líquidos.                    |        | X  | Se trabaja en circuito cerrado                                 |

Fuente: Elaboración propia.



➤ Encuesta entable el Roble

|  |   |
|--|---|
|  <p> <small>CORPORACIÓN UNIVERSITARIA</small><br/> <b>AUTÓNOMA</b><br/> <small>DEL CAUCA</small> </p>   | <p align="center"><b>ENCUESTA A USUARIOS O PROPIETARIOS DE LOS ENTABLES EN EL MUNICIPIO DEL TAMBO - CAUCA</b></p> |
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Nombre del usuario o propietario del entable: <u>Gerardo Antonio Ibañez</u></li> <li>2. Número de identificación: <u>4665256</u></li> <li>3. Nombre del entable: <u>El Roble</u></li> <li>4. Es usted el propietario del predio: Si <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/> Arrendo <input checked="" type="checkbox"/></li> <li>5. Cuál es la extensión del predio: <u>1/2 hectáreas</u></li> <li>6. Placa de identificación: <u>18114</u></li> <li>7. Posee Título minero: Si <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> En proceso <input type="checkbox"/></li> <li>8. Posee permisos ambientales: Si <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> En proceso <input type="checkbox"/><br/>Cuales? <u>Licencia Ambiental, concesión de aguas</u></li> <li>9. Número de trabajadores del entable: <u>3</u></li> <li>10. Los trabajadores cuentan con los elementos de protección<br/>Gafas <input checked="" type="checkbox"/> Guantes <input checked="" type="checkbox"/> Uniforme o ropa de trabajo <input checked="" type="checkbox"/> Cascos <input checked="" type="checkbox"/> Tapa oídos <input checked="" type="checkbox"/><br/>Otros: Cuales? <u>botas, tapa boca</u></li> <li>11. Que tipo de sustancia utiliza en el entable para el proceso de beneficio de oro?<br/>Cianuro <input checked="" type="checkbox"/> Mercurio <input type="checkbox"/> Otros: Cuál? <u>peróxido, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub></u></li> <li>12. Cuál es la dosis de la sustancia química que utiliza? <u>Cianuro 3 kilos x Tn'<br/>peróxido 1/2 galón x Tn'</u></li> <li>13. Mezcla la sustancia química con algún recurso natural? Otros: Cuál? <u>Agua</u></li> <li>14. Lugar de almacenamiento de la sustancia (s) química (s)<br/>Bodega <input checked="" type="checkbox"/> Al aire Libre <input type="checkbox"/> Vivienda <input type="checkbox"/> Otro: Cuál? _____</li> <li>15. En su predio o aledaño a este existe algún río, quebrada o lago?<br/>Si <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/> Nombre: _____</li> <li>16. Posee algún sistema de recuperación o reutilización de la sustancia química?<br/>Si <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Cuál? <u>Tanques</u></li> <li>17. Posee algún sistema de recuperación o reutilización de agua?<br/>Si <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Cuál? <u>posee o tanques</u></li> <li>18. Lugar de vertimientos de los residuos líquidos provenientes de la actividad minera?<br/>Suelo <input type="checkbox"/> Río <input type="checkbox"/> Quebrada <input type="checkbox"/> Lago <input type="checkbox"/> Pozo <input checked="" type="checkbox"/> Otro: Cuál? _____</li> <li>19. Realiza algún tratamiento para los vertimientos provenientes de la actividad minera?<br/>Si <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Cuál? <u>Neutralización</u></li> </ol> |   |



| ASPECTO  | CUMPLE |    | DESCRIPCIÓN   |
|--|--------|----|---|
|  | SI     | NO |   |
| Señalización zona minera                                 | ✓      |    | Para identificar los diferentes tipos de peligros.<br>Para la identificación del entable.   |
| Adecuado uso de los elementos de protección personal.    | ✗      |    | Se utiliza diariamente los EPP para que los trabajadores minimicen los riesgos de accidentalidad en su labor.                     |
| Disponibilidad de agua para el beneficio.                | ✓      |    | Agua subterránea disponible a través de motobombas.   |
| Adecuado manejo y tratamiento de los residuos estériles. | ✗      |    | Se tiene un sitio visible donde se acumulan los diferentes tipos de material que sale en cada labor para dar al final su destino. |
| Sistema de drenaje.                                      |        | ✗  |   |
| Tratamiento de vertimientos líquidos.                    |        | ✗  |   |

Fuente: Elaboración propia.


➤ Encuesta entable el Cuarzo

|  |  |
|--|--|
|  <p>         CORPORACIÓN UNIVERSITARIA<br/> <b>AUTÓNOMA</b><br/>         DEL CAUCA       </p>   | <p><b>ENCUESTA A USUARIOS O PROPIETARIOS DE LOS ENTABLES EN EL MUNICIPIO DEL TAMBO - CAUCA</b></p> |
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Nombre del usuario o propietario del entable: <u>José Edgón Morán</u></li> <li>2. Número de identificación: <u>4665327</u></li> <li>3. Nombre del entable: <u>El Cuarzo</u></li> <li>4. Es usted el propietario del predio: Si <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Arrendo <input type="checkbox"/></li> <li>5. Cuál es la extensión del predio: <u>1 Hectárea</u></li> <li>6. Placa de identificación: <u>18-114</u></li> <li>7. Posee Título minero: Si <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> En proceso <input type="checkbox"/></li> <li>8. Posee permisos ambientales: Si <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> En proceso <input type="checkbox"/><br/>Cuales? <u>Licencia Ambiental</u></li> <li>9. Número de trabajadores del entable: <u>2</u></li> <li>10. Los trabajadores cuentan con los elementos de protección<br/>Gafas <input checked="" type="checkbox"/> Guantes <input checked="" type="checkbox"/> Uniforme o ropa de trabajo <input checked="" type="checkbox"/> Cascos <input checked="" type="checkbox"/> Tapa oídos <input checked="" type="checkbox"/><br/>Otros: Cuales? <u>Botas y caretas</u></li> <li>11. Que tipo de sustancia utiliza en el entable para el proceso de beneficio de oro?<br/>Cianuro <input checked="" type="checkbox"/> Mercurio <input type="checkbox"/> Otros: Cuál? <u>peróxido de cal</u></li> <li>12. Cuál es la dosis de la sustancia química que utiliza? <u>3 Kg <sup>CV</sup> proceso</u></li> <li>13. Mezcla la sustancia química con algún recurso natural? Otros: Cuál? <u>Agua</u></li> <li>14. Lugar de almacenamiento de la sustancia (s) química (s)<br/>Bodega <input checked="" type="checkbox"/> Al aire Libre <input type="checkbox"/> Vivienda <input type="checkbox"/> Otro: Cuál? _____</li> <li>15. En su predio o aledaño a este existe algún río, quebrada o lago?<br/>Si <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Nombre: _____</li> <li>16. Posee algún sistema de recuperación o reutilización de la sustancia química?<br/>Si <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/> Cuál? _____</li> <li>17. Posee algún sistema de recuperación o reutilización de agua?<br/>Si <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Cuál? _____</li> <li>18. Lugar de vertimientos de los residuos líquidos provenientes de la actividad minera?<br/>Suelo <input type="checkbox"/> Río <input type="checkbox"/> Quebrada <input type="checkbox"/> Lago <input type="checkbox"/> Pozo <input type="checkbox"/> Otro: Cuál? <u>Relavera</u></li> <li>19. Realiza algún tratamiento para los vertimientos provenientes de la actividad minera?<br/>Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Cuál? <u>Neutralizar con peróxido</u></li> </ol> |  |

| ASPECTO  | CUMPLE |    | DESCRIPCIÓN   |
|--|--------|----|---|
|  | SI     | NO |   |
| Señalización zona minera                                 | X      |    | Asísado   |
| Adecuado uso de los elementos de protección personal.    | X      |    | Los elementos necesarios de protección personal                             |
| Disponibilidad de agua para el beneficio.                | X      |    | Señ aguas subterráneas de una mina  |
| Adecuado manejo y tratamiento de los residuos estériles. | X      |    | un lugar Adecuado para que las lluvias no tu arroyos o los quebradas o rios |
| Sistema de drenaje.                                      |        | X  | Relobera  |
| Tratamiento de vertimientos líquidos.                    |        | X  | Estamos en proceso  |

Fuente: Elaboración propia.

➤ Encuesta entable la Vega

|   |  |
|---|--|
|  <p> <small>CORPORACIÓN UNIVERSITARIA</small><br/> <b>AUTÓNOMA</b><br/> <small>DEL CAUCA</small> </p>  | <p><b>ENCUESTA A USUARIOS O PROPIETARIOS DE LOS ENTABLES EN EL MUNICIPIO DEL TAMBO - CAUCA</b></p> |
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Nombre del usuario o propietario del entable: <u>Yerain Alvaro Gomez</u></li> <li>2. Número de identificación: <u>96.302916</u></li> <li>3. Nombre del entable: <u>La Vega</u></li> <li>4. Es usted el propietario del predio: Si <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Arrendo <input type="checkbox"/></li> <li>5. Cuál es la extensión del predio: <u>1 hectarea</u></li> <li>6. Placa de identificación: <u>18114</u></li> <li>7. Posee Título minero: Si <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> En proceso <input type="checkbox"/></li> <li>8. Posee permisos ambientales: Si <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> En proceso <input type="checkbox"/><br/>Cuales? <u>Licencia Ambiental</u></li> <li>9. Número de trabajadores del entable: <u>2</u></li> <li>10. Los trabajadores cuentan con los elementos de protección<br/>Gafas <input checked="" type="checkbox"/> Guantes <input checked="" type="checkbox"/> Uniforme o ropa de trabajo <input checked="" type="checkbox"/> Cascos <input checked="" type="checkbox"/> Tapa oídos <input checked="" type="checkbox"/><br/>Otros: Cuales? <u>Tapabocas, botas</u></li> <li>11. Que tipo de sustancia utiliza en el entable para el proceso de beneficio de oro?<br/>Cianuro <input checked="" type="checkbox"/> Mercurio <input type="checkbox"/> Otros: Cuál? _____</li> <li>12. Cuál es la dosis de la sustancia química que utiliza? <u>3Kg</u></li> <li>13. Mezcla la sustancia química con algún recurso natural? Otros: Cuál? <u>Agua</u></li> <li>14. Lugar de almacenamiento de la sustancia (s) química (s)<br/>Bodega <input checked="" type="checkbox"/> Al aire Libre <input type="checkbox"/> Vivienda <input type="checkbox"/> Otro: Cuál? _____</li> <li>15. En su predio o aledaño a este existe algún río, quebrada o lago?<br/>Si <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/> Nombre: _____</li> <li>16. Posee algún sistema de recuperación o reutilización de la sustancia química?<br/>Si <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/> Cuál? _____</li> <li>17. Posee algún sistema de recuperación o reutilización de agua?<br/>Si <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/> Cuál? _____</li> <li>18. Lugar de vertimientos de los residuos líquidos provenientes de la actividad minera?<br/>Suelo <input type="checkbox"/> Río <input type="checkbox"/> Quebrada <input type="checkbox"/> Lago <input type="checkbox"/> Pozo <input checked="" type="checkbox"/> Otro: Cuál? _____</li> <li>19. Realiza algún tratamiento para los vertimientos provenientes de la actividad minera?<br/>Si <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Cuál? <u>Al vertimiento</u></li> </ol> |  |



| ASPECTO  | CUMPLE |    | DESCRIPCIÓN   |
|--|--------|----|---|
|  | SI     | NO |   |
| Señalización zona minera                                 | X      |    | Se maneja en todo el estable para identificar peligros y trabajos.  |
| Adecuado uso de los elementos de protección personal.    | X      |    | Se usa el adecuado manejo de los elementos de protección para así minimizar accidentes.                           |
| Disponibilidad de agua para el beneficio.                | X      |    | Se tiene disponibilidad del agua subterránea de la bocamina.  |
| Adecuado manejo y tratamiento de los residuos estériles. | X      |    | Se hace en la mayor brevedad posible un buen manejo a los residuos depositados en un sitio que se tiene adecuado. |
| Sistema de drenaje.                                      |        | X  |   |
| Tratamiento de vertimientos líquidos.                    |        | X  |   |

Fuente: Elaboración propia.

## **Anexo 2. Caracterización de las líneas bases de las cuatro (4) plantas de beneficios de oro.**

### **Caracterización línea base planta de beneficio de minerales auríferos el Trio 2**

Esta planta opera con los siguientes equipos:

- Tolva de almacenamiento inclinada de 5,46 x 3,74 x 2,27 capacidad de 20 toneladas. La caracterización mineralógica es una etapa fundamental a la hora de diseñar e implementar procesos metalúrgicos de extracción y en general en el planeamiento minero.
- Tolva de mineral grueso
- Trituradora de quijadas, de aproximadamente toneladas día, alimentada con mineral de gran heterogeneidad variando en tamaños de 1mm, pasando por ¼ “, ½” hasta 8”, motor de 9 Hp.
- Banda transportadora de aproximadamente 0,40x12 (m) longitud. Con una pendiente de 29° y con un motor de 2 Hp.
- Trituradora de martillos de aproximadamente alineada con tamaños de partículas heterogéneos que van desde menos mm, ½” hasta 1 ½” (pulgada), motor de 6 Hp.
- Tolva de almacenamiento de 1,50x1,50 (m) con cono de 1,20 m, capacidad de 12 toneladas mineral fino.
- Banda transportadora alimentadora de molino de 3,5 x 0,40 (m) con un motor de 1.5 Hp.
- Molino de bolas con dimensiones de 1.60 m de largo x 1.0 de diámetro, alimentado con mineral de tamaño heterogéneo, siendo el mayor ¼”. Carga de bolas 30% con trommel malla 10 de descarga. Velocidad de 35 r.p.m. motor de molino, trifásico 440 voltios de 20 Hp con una capacidad 0.8 Ton/hora.
- Una (1) mesa vibratoria Diagonal de 3.93 m x 1.88 m, los concentrados van a amalgamación en barriles, medios y colas van a un depósito para alimentar el remoledor, motor 7.5 Hp.
- Remoledor con dimensiones: largo: 1.13m y diámetro: 1.0m, motor de 15 Hp.
- Un tanque de descarga del remoledor de 5 m<sup>3</sup> de capacidad de almacenamiento.

- Dos barriles (2) amalgamadores con dimensiones: largo: 1.0m y diámetro:0.6m, alimentados con los concentrados de mesa aproximadamente 100 Kg, con un motor de 6 Hp
- Tanque de descarga y lavado de mineral de amalgamación fabricados en cemento, de una capacidad de almacenamiento de 2 m<sup>3</sup> cada uno.
- Dos tanque metálicos de cianuración con dimensiones: altura: 6m, diámetro: 1.85m, en los cuales procesan 2.5 toneladas de mineral 8 veces al mes, motor de 5 Hp.
- Un tanque metálico de precipitación de dimensiones: Altura: 6m y diámetro de 1m.
- Un tanque en cemento de neutralización de solución pobre, aproximadamente de 20 m<sup>3</sup>.

### **Caracterización línea base planta de beneficio de minerales auríferos la Vega.**

Estas plantas operan en igual mecanismo con los siguientes equipos:

- Tolva de almacenamiento inclinada de 3,00 x 2,50 x 2,10 capacidad de 5 toneladas
- Trituradora de quijadas, de aproximadamente media toneladas día, alimentada con mineral de gran heterogeneidad variando en tamaños de 1mm, pasando por ¼ “, ½” hasta 8”.
- Molino de bolas con dimensiones de 1.60 m de largo x 1.0 de diámetro, alimentado con mineral de tamaño heterogéneo, siendo el mayor ¼”.
- Carga de bolas 30% con trommel malla 10 de descarga. motor de molino con una capacidad 0.5 Ton/hora.
- Un barril (1) amalgamadores con dimensiones: largo: 1.0 m y diámetro 0.5 m, alimentados con los concentrados de mesa aproximadamente 100 Kg.
- Tanque de descarga y lavado de mineral de amalgamación fabricados en pvc, de una capacidad de almacenamiento de 5 m<sup>3</sup> cada uno.
- Cuatro (4) tanque en PVC de cianuración con capacidad de 5 m<sup>3</sup>, en los cuales procesan 2.0 toneladas de mineral 10 veces al mes.
- Un tanque metálico de precipitación de dimensiones: altura: 6m y diámetro de 1m.

## **Caracterización línea base planta de beneficio de minerales auríferos el Cuarzo y el Roble:**

Estas plantas operan en igual mecanismo con los siguientes equipos:

- Trituradora de quijadas, de aproximadamente de una (1) tonelada día, alimentada con mineral de gran heterogeneidad variando en tamaños de 1mm, pasando por ¼ “, ½” hasta 8”.
- Molino de bolas con dimensiones de 1.13 m de largo x 1.0 de diámetro, alimentado con mineral de tamaño heterogéneo, siendo el mayor ¼”.
- Remolador con dimensiones: largos: 1.13 m y diámetro: 1.0 m.
- Un tanque en cota 0 para descarga del remolador con capacidad de 3 m3 de almacenamiento.
- Dos tanque metálicos de cianuración con dimensiones: altura: 6m, diámetro: 1.85 m, en los cuales procesan 2.0 toneladas de mineral 6 veces al mes.
- Dos (2) tanque en poliéster de precipitación con capacidades de 5 m3



### Anexo 3. Reporte de resultados laboratorio CRC, 1er Monitoreo

Reporte N° 086

|  |  |                       |
|--|--|-----------------------|
|  | <p>CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CAUCA<br/>LABORATORIO AMBIENTAL</p> <p>REPORTE DE RESULTADOS – MUESTRA DE AGUA-</p> | Código: FT-PDPA-LA027 |
|  |  | Fecha: 13/02/2013     |
|  |  | Versión: 7            |
|  |  | Página 1 de 7         |

Fecha: Diciembre 6 de 2017

|  |   |
|--|---|
| Cliente: Subdirección Defensa del Patrimonio Ambiental     | Solicitud N°: 430                             |
| Dirección: Carrera 7 N° 1N – 28, Popayán Teléfono: 8333232 |   |
| Municipio de muestreo:                                     | Fecha de Recepción: Noviembre 22 de 2017      |
|  | Fecha de Analisis: Noviembre 22 a Diciembre 5 |

Muestreo:

|                           |                    |
|---------------------------|--------------------|
| Plan de Muestreo N°       | N/A                |
| Fecha de muestreo         | N/A                |
| Lugar de muestreo         | Fondas, Limoncitos |
| Procedimiento de muestreo | N/A                |
| Condiciones ambientales   | N/A                |

Identificación de la muestra de agua.

| Codigo de Muestra | Sitio de Muestreo            |
|-------------------|------------------------------|
| 1500              | Entable 1 El Trio II         |
| 1501              | Entable 1 y 2, aguas abajo   |
| 1502              | Entable 1 y 2, aguas arriba  |
| 1503              | Entable 3, descarga La Roble |
| 1504              | Entable 3, aguas abajo       |
| 1505              | Entable 4, aguas arriba      |
| 1506              | Entable 4, descarga La Vega  |

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CAUCA - NIT: 891.501.865 - 4  
Carrera 7 # 1n - 28 Edificio Edgar Negret Dueñas  
Pbx: 833 32 32 Fax: 092 - 8203281  
Línea verde: 018000932855  
Popayán - Cauca - Colombia  
www.crc.gov.co



Laboratorio: Vivero CRC, Vereda González, Popayán Telefax: 8333232 Ext. 231

|  |  |                       |
|--|--|-----------------------|
|  | <p style="text-align: center;">CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CAUCA<br/>LABORATORIO AMBIENTAL</p> <p style="text-align: center;">REPORTE DE RESULTADOS – MUESTRA DE AGUA-</p> | Código: FT-PDPA-LA027 |
|  |  | Fecha: 13/02/2013     |
|  |  | Versión: 7            |
|  |  | Página 2 de 7         |

Variable/ Método/Unidad:

| Variable      | Resultados |        |        |       |       |       |      |
|---------------|------------|--------|--------|-------|-------|-------|------|
|               | 1500       | 1501   | 1502   | 1503  | 1504  | 1505  | 1506 |
| pH            | 7.95       | 7.41   | 7.25   | 6.93  | 6.95  | 6.76  | 5.75 |
| Conductividad | 357        | 75.7   | 66.1   | 117   | 45.5  | 114   | 215  |
| DQO           | 133        | 136    | 72.4   | < 15  | 26.0  | < 15  | 356  |
| SST           | 15537      | 7283   | 3420   | < 5   | 569   | 11.1  | 4605 |
| Cianuro       | 1.85       | 0.009  | 0.003  | 0.003 | 0.031 | 0.003 | 5.35 |
| Mercurio      | < 0.35     | < 0.35 | < 0.35 | 0.37  | 0.73  | 0.81  | 1.46 |

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

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CAUCA - NIT: 891.501.885 - 4  
Carrera 7 # 1a - 28 Edificio Edgar Negret Dueñas  
Pbx: 833 32 32 Fax: 082 - 8263251  
Línea verde: 018000932858  
Popayán - Cauca - Colombia  
www.crc.gov.co



Laboratorio: Vivero CRC, Vereda González, Popayán Telefax: 8333232 Ext. 231

Reporte N° 528

|  |  |   |
|--|--|---|
|  | CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CAUCA<br>LABORATORIO AMBIENTAL           | Código: PT-PDPA-LAB27<br>Fecha: 13/02/2013<br>Versión: 3<br>Página 1 de 1 |
|  | <b>REPORTE DE RESULTADOS – MUESTRA DE<br/>                 SEDIMENTOS-</b> |   |

Fecha: Diciembre 6 de 2017.

|   |   |
|---|---|
| Cliente: Subdirección Defensa del Patrimonio Ambiental<br>Dirección: Carrera 7 N° 1N-28, Popayán      Teléfono: 8333232 | Solicitud N°: 430   |
| Municipio de muestreo: Tambo  | Fecha de Recepción: Noviembre 22 de 2017.<br>Fecha de Análisis: Noviembre 22 a diciembre 5. |

Muestreo:

|                           |                   |
|---------------------------|-------------------|
| Plan de Muestreo N°       | N/A               |
| Fecha de Muestreo         | N/A               |
| Lugar de muestreo         | Fondas, Limoncito |
| Procedimiento de muestreo | N/A               |
| Condiciones ambientales   | N/A               |

Identificación de la muestra

| Código Muestra | Sitio de Muestreo   |
|----------------|---------------------|
| 1505           | Quebrada Mazamoras  |
| 1506           | Quebrada Agua Clara |
| 1507           | Entable 1           |
| 1508           | Entable 4           |

Resultados laboratorio:

| variable | Método               | Unidad | Resultados |      |      |       |
|----------|----------------------|--------|------------|------|------|-------|
|          |                      |        | 1505       | 1506 | 1507 | 1508  |
| Mercurio | SM 3112-B: 7471B EPA | µg/Kg  | 2987       | 1961 | 3551 | 76145 |

Observaciones:

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

**DIEGO ZULUAGA VERA**  
 Responsable Laboratorio Ambiental

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CAUCA - NIT 891.891.895 - 4  
 Carrera 7 # 1n - 28 Edificio Edgar Negret Duñas  
 Pbx: 833 32 32 Fax: 892 - 8232211  
 Línea verde: 018000832855  
 Popayán - Cauca - Colombia  
 www.crc.gov.co



Laboratorio: Vivero CRC, Vereda González, Popayán Telefax: 8333232 Ext. 281

#### Anexo 4. Reporte de resultados laboratorio CRC, 2do Monitoreo.

Reporte N° 059

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

Fecha: Marzo 22 de 2018.

|  |                                      |
|--|--------------------------------------|
| Cliente: Subdirección Defensa del Patrimonio Ambiental | Solicitud N°: 046                    |
| Dirección: Carrera 7 N° 1N-28, Popayán                 | Teléfono: 8333232                    |
| Municipio de muestreo: Tambo                           | Fecha de Recepción: Marzo 5 de 2018. |
|  | Fecha de Análisis: Marzo 5 marzo 16. |

Muestreo:

|                           |                    |
|---------------------------|--------------------|
| Plan de Muestreo N°       | N/A                |
| Fecha de Muestreo         | N/A                |
| Lugar de muestreo         | Fondas, Limoncitos |
| Procedimiento de muestreo | N/A                |
| Condiciones ambientales   | N/A                |


Identificación de la muestra

| Código Muestra | Sitio de Muestreo                                |
|----------------|--|
| 0172           | Entable 1 descarga 8:30                          |
| 0173           | Entable 2 descarga 10:23                         |
| 0174           | Entable 3 descarga 10:12                         |
| 0175           | Entable 4 descarga 8:54                          |
| 0176           | Quebrada Agua Clara, aguas arriba                |
| 0177           | Quebrada Agua Clara, descarga entables 1,2 abajo |
| 0178           | Quebrada Mazamoras, aguas abajo                  |

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CAUCA - NIT: 891.501.885 - 4  
 Carrera 7 # 1n - 28 Edificio Edgar Negret Dueñas  
 Pbx: 833 32 32 Fax: 062 - 8203251  
 Línea verde: 018000932855  
 Popayán - Cauca - Colombia  
 www.crc.gov.co



Laboratorio: Vivero CRC, Vereda González, Popayán Telefax: 8333232 Ext. 231

|   |  |   |
|---|--|---|
|  | <p>CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CAUCA<br/>LABORATORIO AMBIENTAL</p> <p>REPORTE DE RESULTADOS – MUESTRA DE AGUA-</p> | <p>Código: FT-PDPA-LA027<br/>Fecha: 13/02/2013<br/>Versión: 3<br/>Página 2 de 3</p> |
|---|--|---|

## Variable/Método/Unidad:

| Variable           | Método                    | Unidad                  |
|--------------------|---------------------------|-------------------------|
| pH                 | SM4500-H B                | Unidad                  |
| Conductividad      | SM 2510 B                 | μS/cm.                  |
| DBO <sub>5</sub>   | SM5210B/SM4500-OG         | mg/L                    |
| DQO                | Kit comercial             | mg/L                    |
| SST                | SM2540D                   | mg/L                    |
| Color              | SM 2120 C                 | UPC                     |
| Turbiedad          | SM 2130 B                 | UNT                     |
| Dureza             | SM 2340C                  | mgCaCO <sub>3</sub> /L  |
| Nitritos           | SM 4500-NO <sub>2</sub> B | mg NO <sub>2</sub> -N/L |
| Nitratos           | SM 4500-NO <sub>3</sub> B | mg NO <sub>3</sub> -N/L |
| Cianuro            | SM4500-CN E, modificado   | mg/L                    |
| Mercurio           | SM 3112 B                 | μg/L                    |
| Coliformes Totales | SM 9223 B                 | Ufc/100ml               |
| Coliformes Fecales | SM 9223 B                 | Ufc/100ml               |

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CAUCA - NIT: 891.501.885 - 4  
Carrera 7 # 1a - 28 Edificio Edgar Negret Dueñas  
Pbx: 833 32 32 Fax: 062 - 8203251  
Línea verde: 018000932855  
Popayán - Cauca - Colombia  
www.crc.gov.co



Laboratorio: Vivero CRC, Vereda González, Popayán Telefax: 8333232 Ext. 231



CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CAUCA  
LABORATORIO AMBIENTAL

REPORTE DE RESULTADOS – MUESTRA DE AGUA-

Código: FT-PDPA-LA027

Fecha: 13/02/2013

Versión: 3

Página 3 de 3

## Resultados laboratorio:

| Variable           | Resultados |       |       |       |        |        |        |
|--------------------|------------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
|                    | 0172       | 0173  | 0174  | 0175  | 0176   | 0177   | 0178   |
| pH                 | 7.76       | 7.43  | 11.4  | 11.3  | 8.02   | 7.63   | 7.56   |
| Conductividad      | 200        | 81.0  | 1290  | 474   | 34.9   | 60.7   | 45.3   |
| DBO <sub>5</sub>   | 2.8        | < 0.9 | 3.2   | 4.3   | < 0.9  | < 0.9  | < 0.9  |
| DQO                | < 15       |       | 201   | 20.7  | < 15   | < 15   | < 15   |
| SST                | 121050     | 466   | 70150 | 39070 | 10610  | 5115   | 3010   |
| Color              | *          | *     | *     | *     | 3600   | 1660   | 3660   |
| Turbiedad          | *          | *     | *     | *     | 1010   | 1343   | 503    |
| Dureza             | *          | *     | *     | *     | 12.5   | 29.8   | 22.1   |
| Nitritos           | *          | *     | *     | *     | 0.10   | 0.14   | 0.07   |
| Nitratos           | *          | *     | *     | *     | 2.5    | 2.0    | 1.5    |
| Cianuro            | 0.04       | 0.03  | 152   | 85.0  | 0.10   | 0.03   | 0.10   |
| Mercurio           | < 0.35     | 1.83  | 225   | 182   | < 0.35 | < 0.35 | < 0.35 |
| Coliformes Totales | *          | *     | *     | *     | 29600  | 32800  | 25600  |
| Coliformes Fecales | *          | *     | *     | *     | 200    | 100    | 800    |

\* Análisis no realizado

## 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

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CAUCA - NIT: 891.501.885 - 4  
Carrera 7 # 1n - 20 Edificio Edgar Negret Dueñas  
Pbx: 833 32 32 Fax: 062 - 8203251  
Línea verde: 018000932855  
Popayán - Cauca - Colombia  
www.crc.gov.co



Laboratorio: Vivero CRC, Vereda González, Popayán Telefax: 8333232 Ext. 231



|  |  |                       |
|--|--|-----------------------|
|  | <b>CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CAUCA</b><br><b>LABORATORIO AMBIENTAL</b><br><b>REPORTE DE RESULTADOS – MUESTRA DE</b><br><b>SEDIMENTOS -</b> | Código: FT-POPA-LA007 |
|  |  | Fecha: 13/02/2013     |
|  |  | Versión: 3            |
|  |  | Página 1 de 1         |

Fecha: Marzo 22 de 2018.

|  |  |
|--|--|
| Cliente: Subdirección Defensa del Patrimonio Ambiental | Solicitud N°: 048                      |
| Dirección: Carrera 7 N° 1N-28, Popayán                 | Teléfono: 8333232                      |
| Municipio de muestreo: Tambo                           | Fecha de Recepción: Marzo 5 de 2108.   |
|  | Fecha de Análisis: Marzo 5 a marzo 18. |

## Muestreo:

|                           |                    |
|---------------------------|--------------------|
| Plan de Muestreo N°       | N/A                |
| Fecha de Muestreo         | N/A                |
| Lugar de Muestreo         | Fondas, Limoncitos |
| Procedimiento de muestreo | N/A                |
| Condiciones ambientales   | N/A                |

## Identificación de la Muestra

| Código Muestra | Sitio de Muestreo                  |
|----------------|------------------------------------|
| 0178           | Quebrada Agua Clara<br>Aguas Abajo |
| 0179           | Entable 1                          |
| 0180           | Entable 2                          |
| 0181           | Entable 3                          |
| 0182           | Entable 4                          |

## Resultados laboratorio:

| Variable | Método    | Unidad | Resultados |       |       |       |       |
|----------|-----------|--------|------------|-------|-------|-------|-------|
|          |           |        | 0178       | 0179  | 0180  | 0181  | 0182  |
| Mercurio | 7471B EPA | µg/Kg  | 1859       | 11741 | 17334 | 17776 | 12185 |

## 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

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CAUCA - NIT 891.891.895 - 4  
 Carrera 7 # 1n - 28 Edificio Edgar Negret Duarte  
 Pbx: 833 32 32 Fax: 062 - 8203291  
 Línea verde: 018000032855  
 Popayán - Cauca - Colombia  
 www.crc.gov.co



Laboratorio: Vivero CRC, Vereda González, Popayán Telefax: 8333232 Ext. 231

## Anexo 5. Reporte de resultados laboratorio CRC, 3er Monitoreo.

Reporte N° 086

|  |   |                       |
|--|---|-----------------------|
|  | <p style="text-align: center;">CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CAUCA<br/>LABORATORIO AMBIENTAL</p> <p style="text-align: center;"><b>REPORTE DE RESULTADOS – MUESTRA DE AGUA-</b></p> | Código: FT-PDPA-LA027 |
|  |   | Fecha: 13/02/2013     |
|  |   | Versión: 7            |
|  |   | Página 5 de 7         |

Fecha: Abril 18 de 2018.

|  |   |                   |
|--|---|-------------------|
| Cliente: Subdirección Defensa del Patrimonio Ambiental<br>Dirección: Carrera 7 N° 1N-28, Popayán | Teléfono: 8333232                       | Solicitud N°: 070 |
| Municipio de muestreo: Tambo   | Fecha de Recepción: Marzo 23 de 2018.   |                   |
|  | Fecha de Análisis: Marzo 23 a abril 17. |                   |

Muestreo:

|                           |                    |
|---------------------------|--------------------|
| Plan de Muestreo N°       | N/A                |
| Fecha de Muestreo         | N/A                |
| Lugar de muestreo         | Fondas, Limoncitos |
| Procedimiento de muestreo | N/A                |
| Condiciones ambientales   | N/A                |

Identificación de la muestra


| Código Muestra | Sitio de Muestreo                 |
|----------------|-----------------------------------|
| 0252           | Quebrada Mazamoras, Fondas        |
| 0253           | Quebrada Agua Clara, aguas arriba |
| 0254           | Quebrada Agua Clara, aguas abajo  |
| 0255           | Entable 1 descarga El Cuarzo      |
| 0256           | Entable 2 descarga La Vega        |
| 0258           | Entable 3 descarga El Roble       |
| 0258           | Entable 4 descarga El Trio II     |

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CAUCA - NIT: 891.501.885 - 4  
 Carrera 7 # 1n - 28 Edificio Edgar Negret Dueñas  
 Pbx: 833 32 32 Fax: 092 - 8203251  
 Línea verde: 018000932855  
 Popayán - Cauca - Colombia  
[www.crc.gov.co](http://www.crc.gov.co)



Laboratorio: Vivero CRC, Vereda González, Popayán Telefax: 8333232 Ext. 231



|   |  |                       |
|---|--|-----------------------|
|  | <p>CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CAUCA<br/>LABORATORIO AMBIENTAL</p> <p>REPORTE DE RESULTADOS – MUESTRA DE AGUA-</p> | Código: FT-FDPA-LA027 |
|   |  | Fecha: 13/02/2013     |
|   |  | Versión: 7            |
|   |  | Página 6 de 7         |

## Variable/Método/Unidad:

| Variable           | Método                  | Unidad                 |
|--------------------|-------------------------|------------------------|
| pH                 | SM4500-H B              | Unidad                 |
| Conductividad      | SM 2510 B               | ΩS/cm.                 |
| DBO <sub>5</sub>   | SM5210B/SM4500-OG       | mg/L                   |
| DQO                | SM5220D                 | mg/L                   |
| SST                | SM2540D                 | mg/L                   |
| Color              | SM 2120 C               | UPC                    |
| Turbiedad          | SM 2130 B               | UNT                    |
| Dureza             | SM 2340C                | mgCaCO <sub>3</sub> /L |
| Cianuro            | SM4500-CN E, modificado | mg/L                   |
| Mercurio           | SM 3112 B               | µg/L                   |
| Coliformes Totales | SM 9223 B               | Ufc/100ml              |
| Coliformes Fecales | SM 9223 B               | Ufc/100ml              |

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CAUCA - NIT: 891.501.885 - 4  
 Carrera 7 # 1n - 28 Edificio Edgar Negret Duñas  
 Pbx: 833 32 32 Fax: 8333281  
 Línea verde: 01800932855  
 Popayán - Cauca - Colombia  
[www.crc.gov.co](http://www.crc.gov.co)



Laboratorio: Vivero CRC, Vereda González, Popayán Telefax: 8333232 Ext. 231

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

## Resultados laboratorio:

| Variable         | Resultados |       |       |        |       |       |        |
|------------------|------------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|
|                  | 0252       | 0253  | 0254  | 0255   | 0256  | 0257  | 0258   |
| pH               | 6.71       | 6.73  | 6.77  | 12.2   | 7.60  | 9.68  | 8.38   |
| Conductividad    | 61.2       | 65.2  | 90.5  | 7533   | 248   | 109   | 292    |
| DBO <sub>5</sub> | < 0.9      | < 0.9 | 1.7   | 21.7   | 60.8  | 2.9   | 3.4    |
| DQO              | < 15       | < 15  | < 15  | 851    | 79.2  | < 15  | < 15   |
| SST              | 4650       | 2040  | 3530  | 100520 | 7940  | 3530  | 135090 |
| Color            | 430        | 499   | 1060  | 480    | 4980  | 11500 | 880    |
| Turbiedad        | 180        | 372   | 538   | 283    | 4410  | 1820  | 1780   |
| Dureza           | 23.0       | 21.8  | 28.8  | 172    | 107   | 38.9  | 84.8   |
| Cianuro          | 0.014      | 0.009 | 0.202 | 1210   | 0.127 | 0.234 | 0.094  |
| Mercurio         | 3.44       | 1.79  | 2.25  | 431    | 14.6  | 239   | 4.41   |

\* Análisis no realizado

## 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

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CAUCA - NIT: 891.501.885-4  
 Carrera 7 # 1a - 28 Edificio Edgar Negret Dueñas  
 Pbx: 833 32 32 Fax: 062 - 8203251  
 Línea verde: 018000932855  
 Popayán - Cauca - Colombia  
[www.crc.gov.co](http://www.crc.gov.co)



Laboratorio: Vivero CRC, Vereda González, Popayán Telefax: 8333232 Ext. 231

Reporte N° 087

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

Fecha: Abril 18 de 2018.

|  |   |                   |
|--|---|-------------------|
| Cliente: Subdirección Defensa del Patrimonio Ambiental<br>Dirección: Carrera 7 N° 1N-28, Popayán | Teléfono: 8333232<br>Fecha de Recepción: Marzo 23 de 2108.<br>Fecha de Análisis: Marzo 23 a abril 17. | Solicitud N°: 070 |
| Municipio de muestreo: Tambo   |   |                   |

Muestreo:

|                           |                    |
|---------------------------|--------------------|
| Plan de Muestreo N°       | N/A                |
| Fecha de Muestreo         | N/A                |
| Lugar de Muestreo         | Fondas, Limoncitos |
| Procedimiento de muestreo | N/A                |
| Condiciones ambientales   | N/A                |

Identificación de la Muestra

| Código Muestra | Sitio de Muestreo                |
|----------------|----------------------------------|
| 0258           | Quebrada Mazamorras              |
| 0259           | Quebrada Agua Clara Aguas Arriba |
| 0260           | Entable 1                        |
| 0261           | Entable 2                        |
| 0262           | Entable 3                        |
| 0263           | Entable 4                        |

Resultados laboratorio:

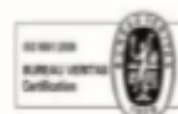
| Variable | Método    | Unidad | Resultados |      |      |       |       |      |
|----------|-----------|--------|------------|------|------|-------|-------|------|
|          |           |        | 0258       | 0259 | 0260 | 0261  | 0262  | 0263 |
| Mercurio | 7471B EPA | µg/Kg  | 2895       | 1123 | 9097 | 10625 | 14192 | 4945 |

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

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CAUCA - NIT: 891.501.895 - 4  
 Carrera 7 # 1n - 28 Edificio Edgar Negret Dueñas  
 Pbx: 833 32 32 Fax: 192 - 8203251  
 Línea verde: 018000932855  
 Popayán - Cauca - Colombia  
 www.crc.gov.co



Laboratorio: Vivero CRC, Vereda González, Popayán Telefax: 8333232 Ext. 231

**Anexo 6. Reporte de resultados de la prueba piloto.**

Pág 1 de 1



LABORATORIO DE CALIDAD DE AGUAS  
GRUPO PFA  
UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA

**REPORTE DE ENSAYO DE RESULTADOS**  
FRT10-01 VER 07

COORGO: 180730-02-SUELO

INFORMACIÓN SUMINISTRADA POR EL CLIENTE:

|                   |  |                      |   |
|-------------------|--|----------------------|---|
| Estado del tiempo | No reporta                                     | Procedencia          | Tambo, Cauca  |
| Tipo de Muestra   | Lodos Contaminados con Mercurio                | Muestreado por       | Johan Castro  |
| pH                | No reporta                                     | Sitio de muestreo    | Sector Fondas, Mina Trio II. Con<br>AXXION GOLD + ACCIÓN<br>RECOVER |
| Solicitado por    | FUNDACIÓN INTERNACIONAL<br>NACIONES SOLIDARIAS | Fecha y hora de toma | 2018-07-25 14:18  |

**RESULTADOS**

| <b>ANÁLISIS FISCOQUIMICO</b>   |                                |                                       |            |
|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------|------------|
| Parámetro y método de análisis | Método de Análisis             | Referencia                            | Resultados |
| Mercurio Total (mg/kg Hg)*     | Absorción Atómica – Vapor frío | EPA-3050 B - EPA-7470 A – SM 3112 - B | 163,84     |

Nota 1: El separador de cifras decimales está representado por una coma.  
 Nota 2: Los parámetros precedidos por el símbolo \*, son aquellos subcontratados por el Laboratorio de Calidad de Aguas PFA.

Fecha y Hora de recepción: 2018/07/30 15:40  
 Fecha y hora de análisis: 2018/08/22 10:00

Los métodos utilizados son referencia de los Métodos Estándar edición 22.  
 Los resultados del presente informe son válidos solo para la muestra analizada.  
 Por ningún motivo debe hacerse reproducción del presente informe sin la autorización del LABORATORIO DE CALIDAD DE AGUAS PFA DE LA UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA.



ALEXANDER OSORIO GUZMAN  
Director de Calidad  
Ing. Químico- Registro 10429



DAVID CAMPO ECHEVERRI  
Director Técnico (E)  
Ing. Químico- Registro 16123



Laboratorio Acreditado por el IDEAM bajo la norma NTC ISO 17025 de 2005, según resolución No. 2761 del 22 de noviembre de 2017 y resolución No. 0360 de 12 de febrero de 2018 para la realización de Alcalinidad Total, DBOs, DQO, Dureza Total, Nitritos, Sólidos Disueltos Totales, Sólidos Suspendidos Totales, Sólidos Totales, Grasas & Aceites, Conductividad Eléctrica, Cloruros, Calcio Total, Calcio Disuelto, Magnesio Total, Magnesio Disuelto, Sulfatos, Dureza Cálcica, Cianuro Total, Fenoles, Detergentes e Hidrocarburos.



LABORATORIO DE CALIDAD DE AGUAS  
GRUPO PFA  
UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA

REPORTE DE ENSAYO DE RESULTADOS  
FRT10-01 VER 07

COOBSO: 180730-01-SUELO

INFORMACIÓN SUMINISTRADA POR EL CLIENTE:

|                   |  |                      |                             |
|-------------------|--|----------------------|-----------------------------|
| Estado del tiempo | No reporta                                     | Procedencia          | Tambo, Cauca                |
| Tipo de Muestra   | Lodos Contaminados con Mercurio                | Muestreado por       | Johan Castro                |
| pH                | No reporta                                     | Billo de muestreo    | Sector Fontas, Mina Trio II |
| Solicitado por    | FUNDACIÓN INTERNACIONAL<br>NACIONES SOLIDARIAS | Fecha y hora de toma | 2018-07-25 12:08            |

RESULTADOS

| ANÁLISIS FISCOQUIMICO          |                                |  |            |
|--------------------------------|--------------------------------|--|------------|
| Parámetro y método de análisis | Método de Análisis             | Referencia                               | Resultados |
| Mercurio Total (mg/kg Hg)*     | Absorción Atómica - Vapor frío | EPA-3050 B - EPA-7470 A -<br>SM 3112 - B | 42.91      |

Nota 1: El separador de cifras decimales está representado por una coma

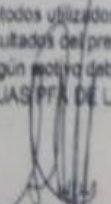
Nota 2: Los parámetros precedidos por el símbolo \*, son aquellos subcontratados por el Laboratorio de Calidad de Aguas PFA

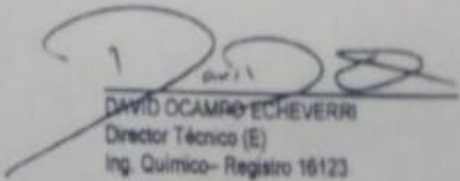
Fecha y Hora de recepción: 2018/07/30 15:40  
Fecha y hora de análisis: 2018/08/22 10:00

Los métodos utilizados son referencia de los Métodos Estándar edición 22.

Los resultados del presente informe son válidos solo para la muestra analizada.

Por ningún motivo debe hacerse reproducción del presente informe sin la autorización del LABORATORIO DE CALIDAD DE AGUAS PFA DE LA UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA.

  
ALEXANDER OSORIO GUZMAN  
Director de Calidad  
Ing. Químico- Registro 10429

  
DAVID OCAMPO ECHEVERRI  
Director Técnico (E)  
Ing. Químico- Registro 16123



Laboratorio Acreditado por el IDEAM bajo la norma NTC ISO 17025 de 2005, según resolución No. 2761 del 22 de noviembre de 2017 y resolución No. 0360 de 12 de febrero de 2018 para la realización de Alcalinidad Total, DBO<sub>5</sub>, DCO, Dureza Total, Nitritos, Sólidos Disueltos Totales, Sólidos Suspendidos Totales, Sólidos Totales, Grasas & Aceites, Conductividad Eléctrica, Cloruros, Calcio Total, Calcio Disuelto, Magnesio Total, Magnesio Disuelto, Sulfatos, Dureza Cálcica, Cloruro Total, Fenoles, Detergentes e Hidrocarburos en la matriz agua.



Anexo 7. Registro fotografico entable el Trio II.



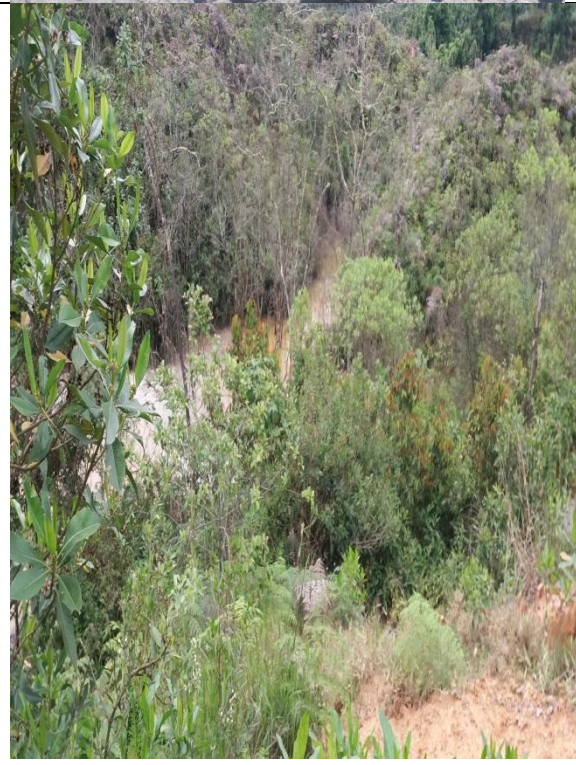


Anexo 8. Registro fotográfico entable el Roble.





**Anexo 9. Registro fotografico entable El Cuarzo**





Anexo 10. Registro fotográfico entable el la Vega





**Anexo 11. Registro fotográfico de Monitoreos y quebradas.**





Anexo 12. Registro fotográfico de la prueba piloto.

