

**Alternativas para el Tratamiento de Vertimientos Provenientes de la Explotación de Oro
en el Distrito de California-Vetas, Santander**

David Eliecer Alvarez Castro

Director

Ever Alonso Palacios Jaimes

Ingeniero Químico, Msc

Directores Externos

Ana Celina Castellanos Velandia

Ingeniera Forestal, Especialista

Adriana Carolina Daza Suarez

Microbióloga

Universidad de Pamplona

Facultad de Ingenierías y Arquitectura

Ingeniería Química

Vicerrectoría de Investigaciones

Pamplona

2017

Dedicatoria

A esos seres que siempre están conmigo, que AMO Y RESPETO, Ana María y Crispiniano, por su confianza y amor durante este proceso, a mis hermanos: Darío y Helver por sus consejos y apoyo incondicional, a la Vida por permitirme llegar hasta este punto.

Resumen

Los vertimientos generados por la actividad informal (pequeña escala) de beneficio de oro en el distrito de California- Vetas, Santander, se tornan un problema ambiental debido a sus descargas contaminantes, las cuales deben ser atendidas por las entidades encargadas en el control ambiental, en este caso particular la CDMB. Desde el punto de vista ambiental, estos vertimientos tienen el potencial para ocasionar impactos negativos o alteraciones en ríos, quebradas, arroyos y vida acuática en general, convirtiéndose en contaminantes permanentes. En este trabajo se plantean y evalúan alternativas para tratar los vertimientos producto de la actividad y se espera sea material de referencia y consulta para los pequeños mineros auríferos con el fin de ajustarse a la normatividad Vigente (resolución 0631 de 2015) en la cual se establecen los parámetros y valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales a los sistemas de alcantarillado público.

Palabras Claves: *Aurífero, minería, vertimientos, tratamiento de aguas residuales, ambiental.*

Abstract

The discharges generated by the informal (small-scale) gold-mining activity in the district of California-Vetas, Santander, become an environmental problem due to their pollutant discharges, which must be attended by the entities in charge of environmental control, in this particular case the CDMB. From the environmental point of view, these spills have the potential to cause negative impacts or alterations in rivers, streams, streams and aquatic life in general, becoming permanent pollutants. In this paper, alternatives and their respective evaluation are proposed to deal with the dumping resulting from the activity and it is expected to become a reference book for small gold miners in order to comply with current legislation (resolution 0631 of 2015) in which Establishes the maximum permissible parameters and limit values for surface water bodies to public sewer systems.

Keywords: Auriferous, mining, dumping, wastewater treatment, environmental.

Contenido

| | <i>Pág.</i> |
|---|-------------|
| <i>1.1 Contextualización</i> | 10 |
| <i>1.2 Planteamiento del problema</i> | 12 |
| <i>1.3 Justificación</i> | 12 |
| <i>1.4 Delimitación</i> | 15 |
| <i>1.4.1 Objetivo General</i> | 15 |
| <i>1.4.2. Objetivos Específicos</i> | 15 |
| <i>2. Marco Teórico</i> | 16 |
| <i>2.1 Estado del arte</i> | 16 |
| <i>2.2. Marco Conceptual</i> | 18 |
| <i>2.2.1 Aguas residuales, Origen y Características.</i> | 19 |
| <i>2.2.2 Contaminación a fuentes Hídricas.</i> | 19 |
| <i>2.2.3 Aguas Residuales.</i> | 20 |
| <i>2.2.4 Límites máximos permisibles en la actividad minera de metales preciosos.</i> | 21 |
| <i>2.2.5 Indicé sobre la alteración potencial de la calidad del agua – IACAL</i> | 22 |
| <i>2.2.6 Permiso de vertimientos</i> | 23 |
| <i>2.2.7 Procesos en la actividad de beneficio de Oro que generan vertimiento.</i> | 23 |
| <i>2.2.8 Características fisicoquímicas de las aguas residuales.</i> | 25 |
| <i>2.2.8.1 Materia Orgánica</i> | 25 |
| <i>2.2.8.2 Oxígeno Disuelto (OD)</i> | 25 |
| <i>2.2.8.3 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)</i> | 25 |
| <i>2.2.8.4 Demanda Química de Oxígeno (DQO)</i> | 26 |
| <i>2.2.8.5 Sólidos</i> | 26 |
| <i>2.2.8.6 Potencial de Hidrogeno (pH)</i> | 26 |
| <i>2.2.8.7 Nitrógeno</i> | 27 |
| <i>2.2.8.8 Fósforo</i> | 27 |
| <i>2.2.8.9 Carga contaminante</i> | 27 |
| <i>2.2.9 Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR)</i> | 28 |
| <i>2.2.10 Operaciones y procesos unitarios de una planta de tratamiento</i> | 28 |

| | |
|---|----|
| 2.2.10.1 Etapa de Pretratamiento | 29 |
| 2.2.10.2 Etapa de Tratamiento Primario | 30 |
| 2.2.10.3 Etapa de Tratamiento Secundario | 30 |
| 2.2.10.4 Etapa de Tratamiento Terciario..... | 31 |
| 2.2.11 Caracterización mínima de las aguas residuales. | 31 |
| 2.3 Actividad minera en el distrito de California – Vetas | 32 |
| 2.4 Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga - CDMB | 34 |
| 3. Metodología..... | 35 |
| 3.1. Paradigma de la Investigación. | 35 |
| 3.2. Tipo de Investigación. | 35 |
| 3.3. Técnicas e Instrumentos..... | 35 |
| 3.4. Etapas del Desarrollo de la Metodología de trabajo..... | 36 |
| 3.5 Metodología Manejo de Expedientes | 37 |
| 3.6 Metodología Caracterización Físicoquímica | 38 |
| 3.6.1 Tipo de muestra Seleccionada (Muestra Compuesta)..... | 39 |
| 3.6.2 Control y Vigilancia del muestreo, preservación y análisis | 39 |
| 3.6.3 Recipientes de las muestras | 40 |
| 3.6.4 Precauciones generales | 40 |
| 3.6.5 Preservación de la muestra..... | 40 |
| 3.6.6 Técnicas de Preservación..... | 41 |
| 3.6.7 Medición de Variables in Situ..... | 41 |
| 3.6.8 Evaluación de Resultados. | 41 |
| 3.7 Metodología para Definir alternativas de solución para el tratamiento de vertimientos | 42 |
| 3.8 Metodología de Selección de Alternativas | 43 |
| 4. Resultados y análisis | 44 |
| 4.1 Diagnóstico del panorama actual Quebrada la Baja..... | 44 |
| 4.1.1 Manejo de Expedientes | 44 |
| 4.1.2 Ubicación de muestreo | 46 |
| 4.2 Evaluación de vertimientos y comparación con la normativa vigente..... | 47 |
| 4.2.1 Caracterización Físicoquímica en los puntos de Monitoreo..... | 47 |
| 4.3 Alternativas para el tratamiento de vertimientos aplicados a la actividad aurífera..... | 55 |
| 4.3.1 Humedal Artificial de Flujo Superficial..... | 55 |

| | |
|--|----|
| 4.3.2 Planta de Tratamiento de Aguas Residuales con Fotocatálisis..... | 57 |
| 4.3.3 Planta de Tratamiento de Aguas Residuales por Filtración e Intercambio Iónico..... | 58 |
| 4.4 Evaluación de las alternativas propuestas..... | 58 |
| 4.4.1 Evaluación técnica de las alternativas..... | 59 |
| 4.4.2 Evaluación económica, social y ambiental..... | 60 |
| 4.5 Diseño conceptual de la alternativa III: Planta de tratamiento de aguas residuales con intercambio iónico..... | 64 |
| 4.5.1 Metodología para la propuesta de diseño de una planta para el tratamiento de Vertimientos..... | 64 |
| PRETRATAMIENTO | 64 |
| <input type="checkbox"/> Caudal (Q)..... | 65 |
| <input type="checkbox"/> Canal de entrada..... | 66 |
| <input type="checkbox"/> Rejilla de limpieza manual..... | 67 |
| <input type="checkbox"/> Diámetro de tubería..... | 69 |
| <input type="checkbox"/> Material de la tubería:..... | 69 |
| <input type="checkbox"/> Coeficiente de rugosidad (n):..... | 70 |
| <input type="checkbox"/> Canal Parshall..... | 71 |
| <input type="checkbox"/> Decantación o Sedimentación Primaria..... | 73 |
| <input type="checkbox"/> Filtro lento..... | 77 |
| <input type="checkbox"/> Lecho de Secado..... | 79 |
| 4.5.2 Cálculos de diseño de equipos para la planta de tratamiento de Vertimientos..... | 79 |
| 5. Conclusiones..... | 91 |
| 6. Recomendaciones..... | 92 |
| Referencias Bibliográficas..... | 93 |
| Anexos..... | 97 |
| Anexo A. Registro fotográfico..... | 98 |

Lista de Figuras

| | Pág. |
|---|-------------|
| <i>Figura 1. Operaciones en una planta de beneficio de Oro.</i> | 24 |
| <i>Figura 2. Etapas en una planta de tratamiento de aguas residuales.</i> | 29 |
| <i>Figura 3. Sistema de Información Corporativo CDMB.</i> | 44 |
| <i>Figura 4. Sistema de Información de Normalización y Calidad Ambiental – SINCA - CDMB... ..</i> | 45 |
| <i>Figura 5. Manejo de Expedientes- CDMB.</i> | 45 |
| <i>Figura 6. Muestra Vs Temperatura</i> | 51 |
| <i>Figura 7. Muestra Vs pH</i> | 52 |
| <i>Figura 8. Muestra Vs Caudal</i> | 53 |
| <i>Figura 9. Canal Parshall.....</i> | 82 |
| <i>Figura 10. Esquema de planta de tratamiento</i> | 88 |
| <i>Figure 11. Esquema Diseño de PTAR - propuesta.</i> | 88 |

Lista de Tablas

| | Pág. |
|---|-------------|
| <i>Tabla 1.</i> Identificación del punto de muestreo..... | 47 |
| <i>Tabla 2.</i> Variables determinadas en campo y por el laboratorio | 48 |
| <i>Tabla 3.</i> Datos de campo – salida PB1 | 49 |
| <i>Tabla 4.</i> Datos de campo – salida PB2 | 50 |
| <i>Tabla 5.</i> Datos de campo – salida PB3 | 50 |
| <i>Tabla 6.</i> Resultados y Evaluación de la caracterización..... | 54 |
| <i>Tabla 7</i> Alternativas para el tratamiento de Aguas Residuales ARnD..... | 59 |
| <i>Tabla 8</i> ventajas y desventajas para la evaluación | 61 |
| <i>Tabla 9</i> Matriz de evaluación | 63 |
| <i>Tabla 10.</i> Criterios de diseño para el canal de entrada | 66 |
| <i>Tabla 11.</i> Criterios de diseño de las rejillas de desbaste..... | 67 |
| <i>Tabla 12.</i> Diámetros de Tuberías..... | 69 |
| <i>Tabla 13.</i> Coeficientes de Rugosidad en Tuberías..... | 70 |
| <i>Tabla 14.</i> Valores establecidos y Constantes para el Diseño de un Canal Parshall..... | 73 |
| <i>Tabla 15.</i> Ancho W de la Parshall en función del caudal (Q) | 73 |
| <i>Tabla 16.</i> Dimensiones estándar de Medidores Parshall en (cm)..... | 73 |
| <i>Tabla 17.</i> Dimensiones del canal de llegada..... | 80 |
| <i>Tabla 18.</i> Diseño de Rejillas..... | 80 |
| <i>Tabla 19.</i> Calculo de Área Libre..... | 81 |
| <i>Tabla 20.</i> Calculo entre Barras | 81 |
| <i>Tabla 21.</i> Longitud de las Barras..... | 81 |
| <i>Tabla 22.</i> Número de Barras Necesarias..... | 82 |
| <i>Tabla 23.</i> Criterio de Diseño del Canal Parshall..... | 82 |
| <i>Tabla 24.</i> Parámetros de Diseño canal Parshall..... | 83 |
| <i>Tabla 25.</i> Sedimentador primario | 84 |
| <i>Tabla 26.</i> Criterio de Diseño de un filtro lento..... | 85 |

Introducción

1.1 Contextualización

El cuidado y preservación del recurso hídrico proveniente de Ríos y Quebradas empleado para actividades realizadas por el hombre ha llevado a que los gobiernos a nivel mundial y Nacional emitan políticas ambientales constantemente que regulen el uso y en especial el posterior vertimiento a cuerpos de aguas superficiales. En Colombia, implementar y exigir el cumplimiento de las políticas ambientales, conlleva a que constantemente los sistemas para el tratamiento de vertimientos cumplan un papel fundamental en las industrias de manera tal que estas puedan ajustarse a las políticas ambientales exigidas por las entidades gubernamentales de orden departamental y local quienes cumplen esta función. El tratamiento de aguas residuales es una operación clave en los procesos industriales, ya sea para cumplir con las normas ambientales o para evitar impactos negativos en los cuerpos de agua cercanos. La eliminación de aguas residuales no tratadas produce impactos ambientales negativos en los cursos de agua receptores, en función de la concentración de contaminantes que dichas aguas contengan (López Pamo & et al., 2002)

La actividad informal (pequeña escala) de beneficio de oro, hace parte de las industrias más controversiales en todo el planeta, y en Colombia son tema de interés debido a que la extracción del mineral y su proceso son fuente de contaminantes dispuestos en el ambiente en especial a cuerpos de aguas superficiales, suelo y aire. La presencia de ácido sulfúrico, ion cianuro y metales pesados como mercurio presente en la actividad de beneficio de Oro, son vertidas directamente a fuentes hídricas, ocasionando un impacto negativo al medio ambiente, este se evidencia con la

degradación de los ecosistemas acuáticos, la fauna y la flora, lo que imposibilita el uso del recurso hídrico para diversas actividades en especial la agrícola.

Para el caso de la plantas de beneficio de Oro en el distrito de California – Vetas en Santander, la Corporación Autónoma para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB) es la autoridad ambiental, y por ende es quien cumple la función y constante verificación para que las industrias en esta zona cumplan o se ajuste a las normativas vigentes y de esta manera evitar que los vertimientos (llámese vertimientos, la descarga de cualquier cantidad de material o sustancia ofensiva al medio ambiente y a la salud pública) que ocasionan estas empresas contaminen o afecten las fuentes hídricas que abastecen a gran parte de la población en Santander.

En este documento se hace un diagnóstico del panorama actual de los vertimientos en tres pequeñas mineras (plantas de beneficio) del Distrito de California y Vetas y se compara con las normativas vigentes (resolución 0631 de 2015 norma vigente a la fecha), posterior a ello se plantean posibles alternativas de solución para el tratamiento de aguas residuales industriales para la actividad informal del beneficio de Oro y se realiza una evaluación de viabilidad con tres enfoques: ambiental, económico y social, finalizando con la conceptualización y detalle de la alternativa más viable.

1.2 Planteamiento del problema

El Ministerio de Minas y Energía en el año 2015, ordena que la actividad minera, en todas sus escalas, necesita ser desarrollada de forma ordenada, incluyente, competitiva y responsable, de tal manera que se incrementen las externalidades positivas en los territorios mineros en materia de empleo, ingresos, regalías, tributos, entre otros, y se adapte a los cambios que imponga el contexto internacional en materia de precios, mercados, clima y sustitutos energéticos, en ese sentido se hace necesario desde el punto de vista técnico, social y ambiental proponer y construir alternativas que ayuden a mejorar el tratamiento de los vertimientos producto del beneficio aurífero, planteándose como pregunta del problema a resolver: ¿Pueden plantearse y evaluarse alternativas desde el punto de vista técnico, social, económico y ambiental, que favorezcan a la pequeña industria aurífera en el distrito de California – Vetas en Santander?

1.3 Justificación

La actividad de beneficio de Oro informal a pequeña escala a nivel mundial es una actividad que pone en riesgo la salud humana y el medio ambiente, debido al uso de contaminantes químicos, la elevada demanda de agua y el vertimiento de contaminantes peligrosos (metales pesados, cianuro, mercurio) para salud humana. En Colombia a través del Ministerio de Minas y Energía y la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales - ANLA se establece la normatividad necesaria para proteger el medio ambiente de los impactos causados por las explotaciones auríferas o por

empresas legalmente constituidas. En Santander, la CDMB ente público es el encargado de la gestión, control, conservación del medioambiente y de los recursos naturales renovables.

El gobierno presidencial, desde el año 2011 estipulo al sector minero como un motor de desarrollo económico dentro del Plan Nacional de Desarrollo, en el marco de un aprovechamiento responsable de nuestra riqueza y recursos naturales para generar crecimiento sostenible y mayor equidad social, regional e inter-generacional. Por lo tanto, debe mantener interrelaciones y canales de comunicación con el sector ambiental, para mejorar el manejo con comunidades en áreas de influencia de los proyectos en las fases de diseño, desarrollo y operación. Para el periodo 2014-2018 las bases del plan Nacional de Desarrollo (PND 2014-2018), establecen que deben brindar las condiciones para promover el máximo aprovechamiento de los recursos naturales, tanto renovables como no renovables, bajo los más altos estándares ambientales y sociales, en articulación con las demás políticas sectoriales, las autoridades territoriales y la sociedad civil. Lo anterior permitirá generar los recursos necesarios para garantizar el financiamiento de los diferentes planes de Gobierno (MinMinas, 1988). De esta manera, el crecimiento económico de Colombia debe ser sostenido, sustentable y estar fundamentado en la sostenibilidad ambiental. Es necesario, para el bienestar del país y como responsabilidad con las futuras generaciones, hacer compatibles la agenda productiva y la agenda ambiental, y armonizar el desarrollo productivo con la preservación del medio ambiente (MinMinas, 2015)

De acuerdo con la Directrices del plan Nacional de Desarrollo y con el propósito de mejorar las medidas efectivas de control y seguimiento ambiental enfocado a las actividades mineras a través de la corporaciones a nivel Nacional, en el departamento de Santander y el área de su

jurisdicción de la CDMB, se hace necesario iniciar un proceso según el Decreto 1076 de 2015 por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, Sección 11, Disposiciones finales, Artículo 2.2.2.3.11.1 Régimen de Transición, Parágrafo 1,2 y 3, y de esta manera iniciar la implementación de la resolución 0631 de 2015, emitida por el Ministerio de Ambiente – MINAMBIENTE, por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones, para cumplir con la normatividad Vigente y de acuerdo con esto, se permita un mejor desarrollo de la actividad minera de oro a pequeña escala, la cual representa un grave peligro para la salud humana y los ecosistemas por su alto impacto ambiental, en especial el que se genera sobre el recurso hídrico por causa de vertimientos sobre los cuerpos de agua. Es así como a través de esta propuesta, se busca plantear y evaluar alternativas para el tratamiento de vertimientos de manera tal que los mineros que vierten a la quebrada la baja ubicada en el distrito de California-Vetas Santander, puedan adoptar documentos con referencias técnicas para cumplir con la normatividad.

1.4 Delimitación

1.4.1 Objetivo General

Proponer y evaluar alternativas de solución para el tratamiento de vertimientos derivados de la actividad informal de beneficio de Oro a pequeña escala, en el distrito de California-Vetas Santander.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Diagnosticar el panorama actual de la Quebrada la Baja y la normatividad vigente para vertimientos de minería, con el propósito de direccionar el proyecto en el distrito de California-vetas Santander.
- Evaluar los vertimientos de las plantas de beneficio en la Quebrada la Baja y comparar con la normatividad vigente con el fin de establecer criterios para las alternativas a desarrollar.
- Proponer y evaluar alternativas de solución desde los enfoques económico, social y ambiental, para el tratamiento de vertimientos producto de la actividad de explotación de oro en el Distrito de California-Vetas, Quebrada la Baja.
- Presentar el diseño conceptual de la alternativa más factible para el tratamiento de vertimiento derivados de la actividad de beneficio de Oro, en el Distrito de California-Vetas en la quebrada la baja.

2. Marco Teórico

2.1 Estado del arte

Actividades industriales como la explotación de Oro, ocasionadas por el ser humano han traído como consecuencia la contaminación de cuerpos hídricos en especial aguas superficiales con sustancias químicas y microbiológicas, además del deterioro de sus características estéticas. Para contrarrestar este problema se hace necesario someter los vertimientos a una serie de operaciones o procesos unitarios con el fin de purificarla o potabilizarla para que pueda ser aptas para el ser humano, esto se puede alcanzar si se somete a una o varias operaciones unitarias y se realiza un proceso Químico, Físico o Biológico mediante el cual las sustancias de interés que contiene el agua son removidas o transformadas en sustancias inocuas (García Gutiérrez & Rey Miranda).

La implementación de sistemas de tratamientos para vertimientos consiste en reducir la carga contaminante y convertirlo en inocuo para el medio ambiente, para alcanzar esto, se emplean diferentes tipos de tratamientos que dependen de los contaminantes que arrastre el agua y de otros factores más generales como localización de la planta, clima, entre otros, el tratamiento de aguas residuales industriales es un aspecto relevante debido a que existen diferentes tipos que permiten remover los contaminantes de interés, estos tratamientos van desde algunos sencillos procesos físicos (sedimentación) la cual consiste en dejar que se deposite en el fondo por gravedad los

contaminantes, hasta procesos químicos, Biológicos, Térmicos, entre otros, los cuales son más complejos y varían de acuerdo a la eliminación deseada, la fase de depuración y el costo (Becerra & Gutiérrez, 2013),

Dentro de la clasificación de las alternativas para el tratamiento de vertimientos de bajo costo, fáciles de operar y eficientes en comparación con los sistemas de tratamiento convencional para una amplia gama de vertimientos, se encuentran opciones como: **humedal de flujo superficial**, un estudio de la universidad Santo Tomas hace una recopilación de investigaciones acerca de tratamiento de aguas residuales a través de humedales, mostrando como opción viable la implementación de este tipo de alternativa. Como otra alternativa se consideró una **PTAR-fotocatalisis**, estudios adelantados en el tratamiento de bajo costo para aguas contaminadas por actividades de minería por la universidad politécnica de Madrid dan como resultado favorable la implementación de un sistema fotocatalítico para la remoción de metales pesados en los vertimientos producto de la minería. (Antolín, Rodríguez, & Piqueras, 2014). También se resalta la opción de una **PTAR- Intercambio Iónico**, la universidad de concepción en Chile a través del estudio de retención de cromo y mercurio con zeolitas naturales y sintéticas, deja en evidencia que puede ser empleadas en el tratamiento de vertimientos, logrando buenos resultado en el tema de metales pesado. (Adilson Curi, 2006). Cada una de estas alternativas pueden emplear tratamientos Físicos, en donde actúan o predomina la aplicación de fuerzas físicas en la eliminación de contaminantes que pueden ser: desbaste, desengrasado, sedimentación, flotación Natural o provocada por aire, filtración con arena, carbón, cerámica, etc. Evaporación, adsorción con carbón activo, zeolitas; desorción, extracción. Tratamiento Químico, que consiste básicamente en la eliminación de los contaminantes por adición de un producto químico o por reacciones químicas dentro de las cuales se pueden destacar coagulación-floculación, precipitación química, oxidación-reducción –

reducción electrolítica, intercambio Iónico y osmosis inversa. (Ochoa, 2011) y tratamiento biológico, que consiste en la eliminación de los contaminantes a través de un tratamiento provocado por actividad de biológica, ejemplos de estos son: lodos activos, filtros bacterianos, biodiscos, lagunas aireadas, degradación anaerobia (López Pamo & et al., 2002).

Caracterizaciones sobre el tratamiento de aguas residuales de minería en Colombia, logran demostrar que implementar un sistema de tratamiento es clave en la actividad a pequeña escala del beneficio de Oro, esto con el propósito de cumplir con las normas ambientales, evitar efectos negativos a cuerpos de agua y reducir las concentraciones de contaminantes presentes en las aguas empleadas en el proceso. En Colombia las normas establecen los parámetros que se deben analizar y corregir, con respecto al tipo de aguas que desde los procesos de producción se generan. A través de la resolución 0631 de 2015 de Ministerio de Ambiente – MINAMBIENTE, por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones

2.2. Marco Conceptual

En el estudio de la técnica se hace necesario y relevante definir algunos de los conceptos básicos, los cuales son indispensables en el tratamiento y análisis de la información, entre ellos tenemos: aguas residuales (origen y características), contaminación a fuentes hídricas, vertimientos, límites máximos permisibles en la actividad minera de Oro, índice sobre la alteración

potencial de la calidad del agua, permisos de vertimientos, procesos en la actividad de beneficio de Oro que generan Vertimiento.

2.2.1 Aguas residuales, Origen y Características.

En la actualidad, gobiernos, y un sin número de organizaciones ambientales gubernamentales y no gubernamentales de todos los niveles se están pronunciando frente a la conservación del entorno. La identificación de los tipos de aguas residuales a tratar y su procedencia son fundamentales al momento de realizar una caracterización, esto permite que los mercados a nivel mundial estén siendo obligados a adoptar estrategias en torno a las fuentes hídricas con políticas en cuanto a producciones más limpias, buenas prácticas de manufactura, sistemas de tratamientos de aguas residuales óptimos y el uso o implementación de mejores tecnologías disponibles, entre otras medidas en su mayoría encaminadas al consumo responsable social, ambiental y empresarial (López Pamo & et al., 2002).

2.2.2 Contaminación a fuentes Hídricas.

La actividad humana es el principal generador de aguas residuales al igual que residuos sólidos independientemente del uso de tecnología empleada. Siglos atrás el desarrollo de las civilizaciones se daba a orilla de fuentes hídricas, haciendo uso de la capacidad de asimilación o autodepuración del agua, esto se debía a que sus descargas eran pequeñas y por tanto sus vertidos no presentaban mayor problema. El crecimiento poblacional y sumado a esto el desarrollo industrial ha generado que la capacidad limitada de auto purificación de los cuerpos hídricos se haya excedido, razón por

la cual surge la necesidad de adoptar instalaciones que “asistan” a la naturaleza a través de unidades de tratamiento de agua (Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), 2012)

Elementos compuestos orgánicos o inorgánicos, elementos y formas de energía presentes en las fuentes hídricas se considera contaminación hídrica que, al ser disueltos, suspendidos; alcanzan una concentración que impide el uso del agua en especial en la del consumo humano, agrícola y entre otros usos que benefician a la humanidad. Por lo anterior y de acuerdo con la definición, el uso del agua depende de sus características físicas, químicas, microbiológicas y organolépticas que definen su calidad en función del uso establecido por una normativa (Noller, Woods, & Ross, 1994).

2.2.3 Aguas Residuales.

El origen de las aguas residuales puede clasificarse en dos grupos: Aguas residuales Domesticas ARD y Aguas no Residuales Domesticas ARnD, y está en función de la actividad de donde proviene (Wildeman & Laudon, 1989).

- **Aguas Residuales Domesticas (ARD):** son las procedente de los hogares, así como de las instalaciones en las cuales se desarrollan actividades industriales, comerciales o de servicios y que correspondan a:
 - Descargas de los retretes y servicios sanitarios
 - Descargas de los sistemas de aseo personal (duchas y lavamanos), de las áreas de cocina y cocinetas, de las pocetas de lavado de elementos de aseo y lavado de paredes

y pisos y del lavado de ropa (no se incluyen las de los servicios de lavandería industrial).

- **Aguas Residuales no Domesticas (ARnD):** son las procedentes de las actividades industriales, comerciales o de servicios distintos a las que constituyen aguas residuales domesticas – ARD.
- **Vertimiento:** descarga de cualquier cantidad de material o sustancia ofensiva al medio ambiente y a la salud pública.

2.2.4 Límites máximos permisibles en la actividad minera de metales preciosos.

Los vertimientos producto de la actividad de beneficio de Oro están regulados por la norma presentada el 17 de marzo de 2015 a través de la resolución 0631 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, por el cual se establecen los parámetros y valores límites máximos permisibles en vertimientos puntuales a cuerpos de aguas, residuales, sin considerar: el volumen de la descarga, la capacidad de asimilación del cuerpo receptor y se constituye cuales son solo parámetros fisicoquímicos a monitorear, la norma de vertimientos, reglamenta el artículo 28° del decreto 3930 de 2010, que deroga el decreto 1594 de 1984, con el objetivo de ejercer control de las sustancias contaminantes que llegan a los cuerpos de agua, generadas de los sectores económicos del país como lo es la activada de benéfico de Oro y delimitada a el distrito de California- Vetas en el Departamento de Santander, Quebrada la Baja (Lozano-Rivas, 2012).

Los parámetros a controlar se hacen a partir de la medición de sustancias descargadas los cuales tienen un efecto directo en la calidad del agua, los datos de concentración son medidos en mg/l. a través de la norma se evalúan los vertimientos puntuales y se consideran catorce (14) parámetros de la totalidad, dispuestos en la resolución 0631 entre características físicas y químicas, cada uno de estos establece un límite máximo permitido cumplible de acuerdo a recursos técnicos, económicos y tecnológicos. (Lozano-Rivas, 2012)

2.2.5 Índice sobre la alteración potencial de la calidad del agua – IACAL

Un cuerpo de aguas superficial o fuente hídrica recibe y transporta cargas de agua utilizadas en diferentes procesos socioeconómicos y vertidas en la mayoría de los casos sin tratamiento previo, adicionalmente son receptoras de elevados volúmenes de sedimentos originados por procesos de erosión, bien sea de origen natural o por acción del hombre (Aguilar, 2002). Por consiguiente, los vertimientos son monitoreados de manera tal que permita tomar acciones necesarias para abordar la problemática y de esta manera disminuir su impacto en los procesos naturales y sociales, en especial la salud humana. (Lozano-Rivas, 2012)

A través del índice sobre la alteración potencial de la calidad del agua – IACAL, se logra evidenciar la variación significativa de la calidad del agua a partir de la presión de la carga contaminante que ejerce la actividad de beneficio de Oro (Glynn Henry & Gary W., 1999). En el distrito de California – Vetas en Santander, sobre las condiciones de calidad del cuerpo de agua, Quebrada la Baja. La estimación de valores como: carga contaminante, demanda Biológica de oxígeno DBO, demanda química de Oxígeno DQO, sólidos suspendidos totales SST, entre otros

parámetros que permiten estimar la presión sobre cuerpos de aguas por vertimientos de Mercurio, Cianuro, uso de químicos, cultivos ilícitos y uso de agroquímicos (Peña Varón, Van Ginneken, & Madera P., 2003)

2.2.6 Permiso de vertimientos

Un permiso de vertimiento es el acto administrativo por medio del cual la autoridad ambiental en este caso la CDMB, entidad corporativa autónoma en Santander otorga a quien realiza la descarga final de los residuos líquidos generados en el desarrollo de la actividad de beneficio de oro y con previo tratamiento. Según la explotación proyectada, la licencia y permisos ambientales se deben solicitar ante la ANLA o CAR correspondiente. En cumplimiento con lo establecido por la Agencia Nacional de Minería (ANM) en los documentos de trámites ambientales, se señala toda la información necesaria para solicitar un permiso de vertimientos. (JAIMES, 2010)

2.2.7 Procesos en la actividad de beneficio de Oro que generan vertimiento.

En la minería de metales preciosos, las operaciones unitarias desarrollan un papel fundamental, por tanto, es indispensable hacer énfasis en aquellas que generan algún tipo de vertimiento puntual a cuerpos de agua desde la actividad de beneficio de oro, en especial en la etapa de concentración mineral (García Gutiérrez & Rey Miranda)

El beneficio de Oro es una de las etapas claves debido a que la mayoría de los vertimientos se generan en las operaciones unitarias, dependiendo del tipo de proceso que tenga la planta de beneficio, generara tipos de vertimientos con diferentes contaminantes, por ejemplo, si el proceso

se realiza en circuito cerrado, el vertimiento generado en la última etapa de concentración es diferente al generado en la etapa de cianuración, siendo este último un contaminante peligroso por lo que requiere de una atención y un sistema de tratamiento diferente. Por otra parte, el vertimiento de las etapas de concentración trae consigo los elementos con que contiene la roca de caja del mineral, una cantidad de sólidos suspendidos y metales pesados. Para el caso de las plantas que empleen recuperación de Oro con mercurio o etapa de amalgamación, las contaminaciones se presentan debido a vapores en el proceso de recuperación del oro y lavados durante la etapa (Ministerio de Minas y Energía , 2015)

En un proceso por lotes o Batch, como ocurren en la pequeña minería, los vertimientos de las operaciones unitarias deben ir a un punto en común para formar uno solo y de esta manera facilitar la instalación del sistema de tratamiento. Las operaciones realizadas en una planta de beneficio se describen a continuación y se enfocan a conseguir la separación del oro como metal de interés y su recuperación final ver Figura 1



Figura 1. Operaciones en una planta de beneficio de Oro.

Fuente: cartilla minero ambiental de Colombia

2.2.8 Características fisicoquímicas de las aguas residuales.

Para el desarrollo o de un sistema para el tratamiento de vertimientos, es fundamental realizar u obtener una cuidadosa y completa caracterización de las aguas residuales a tratar, esto con el fin de asegurar el éxito de la planta.

2.2.8.1 Materia Orgánica

En aguas residuales es una fracción relevante de los elementos contaminantes, debido a que es la causante del agotamiento de oxígeno de los cuerpos de agua, está formada principalmente por CHONS (Carbono, Hidrogeno, Oxígeno, Nitrógeno, Azufre) (López Pamo & et al., 2002)

2.2.8.2 Oxígeno Disuelto (OD)

En los ecosistemas acuáticos es un parámetro fundamental y este valor debería estar por encima de los 4mg/L, se usa como indicador de la contaminación o salud de los cuerpos hídricos, asegura la sobrevivencia de la mayor parte de los organismos superiores (Lozano-Rivas, 2012)

2.2.8.3 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

En una muestra de agua, es una medida indirecta de la cantidad de materia orgánica contenida en ella, determinada por el consumo de oxígeno que hacen los microorganismos para degradar los compuestos biodegradables (Lozano-Rivas, 2012)

2.2.8.4 Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Es una medida indirecta de la cantidad de materia orgánica contenida en una muestra, a diferencia de la DBO, esta prueba emplea un oxidante fuerte, la relación entre la DQO y la DBO es usada para estimar la biodegradabilidad de un vertido, para diseñar las unidades en un tratamiento biológico y/o control de la eficiencia de los tratamientos. Un DQO/DBO mayor o igual que 5 se considera no Biodegradable y Un DQO/DBO menor o igual que 1,7 muy biodegradable (Lozano-Rivas, 2012)

2.2.8.5 Sólidos

La materia orgánica a menudo se presenta en forma de sólidos, estos sólidos pueden ser suspendidos (SS), disueltos (SD), volátiles (SV), los cuales se presumen orgánicos o fijos (SF) que suelen ser inorgánicos, parte de los sólidos también pueden ser sedimentables (SSed) (Lopez Pamo, Aadvine, & Barretino).

2.2.8.6 Potencial de Hidrogeno (pH)

En el control de los procesos biológicos de tratamiento de aguas residuales (TAR), la mayoría de los microorganismos responsables de la depuración de las aguas residuales se desarrollan en un rango de pH óptimo entre 6,5 y 8,5 unidades (López Pamo & et al., 2002).

2.2.8.7 Nitrógeno

En las proteínas es el principal componente y es un nutriente esencial para las algas y bacterias que intervienen en la depuración del agua residual, puede presentarse en forma de nitrógeno orgánico, nitrógeno amoniacal y formas oxidadas como nitritos, nitratos (MinMinas, 2015)

2.2.8.8 Fósforo

Es un nutriente esencial para el crecimiento de los microorganismos junto con el nitrógeno, valores elevados pueden causar problemas de hipereutrofización en los cuerpos de agua loticos (lagos, embalses, lagunas) (Lozano-Rivas, 2012).

2.2.8.9 Carga contaminante

Para el diseño de las unidades de tratamiento de las aguas residuales, la concentración de un parámetro específico puede indicar mucho sobre las características contaminantes de un vertido. La Carga contaminante se define como la concentración del parámetro medido en la descarga por el vertido, frecuentemente se expresa en kg/d y debe entenderse como una masa de contaminantes aportada por unidad de tiempo. La carga contaminante es igual a la concentración multiplicada por el caudal y a su vez multiplicada por el factor 0,0864. Los parámetros más usados para estimar la carga contaminante a nivel mundial son: DBO₅, DQO, SST, N, P, no obstante, de ser necesario para un estudio específico, pueden emplearse otros parámetros distintos, en Colombia los más usados son DBO₅, Y SST (Glynn Henry & Gary W., 1999)

2.2.9 Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR)

También conocida como estación depuradora de aguas (EDAR) o planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), se le denomina al conjunto de procesos y operaciones encaminadas a la depuración de aguas residuales antes de su vertimiento al cuerpo receptor, mitigando el daño al medio acuático (López Pamo & et al., 2002)

De esta manera la depuración de aguas consiste básicamente en eliminar o disminuir la concentración de sustancias o elementos contaminantes que afectan la calidad del agua o fuente receptora para un uso específico.

2.2.10 Operaciones y procesos unitarios de una planta de tratamiento

Al mencionar operaciones unitarias y procesos unitarios se debe tener claro que existe una diferencia entre estos dos términos y esta reside en que la primera, las Operaciones Unitarias, se hace referencia a Unidades y procedimientos en donde prevalecen mecanismos de tipo físico en las que no se presentan cambios a nivel químico, como, por ejemplo, una rejilla de retención de sólidos, un desarenador. En cambio, en los procesos unitarios involucra reacciones químicas o bioquímicas y cambios a nivel molecular como el caso de una unidad de coagulación y floculación, un reactor biológico, una torre de adsorción, una cámara de desinfección (Lopez Pamo, Aaduvine, & Barretino).

A través de estas operaciones y procesos unitarios, los contaminantes de las aguas residuales pueden ser eliminados o reducidos mediante la aplicación de uno o más fenómenos de tipo Físico, Químico y Biológico. Se muestra a continuación, un esquema del tratamiento de aguas residuales, el cual puede involucrar a través de todas las etapas, manejo de lodos, manejo de gases o ambos manejos.



Figura 2. Etapas en una planta de tratamiento de aguas residuales.

Fuente. Autor

Mundialmente aceptada y como se evidencia a continuación, se presenta la siguiente clasificación y corresponde al grado de depuración obtenida. (Etapa, Objetivo, Unidades más representativas, tipos de fenómenos principales involucrados, niveles de eficiencia. (Ministerio de Minas y Energía , 2015)

2.2.10.1 Etapa de Pretratamiento

Su objetivo es la remoción de sólidos gruesos para evitar atascos, abrasión y daños a tuberías, bombas, equipos y a otros elementos de la depuradora, dentro de las unidades más representativas se encuentran: pozo de gruesos, rejillas, desarenador, desengrasador, tanque de igualación u homogenización, tanque de neutralización. Los tipos de fenómenos principalmente involucrados son, físicos, químicos si se trata de una neutralización, el nivel de eficiencia no se considera significativo en DBO Y SST. (Lopez Pamo, Aaduvine, & Barretino)

2.2.10.2 Etapa de Tratamiento Primario

El objetivo consiste en remover la mayor parte de la materia orgánica suspendida decantable, las unidades más representativas en esta etapa son: decantadores por gravedad o asistidos químicamente, las unidades de flotación por aire disuelto, los tipos de fenómenos que principalmente se presentan son físico y químicos cuando se trata de decantación asistida, el nivel de eficiencia para DBO se considera de hasta un 50% y si es con decantación asistido de un 80%. Para el caso de SST, alcanza un 70% y hasta un 85% con decantación asistida. (García Gutiérrez & Rey Miranda)

2.2.10.3 Etapa de Tratamiento Secundario

En esta etapa el objetivo consiste en remover materia orgánica soluble y suspendida, eliminar patógenos y otros elementos contaminantes, unidades representativas dentro de esta son: reactores biológicos aerobios por ejemplo con lodos activados, filtros percoladores, biodiscos, humedales,

lagunas. O reactores biológicos anaerobios; su principal fenómeno involucrado es de tipo Biológico y el nivel de eficiencia para DQO hasta un 92% y de SST de hasta un 90%. (Glynn Henry & Gary W., 1999)

2.2.10.4 Etapa de Tratamiento Terciario

En esta etapa el objetivo principal es el pulimento en la reducción de la materia orgánica, eliminación de contaminantes específicos como por ejemplo nitratos, patógenos, metales, pesticidas, las unidades más representativas son: coagulación-floculación, adsorción, intercambio iónico, filtración, lagunas, desinfección, los fenómenos más involucrados son de tipo Químico y Biológico y los niveles de eficiencia son variables de remoción, dependiendo del tipo de contaminante (García Gutiérrez & Rey Miranda)

2.2.11 Caracterización mínima de las aguas residuales.

Independientemente del tipo de agua residual a tratar sea, domestica, urbana o industrial, la caracterización debe incluir la estimación de los siguientes parámetros como mínimo:

- Caudal, este incluye los caudales punta y mínimos
- Temperatura
- pH
- Solidos sedimentables
- DBO5
- DQO

- Sólidos Suspendidos Totales y Sedimentables
- Nitrógeno total
- Fosfatos
- Grasas y Aceites
- Sulfatos

2.3 Actividad minera en el distrito de California – Vetás

Los municipios Vetás y California conforman el denominado distrito California-Vetás, el cual se ubican al noreste del departamento de Santander, fundados en 1843 debido a la actividad de minería de Oro en la zona. La base económica de este distrito es el beneficio de este metal y debido a su morfología y calidad del suelo, impide desarrollar una actividad diferente que contribuya a la mejora en las condiciones de vida de la población (Sistema de información ambiental de Colombia). La explotación de estas minas se remonta a tiempo precolombinos, según registro el descubrimiento de Oro en la zona se realizó en 1555 a raíz de la fundación del municipio de Pamplona, hasta 1644 fue importante productor de oro, cuando las minas fueron abandonadas, luego fueron trabajadas periódicamente hasta 1886, para esa fecha el gobierno de turno dio permiso de explotación para ser trabajadas por compañías privadas, desde esa fecha la pequeña minería ha desarrollado su actividad de manera artesanal, los rastros de la implementación de tecnología son de 1900 cuando dos compañías extranjeras montaron plantas grandes y cuyos restos aún se pueden observar. La actividad minera se ha desarrollado durante muchos años a pequeña escala y está relacionada con la informalidad, desarrollos artesanales con baja productividad, ocasionando

que se atente contra los recursos naturales, como es el caso del Rio Suratá, el cual recibe agua de diferente Quebradas del distrito (MinMinas, 2015)

El distrito de California- Vetas en Santander, ha venido desarrollando minería a pequeña escala y parte de ella se relaciona con la informalidad, desarrollando actividades rudimentarias, la mayor parte de estas mineras se encuentran en fase de exploración.

En el distrito California-Vetas, los pequeños mineros se encuentran asociados como ASOMICAL en el municipio de California y ASOMINEROS VETAS, en el municipio de Vetas, estas asociaciones nacieron a partir de las dificultades que les surgían con la actividad minera de la zona, las asociaciones cada año se han venido fortaleciendo a través de los convenios, el seguimiento y acompañamiento de la CDMB a sus problemáticas, ya que han alcanzado acceder a recursos por parte de la nación, lo cual contribuye a que sus actividades se estén ajustando a procesos sostenibles y de esta manera alcancen logros y mejoras en el proceso de beneficio como consecuencia de mesas de trabajo en conjunto con la autoridad ambiental. Los mineros con minas sobre los 3000 m.s.n.m, actualmente presentan problemas debido a que la cota de la cordillera oriental establece presencia de paramos según Von Humboldt. (JAIMES, 2010)

El Ministerio de Minas y Energía, Medio Ambiente a través de la CDMB, preocupados porque el desarrollo minero sea responsable, sostenible y ambientalmente cumpla con la normatividad, viene adelantando acompañamientos y seguimiento a los focos de minería informal pequeña, con el propósito brindarles asesoría útil y relevante que ellos puedan implementar en sus plantas de beneficio de Oro, para así lograr disminuir el impacto ocasionado por los vertimientos realizados

a Quebradas y ríos del distrito de California – Vetas, en este caso en la Quebrada la Baja (Ministerio de Desarrollo Económico, Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico., 2000).

2.4 Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga - CDMB

La Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga - CDMB, es un ente corporativo autónomo creado por la ley 99 de 1993, de carácter público, que se relaciona con el nivel nacional, departamental y municipal, integrado por las entidades territoriales que por sus características constituyen geográficamente un mismo ecosistema o conforman una unidad geopolítica, biogeográfica o hidrogeográfica, dotada de autonomía administrativa y financiera, patrimonio propio y personería jurídica, encargada por la ley de administrar dentro del área de su jurisdicción, el medio ambiente y los recursos naturales renovables, y propender por su desarrollo sostenible, de conformidad con las disposiciones legales y las políticas del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. La CDMB tiene órganos de dirección, encabezados por la Asamblea General o Asamblea Corporativa. Su organización se basa en Subdirecciones y sus respectivos grupos internos de trabajo que permiten una gestión efectiva y eficiente acorde a las necesidades y retos que se le encomiendan. Dentro de las subdirecciones existe la de evaluación y control ambiental, la cual es la encargada de aplicar el ejercicio de la autoridad ambiental en el territorio de su jurisdicción a través del desarrollo de los trámites y/o servicios establecidos por la ley; desarrollar y aplicar estrategias de control y seguimiento a las actividades que afecten los recursos naturales. (Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga - CDMB, 2016)

3. Metodología

3.1. Paradigma de la Investigación.

Se emplea un paradigma cuantitativo mediante el cual se obtiene información del área de vertimientos en metodología para manejo de expediente, metodología para caracterización y evaluación de vertimientos y aspectos situacionales de empresas para el Diseño de una planta para el tratamiento de vertimiento derivados de la actividad de beneficio de Oro o propuesta concreta.

3.2. Tipo de Investigación.

El estudio realizado en el presente trabajo es de tipo descriptivo, porque permite hacer un diagnóstico de la empresa en la actualidad, el presente trabajo está enfocado principalmente al aspecto documental, puesto que la obtención y análisis de datos es generada por material impreso, visitas, seguimientos a las empresas, registro de la base de datos y archivos de la entidad; para dicho diagnóstico se tendrá como referencia la resolución 631 del ministerio de Ambiente y desarrollo sostenible – 2015.

3.3. Técnicas e Instrumentos

Para la recolección de la información y su respectivo análisis se utilizarán todos aquellos instrumentos tales como caracterización, protocolos, manuales y normativas con los que cuenta la entidad de acuerdo al sistema integrado de gestión y control - SIGC y la subdirección de

evaluación y control ambiental – SEYCA; a través de los cuales se obtendrá la información necesaria para el desarrollo del presente trabajo.

3.4. Etapas del Desarrollo de la Metodología de trabajo

Para cada una de las etapas se tomó como referencia importante el ciclo PHVA o ciclo de Deming, el cual constituye una de las principales herramientas de mejoramiento continuo en las organizaciones, utilizada ampliamente por los sistemas de gestión de la calidad (SGC) con el propósito de permitir a toda organización una mejora integral de la competitividad, de los productos ofrecidos, mejorado permanentemente la calidad, también una optimización en los costos y por supuesto una mejor rentabilidad.

A través de cada uno de los pasos del ciclo PHVA la corporación en cada etapa:

PLANEA: En esta etapa se definen los objetivos y cómo lograrlos, esto de acuerdo a políticas organizacionales y necesidades de los clientes.

HACE: Ejecuta lo planeado siguiendo cada uno de los procesos, manuales, caracterización y directrices previamente definidos.

VERIFICA: En esta etapa comprobamos que se hayan ejecutado los objetivos y/o Metas previstas mediante el seguimiento y medición de los procesos, confirmando y evidenciando que estos estén acordes con las políticas y a toda la planeación inicial.

ACTUA: se realizan las acciones para el mejoramiento del desempeño de los procesos, se corrigen las desviaciones, se estandarizan los cambios, se realiza la formación y capacitación requerida y se define como monitorearlo.

3.5 Metodología Manejo de Expedientes

Los expedientes y manejo de estos, son la figura más importante dentro de la CDMB, en ellos reposa la información técnica y jurídica correspondiente a cada empresa, además de los seguimientos y/o requerimientos que se deriven del trámite. La CDMB cuentan con un sistema de información corporativo denominado, Sistema Integrado de Control (SIC), a través de este se puede conocer en detalle cómo se adelanta y en qué estado se encuentra una empresa, frente al tema de vertimientos. Para el caso de vertimiento y el acceso a la información se deben seguir las siguientes etapas, la información obtenida a través de este medio es relevante ya que esta permite direccionar y delimitar el desarrollo del trabajo, permitiendo hacer una identificación de las empresas mineras en proceso de seguimiento.

- Helder o Correo interno, a través de esta figura, se realiza solicitud de información o documentación relacionada con trámites ambientales en este caso se utiliza para solicitar el listado de censo de las empresas mineras del distrito de California-Vetas.
- A través de la plataforma o sistemas se procede a revisar el estado de actual de cada una de las empresas reportadas en el listado y se compara con la información que reposa en

físico para cada una de ella, se hizo énfasis en las empresas que vierten a la quebrada la baja y/o están identificadas sobre la zona de interés.

- Se adelanta un estudio previo, para luego ir a visitar cada uno de los casos, identificando resoluciones, hojas de visitas recientes, hojas de campo, se identificaron tres empresas para adelantar seguimiento y control de vertimientos sobre la Quebrada la Baja.
- Se coordina o se programa visita de inspección a cada una de las empresas con el ánimo de verificar su estado actual y posterior monitoreo.
- Se realiza monitoreo a cada empresa, con el propósito de realizar caracterización y adelantar el trámite de vertimientos con la CDMB.
- Se adelanta contacto con el representante de la planta de Beneficio y se inicia solicitud de documentos pendiente que exige el Decreto 1076, Artículo 2.2.3.3.5.2 Requisitos del trámite de permiso de vertimientos de 2015, por medio del cual se expide el decreto único reglamentario del sector ambiente y desarrollo sostenible, a través de Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

3.6 Metodología Caracterización Físicoquímica

A continuación, se describen los pasos que se siguieron con en el trabajo en campo, para cada planta visitada y siguiendo el manual de tomas y preservación de muestras del IDEAM.

La CDMB se reserva el derecho de confidencialidad de la información en cuanto a datos en detalle de laboratorio, razón social o nombre del representante legal, uso de software, que puedan causar efectos legales por parte de instituciones o personas competentes. Las plantas de beneficio

de Oro informal son empresas que se encuentra en trámites de formalidad ante la entidad gubernamental.

3.6.1 Tipo de muestra Seleccionada (Muestra Compuesta)

En cada uno de los puntos monitoreados (salida de la planta de Beneficio) se realizó la toma y composición de varias muestras puntuales con el propósito de obtener dos muestras compuestas, las muestras compuestas se emplean principalmente para observar concentraciones promedio, para calcular las respectivas cargas, realizar una proyección de las cargas o si existe la una planta de tratamiento, verificar la eficiencia.

3.6.2 Control y Vigilancia del muestreo, preservación y análisis

El proceso de control y vigilancia del muestreo, preservación y análisis es esencial para asegurar la integridad de la muestra, desde su recolección hasta el reporte de los resultados; incluye la actividad a seguir o monitorear las condiciones de toma de muestra, preservación, codificación, transporte y posterior análisis. Este es básico e importante para demostrar el control y la confiabilidad de la muestra, no solo cuando hay un litigio involucrado, sino también para el control de rutina de las muestras, los instrumentos empleados para la trazabilidad de la muestra se describen a continuación.

3.6.3 Recipientes de las muestras

Los recipientes para las muestras generalmente están hechos de plástico o de vidrio; para el trabajo de campo se utilizaron de acuerdo con la naturaleza de la muestra y sus componentes. (IDEAM, 2015)

3.6.4 Precauciones generales

Las medidas tomadas en campo, específicamente en el muestreo de agua, antes de realizar la colecta de la muestra se realiza la purga del recipiente dos o tres veces, y de acuerdo a la determinación tomada de aforo, se realiza completamente o se deja una cámara de aire para mezcla o aireación, esto se realiza cuando son determinaciones de compuestos orgánicos. (IDEAM, 2015)

3.6.5 Preservación de la muestra

En cuanto a la preservación de la muestra, es complejo y no es posible la preservación completa e inequívoca de las muestras de aguas residuales domésticas y no domésticas, independientemente de la naturaleza de la muestra, nunca se logra la completa estabilidad de todos sus constituyentes, en el mejor de los casos, las técnicas de preservación solamente pueden retardar los cambios químicos y biológicos, que continúan inevitablemente después de retirar la muestra de su fuente. (IDEAM, 2015)

3.6.6 Técnicas de Preservación

Los métodos de preservación aplicados incluyeron las siguientes operaciones: control del pH, adición de reactivos y refrigerantes y su función es: a) retardar la acción biológica, b) retardar la hidrólisis de los compuestos o complejos químicos, c) reducir la volatilidad de la constituyente y d) reducir los efectos de absorción. (IDEAM, 2015)

3.6.7 Medición de Variables in Situ

Para la medición de variables en campo tales como: pH, Caudal y Temperatura, se utilizaron equipos portátiles que previamente son revisados y calibrados al momento de iniciar labores de muestreo (multiparámetro – Gps). (IDEAM, 2015)

3.6.8 Evaluación de Resultados.

Para la evaluación del resultado de cada caracterización, realizada a cada planta de beneficio, se hace necesario conocer y comparar los valores reportados por parte del laboratorio con la resolución 0631 de 2015, artículo 10, 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 minería.

3.7 Metodología para Definir alternativas de solución para el tratamiento de vertimientos

Para definir las alternativas para el tratamiento de vertimientos producto de la actividad de beneficio de Oro, se procedió a realizar las siguientes etapas:

- ETAPA 1: Inicialmente, se tuvo en cuenta los resultados obtenidos de la caracterización final realizada en cada punto de monitoreo o planta de beneficio.
- ETAPA 2: Se evaluaron los parámetros con la resolución 0631 de 2015 y junto con el grupo de vertimientos se hizo énfasis en los parámetros de mayor riesgo de afectación a recurso hídrico y que pueden ocasionar efectos sobre la salud humana como son el mercurio y cianuro.
- ETAPA 3: Se procedió a realizar búsqueda a través de literatura, artículos científicos y estudios realizados por la CDMB, y se seleccionaron tres posibles alternativas para el tratamiento de vertimientos de la actividad de beneficio de Oro.
- ETAPA 4: Se socializaron las posibles alternativas con el grupo de minería de la CDMB y junto con el grupo de Vertimientos se definieron los conceptos para elaborar una propuesta a partir de tipo de sistema, volumen o caudal a tratar tipo de tratamiento, tipo de operaciones y procesos unitarios, tiempo de retención, remoción de mercurio, descomposición de cianuro, manejo de pH, remoción de otros metales, costo de mantenimiento, topografía.

3.8 Metodología de Selección de Alternativas.

De acuerdo a la caracterización y a la presencia de Metales pesados como mercurio además cianuro encontrados en las plantas visitadas, se determinó realizar un seguimiento eficaz aplicando una matriz de priorización bajo los siguientes criterios:

Criterio 1. Seleccionar 4 aspectos de importancia en cada uno de los procesos.

Criterio 2. Seleccionar las Alternativas por nivel de Impacto.

Criterio 3. Establecer la asignación de puntajes de la siguiente manera:

- 1) Impacto Leve
- 2) Impacto Bajo
- 3) Impacto Medio
- 4) Impacto Moderado
- 5) Impacto Alto

4. Resultados y análisis

4.1 Diagnóstico del panorama actual Quebrada la Baja

Para realizar el diagnóstico del panorama actual de los vertimientos de la Quebrada la Baja se utilizó la herramienta Sistema de Información Corporativo (SIC) como apoyo para la identificación y cuantificación de las plantas de beneficio informal que vierten sobre la fuente hídrica.

4.1.1 Manejo de Expedientes

Como primera medida y para efectos de delimitar la zona de interés, Quebrada la baja se realizó tramite a través del sistema corporativo SIC, en donde se puede evidenciar el listado de empresas mineras en monitoreo y seguimiento de acuerdo a información que reposa en la CDMB. La interfaz gráfica de la herramienta se puede apreciar en las Figuras (4, 5, 6).



Figura 3. Sistema de Información Corporativo CDMB.

Fuente: Print screen herramienta SIC

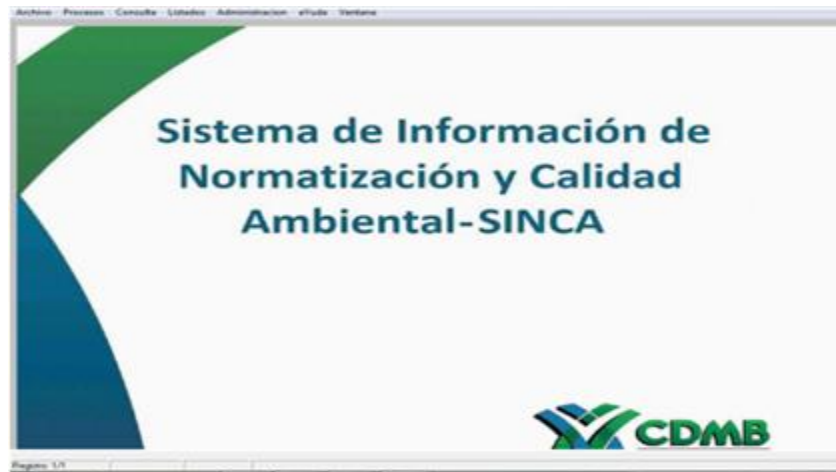


Figura 4. Sistema de Información de Normalización y Calidad Ambiental – SINCA - CDMB.

Fuente: Print screen herramienta SIC

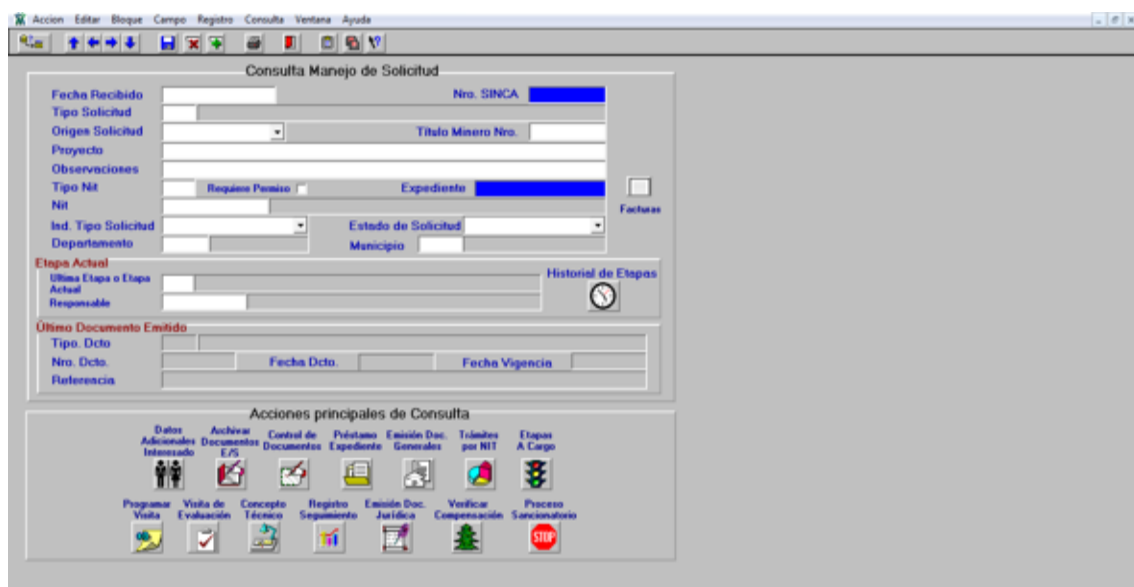


Figura 5. Manejo de Expedientes- CDMB.

Fuente: Print screen herramienta SIC

4.1.2 Ubicación de muestreo

Las plantas de beneficio de Oro como lugar de estudio, se encuentran ubicadas en los municipios de California – Vetas, sobre los 2800 m.s.n.m. en el sector conocido como la Baja a Tres (3 Km) Kilómetros del casco urbano del municipio de California y sobre la vía que conduce al municipio de Vetas; las plantas de beneficio PB1-PB2 y PB3 presentan niveles de acides, niveles de metales pesados, cianuro fuera del parámetro establecido por la resolución 0631 y esto conlleva a que los vertimientos realizados por esta actividad minera se conviertan en focos de contaminación de la Quebrada la Baja.

La fuente hídrica, Quebrada la Baja la cual comprende 4 km de longitud y de acuerdo a registros de monitoreo y estudios de la CMDDB, presenta deterioros en cuanto a paisaje, hidrografía, vegetación además de afectar el componente socioeconómico, entre otras variables los cuales hacen parte de impactos ambientales ocasionados en la quebrada y por lo cual se puede precisar que la influencia de estas minas y su actividad de beneficio de Oro en la zona están afectando el cuerpo de agua. Por lo tanto, se hace necesario tomar medidas para que la afectación sea menor y los vertimientos se ajusten a la normatividad vigente que exige la CMDDB.

Para este estudio, se seleccionaron y se visitaron tres (3) plantas informales (en temas de vertimientos) pequeñas de benéfico de Oro, que se definen como puntos de muestreo y/o seguimiento. Se localizan en el distrito de California – Vetas y son plantas que tienen un tiempo máximo de operación de 24 horas por semana, (ocho horas/tres veces/semana). A estas plantas se les realiza seguimiento continuo para el trámite de licencias de vertimientos ante la CMDDB.

Los días para realizar el muestreo en las plantas de beneficio fueron 19 – 26 de octubre y 02 de noviembre del 2016, destinando un día para cada planta, en cada monitoreo se estableció muestra compuesta con intervalos de muestra puntual de treinta minutos (30 min), durante dos horas, al final se realizó la composición de las muestras tomadas, obteniendo de esta manera dos muestras compuesta por cada punto monitoreado (vertimiento) para cada planta.

4.2 Evaluación de vertimientos y comparación con la normativa vigente

Luego de obtener un diagnostico general del panorama actual de las pequeñas empresas auríferas a evaluar, se procede a comparar los diferentes muestreos y análisis de laboratorio con los parámetros preestablecidos por las normas ambientales.

4.2.1 Caracterización Fisicoquímica en los puntos de Monitoreo

Los datos presentados en las Tabla 1 representan los puntos de muestreo de las plantas de beneficio de oro a las cuales se les realizo seguimiento, detallando el tipo de muestreo, tiempos entre cada muestra, y el tipo de aforo realizado.

Tabla 1. *Identificación del punto de muestreo.*

| IDENTIFICACIÓN DEL PUNTO DE MUESTREO | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|-----------------------|--------------|------|---|---|-------------|-----|-------------|----------|
| Identificación | Descripción del Punto | Localización | Tipo | | | Composición | | Aforo | |
| | | | P | C | I | T.T | T.C | Volumétrica | Molinete |
| | | | | | | (min) | (h) | | |
| PB1 | SALIDA | Q. la Baja | x | | | 30 | 2 | x | |
| PB2 | SALIDA | Q. la Baja | x | | | 30 | 2 | x | |

| | | | | | | |
|-----|--------|------------|---|----|---|---|
| PB3 | SALIDA | Q. la Baja | x | 30 | 2 | x |
|-----|--------|------------|---|----|---|---|

(P) puntual, (C) compuesta, (I) integrada, (T.T) tiempo de toma de muestra, (T.C) tiempo de Composición

Fuente: Autor.

Los datos presentados en la Tabla 2 muestran los parámetros que se tuvieron en cuenta para realizar la caracterización en cada planta de beneficio de oro, el cual incluye parámetros “in situ” y parámetros en el laboratorio.

Tabla 2. *Variables determinadas en campo y por el laboratorio*

| VARIABLES DETERMINADAS EN CAMPO Y LABORATORIO | | | | | | |
|---|-----------------------|---------------------|---|---|---|---------------|
| Parámetro | Unidades | Puntos de Monitoreo | | | | Observaciones |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| "IN SITU" | | | | | | |
| Caudal | L/s | X | X | X | X | |
| pH | Unidades | X | X | X | X | |
| Temperatura del Agua | °C | X | X | X | X | |
| Temperatura ambiente | °C | X | X | X | X | |
| "LABORATORIO" | | | | | | |
| DQO | mg O ₂ /L | X | X | X | X | |
| DBO ₅ | mg O ₂ /L | X | X | X | X | |
| SST | mg/L | X | X | X | X | |
| SSED | ml/L | X | X | X | X | |
| SULFATOS | mg SO ₄ /L | X | X | X | X | |
| HIERRO | mg Fe/L | X | X | X | X | |
| GRASAS Y ACEITES | mg /L | X | X | X | X | |
| CINC | mg Zn/L | X | X | X | X | |

| | | | | | |
|---------------|---------|---|---|---|---|
| CROMO | mg Cr/L | X | X | X | X |
| COBRE | mg Cu/L | X | X | X | X |
| MERCURIO | mg Hg/L | X | X | X | X |
| PLOMO | mg Pb/L | X | X | X | X |
| CIANURO TOTAL | mg CN/L | X | X | X | X |

Fuente: Autor

Nota aclaratoria: La CDMB se reserva el derecho de confidencialidad de la información en cuanto a datos en detalle de laboratorio, razón social o nombre del representante legal, uso de software, que puedan causar efectos legales por parte de instituciones o personas competentes. Las plantas de beneficio de Oro informal son empresas que se encuentra en trámites de formalidad ante la corporación, para efecto de manejo de la información, se hace mención a la plantas de beneficio con la nomenclatura PB.

La Tabla 3 presenta los datos de campo registrados en la salida del vertimiento que se realizó sobre la Quebrada la Baja, por parte de la planta de beneficio PB1, los parámetros son: número de muestras, hora, temperatura ambiente, temperatura de la muestra, pH, y caudal.

Tabla 3. Datos de campo – salida PB1

| DATOS DE CAMPO - SALIDA PB1 | | | | | |
|-----------------------------|------|-------------|------------|----------|--------|
| Muestra | Hora | T° ambiente | T° muestra | pH | Caudal |
| # | pm | °C | °C | Unidades | (l/s) |
| 1 | 2:00 | 12,3 | 9,8 | 5,3 | 4,036 |
| 2 | 2:30 | 12,1 | 9,7 | 5,12 | 4,468 |
| 3 | 3:00 | 12,5 | 9,9 | 5,51 | 4,177 |

| | | | | | |
|-------|------|------|-----|------|---------|
| 4 | 3:30 | 11,8 | 9,8 | 5,11 | 4,964 |
| Qprom | | | | | 4,41125 |

Fuente: Autor

La Tabla 4, muestra los datos de campo registrados en la salida del vertimiento que se realiza sobre la Quebrada la Baja, por parte de la planta de beneficio PB2, los parámetros son: número de muestras, hora, temperatura ambiente, temperatura de la muestra, pH, y caudal.

Tabla 4. *Datos de campo – salida PB2*

| DATOS DE CAMPO - SALIDA PB2 | | | | | |
|-----------------------------|------|-------------|------------|----------|--------|
| Muestra | Hora | T° ambiente | T° muestra | pH | Caudal |
| # | pm | °C | °C | Unidades | (l/s) |
| 1 | 2:00 | 11,7 | 9,5 | 5,73 | 4,756 |
| 2 | 2:30 | 11,5 | 9,4 | 5,8 | 3,951 |
| 3 | 3:00 | 11,1 | 9,7 | 5,79 | 3,922 |
| 4 | 3:30 | 11,8 | 9,3 | 5,85 | 3,461 |
| Qprom | | | | | 4,0225 |

Fuente: Autor

La Tabla 5, presenta los datos de campo registrados en la salida del vertimiento que se realiza sobre la Quebrada la Baja, por parte de la planta de beneficio M3, los parámetros son: número de muestras, hora, temperatura ambiente, temperatura de la muestra, pH, y caudal.

Tabla 5. *Datos de campo – salida PB3*

| DATOS DE CAMPO - SALIDA PB3 | | | | | |
|-----------------------------|------|-------------|------------|----------|--------|
| Muestra | Hora | T° ambiente | T° muestra | pH | Caudal |
| # | pm | °C | °C | Unidades | (l/s) |

| | | | | | |
|-------|------|------|-----|------|--------|
| 1 | 2:00 | 12,9 | 9,3 | 5,54 | 4,505 |
| 2 | 2:30 | 12,5 | 9,5 | 5,48 | 4,971 |
| 3 | 3:00 | 12,4 | 9,3 | 5,23 | 4,922 |
| 4 | 3:30 | 12,1 | 9,4 | 5,03 | 4,548 |
| Qprom | | | | | 4,7365 |

Fuente: Autor

La Figura 7, corresponde a un gráfico de número de muestra contra temperatura de la muestra, en la cual se puede observar que el valor mínimo corresponde a una temperatura de 9,3 °C (línea color naranja) y un máximo de 9,9°C (línea color azul) esto representa la variación de la temperatura en un intervalo de 30 min y durante la toma de cuatro muestras puntuales. Estos rangos de temperatura son importantes para seguir los procedimientos de laboratorio o cadena de custodia que se realiza para preservar las muestras a analizar en el laboratorio y así evitar que existan alteraciones en los resultados de laboratorio.

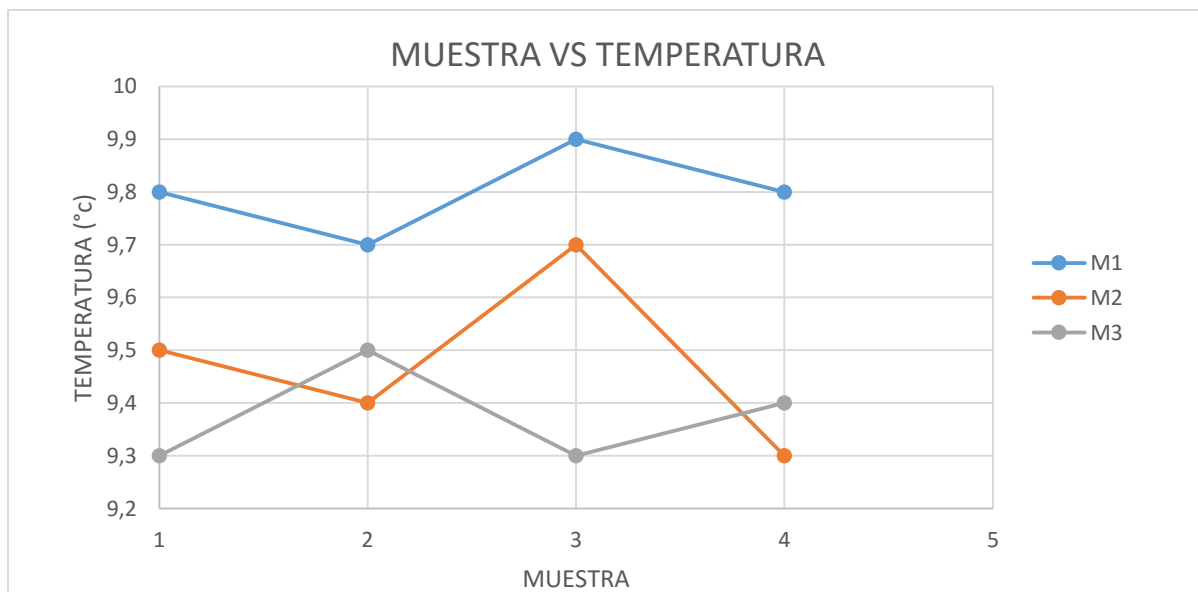


Figura 6. Muestra Vs Temperatura

Fuente: Autor

En la Figura 8, se muestra un gráfico de muestra comparada a pH en el cual se puede observar que los valores de pH varían en cada una de las muestras, para cada planta de beneficio, presentando un valor de 5 Unidades como valor mínimo y un máximo de 5,9 unidades de pH, lo cual nos indica que el tipo de descarga realizada por las plantas monitoreadas representa valores ácidos y están fuera del límite establecido por la resolución 0631 de 2015. Este parámetro se considera aceptable si se encuentra entre (6- 9).

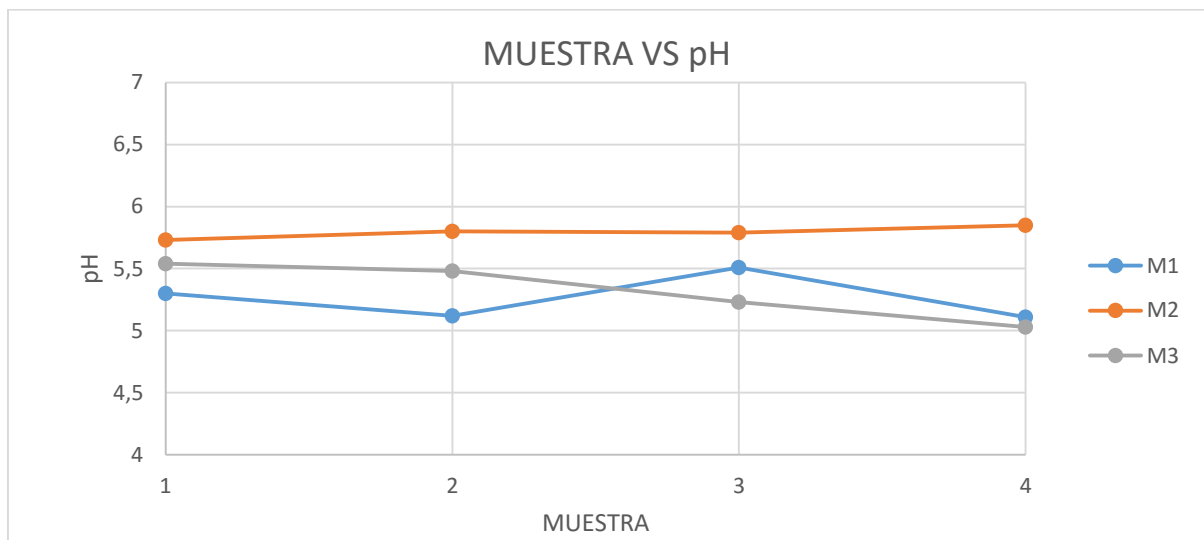


Figura 7. Muestra Vs pH

Fuente: Autor

En la Figura 9, muestra el comportamiento del caudal en cada una de las planas de beneficio de Oro, y se puede observar que el caudal tiende a estar en un rango de 4-5 l/s, lo cual indica cuál sería el caudal a tratar en un sistema de tratamiento.

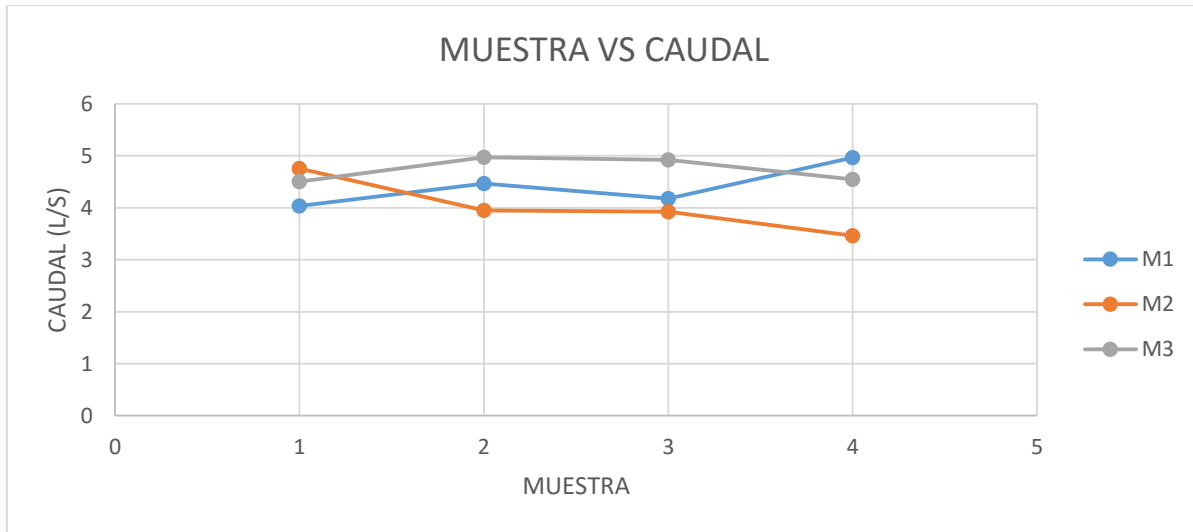


Figura 8. Muestra Vs Caudal

Fuente: Autor

La Tabla 6, presenta los valores más altos de los parámetros analizados en las tres caracterizaciones realizadas por el laboratorio para cada una de las plantas de beneficio de Oro, de acuerdo con valores, se puede observar que nueve (9) de catorce (14) parámetros definidos no cumplen y sobrepasan el valor máximo permitido en la resolución 0631 de 2015, al compararlos se logra observar que existe la presencia de cianuro con un valor de 1,08 mg/L lo cual indica que se encuentra por encima de límite máximo. El parámetro de mercurio con 0,002 mg /L, a pesar que se encuentra con un valor que alcanza el máximo permitido este debe ser tratado para disminuir su concentración, de igual manera los parámetros que se encuentren con valores cercanos al máximo o fuera del rango. Para el caso de mercurio el valor se registra porque en el proceso de beneficio de Oro, una de las tres plantas hace uso de mercurio en la etapa de amalgamación, el reporte hace referencia a la planta de beneficio PB 1. El valor de cianuro se presenta debido a que las tres plantas de beneficio realizan etapa de concentración de arenas con adición de cianuro. Para los casos puntuales de cianuro y mercurio, estos deben ser tratados debido a que representan un peligro para

la salud humana si estos llegan a incorporarse en la cadena alimenticia a través de descargas que se realizan sobre la Quebrada la Baja.

El Laboratorio de Calidad Ambiental, certificado por el IDEAM, aplica métodos y procedimientos de acuerdo a los recursos técnicos que posee, principalmente basados en el *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22nd-Edition 2012*, y otros métodos aprobados nacional e internacionalmente como se presenta en la tabla 6.

Tabla 6. Resultados y Evaluación de la caracterización

| RESULTADOS y EVALUACIÓN RESULTADOS DEL LABORATORIO (M1-M2-M3) | | | | | | |
|---|-----------------------|---------------------------------|------------------|-----------------------------|--------------------------------|----|
| PARAMETRO | UNIDADES | MÉTODO | LIMITE PERMITIDO | DATOS MAS ALTOS EN MUESTRAS | APLICA Resolución 0631 de 2015 | |
| DQO | mg O ₂ /L | SM 5220 C | 150,00 | 307 | NO | SI |
| DBO ₅ | mg O ₂ /L | SM 5210 B ASTM D888-12 Método C | 50,00 | 21,1 | NO | SI |
| SST | mg/L | SM 2540 D | 50,00 | 10680 | NO | SI |
| SSED | ml/L | SM 2540 F | 2,00 | 33 | NO | SI |
| pH | Uni de pH | SM 4500 H+ B | (6 - 9) | 5,45 | NO | SI |
| SULFATOS | mg SO ₄ /L | SM 4500 E | 1.200,00 | 39,99 | NO | SI |
| HIERRO | mg Fe/L | SM 3500 Fe | 2,00 | 2,86 | NO | SI |
| GRASAS Y ACEITES | mg /L | SM 5520 D | 10,00 | 8,05 | NO | SI |
| ZINC | mg Zn/L | SM 3111 B | 3,00 | 29,88 | NO | SI |
| CROMO | mg Cr/L | SM 3500 C | 0,50 | 0,097 | NO | SI |
| COBRE | mg Cu/L | SM 3111 B | 1,00 | 1,5 | NO | SI |
| MERCURIO | mg Hg/L | SM 3112 | 0,002 | 0,002 | NO | SI |
| PLOMO | mg Pb/L | SM 3111 B | 0,20 | 0,08 | NO | SI |
| CIANURO TOTAL | mg CN/L | SM 4500 C,F | 1,00 | 1,08 | NO | SI |

Fuente: Autor

4.3 Alternativas para el tratamiento de vertimientos aplicados a la actividad aurífera

La selección y propuesta de alternativas fue realizada teniendo en cuenta las etapas señaladas en la metodología en las cuales inicialmente, se tuvo en cuenta los resultados obtenidos de la caracterización final realizada en cada punto de monitoreo o planta de beneficio, luego se evaluaron los parámetros con la resolución 0631 de 2015 y junto con el grupo de vertimientos se hizo énfasis en los parámetros de mayor riesgo de afectación a recurso hídrico y que pueden ocasionar efectos sobre la salud humana como son el mercurio y cianuro. Posteriormente se procedió a realizar búsqueda a través de literatura, artículos científicos y estudios realizados por la CDMB, y a partir de la experiencia del equipo de vertimientos y el apoyo de la documentación literaria que presenta el tema de tratamiento de vertimientos para pequeñas mineras se eligieron tres las cuales se describen y se evalúan posteriormente. Finalmente se socializaron las posibles alternativas con el grupo de minería de la CDMB y junto con el grupo de Vertimientos se definieron los conceptos para elaborar una propuesta a partir de tipo de sistema, volumen o caudal a tratar, tipo de tratamiento, tipo de operaciones y procesos unitarios, tiempo de retención, remoción de mercurio, descomposición de cianuro, manejo de pH, remoción de otros metales, costo de mantenimiento, topografía.

4.3.1 Humedal Artificial de Flujo Superficial.

Los humedales artificiales o balsas, son sistemas de tratamiento de aguas residuales, reconocidos por su excelente depuración de aguas residuales, en especial en lo relacionado con DBO₅, SST y nitrógeno, para los cuales se obtienen rendimientos superiores al 80%, también son eficientes para

la remoción de metales, trazas orgánicas y patógenos. Un humedal artificial se puede utilizar en el tratamiento de aguas residuales, para tratamiento secundario y avanzado, también son usados en tratamientos de lixiviación de rellenos sanitarios, tanque séptico y para desarrollar hábitats para crecimiento de valor ambiental. Los humedales se clasifican de acuerdo con el tipo de flujo, estos pueden ser de tipo superficial, es decir con espejo de agua o subperforial. El humedal con espejo de agua es un pantano en el que la vegetación emergente está inundada hasta una profundidad de 10 a 45 cm, para mantener una reacción adecuada. En este tipo de humedales se requiere un mantenimiento adecuado para evitar la proliferación de mosquitos, para tal fin se opta por cosechar periódicamente la vegetación emergente, pero para alcanzar esto se requiere sacar el humedal de servicio, antes y después de recolección, por varias semanas. Dentro de las ventajas que tiene el humedal de tipo superficial es la que está relacionada con el lecho de grava, que permite mayores tasas de reacción y por lo tanto pueden tener un área menor. Además, como el nivel del agua está por debajo de la superficie del medio granular no está expuesto, evitando de esta manera problemas de mosquitos y olores que pueden llegar a presentarse, y pueden ser una opción en climas fríos ya que esta capa presta una mayor protección térmica. El medio es comúnmente grava gruesa y arena de espesor de 0,45 a 1m, con pendiente entre 0 a 0,5 %. Tiene la desventaja de un costo mayor y riesgo de taponamiento, si no se realiza tratamiento primario. La vegetación es la misma que para flujo superficial, pero con la diferencia que no se requiere cosechar las plantas. Dentro de las ventajas que tiene esta alternativa están: que son menos costosos que otras opciones de tratamiento, los gastos de mantenimiento no requieren un trabajo permanente en la instalación, los humedales soportan variaciones de caudal, facilitan la el reciclaje y la reutilización del agua. Proporcionan un hábitat para muchos organismos, proporcionan muchos beneficios adicionales a la mejora de la calidad del agua. Dentro de las desventajas se encuentra que generalmente requieren grandes

extensiones de terreno, comparado con tratamientos convencionales. El rendimiento del sistema puede ser menos constantes que el de un proceso convencional, debido a las condiciones ambientales; los componentes biológicos son sensibles a sustancias como el amoníaco y pesticidas que llegan a ser tóxicos, se requiere una mínima cantidad de agua para que sobrevivan, pero no soportan estar completamente secos, el uso de humedales artificiales para el tratamiento de aguas es de desarrollo reciente y no existe un consenso sobre el diseño óptimo del sistema, hasta ahora no se cuenta con el suficiente información sobre el rendimiento a largo plazo. (Moreno, 2014)

4.3.2 Planta de Tratamiento de Aguas Residuales con Fotocatálisis.

luego de un una previa revisión bibliográfica, la alternativa PTAR con fotocatalisis es un estudio realizado en Perú por la Universidad Politécnica de Madrid (Antolín, Rodríguez, & Piqueras, 2014) y este está relacionado con el principio que rige para una planta de tratamiento de aguas residuales, ósea un pretratamiento que comprende un canal de llegada, dos rejillas de desbaste una para gruesos y seguidamente de una para finos, luego un tratamiento primario o inicial que consta de un sedimentador, este con el propósito de dar un tratamiento previo a los metales pesados, ya que dicha agua superficial puede obtener materia en suspensión que puede afectar a los equipo y a su vez la efectividad del tratamiento. Tras la eliminación del sólido, se realiza el tratamiento de metales, en esa fase, la secuencia de procesos según el orden de aplicación es la siguiente: Para le eliminación de manganeso y arsénico la alternativa propone fotocatalisis con TiO_2 , de esta manera oxida el manganeso y al combinarlo con oxígeno formara un precipitado de MnO_2 que se separara posteriormente. Para la eliminación de arsénico se lleva a cabo y con mayor eficacia a través de coagulación-floculación a partir sulfato de aluminio o hierro, finalmente la eliminación de

mercurio se realiza por coagulación – floculación debido a que, sobre hidróxidos formados, los compuestos de mercurio y arsénico se adsorben y precipitan, para la adsorción se puede emplear adsorbentes naturales como las cenizas de madera de Eucalipto. (Antolín, Rodríguez, & Piqueras, 2014)

4.3.3 Planta de Tratamiento de Aguas Residuales por Filtración e Intercambio Iónico

El intercambio iónico empleando minerales porosos naturales, como las zeolitas es un estudio de aplicación de filtración e intercambio iónico realizado por la universidad autónoma metropolitana – Azcapotzalco de México, en este estudio la aplicación de la filtración y el intercambio iónico es aplicado a la remoción de inorgánicos y consiste en pasar el agua sobre un intercambiador catiónico sólido y un intercambiador aniónico; las zeolitas poseen una estructura cristalina bien definida, que determina las dimensiones de poros, canales y a veces cavidades que son capas de tamizar moléculas según la forma y tamaño, estudios preliminares de retención de cromo y mercurio se alcanzaron usando zeolitas sintéticas y naturales, zeolitas tipo A, zeolitas naturales cubanas y chilenas. El pH es la variable de más influencia en la retención. (Vaca Mier Mabel *, 2010)

4.4 Evaluación de las alternativas propuestas

La evaluación de las alternativas se realizó teniendo en cuenta dos principales factores: el factor técnico y los factores social, ambiental y económico.

4.4.1 Evaluación técnica de las alternativas

En la Tabla 7, se presentan los conceptos y variables de proceso más relevantes en cada una de las alternativas propuestas desde el punto de vista técnico. Como se puede apreciar en varios de los conceptos analizados de forma cualitativa la ALTERNATIVA III, presenta ventajas o reúne conceptos que presentan la Alternativa I y la Alternativa II, convirtiéndola en una alternativa efectiva desde el punto de vista técnico.

Tabla 7 Alternativas para el tratamiento de Aguas Residuales ARnD.

| Concepto | Alternativa I | Alternativa II | Alternativa III |
|-----------------------------------|---|--|--|
| Tipo de Sistema | Humedal Artificial de Flujo superficial | PTAR-Fotocatálisis | PTAR-Intercambio Iónico |
| Volumen Caudal a Tratar | 117 m ³ | 4 l/s | 4 l/s |
| Tipo Tratamiento | Físico, Químico, Biológico | Químico | Fisicoquímico |
| Operaciones y procesos Unitarios | Biológico, Químico | Remoción, Fotocatálisis, floculación/ Coagulación, Adsorción | Sedimentación, Neutralización, Filtración |
| Tiempo de Retención o del Proceso | Largos | Corto | Corto |
| Remoción de Mercurio | Con etapas químicas posteriores | Coagulación, Floculación - | Neutralización de pH, e intercambio Iónico |

| Concepto | Alternativa I | Alternativa II | Alternativa III |
|------------------------------|--|--|--|
| | | adsorbente Natural, cenizas de Eucalipto | con Zeolitas Naturales o Sintéticas Tipo A |
| Descomposición de Cianuro | Química o Biológica | Químico | Fisicoquímico |
| Manejo de pH | Sensibles por los microorganismos y Plantas | Permite, adaptar el pH (ácidos y alcalinos) | Permite, adaptar el pH (ácidos y alcalinos) |
| Remoción de otros metales | Depende de los microorganismos o plantas, además del pH | Por Adsorción | Regulando pH químicamente |
| Costo de Mantenimiento | Bajo | Alto | Medio |
| Topografía | requiere Estudio | requiere estudio para el sistema foto catalítico | Existe, estudio topográfico |

Fuente: Autor

4.4.2 Evaluación económica, social y ambiental

Para la evaluación se tuvo en cuenta los siguientes criterios presentados en la Tabla 8 para cada uno de los aspectos social, ambiental y económicos.

Tabla 8. Evaluación tomando en cuenta el aspecto ambiental, económico y social.

| ASPECTO AMBIENTAL | ALTERNATIVA I | ALTERNATIVA II | ALTERNATIVA III |
|--|---|--------------------|-------------------------|
| | Humedal artificial de flujo superficial | PTAR Fotocatalisis | PTAR Intercambio Iónico |
| Disminución de la carga orgánica lanzada a la fuente hídrica | X | X | X |
| disminución de metales pesados en las descargas a fuentes hídricas | | X | X |
| Generación de entornos ecológicos y mantenimiento de la capacidad de reproducción del ecosistema | X | | X |
| Mejora del paisaje sobre la fuente hídrica | X | | |
| Deterioro del suelo por acidez, y saturación del aguas, si no se presta la debida atención a las necesidades de filtración y drenaje. | | X | X |
| Presencia de vectores de enfermedades, si no hay control adecuado. | | X | |
| Contaminación de agua subterránea a causa de elementos contaminantes no removidos por el sistema de tratamiento y la no adecuada impermeabilización adecuada. | X | | |
| Presencia de elementos fitotóxicos que pueden acumularse en los cultivos o transmitirse a lo largo de la cadena alimenticia por la descarga de vertimientos sin tratamiento previo | X | X | x |
| ASPECTO ECONOMICO | ALTERNATIVA I | ALTERNATIVA II | ALTERNATIVA III |
| | Humedal artificial de flujo superficial | PTAR Fotocatalisis | PTAR Intercambio Iónico |
| Menor gasto en tratamiento médico | X | X | X |
| Fertilización de suelos por el tratamiento de vertimientos | X | X | X |
| Ampliación de la frontera Agrícola o Ganadera | | | |
| Disminución de tierras para la producción agrícola por ceder terrenos para el tratamiento | X | X | X |
| Perdida de agua por evaporación e infiltración por el sistema de tratamiento o de estabilización. | X | X | X |
| Emisarios más largos y costosos | X | X | X |
| ASPECTO SOCIAL | ALTERNATIVA I | ALTERNATIVA II | ALTERNATIVA III |

| | Humedal artificial de flujo superficial | PTAR Fotocatalisis | PTAR Intercambio Iónico |
|---|--|---------------------------|--------------------------------|
| Disminución de Enfermedades | | X | X |
| Empleos generados por la construcción, operación y mantenimiento de la planta | X | X | X |
| Protección de las comunidades aguas abajo de las descargas Residuales | X | X | X |
| Educación de los pobladores sobre la importancia del Tratamiento de los vertimientos de la actividad minera aurífera | | X | X |
| Pérdida del valor de terrenos aledaños, si se presentan malos olores o molestias por el diseño incorrecto o inadecuada operación y mantenimiento de la alternativa de tratamiento | X | | X |
| Efectos adversos a la salud de los habitantes u operarios, por la falta o inadecuada aplicación de medidas de protección | X | X | X |
| Efectos adversos a la salud de los consumidores de productos generados a sus alrededores | X | X | X |
| Efectos adversos a la educación en jóvenes del sector | X | | X |

Fuente: Autor

De acuerdo a los criterios presentados anteriormente en las plantas visitadas, se determinó realizar un seguimiento eficaz aplicando una matriz de priorización bajo los siguientes criterios:

Criterio 1. Seleccionar 4 aspectos de importancia en cada uno de los procesos.

Criterio 2. Seleccionar las Alternativas por nivel de Impacto.

Criterio 3. Establecer la asignación de puntajes de la siguiente manera:

1) Impacto Leve

4) Impacto Moderado

2) Impacto Bajo

5) Impacto Alto

3) Impacto Medio

La Tabla 9 muestra el resultado cualitativo de la evaluación de alternativas desde el punto de vista social, económico y ambiental.

Tabla 9 Matriz de evaluación

| Aspectos Alternativa | Social | Económico | Ambiental | Rapidez en la implementación | Total |
|---------------------------------------|---------------|------------------|------------------|-------------------------------------|--------------|
| Humedal Artificial | 4 | 3 | 4 | 3 | 14 |
| PTAR - Fotocatálisis | 2 | 3 | 3 | 4 | 12 |
| PETAR – Intercambio Iónico | 5 | 4 | 4 | 5 | 18 |

Fuente: Autor

Con base en la puntuación obtenida, se determinó la importancia de la alternativa PETAR – Intercambio Iónico, como propuesta para el tratamiento de aguas residuales industriales de la actividad de Beneficio de oro; esta alternativa se rige bajo el reglamento técnico de agua potable y saneamiento básico - RAS 2000.

Resultados de Priorización:

1. PTAR – Intercambio Iónico.
2. Humedal Artificial.
3. PTAR – Fotocatálisis.

4.5 Diseño conceptual de la alternativa III: Planta de tratamiento de aguas residuales con intercambio iónico.

Como primer paso para el desarrollo de la propuesta del diseño conceptual se plantea la metodología.

4.5.1 Metodología para la propuesta de diseño de una planta para el tratamiento de Vertimientos.

PRETRATAMIENTO: como etapa inicial en el diseño, el pretratamiento no se considera un tratamiento con el que se logre reducir la carga contaminante de los vertidos, pero si desempeña un papel fundamental, debido a que elimina elementos que pueden causar descensos en la eficiencia del tratamiento, protege los equipos, partes y unidades de la depuradora de daños que pueden resultar adversos para el funcionamiento de la planta y del sistema de evacuación y transporte de aguas residuales, en general. Los parámetros de diseños para las estructuras siguen lo previsto en RAS 2000 título E. Tratamiento de aguas residuales municipales.

Los objetivos principales de la etapa del pretratamiento, son:

- a) Eliminar material grueso.
- b) Eliminar arenas.

La selección del tipo de dispositivos para la etapa de pretratamiento, dependerá de:

- a) Tipo de aguas residuales.

- b) Características del agua residual.
- c) Tipos de unidades que serán empleadas posteriormente.
- d) Nivel de operación de la PTAR.

- **Caudal (Q)**

Caudal, es la medida de la cantidad de un líquido que fluye de modo natural o mecánico en un determinado lugar en función del tiempo, la expresión matemática es:

$$Q = \frac{V}{t}$$

Ecuación (1)

Donde:

V= Volumen de líquido o gas (m³)

t = tiempo de flujo (segundos)

Para realizar una toma adecuada de caudales, se debe realizar tres tomas puntuales o muestreos, para obtener un promedio, conservando el mismo tiempo, de esta manera se obtiene el dato de interés y a esta se le denomina método volumétrico, para caudales superiores a 4 l/s se recomienda un recipiente de 10 litros de capacidad.

- **Canal de entrada**

La entrada de aguas residuales a la planta de tratamiento de aguas residuales, generalmente se hace mediante un canal de sección rectangular y este siempre va anterior a la unidad de desbaste, este canal se diseña con la ecuación de Manning, el canal deberá tener un ancho y una profundidad mínima, con un área vertical útil, mayor o igual a las dimensiones del colector de aguas residuales que conduce el caudal a la PTAR, los criterios mínimos son los siguientes, presentados en la Tabla 10.

Tabla 10. *Criterios de diseño para el canal de entrada*

| Parámetro | Valor o Rango |
|--|---|
| Altura mínima de lámina del agua | 0,3 m |
| Velocidad de flujo en el canal | 0,6 a 1,0 m/s |
| Borde libre (por encima del caudal al final del periodo de diseño) | 0,3 a 0,4 m |
| Coefficiente de Rugosidad de Manning | 0,014 (Independientemente del material de construcción) |

Fuente: RAS 2000

$$Q = A * V$$

$$A = \frac{Q}{V}$$

Ecuación (2)

$$L * L = A$$

Ecuación (3)

$$S = \left[\frac{V * n}{\left(\frac{A}{3 * l} \right)^{\frac{2}{3}}} \right]^2$$

Ecuación (4)

- **Rejilla de limpieza manual**

Posterior a canal de entrada y como parte de la etapa de pretratamiento es necesario adaptar en el canal de llegada a la plantas de tratamiento una sección de rejillas inclinadas usualmente a 60° respecto de la horizontal, para facilitar las labores de limpieza del operario, quien retira los sólidos retenidos en la rejilla con ayuda de un rastrillo u otra herramienta similar dentada y los dispone temporalmente en una patio de lodos o también conocida como depósito escurridor, para eliminar el agua.

Los criterios de diseño de las rejillas presentados en la Tabla 11, se fundamentan en las velocidades de paso del flujo de aguas residuales, a través de ellas. Esta velocidad no debe ser tan baja que promueva la sedimentación de sólidos en el canal ni tan alta que genere arrastre de sólidos ya retenidos por las barras de la reja.

Tabla 11. *Criterios de diseño de las rejillas de desbaste*

| Parámetro | Valor o Rango |
|--|---------------|
| Velocidad mínima de paso | 0,6 m/s |
| Velocidad máxima de paso | 1,4 m/s |
| Grado de colmatación estimado entre intervalos de limpieza | 30% |
| Pérdida de carga máxima admisible | 15 cm |

Fuente RAS 2000

Una vez se tengan definidas las dimensiones del canal de desbaste, el área del canal en la zona de la rejilla se puede calcular con la siguiente expresión:

$$Ar = Bc * \frac{L}{L + b} * \left(1 - \frac{G}{100}\right)$$

Ecuación (5)

Debido a que las rejillas restan área útil del canal, incrementando la velocidad del flujo entre la rejilla, se hace necesario, en ocasiones, incrementar el ancho del canal en la zona donde está ubicada la criba o aumentar la profundidad. Para estimar el ancho o la profundidad en la zona de la rejilla, se puede emplear la siguiente expresión:

$$P = Q * \frac{b + L}{\left(1 - \frac{G}{100}\right) * Vp * L * Bc}$$

Ecuación (6)

La pérdida de carga generada por la rejilla, la diferencia de altura de la lámina de agua antes y después del paso por la rejilla se puede calcular con la siguiente expresión:

$$\Delta H = \frac{Vp^2}{9,1}$$

Ecuación (7)

El número de barras se puede calcular con la siguiente expresión

$$N = \frac{Br - L}{b + L}$$

Ecuación (8)

- ***Diámetro de tubería***

Según datos establecidos por el sistema de recolección y evaluación de aguas residuales y pluviales (RAS-2000), el diámetro mínimo para colectores de complejidad media es de 100mm (4pulg). Además, se debe de procurar que la capacidad real de transporte de las tuberías no exceda el 60% de su capacidad a tubo lleno. Los tipos de tubería sus diámetros correspondientes se muestran a continuación en la Tabla 12.

Tabla 12. *Diámetros de Tuberías*

| Tipo de Tubería | Diámetro (mm) |
|-----------------------------------|----------------------|
| Conexión Domiciliaria | 150 |
| Tirante de Sumidero | 200 |
| Colectores Sanitarios | 250 |
| Colectores Combinados y Pluviales | 300 |
| Sifón Invertido | 150 |

Fuente. RAS 2000

- ***Material de la tubería:***

La tubería y el material con el que se instalará deben de cumplir con los estándares de calidad establecido, además debe de ser resistente a las infiltraciones generadas, esto con el fin de

garantizar seguridad en el sistema de alcantarillado. Para poder elegir el material de la tubería se debe de considerar las características físico, químicas del agua que se desea transportar, así como también las características del terreno, y otros factores que puedan alterar la integridad de la tubería.

- *Coefficiente de rugosidad (n):*

Proveniente de la Fórmula de la Velocidad de Manning, es un valor que está determinado por el tipo de material de la tubería. Este coeficiente varía según el tipo de textura del material, cámaras de inspección, y otras instalaciones que pueden provocar rugosidad debido al grado de incertidumbre por lo que es recomendable no utilizar un valor menor a 0,014 para este coeficiente. En la Tabla 13 se muestra la velocidad máxima de cada material con su respectivo coeficiente de rugosidad.

Tabla 13. *Coefficientes de Rugosidad en Tuberías*

| Material | Velocidad Máxima (m/s) | Coef. de Rugosidad (n) |
|---------------------------------------|------------------------|------------------------|
| Tubería de Hormigón simple y/o armado | 3,5 – 4 | 0,0013 – 0,0015 |
| Tubería plástica | 4,5 | 0,010 – 0,0015 |
| Tubería de asbesto/cemento | 4,5 – 5 | 0,0011 – 0,015 |

Fuente. RAS 2000

TRATAMIENTO PRIMARIO

Esta etapa tiene como objetivo eliminar, por efecto de la gravedad, los sólidos suspendidos de las aguas residuales; se logra bien sea de manera libre, o asistida con químicos que aglomeran las partículas (floculantes) para que ganen peso y decanten con mayor velocidad.

Los sólidos suspendidos eliminados, en su mayoría son materia orgánica, por lo cual se presenta una reducción importante en la concentración de DBO del efluente. Las operaciones unitarias más frecuentemente empleadas para el tratamiento primario de las aguas residuales son:

Decantadores, Tamices, estos son usados generalmente, para aguas residuales industriales, Unidades de decantación asistida químicamente. Para aguas residuales industriales, suelen emplearse también unidades de flotación, los criterios de diseño siguen lo establecido en RAS 2000. Título E. p. E 54.

- ***Canal Parshall***

El canal Parshall, Es un aforador crítico y dentro de los más conocidos, se dio a conocer en 1920 por R.L. Parshall. Cumple y con un doble propósito en las plantas de tratamiento de agua, el de servir de medidor de caudales y a través de la turbulencia que se genera a la salida, servir de punto de aplicación de coagulantes. El diseño de un canal consta fundamentalmente de una contracción lateral que forma la garganta (W), y de una caída brusca en el fondo, en la longitud correspondiente a la garganta, seguida por un ascenso gradual coincidente con la parte divergente. El aforo se alcanza con base en las alturas de agua en la sección convergente y en la garganta, leída

por medio de piezómetros laterales. El Canal Parshall tiene tres partes fundamentales que son: la entrada, la garganta, la salida. Por lo tanto, la entrada, como la salida está formadas por dos paredes verticales simétricas y convergentes, el fondo es inclinado con pendiente ascendente 4:1

La garganta la definen dos paredes verticales paralelas, el fondo es inclinado con una pendiente descendente 2,67:1. La distancia de la sección de la garganta determina el tamaño del medidor y se designa por w . La salida está formada por dos paredes verticales divergentes y el fondo es ligeramente inclinado con una pendiente ascendente de 17,9:1

Para el diseño de una canaleta Parshall como mezclador, se utiliza el procedimiento a partir de estudios empíricos que determinaron diferentes límites de caudal en función del ancho de garganta de la canaleta, La Tabla que a continuación se muestra, permite determinar el ancho de la garganta dentro de los rangos de caudales máximos y mínimos, esta determinación nos sirve cuando utilicemos la canaleta Parshall como aforador.

Las ecuaciones matemáticas para las medidas de diseño se presentan a continuación:

Condición Hidráulica de Entrada (Q)

$$Q = (K * H)^n$$

Ecuación (9)

Tabla 14. *Valores establecidos y Constantes para el Diseño de un Canal Parshall*

| Unidades Métricas | | |
|-------------------|-------|-------|
| W | K | n |
| 3'' | 0,176 | 1,547 |
| 6'' | 0,381 | 1,580 |
| 9'' | 0,535 | 1,530 |

Fuente. Azevedo & Alvarez, 1976

Tabla 15. *Ancho W de la Parshall en función del caudal (Q)*

| Ancho W | Limites de Caudal (l/s) | |
|---------|-------------------------|----------|
| | Q Mínimo | Q Máximo |
| 1'' | 0,28 | 5,67 |
| 2'' | 0,57 | 14,15 |
| 3'' | 0,85 | 28,31 |
| 6'' | 1,42 | 110,44 |
| 9'' | 2,58 | 252,00 |

Fuente. Romero Rojas, 2008

Tabla 16. *Dimensiones estándar de Medidores Parshall en (cm)*

| W | (Cm) | A | B | C | D | E | F | G | K | N |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|
| 1'' | 2,54 | 36,6 | 35,6 | 9,3 | 16,8 | 22,9 | 7,6 | 20,3 | 1,9 | 2,9 |
| 3'' | 7,6 | 46,6 | 45,7 | 17,8 | 25,9 | 38,1 | 15,2 | 30,5 | 2,5 | 5,7 |
| 6'' | 15,2 | 62,1 | 61 | 39,4 | 40,3 | 45,7 | 30,5 | 61 | 7,6 | 11,4 |
| 9'' | 22,9 | 88 | 86,4 | 38 | 57,5 | 61 | 61 | 45,7 | 7,6 | 22,9 |

Fuente: Azevedo & Alvarez, 1976

- **Decantación o Sedimentación Primaria**

La decantación primaria, presenta una característica importante debido a que, al tratar partículas presentes en la mayoría de aguas residuales, por su baja densidad y poco tamaño, estas no alcanzan a ser removidas en el tratamiento primario. La mayor parte de estas partículas que pueden comprenderse entre un 50 a 70% corresponden a materia orgánica en suspensión, la cual

debe ser eliminada en tanques con velocidades muy bajas, tiempos largos de retención y flujos laminares que permitan una decantación de estas partículas por efecto de la gravedad. La sedimentación se presenta de diferentes maneras dependiendo de la temperatura, del tipo de partículas presentes, de su concentración en el agua, del tipo de sedimentador y de la zona de la unidad en donde ocurre ese fenómeno.

Los decantadores son unidades de tamaño considerable, debido a los altos tiempos de retención hidráulica que emplean. Luego del proceso de decantación, queda como producto agua residual clarificada y un lodo primario. En casos de minería, la decantación primaria es el único proceso de depuración que se le realiza al agua, siempre y cuando la legislación lo permita y el efluente cumpla con los niveles de remoción establecidos. A pesar de que un tratamiento primario logre cumplir con la normativa ambiental, la calidad del efluente podrá causar impactos considerables a los ecosistemas hídricos. Por tanto, el tratamiento primario suele ser parte de un proceso más largo, acompañado, al menos, un proceso, químico, biológicos que reduzcan los niveles de carga contaminante o presencia de metales pesados.

Existen diferentes tipos de decantadores empleados en el tratamiento de aguas residuales, estos pueden clasificarse así:

- Decantadores Circulares: el agua ingresa ascendiendo por el centro y es recogida en un canal perimetral.
- Decantadores Rectangulares: el agua ingresa por un extremo y es extraída por el opuesto.

Para el diseño del sedimentador primario de geometría rectangular, se debe tener en cuenta el área superficial al igual que el caudal medio o equivalente, se propone un valor de carga de superficie, como lo indica el RAS 2000. Título E. p. E 54

$$A = \left(\frac{Q}{Cs} \right)$$

Ecuación (10)

Se debe considerar una relación entre el ancho y el largo de 1:4 a 1:8. La relación entre el largo y la profundidad debe estar entre 5:1 y 25:1

$$L = \sqrt{\frac{A}{4}}$$

Ecuación (11)

$$\text{Ancho} = L * 4$$

Ecuación (12)

$$V = L * P * H$$

Ecuación (13)

(valor propuesto = 2m)

Tiempo de Retención. (Tr)

$$Tr = \frac{V}{Q}$$

Ecuación (14)

De acuerdo al manual RAS 2000. Título E. p. E 54, el tiempo de retención para un tanque sedimentado de flujo horizontal debe estar entre 1,2 a 4 horas.

Velocidad de Arrastre

$$Va = \sqrt{\frac{(8 * k * (s - 1) * d)}{f}}$$

Ecuación (15)

Velocidad Horizontal

$$Vh = \frac{Q}{Ax}$$

Ecuación (16)

Si el valor de La velocidad horizontal es menor que el valor de la velocidad de arrastre, el material sedimentable no será re suspendido

Calculo del Porcentaje de remoción de DBO Y SST

$$\%DBO = \frac{t}{a + (b * t)}$$

Ecuación (17)

$$\%SST = \left(\frac{t}{a + (b * t)} \right)$$

Ecuación (18)

- **Filtro lento**

En la etapa final se propone un filtro lento de flujo descendente de forma rectangular, con 0,40 a 0,45 m de espesor de grava gruesa y Carbón activado, además de un sistema de drenaje apropiado para el lecho, el agua residual a tratar tendrá aproximadamente entre 1,00 a 1,50 m de espesor. La grava servirá como soporte al carbón activado, evitando que esta se escape por el sistema de drenaje, permitiendo una distribución uniforme al tratar el agua, los granos de carbón activado serán de 0,30 mm aproximadamente y dispuesta como capa sobre la grava, finalmente sobre la capa de carbón activado se servirá una capa de zeolita tipo A, con un espesor de 0,20 m.

Área superficial

El cálculo del área superficial del filtro depende del caudal a tratar, la velocidad de filtración y el número de filtros, para este caso como es un proceso batch, se tendrá en cuenta una unidad. Y la expresión matemática es la siguiente.

$$As = \left(\frac{Q}{N + vf} \right)$$

Ecuación (19)

- **Coefficiente K**

Se denomina coeficiente de mínimo costo y es un parámetro que depende del número de unidades de filtrado, su expresión matemática es la siguiente

$$K = \left(\frac{2 * N}{N + 2} \right)$$

Ecuación (20)

- **Dimensiones del Filtro**

Las dimensiones del filtro denominadas (a) para ancho y (l) para largo se expresan matemáticamente así:

$$L = (As * k)^{\frac{1}{2}}$$

Ecuación (21)

$$a = \left(\frac{As}{k} \right)^{\frac{1}{2}}$$

Ecuación (22)

Para la entrada y llenado del filtro, la velocidad debe ser baja aproximadamente entre 0,3 m/s, para evitar escarificar el lecho, se debe tener en cuenta que el aire presente en el lecho quede atrapado entre la antracita y la grava, esto con el propósito de evitar obstrucciones del paso de aguas, durante el proceso de filtración.

- ***Lecho de Secado***

Se dispondrá de una estructura filtrante que permita que los lodos generados en tanques y sedimentadores, sean evacuados manualmente, secados y filtrados con el fin de devolver el lixiviado al tratamiento. La configuración del lecho será convencional rectangular y siguiendo las especificaciones dispuestas en el RAS 2000, título E, generalmente sus características son las siguientes: baja profundidad, con fondo poroso acondicionada con una red de drenaje, la cual conducirá el lixiviado hasta un tanque acumulador, evitando que este ocasione contaminación del agua tratada y descargada a la fuente hídrica, constará de una capa de arena sobre capa de grava, y poseerá una cubierta.

4.5.2 Cálculos de diseño de equipos para la planta de tratamiento de Vertimientos.

PRETRATAMIENTO

Los datos mostrados en la tablas 17, 18 y 19, que a continuación se presentan, obedecen al manejo matemático que se describió en la metodología para la etapa de pretratamiento, el cual comprende las ecuaciones (1 – 8) y criterios de diseño de las tablas expuesta previamente.

Tabla 17. Dimensiones del canal de llegada

| DIMENSIONES DEL CANAL DE LLEGADA | | |
|---|-------------------|-------------|
| Qmax | m ³ /s | 0,075156018 |
| Area del canal (A) | m ² | 0,125260031 |
| altura del canal (L) | m | 0,28 |
| Ancho del canal (b) | m | 25 |
| Velocidad de Salida | m/s | 9,27014563 |
| Pendiente propuesta | | 1% |

Fuente. Autor

Tabla 18. Diseño de Rejillas

| DISEÑO DE REJILLAS | | |
|--|-----------------|--------------|
| CRITERIOS DE DISEÑO | | |
| Tipo de rejas | MATERIAL | |
| Barras | Acero | |
| DATOS DE ENTRADA | UNIDADES | VALOR |
| Angulo de inclinación de las rejas | Grados (°) | 60 |
| separación de las barrar, propuesto | m | 0,005 |
| espesor de cada barra | m | 0,0254 |
| Ancho del canal de entrada | m | 0,25 |
| Velocidad a través de las rejas limpias | m/s | 0,3 |
| Velocidad a través de las rejas obstruidas | m/s | 0,6 |

Fuente: Autor

Tabla 19. *Calculo de Área Libre*

| CALCULO DE AREA LIBRE (Al) | | |
|--|----------------------|--------------|
| DATOS DE ENTRADA | UNIDADES | VALOR |
| Qmax | m ³ /s | 0,075156018 |
| Velocidad reja obstruida | m/s | 0,6 |
| Área libre | m ² | 0,125260031 |
| Área libre aproximada | m² | 0,035 |
| Tirante o profundidad de flujo = (h) | m | 0,14 |
| valor aproximado | m | 0,14 |
| Altura propuesta por el Diseñador (Hs) | m | 0,14 |
| Altura Final del Canal (H) | m | 0,28 |

Fuente: Autor.

 Tabla 20. *Calculo entre Barras*

| CALCULO SEPARACIÓN ENTRE BARRAS (bg) | | |
|---|-----------------|--------------|
| DATOS DE ENTRADA | UNIDADES | VALOR |
| Ancho del canal = (b) | m | 0,25 |
| Sumatoria de separación entre barras= (s) | m | 0,005 |
| Separación entre barras = (e) | m | 0,0254 |
| Espesor de las barrar, propuesto = (e) | m | 0,0254 |
| Separación entre barras (bg) | m | 0,0013059211 |

Fuente. Autor

 Tabla 21. *Longitud de las Barras*

| CALCULO - LONGITUD DE LAS BARRAS (Ae) | | |
|--|-----------------|--------------|
| DATOS DE ENTRADA | UNIDADES | VALOR |
| Valor aproximado o profundidad = (h) | m | 0,14 |
| Angulo de Inclinación = (θ) | ° | 60 |
| longitud de la barra = (Lb) | m | 0,161562019 |

Fuente. Autor

Tabla 22. *Número de Barras Necesarias.*

| CALCULOS PARA - NÚMERO DE BARRAS NECESARIAS | | |
|---|---------------|-------------|
| (n°) | | |
| DATOS DE ENTRADA | UNIDADES | VALOR |
| longitud de barras (bg) | m | 0,213059211 |
| Diametro de cada barras = (e) | m | 0,0254 |
| Número de Barras = (n°) | barras | 9,0 |

Fuente. Autor.

Tabla 23. *Criterio de Diseño del Canal Parshall.*

| W | (Cm) | A | B | C | D | E | F | G | K | N |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|
| 1'' | 2,54 | 36,6 | 35,6 | 9,3 | 16,8 | 22,9 | 7,6 | 20,3 | 1,9 | 2,9 |
| 3'' | 7,6 | 46,6 | 45,7 | 17,8 | 25,9 | 38,1 | 15,2 | 30,5 | 2,5 | 5,7 |
| 6'' | 15,2 | 62,1 | 61 | 39,4 | 40,3 | 45,7 | 30,5 | 61 | 7,6 | 11,4 |
| 9'' | 22,9 | 88 | 86,4 | 38 | 57,5 | 61 | 61 | 45,7 | 7,6 | 22,9 |

Fuente: Azevedo & Alvarez, 1976

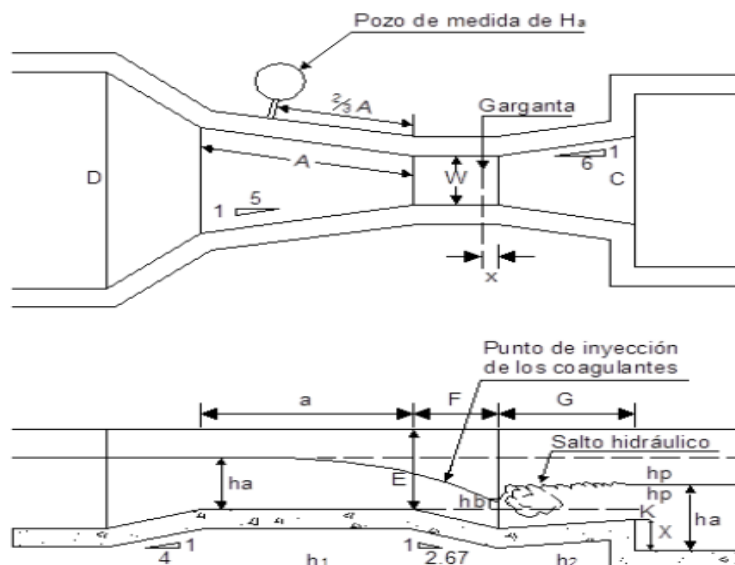


Figura 9. *Canal Parshall.*

Fuente: Azevedo & Alvarez, 1976

Tabla 24. *Parámetros de Diseño canal Parshall*

| Parámetro | Nomenclatura | Dimensiones (cm) |
|--|--------------|--------------------|
| Tamaño de garganta | W | 15,2 |
| Longitud de la pared lateral de la sección convergente | A | 62,1 |
| Longitud de la sección convergente | B | 61,0 |
| Ancho del extremo de aguas arriba de la canaleta | C | 39,4 |
| Ancho del extremo de aguas abajo de la canaleta | D | 40,3 |
| Profundidad de la canaleta | E | 45,7 |
| Longitud de la garganta | F | 30,5 |
| Longitud de la sección divergente | G | 61,0 |
| Diferencia de nivel entre el punto más bajo de la canaleta y la cresta | K | 7,6 |
| Profundidad de la depresión de la garganta debajo de la cresta | N | 11,4 |

Fuente: Azevedo & Alvarez, 1976

TRATAMIENTO PRIMARIO

El sedimentador se diseñó de acuerdo al caudal máximo esperado, de geometría rectangular con una relación de longitud: ancho 1.5:1 y 15:1, una pendiente de 6%, el tiempo de retención 5, 41 horas, de acuerdo al RAS 2000 Titulo E, el tiempo de retención mínimo debe ser de una hora. Ver tabla 21. Criterios para el sedimentador primario

El tanque de sedimentación primario tiene como objetivo la eliminación de sólidos sedimentables, aceites y materia flotante, también materia orgánica, tiene la capacidad de eliminar el 50 % y 70 % de los sólidos suspendidos y entre el 25% y 40% de la DBO₅. Los datos presentados en las tablas 25 y 26 corresponden a las operaciones Unitarias presentes en el tratamiento primario, los criterios de diseño se calcularon siguiendo las ecuaciones (19 – 22).

Tabla 25. *Sedimentador primario*

| CALCULO PARA EL SEDIMENTADOR PRIMARIO | | |
|--|-------------------------------------|--------------|
| DATOS DE ENTRADA | UNIDADES | VALOR |
| Caudal Medio día (Qmd) | m ³ /día | 518,4 |
| Carga de Superficial (Cs) | m ³ /m ² *día | 30 |
| Área Superficial | m ² | 37,5 |
| Largo | m | 7,5 |
| Ancho | m | 5 |
| Profundidad | m | 3,12 |
| Volumen | m ³ | 117 |
| Tiempo de Retención (Tr) | Días | 0,22569444 |
| Tiempo de Retención (Tr) | Horas | 5,41666667 |
| Velocidad de Arrastre (Va) | m/s | 0,06264184 |
| Velocidad Horizontal (Vh) | m/día | 33,2307692 |
| Velocidad Horizontal (Vh) | m/s | 0,00038462 |
| Remoción de DBO | % | 42,8759894 |
| Sólidos suspendidos Totales | % | 65 |

Fuente. Autor

TRATAMIENTO SECUNDARIO

Tabla 26. *Criterio de Diseño de un filtro lento*

| CALCULO DE FILTRO LENTO | | |
|--|-------------------|--------------|
| DATOS DE ENTRADA | UNIDADES | VALOR |
| Qmax | m ³ /s | 0,07515602 |
| Area superficial | m ² | 100 |
| Velocidad de Filtración | m/s | 0,00075156 |
| Número de Unidades | - | 3 |
| Qmax | m/h | 270,561666 |
| Velocidad de Filtración | m/s | 2,70561666 |
| Area superficial | m ² | 33,3333333 |
| CALCULO COEFICIENTE MINIMO DE COSTO | | |
| DATOS DE ENTRADA | UNIDADES | VALOR |
| Número de unidades | - | 3 |
| Coefficiente minimo | - | 1,5 |
| CALCULO DE LARGO Y ANCHO DEL FILTRO LENTO | | |
| DATOS DE ENTRADA | UNIDADES | VALOR |
| Largo | m | 7,07106781 |
| Ancho | m | 4,71404521 |

Fuente. Autor.

PROPUESTA DEL DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.

De acuerdo con los resultados presentados en este trabajo, la propuesta como alternativa para el tratamiento de vertimientos producto de la actividad de beneficio de oro en el distrito de California – Vetas, Quebrada la Baja consta de las siguientes etapas:

- ✓ primera etapa, la construcción de un canal de llegada con rejillas para remover al máximo gruesos que puedan ocasionar afectación a las tuberías o interrupciones en las descargas al sistema de tratamiento, este canal tendrá una longitud mínima de 4m, un caudal de 4l/s y unas dimensiones: largo: 4m, ancho 25 cm, alto 30cm. Dispondrá de una rejilla de nueve (9) barras y una longitud de barras de 21 cm

- ✓ segunda etapa, la implementación de un canal Parshall que permita controlar el nivel de agua que va a ingresar a la planta de tratamiento y adicionalmente aprovechar la zona de turbulencia que genere este canal para homogenizar la corriente de entrada al sedimentador con el reactivo a emplearse. Este constara de: ancho de 25 cm, luego su $W= 6''$, acompañado de un tanque de aforo para medir de capacidad de 4,5 metros cubicos

- ✓ Tercera etapa, la construcción de un sedimentador primario que recibe las aguas provenientes de la actividad de beneficio, este tanque alcanzara la sedimentación o decantación de los sólidos, permitirá que el agua salga por reboce, los lodos o arenas van a contener parte de los metales pesados que acidifican el agua, con esta operación se garantizara la reducción de metales pesado en el agua, las dimensiones de este sedimentador son: Largo: 7,5 m; ancho 5,0 m; Profundo 3,12m, su capacidad será de 117 metros cúbicos, el area superficial es de 37,5 metros cuadrados y el tiempo de retención en el tanque sedimentador sera de 5,41 horas mínimo, el cual alcanzara una remoción de DBO 42,87% y de SST de 65% aproximadamente.

- ✓ Se dispondrá de un espacio lecho de secado para los lodos producidos en el proceso de tratamiento, este lecho tendrá unas medidas de largo: 7,0m; ancho 4,0m; y profundidad de 50cm, dispondrá de una rampa con pendiente superior a 1% e inferior a 5%.
- ✓ Luego estas serán conducidas del sedimentador primario a un tanque de neutralización, al agua se le realiza un tratamiento químico para reducir aún más los sulfatos, con un ajuste de pH que sea productor de alcalinidad, perjudicando de esta manera la oxidación de sulfuros y adicionalmente que se eliminen metales pesados, al volverlos insolubles. Este tanque tendrá una capacidad de 117 metros cúbicos.
- ✓ Finalmente pasara a un filtro lento con materiales que ayuden en el proceso, como lo es el uso de carbón activado y zeolitas tipo A empleados en la filtración y con estudios que indican la remoción de parámetros como Mercurio, principalmente. El área superficial del filtro será de 33 metros cuadrados, contará con una velocidad de filtración de 2,705 metros por segundo, el caudal de llega al filtro será de 270,56 metros cúbicos por hora y su capacidad será de 85 metros cúbicos. Las capas estarán dispuestas así: 0,45 m de grava; 0,30 m de carbón activado y 0,30 Zeolita tipo A.
- ✓ De acuerdo con estudio de monitoreo realizados por la CDMB y en apoyo con el Ministerio de Minas, con estas cuatro etapas se logra el aumento de pH en un rango de (6-8) de la descarga residuales vertidas sobre la Quebrada la Baja, la reducción de sulfatos, que sería uno de los parámetros que se mejoraría significativamente, como también ocurriría con la concentración de metales como: cobre, hierro, y pesados como cinc, los cuales pueden regularse a niveles

permitidos en la resolución 0631 de 2015, en cuanto a mercurio y cianuro se tienen avances que también lograría reducirse durante estas etapas; el nivel reportado en la caracterización.

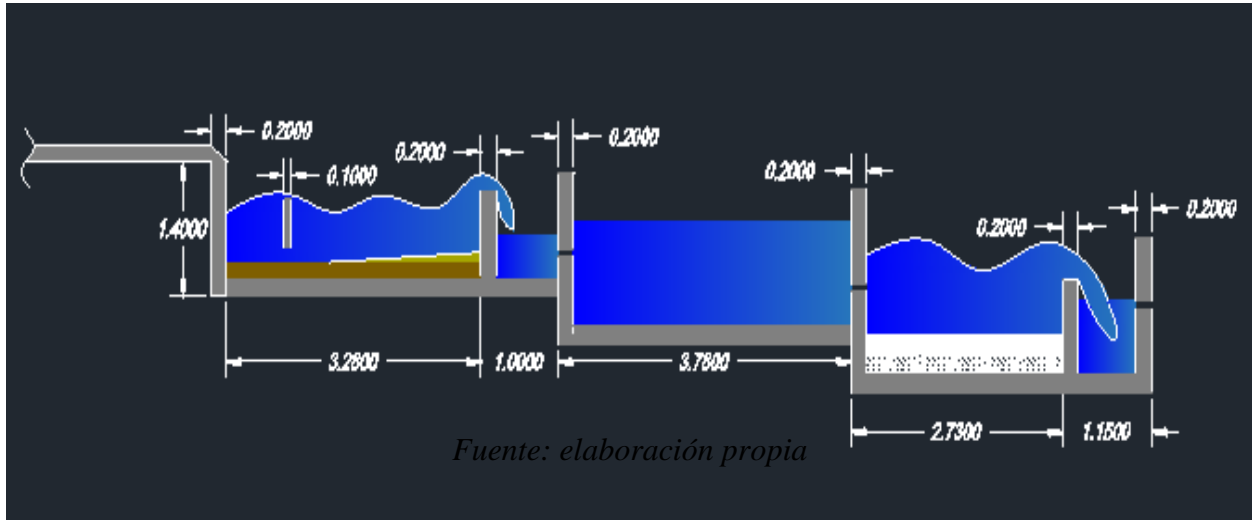


Figura 10. Esquema de planta de tratamiento

Fuente: Autor

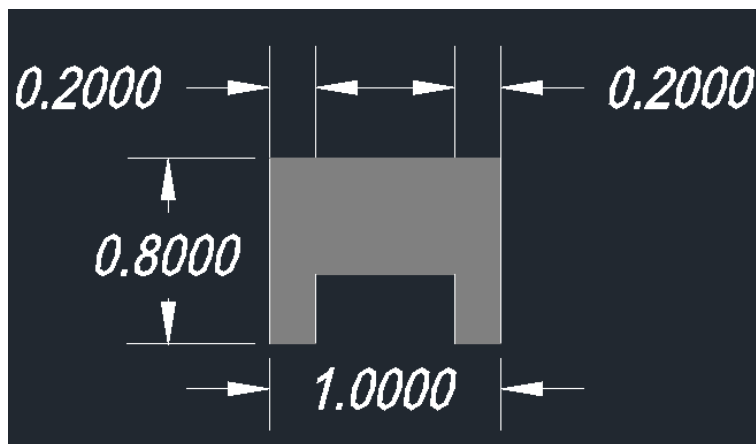


Figura 11. Esquema Diseño de PTAR - propuesta.

Fuente: Autor

PROCESO FISCOQUIMICO

El proceso fisicoquímico se propone con base en la literatura y el correcto manejo de los vertimientos para la minería de metales: el uso de Cal para realizar la neutralización de aguas acidas, la cal es el reactivo más utilizado y se propone aplicarlo en zonas de mezclas rápidas y en dos etapas, la primera en el canal de aforo o canal parshall aprovechando la turbulencia que genera el resalto hidráulico, se debe tener presente la curva de neutralización para el agua residual y tiempo de retención. La segunda en el tanque de neutralización para luego someterla a un filtro percolador de carbón activado como tratamiento secundario de los vertimiento generados, el filtro estará dispuesto de un lecho de material grueso, piedra caliza como primera capa, sobre la cual soportara la capa de carbón activado, su red porosa está constituida por miroporos con tamaños inferiores a 2nm, por mesoporos con tamaños comprendido entre 2nm y 50 nm y por macroporos con dimensiones superiores a los 50nm, que a su vez soportara la capa de Zeolita tipo A, que cumplirán con la función de adsorber los metales pesados como el mercurio. Para el tratamiento de degradación del ion cianuro se propone el uso de peróxido de hidrógeno, este es un elemento ampliamente utilizado en la industria para la destoxificación del cianuro. Este proceso tiene la amplia ventaja sobre otras técnicas de destoxificación, ya que no introduce sustancias extrañas durante su aplicación. El cianuro libre es oxidado en presencia del peróxido de hidrógeno, la química del proceso puede ser ilustrada de la siguiente manera:



Este método es efectivo en un amplio rango de pH. En solución alcalina, los compuestos débiles como los cianuros WAD, son oxidados a cianato y a sus correspondientes hidróxidos metálicos, aunque el pH óptimo para la remoción de estos es 9,5. Los compuestos de cianuro de hierro son

removidos con un pH menor a 9,0. Pero como la remoción de los cianuros de los otros metales es más importante (debido a la baja toxicidad del cianuro de hierro), siempre se mantiene en un pH cercano a 9,0.

La oxidación de los iones cianuro es acelerada en presencia de catalizadores como iones de cobre o formaldehído. En el primer caso, el más utilizado, los iones de cobre son suministrados en forma de sulfato de cobre ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), pero normalmente, el contenido de cobre presente en el efluente de minería aurífera, es suficiente para que acelere la reacción. El tiempo de reacción para llegar a una concentración adecuada varía de entre 20 minutos a 4 horas, dependiendo de la proporción cobre cianuro, el nivel de cianuro y la cantidad de peróxido de hidrógeno empleado.

COSTOS DE INFRAESTRUCTURA

Los costos que se presentó a continuación se consideran con un sobrecosto de más o menos un 30%, del valor total.

- Estructura por Unidad de tratamiento
= \$ **24.611.341** (todo costo)
- Método para la neutralización y degradación de cianuro por mes
= \$ **265.000** (Hidróxido y peróxido)
- Método para la remoción de metales pesados, (zeolita, grava y carbón activado)
- = \$ **5.600.000**

5. Conclusiones

- En el diagnóstico realizado a las plantas de beneficio en el distrito de California - Vetas, se pudo evidenciar mediante análisis de laboratorio que existe la presencia de metales como el mercurio y el anión cianuro, y sus niveles de pH están por fuera de los valores máximos establecidos.
- Se corroboró que los análisis de vertimientos de los pequeños mineros al ser comparados con la normativa vigente no cumplen en su mayoría con los valores máximos exigidos.
- Se generaron y evaluaron alternativas de solución las cuales sirven al pequeño minero como guía técnica conceptual a implementar, para mejorar sus vertimientos y así cumplir con la normativa vigente
- Las alternativas propuestas tuvieron en cuenta aspectos técnicos, sociales, ambientales y económicos con evaluaciones de tipo cualitativo y cuantitativo.
- Independiente de la alternativa a adoptarse por parte del pequeño minero se hace necesario que se mantenga un estricto control y monitoreo de los vertimientos.
- A través de este documento como referencia y con un adecuado seguimiento, monitoreo y acompañamiento por parte de la CDMB al tema de pequeña minería en especial de beneficio de Oro, se desea garantizar la sustentabilidad y sostenibilidad para que las pequeñas empresas mineras puedan seguir siendo competitivas, cumpliendo con las normatividades y así puedan obtener una licencia de Vertimiento.

6. Recomendaciones

- Promover a través de entidades gubernamentales el diseño de sistemas de tratamiento o tecnologías que generen resultados a corto y mediano plazo.
- Brindar capacitación a los pequeños mineros para implementar o adoptar tecnologías limpias de bajo costo en el proceso de beneficio de Oro.
- Asociar a los pequeños mineros para la construcción de una planta de beneficio comunitario que se ajuste a los requisitos ambientales.
- Implementar en el proceso de beneficio de Oro, mesas de concentración gravimétricas para evitar el uso de mercurio y cianuro como única alternativa para la obtención de oro.

LISTA DE VARIABLES.

A = Área transversal tubo colector m^2

V = Velocidad de Flujo en el Canal m^3/s

Q = Caudal (L/s)

n = Coeficiente de rugosidad de Manning

S = Pendiente

A_r = Área útil del canal en la zona de la rejilla (m^2)

B_c = Ancho del Canal (m)

l = Espacio entre barras (m)

b = Ancho de las barras (m)

G = Porcentaje de colmatación (%)

P = Profundidad en la zona de rejillas (m)

V_p = Velocidad de paso entre rejillas (m/s)

ΔH = Perdida de carga generada por la rejilla (m)

V_p = Velocidad de paso del agua a través de la rejilla (m/s)

N = Número de barras (Barrotes)

B_r = Ancho del canal en la zona de rejillas (m)

B = Ancho de las barras (m)

K y n = Constantes para cálculo de lámina del agua

C_s = Carga superficial ($m^3/m^2/día$)

L = Largo (m)

H = Altura (m)

T_r = Tiempo de Retención (Horas)

V = Volumen (m^3)

V_a = Velocidad de Arrastre (m/s)

K = constante que depende del tipo de material arrastrado

S = peso específico de la partícula

g = gravedad (m/s^2)

d = Diámetro de Partícula (m)

f = Factor de Fricción de Darcy – Weisbach

V_h = Velocidad Horizontal (m/s)

A_x = (Profundida * Ancho)

N = número de Unidades

V_f = Velocidad de filtración

K = Coeficiente mínimo

Referencias Bibliográficas

- Adilson Curi, W. J. (2006). *Las Zeolitas y su Aplicación en la Descontaminación de Efluentes Mineros*. SCIELO.
- Aguilar, M. I. (2002). *Tratamiento físico-químico de aguas residuales: Coagulación- Floculación*. España: Universidad de Murcia.
- Antolín, M. T., Rodríguez, L. S., & Piqueras, J. A. (2014). *Tratamiento de Bajo Costo para Aguas Contaminadas por Actividad de Minería*. Madrid.
- Becerra, J. M., & Gutiérrez, M. I. (2013). *Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales en Colombia*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS). (1988). *Sistemas de abastecimiento de agua para pequeñas comunidades: tecnología de pequeños sistemas de abastecimiento de agua en países en desarrollo*.
- Colombia, P. d. (2011- 2014). *Plan Nacional de Desarrollo - PND*. Bogotá.
- Colombia, P. d. (2014 - 2018). *Plan Nacional de Desarrollo - PND*. Bogotá.
- Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga - CDMB. (12 de Octubre de 2016). *cdmb.gov.co*. Obtenido de *cdmb.gov.co*: <http://www.cdmb.gov.co/web/index.php>
- García Gutiérrez, W., & Rey Miranda, G. (s.f.). *Análisis mineralógico, distrito minero Vetas S.S - UIS*.
- Glynn Henry, J., & Gary W., H. (1999). *Ingeniería ambiental. Segunda edición*. México: Pearson Education.
- IDEAM. (2015). *Estudio Nacional del Agua 2014*. Bogotá D.C.
- JAIMES, C. A. (2010). *Guía Minero Ambiental para el Beneficio de Oro en el Distrito de Veras-California*. BUCARAMANGA.
- López Pamo, E., & et al. (2002). *Tratamientos pasivos de drenajes ácidos de mina: estado actual y perspectivas de futuro*. . *Boletín Geológico y Minero*.
- Lopez Pamo, E., Aadvine, O., & Barretino, D. (s.f.). *Tratamientos Pasivos de Drenajes ácidos de Mina, estado actual y perspectivas de Futuro* Ministerio Del Medio Ambiente. Dirección General Ambiental Sectorial. *Diagnóstico y Proyecciones de la Gestión Minero Ambiental para las regiones Auríferas de Colombia*. Bogotá D. C.

- Lozano-Rivas. (2012). *Antecedentes y Definiciones Básicas. Diseño de Depuradoras de Aguas Residuales.*
- Ministerio de Desarrollo Económico, Dirección de agua Potable y Saneamiento Básico. . (2000). *Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico (RAS – 2000). Sección II, Título C, Sistemas de Potabilización. Bogotá D.C. .*
- Ministerio de Desarrollo Económico, Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico. (2000). *Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico (RAS – 2000). Sección II, Título E, Tratamiento de Aguas Residuales. . Bogotá D.C. .*
- Ministerio de Minas y Energía . (2015). *Glosario Minero. Bogotá.*
- Ministerio de Minas y Energía. (2015). *Técnicas de para la extracción aurífera, proceso de cianuración y amalgamación.*
- MinMinas. (1988). *Métodos de Explotación Minera. Vetas y Aluvión. .*
- Noller, B., Woods, P., & Ross, B. (1994). *Case studies of wetland filtration of mine waste water in constructed and naturally occurrences systems in northern Australia. Water, Science and Technology, 29, (4), , 257-265.*
- Normas Técnicas para Diseño Ambiental (guías). (s.f.).*
- Ochoa, L. M. (2011). *Estudio de Alternativas de Reuso y Reciclo de Aguas Residuales en Aplicaciones Industriales y Municipales. Bucaramanga.*
- Peña Varón, M. R., Van Ginneken, M., & Madera P., C. A. (2003). *Humedales de Flujo Subsuperficial: Una Alternativa Natural para el Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas en Zonas Tropicales. Ingeniería y competitividad, revista científica y tecnológica. Volumen 5, N 1, .*
- Sistema de información ambiental de Colombia. (s.f.). Calidad del agua. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/web/siac/inicio-cifras>*
- Torres, H. J. (2015). *Asi es la Minería. Colombia Minera.*
- Universidad Nacional Abierta Y A Distancia (UNAD). (2012). *Manejo de aguas residuales en pequeñas comunidades. Obtenido de http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358041/EXE/leccin_22_sedimentadores.h tml.*
- Vaca Mier Mabel *, M. C. (2010). *Tratamiento Terciario de Aguas Residuales por Filtración e Intercambio Iónico. Azcapotzalco.*
- Wildeman, T. R., & Laudon, L. S. (1989). *La utilización de los humedales para el tratamiento de los problemas ambientales de la minería: las aplicaciones de minería no de carbón,.*

Humedales Artificiales para el Tratamiento de Aguas Residuales, DA Hammer, ed. Lewis Publishers, Ann Arbor, M, 221 231.

Anexos

- **GUIA GENERAL PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON INTERCAMBIO IONICO.**

Para la implementación de una PTAR con intercambio iónico, el pequeño minero de oro debe tener en cuenta las siguientes etapas:

1. Caracterización de los vertimientos de la planta de beneficio de Oro.
2. Identificación de los parámetros que no cumplen con los límites máximos permitidos en la resolución 0631 de 2015.
3. Número de operaciones unitarias y procesos unitarios en cada etapa de tratamiento (canales de entrada, rejillas, canales parshall, sedimentadores, tanques de neutralización, filtros, lechos de secado, siempre basado en el principio de una planta de tratamiento de aguas residuales. RAS 2000.
4. Procesos fisicoquímicos a emplear en cada operación.

SECTOR: ACTIVIDADES DE MINERÍA

ARTÍCULO 10. 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 minería. Los parámetros fisicoquímicos que se deberán monitorear y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales no domésticas – ARnD a cuerpos de aguas superficiales de las actividades de minería, serán los siguientes:

MINERÍA

| PARÁMETRO | UNIDADES | EXTRACCIÓN DE CARBÓN DE PIEDRA Y LIGNITO | EXTRACCIÓN DE MINERALES DE HIERRO | EXTRACCIÓN DE ORO Y OTROS METALES PRECIOSOS |
|---|---------------------|--|-----------------------------------|---|
| Generales | | | | |
| pH | Unidades de pH | 6,00 a 9,00 | 6,00 a 9,00 | 6,00 a 9,00 |
| Demanda Química de Oxígeno (DQO) | mg/L O ₂ | 150,00 | 150,00 | 150,00 |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅) | mg/L O ₂ | 50,00 | 50,00 | 50,00 |
| Sólidos Suspendedos Totales (SST) | mg/L | 50,00 | 50,00 | 50,00 |
| Sólidos Sedimentables (SSED) | mL/L | 2,00 | 2,00 | 2,00 |
| Grasas y Aceites | mg/L | 10,00 | 10,00 | 10,00 |
| Fenoles | mg/L | 0,20 | 0,20 | 0,20 |

“Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones”

| PARÁMETRO | UNIDADES | EXTRACCIÓN DE CARBÓN DE PIEDRA Y LIGNITO | EXTRACCIÓN DE MINERALES DE HIERRO | EXTRACCIÓN DE ORO Y OTROS METALES PRECIOSOS |
|--|------------------------|--|-----------------------------------|---|
| Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM) | | | | |
| Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM) | mg/L | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte |
| Hidrocarburos | | | | |
| Hidrocarburos Totales (HTP) | mg/L | 10,00 | 10,00 | 10,00 |
| Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP) | | Análisis y Reporte | | |
| BTEX (Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xileno) | | Análisis y Reporte | | |
| Compuestos Orgánicos Halogenados Adsorbibles (AOX) | | Análisis y Reporte | | |
| Compuestos de Fósforo | | | | |
| Ortofosfatos (P-PO ₄ ³⁻) | mg/L | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte |
| Fósforo Total (P) | mg/L | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte |
| Compuestos de Nitrógeno | | | | |
| Nitratos (N-NO ₃ ⁻) | mg/L | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte |
| Nitritos (N-NO ₂ ⁻) | mg/L | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte |
| Nitrógeno Amoniacal (N-NH ₃) | mg/L | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte |
| Nitrógeno Total (N) | mg/L | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte |
| Iones | | | | |
| Cianuro Total (CN ⁻) | mg/L | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| Cloruros (Cl ⁻) | mg/L | 500,00 | 250,00 | 250,00 |
| Sulfatos (SO ₄ ²⁻) | mg/L | 1.200,00 | 250,00 | 1.200,00 |
| Sulfuros (S ²⁻) | mg/L | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| Metales y Metaloides | | | | |
| Arsénico (As) | mg/L | 0,10 | 0,10 | 0,10 |
| Cadmio (Cd) | mg/L | 0,05 | 0,05 | 0,05 |
| Cinc (Zn) | mg/L | 3,00 | 3,00 | 3,00 |
| Cobre (Cu) | mg/L | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| Cromo (Cr) | mg/L | 0,50 | 0,50 | 0,50 |
| Hierro (Fe) | mg/L | 2,00 | 2,00 | 2,00 |
| Mercurio (Hg) | mg/L | 0,002 | 0,002 | 0,002 |
| Níquel (Ni) | mg/L | 0,50 | 0,50 | 0,50 |
| Plata (Ag) | mg/L | | | 0,50 |
| Plomo (Pb) | mg/L | 0,20 | 0,20 | 0,20 |
| Otros Parámetros para Análisis y Reporte | | | | |
| Acidez Total | mg/L CaCO ₃ | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte |
| Alcalinidad Total | mg/L CaCO ₃ | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte |
| Dureza Cálcica | mg/L CaCO ₃ | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte |
| Dureza Total | mg/L CaCO ₃ | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte |
| Color Real (Medidas de absorbancia a las siguientes longitudes de onda: 436 nm, 525 nm y 620 nm) | m ⁻¹ | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte | Análisis y Reporte |

Anexo A. Registro fotográfico



Planta de Beneficio de Oro



Molino de Bolas - Amalgamador



Vertimiento sobre la Quebrada la Baja.



Arenas Cianuradas



Mesa concentradora - Wifley



Descarga de Agua de planta de Beneficio de Oro



Monitoreo Quebrada la Baja



Visita a Planta de Beneficio de Oro.