

**APROVECHAMIENTO DE LA BORRA DE CAFÉ (CUNCHO) PARA LA
ADSORCIÓN DE MERCURIO EN UN ENTABLE MINERO DEL MUNICIPIO
DE SUÁREZ CAUCA.**



GÓMEZ DANNA GERALDINE.

GONZÁLEZ MAYRA ESTEFANY.

**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA AUTÓNOMA DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y DESARROLLO
SOSTENIBLE
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA.
POPAYÁN CAUCA.
MARZO – 2018**

**APROVECHAMIENTO DE LA BORRA DE CAFÉ (CUNCHO) PARA LA
ADSORCIÓN DE MERCURIO EN UN ENTABLE MINERO DEL MUNICIPIO
DE SUÁREZ CAUCA.**



GÓMEZ DANNA GERALDINE.

GONZÁLEZ MAYRA ESTEFANY.

**Trabajo de investigación para optar el título de Ingeniero ambiental y
Sanitario**

Biólogo

Arnol Arias Hoyos

**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA AUTÓNOMA DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y DESARROLLO
SOSTENIBLE**

PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA.

POPAYÁN CAUCA.

MARZO – 2018

Nota de aceptación:

El director y los jurados autorizan la realización de los trámites correspondientes para optar por el título de ingeniero ambiental y sanitario, para el trabajo de grado: Aprovechamiento de la borra de café (cuncho) para la adsorción de mercurio en un entable minero del municipio de Suárez Cauca.

Firma del Director

Firma del jurado 1

Firma del jurado 2

Popayán Cauca, 09 de Marzo 2018

AGRADECIMIENTOS

Gracias a Dios por darme salud cada día para poder cumplir cada objetivo de mi vida, por darme fortaleza e iluminarme para luchar por mis sueños y por poner en mi camino personas que me han apoyado y brindado sus conocimientos y experiencias.

A mis padres quienes son mi fortaleza, son personas maravillosas que cada día me brindan su apoyo incondicional, su amor y sabiduría, gracias por darme la oportunidad de cumplir con esta meta y afrontar cada circunstancia con valor; A mis hermanos María Gómez, Sebastián Gómez y mi sobrino, quienes aportan alegrías y experiencias a mi vida; A Julián Caicedo quien me ha apoyado durante todo este proceso brindándome sus conocimientos y me ha alentado para llegar hasta el final.

Gracias a mis compañeros Katerin Santander, Mayra González, Víctor Quipo y Oscar Mosquera quienes hicieron ameno cada día en mi etapa universitaria; A los docentes de la Corporación Universitaria Autónoma del Cauca, que nos brindaron diferentes conocimientos durante esta etapa; A nuestro director Arnol Arias por su esfuerzo y dedicación y a los docentes Natalia Sambony y Carlos Torrado por enriquecer nuestro proyecto con valiosos conocimientos para llevarlo a cabo; A las personas encargadas del laboratorio por su paciencia y amabilidad.

Al administrador del entable Julián Gómez por darnos la oportunidad de desarrollar este proyecto y acogernos con amabilidad en cada una de las visitas.

DANNA GERALDINE GOMEZ DAVID

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios, padre celestial por haberme dado la vida y con ella mil bendiciones como ésta, ser una profesional; por su amor y bondad infinita para superar cada una de las dificultades presentadas en lo largo del camino.

Gracias al director del proyecto Arnol Arias por su apoyo y colaboración para el desarrollo de éste, como también a nuestros tutores que con su voluntad y apoyo económico hicieron posible la correcta finalización de este trabajo de investigación. Y como no agradecer a mi compañera de tesis, mi amiga y consejera Danna Gomez por el buen equipo que hicimos y por cada momento compartido, porque juntas pudimos superar dificultades presentadas a lo largo del trabajo, y porque la historia continua.

Doy gracias a mis padres por su apoyo incondicional, sé que este triunfo es el resultado de tan arduo esfuerzo e incontables momentos fuertes que logramos superar, a mi hermana por sus consejos y palabras de aliento para continuar cuando creí desfallecer. Gracias a demás familiares que siempre hicieron parte de este proceso en especial a mi tía Amalia Moncayo por estar presente siempre minuciosamente en cada detalle de mi vida y por supuesto en el desarrollo de mi tesis.

Agradezco a mis amigos y compañeros porque desde que estamos juntos todo es más agradable, tal vez porque siempre hubo un motivo para celebrar aun en medio de las tristezas y dificultades.

En fin, gracias a todos aquellos de una u otra manera aportaron con momentos y buenos consejos para hacer más llevadero el desarrollo de este trabajo.

MAYRA ESTEFANY GONZALEZ MONCAYO

DEDICATORIAS

Este trabajo es dedicado primeramente a Dios por darme salud, fortaleza en los momentos de adversidad y claridad para cumplir esta meta tan importante. A mis padres Kruz Gómez y Rocío David, quienes me dieron la oportunidad de crecer profesionalmente y me han dado su apoyo incondicional durante toda esta etapa; finalmente a mis hermanos por su aliento para lograr cada objetivo de mi vida.

DANNA GERALDINE GÓMEZ DAVID

El presente trabajo de investigación se lo dedico a mis padres por su gran esfuerzo, amor y cada consejo brindado para levantarme de las dificultades y continuar con mis sueños, pero en especial a mi tía Amalia Moncayo por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como de la vida, por su incondicional apoyo mantenido a través del tiempo, los amo y doy gracias a Dios porque no pudo darme mejor regalo que ustedes.

MAYRA ESTEFANY GONZALEZ MONCAYO

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	14
ABSTRACT	16
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	19
1.2 JUSTIFICACIÓN	20
1.3 OBJETIVOS	21
1.3.1 Objetivo General.....	21
1.3.2 Objetivos Específicos.	21
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO O REFERENTES CONCEPTUALES.....	22
2.1 ANTECEDENTES	22
2.1.1 Historia de la minería en el mundo y en Colombia.	23
2.1.2 Historia de la minería en el Cauca.....	24
2.2 BASES TEÓRICAS.....	25
2.2.1 Minería.	25
2.2.2 Descripción del proceso para el beneficio del oro.	27
2.2.3 Descripción y características del oro.	27
2.2.4 Descripción y características del mercurio.	28
2.2.5 Efectos del mercurio en la salud del ser humano.	29
2.2.6 Aguas residuales.	30
2.2.7 Adsorción de aguas residuales.	31
2.2.8 Prueba de azul de metileno (cloruro de tetrametiltionina).	33
2.2.9 Café.....	35
2.2.10 Tratamiento de agua residual por filtración.	36
2.3 ZONA DE ESTUDIO	38
2.3.1 Localización y economía.	39
2.4 BASES LEGALES.....	42
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....	45
3.1 FASE A. Diseño y construcción del sistema de adsorción.....	45
3.1.1 Componente bibliográfico.....	46
3.1.2 Componente experimental.	46

3.2	FASE B. Establecimiento del porcentaje de remoción.....	53
3.2.2	Componente 1. Recolección de datos.....	53
CAPITULO IV: RESULTADOS Y ANÁLISIS		55
4.1	CARACTERIZACIÓN DEL EFLUENTE	55
4.1.1	Potencial de hidrogeno (pH).....	56
4.1.2	Temperatura y Oxígeno Disuelto (OD).....	57
4.1.3	Conductividad y sólidos disueltos totales.	59
4.1.4	Turbidez y sólidos suspendidos totales.	60
4.1.5	Alcalinidad.....	62
4.1.6	Demanda biológica de oxígeno (DBO ₅) y Demanda Química de Oxígeno (DQO).	63
4.1.7	Mercurio.	65
4.2	CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE AZUL DE METILENO	66
4.3	RESULTADOS DEL SISTEMA DE FILTROS DE LA BORRA ACTIVADA CON H ₃ PO ₄	68
4.4	ESTABLECIMIENTO DEL PORCENTAJE DE REMOCIÓN.....	71
CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		75
6.1	CONCLUSIONES	75
6.2	RECOMENDACIONES.....	76
BIBLIOGRAFÍA		78
ANEXOS		83

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Aprovechamiento de residuos del café	33
Tabla 2. Residuos generados en la producción del café.....	36
Tabla 3. Marco Legal vigente de Carácter General.....	42
Tabla 4. Marco legal vigente de carácter minero ambiental.....	43
Tabla 5. Marco Legal vigente de Carácter Sanitario y Ambiental.....	43
Tabla 6. Documentos de referencia	44
Tabla 7. Parámetros.....	47
Tabla 8. Caracterización del agua residual del entable minero en la vereda Tamboral.....	56
Tabla 9. Rangos de concentración de oxígeno disuelto y consecuencias eco sistémicas frecuentes.....	58
Tabla 10. Rangos de concentración de oxígeno disuelto.....	62
Tabla 11. Comparación de la capacidad de adsorción de la borra activada y sin activar.....	67
Tabla 12. Parámetros medidos en el sistema de filtros.....	68

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama del proceso minero	27
Figura 2. Estructura del azul de metileno	33
Figura 3. Metodología	45
Figura 4. Proceso de Activación de la borra de café.....	48
Figura 5. Diseño del sistema de filtros.	51

LISTA DE GRAFICAS

Gráfico 1. Potencial de Hidrogeno.	57
Gráfico 2. Oxígeno Disuelto	58
Gráfico 3. Conductividad eléctrica y sólidos disueltos totales	59
Gráfico 4. Turbidez y SST	61
Gráfico 5. Alcalinidad.	62
Gráfico 6. Demanda Biológica de Oxígeno y Demanda Química de Oxígeno.....	63
Gráfico 7. Mercurio.....	65
Gráfico 8. Resultado de pH.....	69
Gráfico 9. Resultado de Turbidez.....	70
Gráfico 10. Resultados de conductividad y TDS	71
Gráfico 11. Resultado de Mercurio.....	72
Gráfico 12. Curva inicial absorbancia 630 nm.....	102

LISTA DE IMÁGENES

Imagen 1. Adsorción física.....	32
Imagen 2. Adsorción química.....	32
Imagen 3. Filtro de flujo ascendente.	37
Imagen 4. Filtro de flujo descendente.	38
Imagen 5. Filtro de flujo horizontal.	38
Imagen 6. Ubicación del sitio de trabajo	40
Imagen 7. Entable minero	41
Imagen 8. Equipos del entable minero.....	41
Imagen 9. Trabajo de campo	46
Imagen 10. Curva de azul de metileno.....	50
Imagen 11. Método cono imhoff.....	53

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Caracterización del sitio de trabajo.	83
Anexo 2. Empresa Supracafé.	84
Anexo 3. Activación de la borra de café.	85
Anexo 4. Prueba de azul de metileno.	86
Anexo 5. Sedimentación del agua.	87
Anexo 6. Elaboración del sistema de filtros.	88
Anexo 7. Parámetros de caracterización.	89
Anexo 8. Resultados finales.	90
Anexo 9. Análisis de resultados realizados en la Universidad Tecnológica de Pereira.	91
Anexo 10. Curva inicial de azul de metileno sin activación	102
Anexo 11. Procedimiento para longitud de onda de 630 nm.	103
Anexo 12. Prueba de azul de metileno con borra activada-Curva para 0,2 y 2,0 ppm.	104
Anexo 13. Curva para 0,5 ppm de azul de metileno:	106
Anexo 14. Síntesis de la absorbancias a diferentes concentraciones con borra activada.	107

RESUMEN

El municipio de Suárez se ha destacado como uno de los municipios productores en el sector minero del departamento del Cauca, sin embargo esta actividad ha traído afectaciones al medio ambiente en especial al recurso hídrico, por los niveles de mercurio que se pueden introducir a partir de esta actividad.

Para evitar este tipo de contaminación, se buscó alternativas como los subproductos de la industria del café (borra), utilizado como material adsorbente, el cual es modificado químicamente para mejorar su eficiencia. El proceso de activación de la borra consistió en el lavado y secado a 120 °C por 6 horas, seguido de una impregnación con ácido fosfórico (H_3PO_4) a una concentración de 50% m/m por 48 horas a temperatura ambiente y agitación constante; posteriormente se realizó una activación térmica a 120 °C por 24 horas.

Al finalizar se lavó con agua destilada y se ajustó el pH entre 6,5 – 7,0 con hidróxido de sodio (NaOH) y se secó por 4 horas.

Con este tipo de subproducto de la industria del café, se realizó la prueba de azul de metileno para determinar la presencia de mesoporos de acuerdo a la capacidad de adsorción de una concentración conocida, determinando la adsorción de la borra antes y después del proceso de activación.

En la elaboración y montaje del sistema de filtros ascendentes compuestos por el blanco (grava) y el filtro con borra (grava y borra de café), se realizó un monitoreo de la capacidad de remoción de las concentraciones de mercurio, turbiedad, sólidos suspendidos, entre otros, durante 4 horas usando agua residual del proceso de beneficio de oro la cual fue previamente sedimentada en conos imhoff. De esta manera se obtuvo resultados favorables en la adsorción de mercurio, con un porcentaje de remoción de 94,33% para el filtro ascendente con grava-borra y 65,25% para el filtro compuesto únicamente de

grava, lo cual demostró que este proceso es eficiente y beneficioso para el tratamiento del agua proveniente de la actividad minera, resaltando que puede ser económico para la comunidad.

Palabras clave: *Borra de café, Adsorción, Mercurio, Activación, Filtro de flujo ascendente.*

ABSTRACT

The municipality of Suarez has been highlighted as one of the municipalities in the mining sector of the department of Cauca, however, this activity has affected the environment, especially a water resource, by the levels of mercury that can be introduced in the activity.

To avoid this type of contamination, alternatives such as the by-products of the coffee industry (borra) were sought, it was used as an adsorbent material, which was adjusted chemically to improve its efficiency. The process of activating the fluff consisted of washing and drying at 120 ° C for 6 hours, with a subsequent impregnation of phosphoric acid (H₃PO₄) at a concentration of 50% m / m for 48 hours at room temperature and constant agitation; subsequently, a thermal activation was carried out at 120 ° C for 24 hours.

At the end, it was washed with distilled water and the pH was adjusted between 6.5 - 7.0 with sodium hydroxide (NaOH) and dried for 4 hours.

With this type of by-product of the coffee industry, the methylene blue test was performed to determine the presence of mesopores according to the adsorption capacity of a known concentration, determining the adsorption of the flux before and after of the activation process.

In the elaboration and assembly of the system of ascending filters composed by the white (gravel) and the filter with fluff (gravel and Exhausted coffee), a monitoring of the capacity of removal of the concentrations of mercury, turbidity, suspended solids was carried out, among others, for 4 hours using wastewater from the gold beneficiation process which was previously sedimented in imhoff cones. In this way, favorable results were obtained in the adsorption of mercury, with a percentage of removal of 94.33% for the upward filter with gravel-mud and 65.25% for the filter composed only of gravel, which showed that this process It is efficient and beneficial for the treatment of water from mining activity, highlighting that it can be economical to the community.

Key words: *Exhausted coffee, Adsorption, Mercury, Activation, Upflow filter.*

INTRODUCCIÓN

La minería es una práctica económica de subsistencia que ha ido creciendo y abordando gran parte del mundo; Colombia no ha sido la excepción, presentando consecuencias tanto ambientales como en la salud de aquellas personas que realizan esta actividad, sin seguir las medidas necesarias y obligatorias expuestas según la ley. [1]

Colombia se convierte en un tema de suma importancia porque en departamentos como el Cauca, muchos de sus habitantes dependen únicamente de esta práctica económica, por tal razón no se puede optar por la prohibición total de ella; profundizando un poco más en la problemática que se presenta en el municipio de Suárez-Cauca, se genera una contaminación desmedida de la Salvajina la cual ocasiona afectaciones para la comunidad como enfermedades digestivas, gastrointestinales, neuromusculares, entre otras. [2]

Por esta razón se optó por buscar alternativas o medidas que proporcionen una disminución y mitigación en la contaminación por Mercurio en la población del municipio de Suárez-Cauca, beneficiando así a las personas que se relacionan con actividades mineras.

Haciendo una revisión bibliográfica minuciosa se encontró que la borra de café es un material adsorbente de metales pesados, que mediante su activación química con ácido fosfórico (H_3PO_4) tiene mejores resultados. Este cuncho es obtenido de la producción de café que realiza la empresa SUPRACAFE en el municipio de Popayán. Se opta por aprovechar este residuo como bioadsorbente para la adsorción de mercurio y así poder evaluar el porcentaje de remoción que tendrá este material en beneficio para la comunidad de esta localidad sin afectar su actividad económica (explotación minera).

CAPITULO I: PROBLEMA

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La minería genera impactos no solo al medio ambiente sino al ser humano; sin duda esta actividad trae consigo diferentes beneficios económicos para la sociedad; a su vez produce graves problemas socio-ambientales, originados por la práctica de la pequeña minería y la minería a nivel artesanal, que por su informalidad limita su desarrollo integral, produciendo contaminación ambiental y problemas de seguridad pública. [3]

En Colombia se han identificado 14.357 Unidades de Producción Minera (UPM), de las cuales solo el 37% tienen título minero; dentro de los minerales más explotados a nivel nacional están los no metálicos tales como arena, arcillas, mármol, entre otros (47% UPM), metálicos (31% UPM), carbón (22% UPM) y finalmente las piedras con un (2% UPM). En el departamento del Cauca se identifican 544 UPM de las cuales tan solo el 12,5% cuentan con título minero, en cuanto a los materiales más explotados están los minerales no metálicos (67,5% UPM); en relación con los minerales metálicos se explotan cerca de 31% de los cuales el 100% es explotación de oro, esta actividad se localiza principalmente en municipios como Buenos Aires, Suarez y Popayán. [4]

El municipio de Suárez cuenta con una población aproximada de 16.000 personas, de las cuales cerca de 4.000 dependen de las actividades mineras [5]; esta actividad es llevada a cabo en las zonas La Toma, El Carmen, El Peñón, Gelima, La Montaña, El Desquite, entre otros, con un total de extensión de 120 km². Esto ha generado una gran problemática social y en mayor proporción al medio ambiente, por causa de la deforestación, erosión, deterioro del suelo, remoción de masa y vertimiento de sustancias tóxicas a fuentes hídricas como la Salvajina; los principales aspectos ambientales

identificados son: aporte de sedimentos y la introducción de metales pesados en especial el mercurio. [6]

Los metales pesados están relacionados a un riesgo para la salud pública, los efectos que pueden producir están ligados al grado de toxicidad, las condiciones del ser humano, el tiempo y la vía de exposición y la salud se ve afectada directamente al entrar en contacto con estas sustancias, perjudicando en especial el sistema nervioso, la retención intelectual, bajas defensas, deterioro físico y mental y enfermedades intestinales. Igualmente es un riesgo para el medio ambiente: ecosistemas, yacimientos de agua, flora y fauna, ya que son sustancias con gran estabilidad química ante los procesos de biodegradación por lo que los seres vivos son incapaces de metabolizarlos. [7]

El agua proveniente de los entables mineros contiene una alta carga de contaminantes que es vertida a los cuerpos de agua, generando impactos sobre el medio ambiente. Por esta razón se plantea una solución de bajo costo como la borra de café, la cual es considerada como un material con altos niveles de adsorción capaz de retener metales pesados por un lapso de tiempo suficiente para ser retirados de este proceso, además se puede potencializar su eficiencia realizando procesos químicos y físicos para obtener mayores beneficios; esta alternativa puede resultar económica y al alcance de la comunidad encargada de laborar en este medio sin traer consigo afectaciones adversas.

1.2 JUSTIFICACIÓN

La borra de café (cuncho) es un residuo producto del consumo de esta bebida, a simple vista este residuo no tiene un valor significativo, lo que conlleva que termine en un sitio de disposición final sin ningún tratamiento previo.

De acuerdo a la revisión bibliográfica realizada, este residuo tiene un buen poder adsorbente de metales pesados [8], por ello se reutiliza (borra de café)

en la construcción de biofiltros que tendrán la capacidad de adsorber mercurio producto de la actividad minera en el municipio de Suarez- Cauca.

El departamento del Cauca se ha caracterizado por su actividad minera, en especial en los municipios de Suarez, Buenos Aires y Popayán; en el municipio de Suarez se lleva a cabo el desarrollo de esta actividad en gran proporción, lo que ocasiona impactos en especial al recurso hídrico, los cuales al entrar en contacto con las zonas donde se sustentan por procesos de minería como: molienda, trituración, explotación (generan aguas de escorrentía con sulfuros, sulfatos, carbonatos y sales), concentración gravimétrica (se generan lodos y gran aporte de sedimentos al agua, generando turbidez), procesos de cianuración. [6]

Para eludir la contaminación por la explotación minera se plantea un método de adsorción que beneficia a la población de esta localidad y otras en iguales circunstancias, para evitar posibles afectaciones a la salud y mejorar la calidad de vida de los seres humanos y el medio ambiente. [9]

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General.

Aprovechar la borra de café (cuncho) para la adsorción de mercurio en un entable minero del municipio de Suarez Cauca.

1.3.2 Objetivos Específicos.

- Diseñar un sistema de tratamiento de adsorción de metales pesados utilizando la borra de café (cuncho) aplicable de acuerdo a las condiciones del lugar de estudio.
- Establecer el porcentaje de remoción de mercurio, evaluando la eficiencia del proceso de adsorción.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO O REFERENTES CONCEPTUALES

2.1 ANTECEDENTES

El mundo es una maravilla puesta es nuestras manos para ser utilizada a nuestra conveniencia, con su inmensa y diversa riqueza ha dado la oportunidad para extraer de la tierra esos ostentosos minerales y convertirlos en preciosas joyas u objetos, convirtiéndose en una práctica de explotación minera a lo largo de los años, esta actividad es realizada de forma legal e ilegal debido a su devastamiento ante el medio ambiente, y por las exigencias por parte de la ley, las comunidades y empresas encargadas de esta práctica han optado por iniciar la explotación minera realizada de manera adecuada, garantizando el equilibrio social, ambiental y económico.

Algunas consecuencias de la práctica de actividades con metales pesados se ven reflejadas en los acontecimientos de la enfermedad de Minamata, es de las primeras atribuciones que se hace a la contaminación industrial en la que más de 3000 personas resultaron afectadas; Minamata es una ciudad situada sobre la bahía Yatsushiro, en la que se llevaban a cabo actividades de pesca. En esta se localizaba una empresa importante, “Chisso Corporation” dedicada a la producción de fertilizantes químicos, carburo y cloruro de vinilo. [1]

En la década de los 50 la población empezó a notar comportamientos extraños como movimientos involuntarios, desmayos, ceguera, entre otros. La problemática se sale de control al aumentar el número de afectados y el desconocimiento de la sustancia que lo causaba.

En 1956 el Dr. Hajime Hosokawa diagnostica una anomalía en el sistema nervioso que podría estar relacionada con la dieta alimenticia de las víctimas, pero fue hasta 1959 que se determinó que la enfermedad era causada por el consumo del pescado, ya que estos estaban contaminados de mercurio, a causa de la empresa Chisso. [1]

Pero la problemática también se presenta en Colombia; el municipio de Segovia ubicado al noreste de Antioquia, es el que presenta el mayor número de casos en el país, que a su vez es considerado el tercer más contaminado con mercurio después de China e Indonesia.

Acorde a estas problemáticas se han presentado diferentes alternativas para mitigar o disminuir el efecto de diferentes sustancias nocivas, beneficiando así la salud del ser humano y al medio ambiente; a lo largo del tiempo se han hecho pruebas con diferentes residuos como la cascarilla de frutos secos, el bagazo de la caña, la cascara de coco, la cascara de café, entre otros; estos son empleados con el fin de remover ciertas partículas y sustancias tóxicas. [2]

Entre esos estudios se destaca el realizado en la Universidad de Nariño en la facultad ciencias exactas y naturales, en la cual se utiliza el café molido para la remoción de mercurio, con una cinética de adsorción ajustada al modelo de segundo orden, implicando una reacción de quimisorción a través de diferentes grupos funcionales; logrando un porcentaje de remoción del 97%. [3]

Otro estudio fue realizado con hojas de café, por el Ingeniero Oscar Higuera de la Universidad Industrial de Santander; en el cual se removió cromo por medio de una activación física, con eficiencia del 82%. [4]

2.1.1 Historia de la minería en el mundo y en Colombia.

La minería es una de las actividades más antiguas, su desarrollo viene desde la edad de piedra, en la que se extraían materiales para la elaboración de herramientas; en sus inicios la minería se desarrollaba de manera rústica, haciendo excavaciones para la obtención de rocas, a medida que se agotaba el recurso se hacían excavaciones más profundas dando inicio a la minería subterránea. Hoy en día las diferentes prácticas y utensilios empleados por el hombre, han necesitado de los productos

extraídos de la corteza terrestre, convirtiendo a la minería en la industria más elemental de la civilización humana.

Las primeras prácticas de minería en Colombia se llevan a cabo en Popayán y Mariquita, es en el siglo XVI que los municipios de Segovia y Remedios en el departamento de Antioquia comienzan a desarrollar actividades para el beneficio del oro. Antioquia se caracterizó por tener una población migratoria, los cuales se movían de acuerdo a los descubrimientos de minas. [5]

A partir del siglo XIX la mayoría de la explotación se centraba en los yacimientos de petróleo y carbón para extracción de fuentes de energía, dando inicio a la minería ilegal, provocando preocupación en la población por el medio ambiente y los recursos no renovables impulsando a la regulación de la minería.

2.1.2 Historia de la minería en el Cauca.

La minería en el Cauca surge en el siglo XVII, entre 1636 y 1637, cuando se dan los primeros asentamientos en las minas Gelima, Honduras y Pandiguando; es así que se comienza a poblar esta zona con africanos los cuales utilizan sus apellidos para nombrar diferentes terrenos del lugar. En 1823 Suárez y Buenos Aires se consolidan como municipios del departamento del Cauca, siendo uno de los más antiguos; es entonces cuando se empiezan a llevar a cabo prácticas mineras.

En 1930 empiezan a entrar diferentes multinacionales al territorio como Gold Dredging Limited y Asnazú Golden Company, las cuales durante 35 años logran extraer aproximadamente 2400 toneladas de oro aumentando contrariamente la pobreza en el municipio. En 1985 se da la construcción de la represa de la Salvajina, la cual trae diferentes afectaciones para la comunidad del municipio de Suárez, ya que las vías se inundaban y no podían comunicarse con el municipio de Buenos Aires; finalmente en el

2002 se empiezan a dar concesiones mineras, es entonces donde se generan lo que se llamó “la feria de las concesiones mineras”. [6]

Hechos históricos hicieron que la práctica de la minería se llevara a cabo a las márgenes del río Cauca y luego se concentró en paso bobo a 3,5 km del municipio de Suárez, donde se explotaban minerales como oro y plata; los procesos erosivos permitieron el origen de extensos aluviones auríferos en los cauces de los ríos y quebradas; en la actualidad se extrae oro a nivel de pequeña minería mediante barequeo y mazamorreo. [7]

El municipio de Suárez es uno de los que más se destaca en cuanto a desarrollo minero del departamento, donde se extraen diferentes minerales como el oro, carbón, arenas, entre otros, las zonas en las que se desarrolla en mayor proporción está situada es Mindalá, la Toma, Tamboral y la Turbina, ubicadas alrededor de la represa la Salvajina. Dentro de estas se conocen 70 bocaminas conocidas como guerreras, 6 sitios adecuados para el proceso de trituración, molienda y concentración gravimétrica del mineral que contiene oro y plata. [7]

2.2 BASES TEÓRICAS

Dentro de las bases teóricas se presenta los conceptos más relevantes para fortalecer la explicación de éste proyecto.

2.2.1 Minería.

Es el conjunto de técnicas y actividades enfocadas al descubrimiento y la explotación de yacimientos minerales, en la práctica esta incluye operaciones a cielo abierto, canteras y operaciones combinadas que incluyen bajo tierra o en la superficie; los minerales pueden ser metálicos (oro y cobre) y no metálicos (grava, carbón, entre otros).

En el proceso minero es necesaria la extracción de materiales de la corteza terrestre, en la que comúnmente se remueve un volumen elevado de

material y se recupera un volumen pequeño del producto deseado; por esta razón se considera una actividad de un alto impacto al medio ambiente, provocando la degradación de la zona de influencia minera. [8]

La minería juega un papel trascendental en nuestro país, por la riqueza que ha producido y por el gran potencial de recursos naturales que posee; los minerales se encuentran en la corteza terrestre distribuidos en distintos tipos de rocas, paisajes y ambientes susceptibles a ser explotados por esta razón se presentan dos tipos de práctica minera:

- **Minería de superficie:** También conocida como minería a cielo abierto, este tipo de minería es la que más se lleva a cabo en práctica, de acuerdo al material extraído se puede catalogar como canteras donde se extraen minerales como: cal, cuarzo, baritina, yeso, entre otros y tajos abiertos donde se extraen principalmente hierro, carbón, cobre y oro.

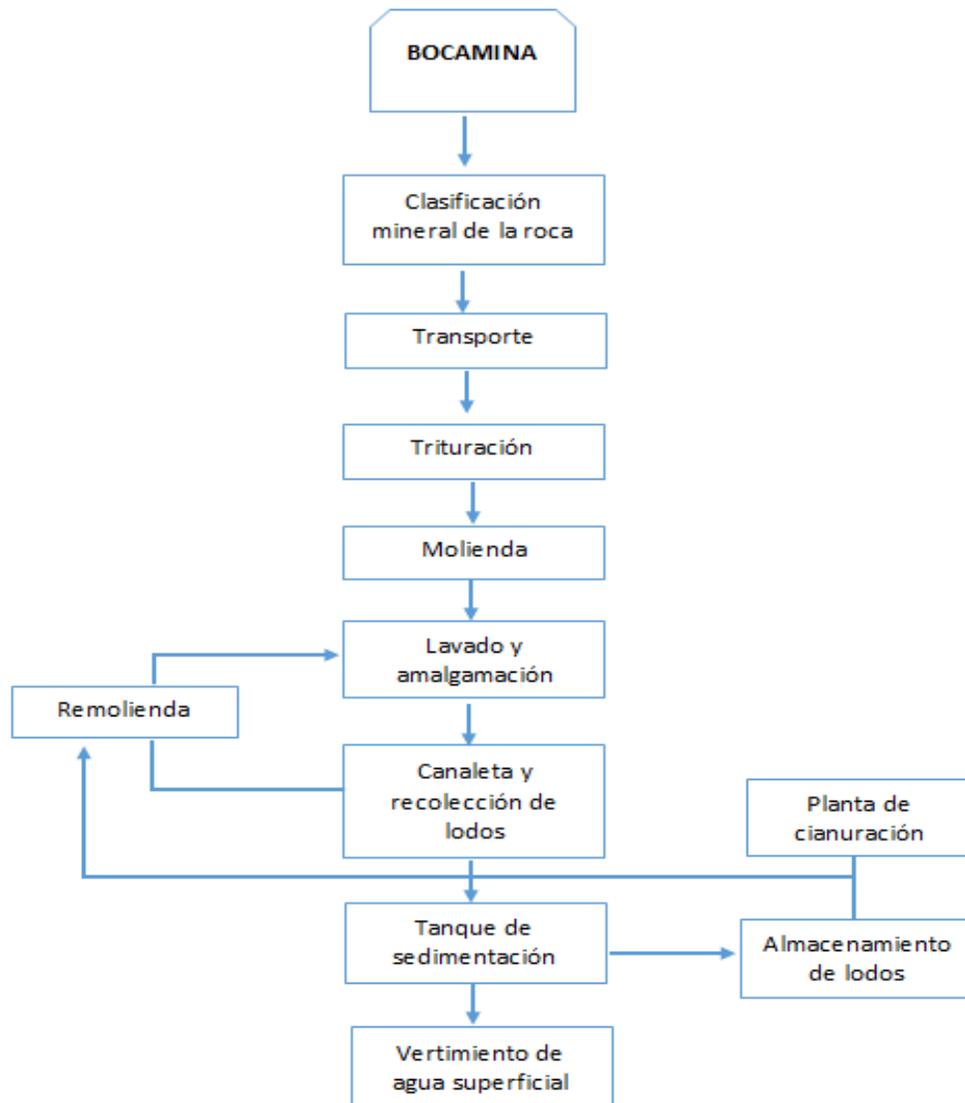
En el proceso de extracción de minerales se emplean diferentes procedimientos como perforación, voladura, carga y transporte de las rocas mineralizadas, trituración, molienda y un proceso de separación de los minerales; la roca que se extrae y no tiene minerales es llamada estéril, esta se deposita fuera del área de extracción para ser utilizada posteriormente como relleno al terminar el ciclo de la mina. [9]

- **Minería subterránea:** Para lograr llegar al mineral es necesario construir diferentes mecanismos utilizados para acceso del personal y los equipos para efectuar la extracción como: galerías (túneles horizontales), chimeneas (túneles verticales o inclinados que no se comunican a la superficie), piques (túneles verticales que salen a la superficie) y rampas (túneles en forma de espiral). [10]

2.2.2 Descripción del proceso para el beneficio del oro.

En los entables mineros de esta localidad se desarrolla el siguiente proceso para la explotación del oro:

Figura 1. Diagrama del proceso minero



Fuente: [11]

2.2.3 Descripción y características del oro.

El oro es considerado un mineral nativo, ya que se encuentra en forma pura en masas mineralizadas; es un metal amarillo maleable, blando, que

no reacciona con la mayoría de los productos químicos; posee un elevado punto de fusión, 1064 ° C, esto es 1337,33 K. [12]

El oro ha sido utilizado desde las generaciones pasadas, principalmente para adornar objetos ceremoniales, cetros, entre otros. Desde la Edad Media, una de las técnicas más usadas fue la de la amalgamación, los fragmentos de roca eran lavados para descartar el material de desecho, de aquellas rocas que contenían oro. Luego, en molinos estas rocas eran convertidas en una arenilla que se colocaba en contenedores especiales. Por poseer un peso específico más elevado, el oro se deposita en el fondo. [13]

Seguido a esto se agrega mercurio, el cual forma una amalgama con el oro, facilitando su separación de la roca; finalmente este se calienta para que el mercurio se evapore, quedando libre el oro para su aprovechamiento. [14]

2.2.4 Descripción y características del mercurio.

El mercurio es un metal pesado, plateado, ubicuo y líquido a temperatura ambiente, en su forma pura se lo conoce como mercurio elemental (Hg^0). Éste se volatiliza fácilmente formando vapores incoloros e inodoros; es utilizado por el hombre desde hace siglos como colorante para adornar tumbas, como medicina para el tratamiento de la sífilis, como diurético y como catártico. Numerosos grupos étnicos lo han empleado con fines mágicos o religiosos. [15]

Desde la industrialización los niveles de mercurio (Hg) en el ambiente han aumentado considerablemente, hasta alcanzar concentraciones que afectan los ecosistemas y la salud humana.

2.2.5 Efectos del mercurio en la salud del ser humano.

El mercurio que es liberado, ya sea por incineración de residuos o combustión de carbono al ambiente y es capturado por la atmósfera, el agua y el suelo, los ríos y océanos también actúan como medios de transporte del mercurio a grandes distancias.

Algunas fuentes de liberación de mercurio son:

- Fuentes naturales: liberaciones por actividad volcánica o la erosión de las rocas.
- Liberaciones antropogénicas: resultantes de la presencia de mercurio en materias primas como los combustibles fósiles (carbón, gas, petróleo y otros minerales extraídos, tratados y reciclados). [16]
- liberaciones industriales: fabricación del papel, instrumental médico (termómetros, esfigmomanómetros, bujías, amalgamas dentales), termostatos, lámparas fluorescentes, cementeras, faros de automóviles, tratamiento de desechos, vertederos, cremación y pinturas. [16]

El nivel de toxicidad en seres humanos varía según la forma química, la concentración, la duración, la vía y la ventana de vulnerabilidad en el momento de la exposición, a continuación se presentan dos tipos:

- Exposición aguda: Trae efectos respiratorios, renales, gastrointestinales, dermatológicos y neurológicos.
- Exposición crónica: Los síntomas son predominantemente neurológicos e incluyen alteraciones neuropsiquiátricas como ataques de pánico, ansiedad, labilidad emocional, trastornos de la memoria, insomnio, anorexia, fatiga, disfunción cognitiva y motora. [17]

En el 2007, El Programa de las Naciones Unidas por el Medio Ambiente (PNUMA) debatió la necesidad de encarar una acción internacional sobre el control del mercurio para disminuir las emisiones antropogénicas a la atmósfera, adecuar el manejo de los desechos, reducir la demanda y oferta mundiales, atender la restauración de los sitios contaminados, prohibir el tránsito del mercurio a países en desarrollo y ofrecer soluciones para la disposición final. Educar a la población de modo de profundizar los conocimientos sobre las fuentes de exposición y el impacto sobre la salud y en el ambiente. [15]

2.2.6 Aguas residuales.

El agua es indispensable para el desarrollo de las actividades humanas utilizada para diferentes fines, entre esos la potabilización, pero estas mismas actividades hacen que su consumo no pueda ser de forma directa y se ve en la necesidad de aplicarle diferentes tratamientos para eliminar sustancias o partículas que afecten la salud pública.

La búsqueda del mejoramiento de la calidad del agua no es relativamente nueva; durante la edad media se manifestó gran cantidad de problemas sanitarios a causa del consumo de agua en mal estado, ya que se vertían las aguas residuales directamente a los cuerpos de agua. [18]

El primer país en el que se construye un sistema de agua que abastece a una ciudad completa es Paisley, Escocia en 1804, después de tres años el sistema se fue perfeccionando añadiendo procesos de filtración, logrando clarificar el agua; en 1827 el inglés James Simplón crea un filtro de arena, el cual es considerado hoy en día el primer sistema efectivo en pro a la salud pública. [18]

2.2.7 Adsorción de aguas residuales.

Es un proceso que se empezó a implementar a principios de los años 90 con el fin de remover sustancias contaminantes de las aguas residuales provenientes del sector industrial; a lo largo de esos años, las investigaciones se han centrado principalmente en la utilización de la biomasa viva y/o muerta. [19]

Teniendo en cuenta que las biomásas vivas, pueden presentar una variedad más amplia de mecanismos para la acumulación de metales.

La adsorción es la captación de metales pesados, el proceso de adsorción involucra una fase sólida (biomasa) y una fase líquida (agua) que contiene disueltos la sustancia de interés que será adsorbida (en este caso, los iones de los metales pesados).

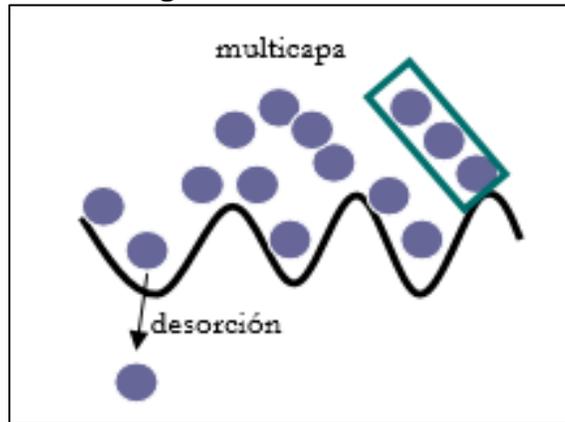
Para que el proceso de adsorción se pueda realizar con éxito, debe existir una gran afinidad entre los grupos funcionales de la biomasa y el contaminante, ya que este último debe ser atraído hacia el sólido y enlazado por diferentes mecanismos. El fenómeno de adsorción de iones metálicos, usando materiales biológicos como adsorbentes, se puede realizar mediante diversos mecanismos fisicoquímicos y metabólicos en los cuales, el proceso de captación de los metales pesados puede diferir.

De allí, se puede establecer que la adsorción se puede considerar como la mejor alternativa para la eliminación de iones metálicos presentes en aguas residuales, debido a que no usa organismos vivos como materiales bioadsorbentes; ya que estos pueden verse afectados por las altas concentraciones de dichos contaminantes, interrumpiendo el proceso de adsorción por la muerte de los mismos sino se logra aumentar la eficiencia del proceso. [19]

Se presentan dos tipos de adsorción: física y química, explicadas a continuación:

- **Adsorción Física:** Se da por fuerzas débiles no especificadas, y es la más utilizada en trabajos de investigación, donde las moléculas del gas se mantienen unidas a la superficie del sólido por medio de fuerzas de Van der Waals (*Ver Imagen 1*); este proceso se caracteriza porque la molécula fisisorbida mantiene su identidad, ya que la energía es insuficiente para romper los enlaces que lo conforman. [20]

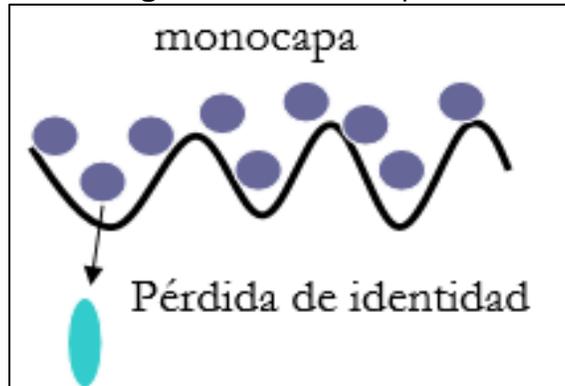
Imagen 1. Adsorción física



Fuente: [21]

- **Adsorción química:** Se relaciona con la energía de activación de un proceso, en este caso las moléculas de gas se mantienen unidas a la superficie formando un enlace químico fuerte (*Ver Imagen 2*); este hecho define la quimisorción, en la cual se forman nuevos enlaces por lo que la molécula quimisorbida no mantiene la misma estructura. [20]

Imagen 2. Adsorción química



Fuente: [21]

Respecto a la adsorción con residuos del café, se han realizado diferentes estudios para aguas contaminadas con metales pesados, consignados en la *Tabla 1*.

Tabla 1. Aprovechamiento de residuos del café

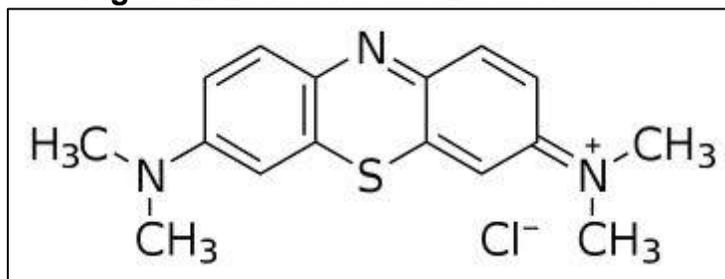
Biomasa	Contaminante	Tipo de activación	Agente activante	Referencia	% Remoción
Borra de café	Plomo y Cobre	Química	Ácido cítrico a 0,1 y 0,6 M	[31]	–
Borra de café	Colorante	---	Secado a 60 °C	[8]	–
Borra de café	Cromo VI	Química	Ácido fosfórico	[32]	95%
Borra de café	Fosfatos	Física	Secado a 60 °C	[33]	95,06%
Granos de café	Colorante	Física	Carbonización a 800, 1000 y 1200 °C	[34]	–
Café molido	Mercurio	Química	Ácido Sulfúrico	[12]	97%
Hoja de café	Cromo	Física	Agitación	[13]	82%
Cascarilla de café	Mercurio	Física	Horno de mufla, gas nitrógeno y vapor	[22]	23 %

Fuente: Autor

2.2.8 Prueba de azul de metileno (cloruro de tetrametilitionina).

Es un colorante de la tiazina usado principalmente como un colorante para teñir la seda y el almidón, también utilizado como agente antiséptico.

Figura 2. Estructura del azul de metileno



Fuente: [23]

Esta prueba es utilizada para determinar la capacidad de adsorción que tienen algunas sustancias (borra de café), para retener material contaminante, logrando medir la eficiencia de los meso poros activados por un tipo de reactivo.

- **Mesoporos:** Para caracterizar los mesoporos de debe tener en cuenta el área superficial específica, el volumen del poro y la distribución del tamaño del poro, debido a que los mesoporos juegan un papel esencial en el transporte de moléculas de adsorbato sobre los microporos. [24]

Para medir la capacidad de adsorción del sólido adsorbente respecto al adsorbato en solución, se tiene en cuenta la diferencia de concentraciones del adsorbato en la solución antes y después de entrar en contacto con el sólido, a temperaturas con un rango cercano. [25]

La forma más usual de representar esta distribución es expresando la cantidad de soluto adsorbido por unidad de peso de adsorbente a una temperatura fija, lo que se conoce como isoterma de adsorción. [25]

La cuantificación de la cantidad de adsorbato adherida al adsorbente es determinada usando la *ecuación (1)*:

$$q_e = \frac{(C_o - C_e)V}{M} \quad (1)$$

Dónde: Q_e = Cantidad de adsorbato adherido al adsorbente en el equilibrio (mg/g).

C_o = concentración inicial de soluto en la solución (mg/L)

C_e = concentración de soluto en el equilibrio (mg/L)

V = volumen de la solución de adsorbato usada (L)

M = masa de adsorbente adicionada (g)

2.2.9 Café.

El café está constituido por material polimérico principalmente celulosa y hemicelulosa, éste tiene la capacidad para adsorber iones metálicos debido a los grupos funcionales que posee; debido a su bajo costo y a la producción en grandes cantidades de este residuo es utilizado como alternativa para la adsorción de elementos como níquel, cromo, mercurio y plomo. [26]

El café, como todas las plantas, contiene muchos componentes químicos, con diferentes características, muchos compuestos químicos han sido identificados en los granos de café y estos reaccionan e interactúan en todas las etapas del procesamiento del café para producir un producto final con una gran diversidad y complejidad de estructuras. [27]

El café se clasifica en dos tipos: arábigo y canéfora Robusta, que presentan composición química cualitativa y cuantitativamente diferentes.

A continuación, se presentan algunas de las características de las especies de café:

- **Café arábico:** Es originario de Abyssinia, actualmente Etiopia, con la mayor antigüedad, desarrollado en las mesetas o montañas en Latinoamérica, América Central y en algunos países de África. Relativamente frágil, y con una temperatura ideal de clima tropical, se destaca por su excelente calidad en aromáticas. Las principales variedades tienen nombres exóticos como Moka con un sabor frutal. [23]

Entre los países productores de café arábica, Colombia es uno de ellos.

- **Café robusto:** El café canéfora robusta fue descubierto en el Congo Belga (actualmente Zaire) a finales del siglo XIX, se desarrolla en estado salvaje en los bosques de la zona tropical africana donde actualmente se cultiva, el robusto crece en planicies y le gusta el clima

tropical húmedo, con mayor crecimiento en comparación con el anterior; su sabor es más fuerte, suele ser empleado para mezclar con otros cafés. [23]

En la producción del café solo es aprovechado un 9.5% del peso del fruto fresco en la preparación de la bebida, mientras que el 90.5% restante queda en forma de residuo. [23]

En la *Tabla 2* se muestra los residuos generados en las diferentes etapas de la industrialización del café.

Tabla 2. Residuos generados en la producción del café.

Proceso	Residuo obtenido	Perdida en gramos
Despulpado	Pulpa fresca	436
Desmucilaginado	Mucílago	149
Trilla	Pergamino	171
Secado	Agua	42
Torrefacción	Volátiles	22
Preparación de bebida	Borra	104

Fuente: [23]

La borra de café es el residuo que queda después de la torrefacción del grano de café y también de la preparación de la bebida. SUPRACAFÉ ha utilizado los diferentes residuos en procesos de bio-aprovechamiento obteniendo favorables resultados y haciendo uso de un residuo que es tirado en grandes cantidades diariamente.

La composición de la borra de café contiene en grandes cantidades ácidos grasos, proteínas, ácidos cloro génicos, carbohidratos y en menor cantidad cafeína y elementos traza. [23]

2.2.10 Tratamiento de agua residual por filtración.

Existen diferentes opciones de tratamientos de agua, las plantas convencionales con tratamientos químicos y las plantas no convencionales en la que se incluyen procesos de filtración con lechos porosos.

El objetivo del proceso de filtración es separar las partículas y microorganismos que no quedaron retenidos en procesos previos. La filtración se puede efectuar de diferentes formas: filtro con baja carga superficial (filtros lentos) y alta carga superficial (filtros rápidos); en medios porosos (papel filtro o arcillas) y medios granulares (arena, antracita o granate) y con flujo ascendente, descendente y mixtos. [28]

El material del lecho filtrante tienen variaciones en cuanto al material: celulosa, diatomeas, carbón activado y resinas [28]; sin embargo existen diferentes alternativas con alta capacidad de adsorción compuestas por material orgánico como la cascarilla de arroz, cascara de coco, café, entre otros; al ser residuos de actividades agrícolas los convierte en una alternativa viable capaces de reemplazar los materiales convencionales, generando beneficios ambientales y económicos. [29]

Para la filtración de agua se presentan diferentes tipos de filtros:

- **Filtros de flujo ascendente:** Como se observa en la *Imagen 3*, en los filtros de flujo ascendente el agua pasa por el lecho filtrante desde la parte inferior hacia arriba, la ventaja de este filtro es que las partículas más pesadas quedan depositadas en el fondo del filtro. [30]
- **Filtros de flujo descendente:** En el filtro de flujo descendente el flujo ingresa por la parte superior del filtro y atraviesa los lechos filtrantes hasta la salida del filtro (Ver *Imagen 4*), a este tipo del filtro se le debe hacer un monitoreo constante para evitar la colmatación del lecho. [30]
- **Filtros de flujo horizontal:** En el filtro de flujo horizontal (Ver *Imagen 5*) el flujo se produce desde el fondo de la cámara hasta el frente, de forma que las líneas de corriente de aire se mueven horizontalmente a la superficie de trabajo. [30]

Imagen 3. Filtro de flujo ascendente.

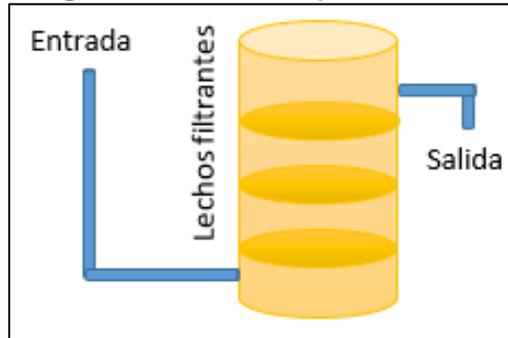


Imagen 4. Filtro de flujo descendente.

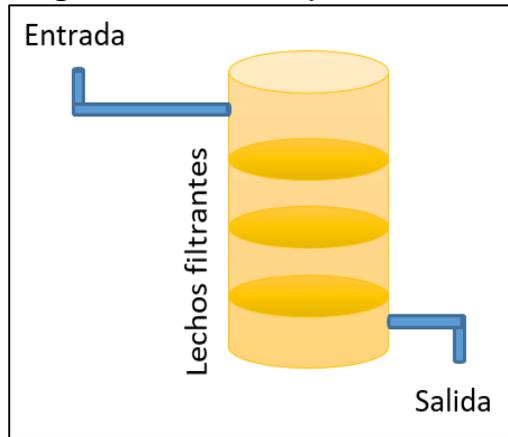
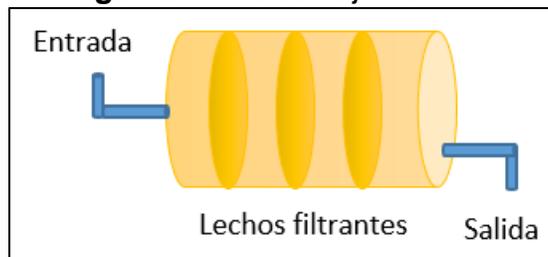


Imagen 5. Filtro de flujo horizontal.



2.3 ZONA DE ESTUDIO

El municipio de Suárez se reconoce por su emprendimiento y gran diversidad natural, para mejor bienestar social de unas familias hacinadas en el llamado “Valle del Cauca”, deciden aventurarse a buscar nuevos rumbos de vida, teniendo como concepción que las riberas de los ríos como el Cauca son

fuentes de riqueza aurífera en el sentido de que las aguas tienen en sus cauces materiales de toda clase, entre ellos, el preciado metal; y a nivel agrícola, teniendo en cuenta que son tierras fértiles ya que todo los nutrientes del suelo son cimentados en zonas aledañas a los ríos por acciones de la misma naturaleza.

Actualmente es altamente reconocido por el embalse la Salvajina y por su explotación minera en oro.

2.3.1 Localización y economía.

Como se observa en la

Imagen 6. Ubicación del sitio de trabajo, Suárez se encuentra ubicado al Noroccidente del Departamento del Cauca, entre las coordenadas IGAC 1'026.000 E, 802.000 N a 1'048.000 E, 832.000 N. Limita al norte y oriente con el municipio de Buenos Aires, al Suroriente y al Sur con el Municipio de Morales y al Occidente con López de Micay, con una extensión de 389,87 Km², de los cuales 3,57 km² corresponde a la parte urbana, tiene una altura sobre el nivel del mar de 1.050 m, una temperatura media 27 °C y una distancia de la capital del departamento, Popayán de 107 Km. [31]

En su orografía se destacan los altos de Sardinias, Altamira, San Pablo, Las Tijeras, Delucha, Cerros como Damián, Salvajina, La Toma, Cabuyal, La Estrella, La Alejandría, Los Motilones, La Sierra, El Paso, entre otros.

Políticamente está dividido en los corregimientos de Mindalá, La Toma, Asnazú, Betulia, Agua Clara, Robles y La Meseta. [32]

La economía de este municipio está basada fundamentalmente en el sector primario; agricultura (café, yuca, caña panelera, maíz, frijol, frutales entre otros) y minería principalmente. La extracción del oro se realiza en la zona Suroriental del municipio en inmediaciones de los corregimientos de La Toma y Mindalá, siendo esta la principal fuente de explotación. [32]

Imagen 6. Ubicación del sitio de trabajo.



Fuente: Google Maps

En la vereda Tamboral se encuentran aproximadamente 15 entables mineros, los cuales vierten el agua contaminada en el procedimiento de explotación de oro directamente a la represa la Salvajina; teniendo en cuenta esta problemática se desarrolla el presente proyecto en el entable del Señor Julián Gómez (Ver *Imagen 7*), quien otorgó el permiso correspondiente para el desarrollo de las actividades necesarias para llevar a cabo este proyecto.

Este entable cuenta con aproximadamente 36 tambores para el procesamiento del mineral extraído de las minas de oro, 2 tanques de almacenamiento de agua para lavado, un equipo para separar la amalgama del mercurio y un canal de vertimiento directo a la represa (Ver *Imagen 8*). Es necesario resaltar que los lodos generados por este proceso de minería son acumulados alrededor del entable sin ningún tratamiento previo, de igual manera se presenta otra problemática con el material inicial del mineral que es arrojado hacia los lados de la carretera (vía Suárez - Tamboral).

Imagen 7. Entable minero



Fuente: Autor

En la zona noroccidental la producción agropecuaria es la actividad económica más importante, a tal punto que la agricultura participa en un 52% de la producción del municipio, seguido de la actividad minera con un 27%, el comercio con un 3% y el 18% restante está en actividades como piscicultura, avicultura, ganadería, entre otros. En algunos sectores se practica la actividad forestal por Smurfit Cartón de Colombia. [32]

Imagen 8. Equipos del entable minero



a. Estructura del entable minero.



b. Acumulación de lodos.

Fuente: Autor

El turismo no presenta aún una actividad económica importante para el Municipio por su deficiente infraestructura y publicidad, pero este sector promete convertirse en una actividad líder si se aprovechan las ventajas escénicas naturales y artificiales que tiene este municipio, sobre todo la representada por el lago o embalse la Salvajina y el Sistema Hídrico Municipal incluyendo sus principales ríos.

Cuenta con ríos importantes como el Cauca, Ovejas, Marilopito, Damián, Inguitó, Asnazú, Marilópez y San Miguel, con las Quebradas El Chupadero, La Chorrera, Los Pasos, Los Morados, La Laja, El Danubio y un Embalse Artificial en la Hidroeléctrica de la Salvajina, llamado Ciro Molina Garcés. [32]

2.4 BASES LEGALES

Las bases legales de esta investigación se encuentran representadas en la Constitución Política de Colombia como norma fundamental, Leyes, decretos y resoluciones los cuales son establecidos para beneficio del ser humano y los recursos naturales; resaltando la resolución 0631 de 2015 que dictamina los límites permisibles del metal pesado puesto en discusión en el proyecto, a continuación se presenta una clasificación de acuerdo al enfoque de cada base legal:

Tabla 3. Marco Legal vigente de Carácter General

Tipo de norma	Descripción	Referencias
Constitución Política de Colombia	Marco jurídico, democrático y participativo que garantiza un orden político, económico y social justo.	[33]
Ley 685 de 2001	Por la cual se expide el Código de Minas y se dictan otras disposiciones.	[34]
Ley 1658 de julio de 2013	Por medio de la cual se establecen las disposiciones para la comercialización y el uso del mercurio en las diferentes actividades industriales del país	[35]

Tabla 4. Marco legal vigente de carácter minero ambiental

Carácter	Tipo de norma	Referencias
Ley 9 de 1979	Crea el Fondo Nacional de regalías, Comisión nacional de Regalías y regula el derecho del estado a percibir regalías por la explotación de los recursos naturales no renovables.	[36]
Decreto 2636 de 1994	Legaliza las explotaciones de hecho de la pequeña minería	[37]
Decreto 501 de 1995	Reglamenta la inscripción en el registro minero de los títulos para la exploración y explotación de minerales de propiedad nacional.	[38]
Decreto 1481 de 1996	Establece la obtención de la licencia ambiental para la inscripción de los aportes en el registro minero nacional.	[39]
Política Nacional de Seguridad Minera Resolución N° 18-1467 de 2011	La política busca establecer los pilares para el mejoramiento de la seguridad minera en el país y definir lineamientos técnicos y operativos para prevenir al máximo accidentes y que estos puedan provocar la muerte de trabajadores mineros.	[40]

Tabla 5. Marco Legal vigente de Carácter Sanitario y Ambiental

Carácter	Tipo de norma	Organización encargada
Decreto-ley 2811 de 1974	Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.	[41]
Ley 9 de 1979	Código Sanitario Nacional, es un compendio de normas sanitarias para la protección de la salud humana	[42]
Ley 99 de 1993	Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales	[43]

Carácter	Tipo de norma	Organización encargada
	renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones.	
Ley 253 de 1996	Por medio del cual se aprueba en Colombia el Convenio de Basilea.	[44]
Resolución 631 de 2015	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.	[45]

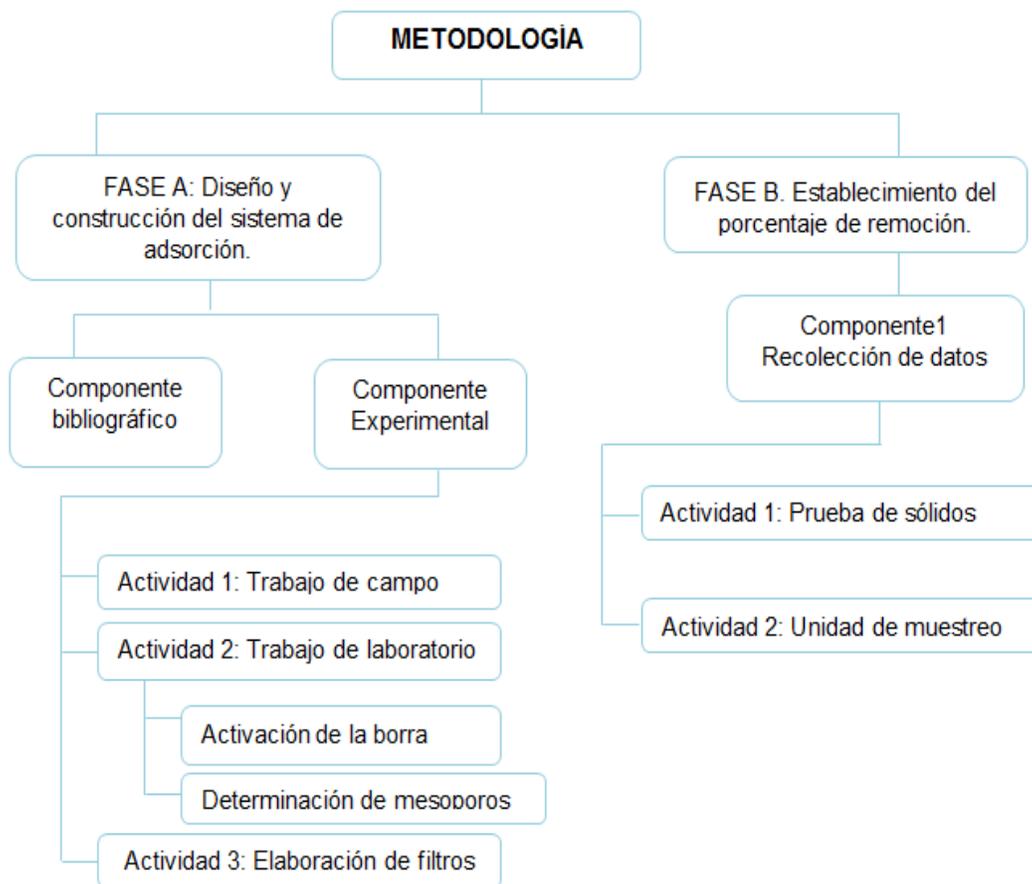
Tabla 6. Documentos de referencia

Documento	Descripción	Referencia
Conpes 2898 de 1997	Estrategias para el fortalecimiento del sector minero en Colombia	[46]
Conpes 3762 de 2013	Define los lineamientos de política para la identificación y priorización de proyectos en infraestructura, hidrocarburos, minería y energía considerados de interés nacional y estratégicos (PINES)	[47]
Planes	Plan Básico de Ordenamiento Territorial del Municipio de Suarez - Cauca.	[48]
	Plan Nacional para el Desarrollo Minero, visión para el año 2019 – UPME	[49]
	Plan de Desarrollo Municipal de Suarez– Cauca (2.012-2.015)	[50]
	Plan Nacional de Desarrollo 2010 - 2014 “Prosperidad para todos”	[47]
	Plan Nacional de Ordenamiento Minero – Resolución 0256 de 2014	[51]

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

Para el logro de los objetivos planteados inicialmente en la eficiencia de la borra de café como material adsorbente de mercurio en la práctica minera se estableció la metodología confinada en la *Figura 3*, la cual se divide en 2 fases principales:

Figura 3. Metodología



Fuente: Autor

3.1 FASE A. Diseño y construcción del sistema de adsorción.

Dentro de esta fase se establecieron dos componentes con sus respectivas actividades, desarrolladas con el fin de obtener el diseño final del sistema de adsorción a base de borra de café:

3.1.1 Componente bibliográfico.

Se realizó la visita al entable del Señor Julián Gómez con el fin de conocer el proceso de beneficio de oro y obtener información por parte del administrador del lugar y trabajadores del entable acerca de los procedimientos que se realizan en esta actividad.

Como información secundaria se hizo uso de base de datos EBSCO, Scielo; libros y tesis no más de 3 años de realizadas, se tuvo en cuenta anteriores estudios, normatividad vigente e información de la alcaldía del municipio de Suarez- Cauca; se realizó la documentación del tema y se estableció el método de adsorción de mercurio por medio de filtros con borra de café, explicado paso a paso a continuación.

3.1.2 Componente experimental.

En el diseño experimental se plantearon tres actividades principales:

3.1.2.1 Actividad 1. Trabajo de campo.

El trabajo de campo se realizó en el entable de la vereda el Tamboral del municipio de Suárez Cauca (Ver *Imagen 9*), teniendo en cuenta el reconocimiento del sitio de trabajo; para ello se realizaron las visitas respectivas al municipio de Suárez para la identificación del lugar de trabajo y el entable para la toma de las muestras.

Imagen 9. Trabajo de campo



a. Aforo de caudal



b. Medición de parámetros

Fuente: Autor

Inicialmente se Identificó el entable a trabajar en la mina y se solicitó el respectivo permiso con el administrador para el acceso a este; se identificó el punto de monitoreo, donde se realizaron 3 caracterizaciones de parámetros fisicoquímicos.

Se realizó un monitoreo compuesto estableciendo alícuotas de 1 hora durante un periodo de 3 horas; los parámetros medidos en campo fueron: temperatura, oxígeno disuelto, pH, alcalinidad, color y turbidez. Para la lectura de DQO se fija una muestra de 1 Litro con ácido nítrico y para mercurio, sólidos suspendidos totales y DBO se recolectó 3 litros sin fijar, estas fueron analizadas en el laboratorio de la Universidad Tecnológica de Pereira; el tipo de metodología empleada para la lectura de cada parámetro se indica en la *Tabla 7*.

Tabla 7. Parámetros

Parámetro	Método	Standard Methods	Unidad
Mercurio	Espectrometría de Absorción Atómica Vapor Frío	SM: 3112 B	mg Hg/L
DQO	Titulo métrico Reflujo Cerrado	SM: 5220 C	mg O ₂ /L
DBO ₅	Test DBO5	SM: 5210	mg O ₂ /L
Sólidos Suspendidos Totales	Sólidos Suspendidos Totales a 103 – 105°C	SM: 2540 – D	mg/L
Alcalinidad	Titulación o potencimetría	SM: 2320 B	mg/L CaCO ₃
pH	Potenciómetro	SM: 4500 H	Unidades de pH
Temperatura	Potenciómetro	SM: 2550 B	°C
Turbiedad	Nefelometría	SM: 2130 B	°C
Oxígeno Disuelto	Electrométrico	SM: 4500- O G	mg/L
Conductividad	Electrométrico	SM: 2510 B	µS/cm
Sólidos disueltos totales	Gravimétrico	SM: 2540 - C	mg/L

En la última visita se recolectó una muestra compuesta de 40 litros de agua proveniente del entable en las diferentes horas de producción (1h, 2h y 3h), con el fin de obtener un muestreo lo más homogéneo posible durante la jornada de total producción; esta muestra fue llevada hasta el laboratorio de la Corporación Universitaria Autónoma del Cauca siendo refrigerada a 4 °C hasta el momento de ser tratada con el sistema de adsorción de mercurio.

3.1.2.1 Actividad 2. Trabajo en laboratorio.

Dentro de este apartado se establecieron diferentes actividades como:

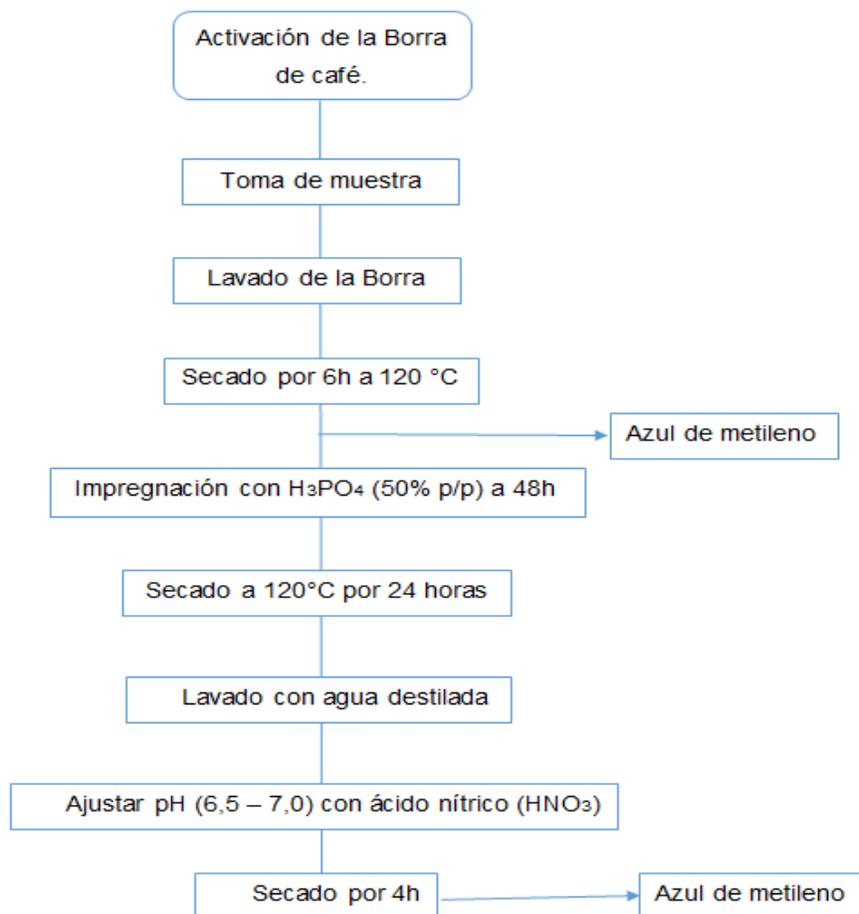
- **Activación de la borra de café:** Para la activación de la borra de café (cuncho) se tomó 1,48 g inicialmente; obtenida de SUPRACAFE (Ver Anexo 2), con una granulometría de aproximadamente 0,5 mm. Este material fue puesto en activación siguiendo el respectivo proceso especificado en la metodología como se observa en la *Figura 4*.

El lavado de la muestra se realizó en beakers con la ayuda de coladores de tela y agua destilada.

Para llevar a secado se dispersó la borra en papel kraft con las respectivas bandejas del horno de convección forzada en el cual se facilitó asignar la temperatura necesaria y su tiempo correspondiente (120 °C por 6 horas).

Una vez obtenida la densidad del ácido se procedió a calcular el volumen necesario para la impregnación del total de la borra, teniendo en cuenta que debe llevar una relación 3:1.

Figura 4. Proceso de Activación de la borra de café.



Fuente: Autor

- **Determinación de mesoporos:** Se realizó la prueba con azul de metileno (antes de la impregnación con ácido fosfórico y después del lavado de este), para corroborar que el proceso fuera realizado correctamente.

La prueba de azul de metileno se realizó una curva entre 0,2 y 3,0 mg/L de reactivo (Ver Imagen 10). Para determinar el grado de adsorción de esta sustancia por la borra de café, se mezcló 20 ml de la concentración de azul de metileno (0,2; 0,5; 2,0 ppm) con 10 mg de borra de café, los cuales fueron llevados a agitación de 400 rpm durante 48 horas (Ver Anexo 4).

Imagen 10. Curva de azul de metileno



Fuente: Autor

La absorbancia del azul de metileno fue medida en un fotómetro digital (REF) utilizando longitudes de onda de 630 y 645 nm, estas medidas se realizaron al finalizar las 48 horas. Para el cálculo de la cantidad adsorbida por el granulo de la borra, se utilizó la ecuación (1).

3.1.2.2 Actividad 3. Elaboración de los filtros.

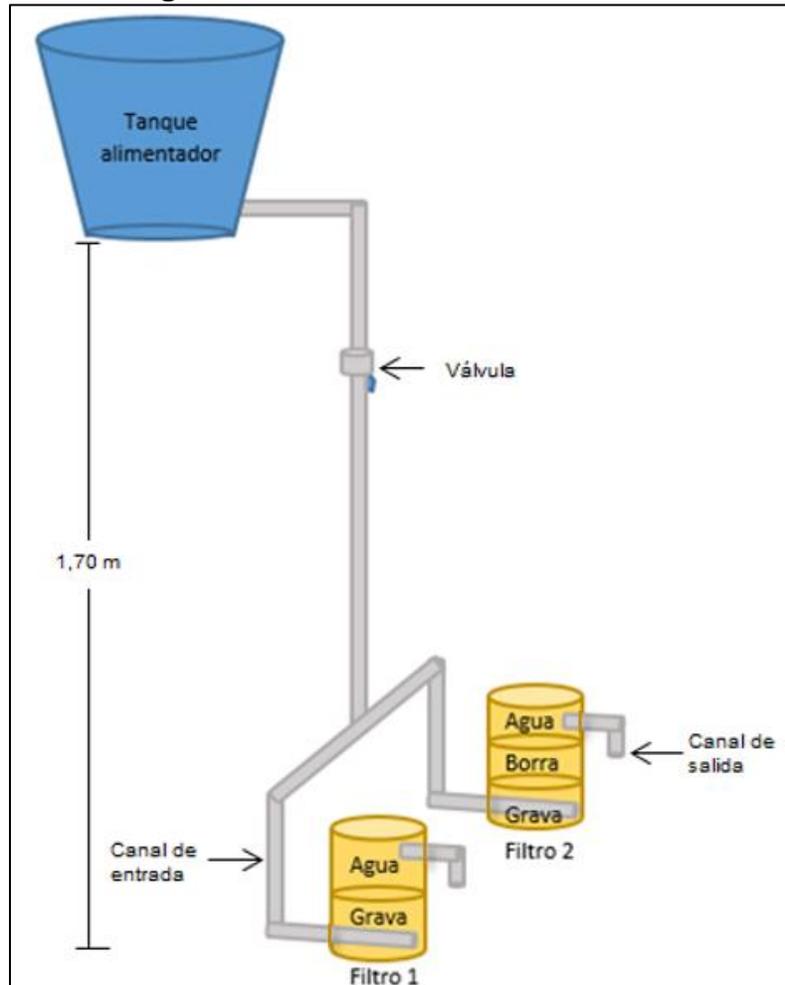
Para el desarrollo del sistema de adsorción de Mercurio se elaboró un tanque alimentador y 2 filtros de flujo ascendente como se observa en la *Figura 5*. [24] La construcción de los filtros fue de manera experimental con el fin de evaluar la proporción de la borra de café necesaria y el porcentaje de remoción de mercurio del agua contaminada.

De acuerdo con la revisión bibliográfica realizada, se resolvió que previo al tratamiento de filtros, se sedimentara el agua en conos imhoff, y luego el agua fuera acumulada en el tanque alimentador conectado directamente a los filtros, este tanque cuenta con una capacidad de 25 Litros; los 2 filtros tuvieron 4" de diámetro y 35 cm de profundidad, las uniones y tuberías fueron en PVC con un diámetro de ½ pulgada, ubicando en la tubería de salida un recipiente para la toma de las muestras.

Una vez terminado el sistema se procedió a encapsular los lechos filtrantes, la borra de café y la grava; esta última fue escogida debido a su capacidad para reducir la velocidad del agua y distribuirla uniformemente

y así ir capturando contaminantes de mayor tamaño presentes en el agua, la granulometría de la grava fue de 4,75 mm y para esto fue pasada por un tamiz de este tamaño y posteriormente lavada y secada.

Figura 5. Diseño del sistema de filtros.



Fuente: Autor.

El montaje de los filtros fue realizado en la ciudad de Popayán a una escala de 1:10 como diseño piloto (Ver Anexo 6), por tal razón el agua fue transportada desde el entable (Suárez-Cauca); para conservar las condiciones iniciales fue refrigerada a una temperatura promedio de 4 °C.

Una vez sedimentada el agua, se procedió a depositarla en el tanque alimentador, el cual se ubicó a una altura de 1,70 m previo a los filtros; el paso

del agua fue de manera manual utilizando una válvula para el control del caudal, obteniendo el caudal correspondiente con la *ecuación (2)*:

$$Q = \frac{Vol}{t} \quad (2)$$

Dónde: $Q = \text{Caudal}$
 $V = \text{Volumen}$
 $t = \text{Tiempo}$

Una vez se obtuvieron las muestras de agua tratada en los filtros, fueron fijadas con ácido nítrico a una concentración del 10%, hasta alcanzar un pH entre 2,5-3,0 y enviadas al laboratorio de la Universidad Tecnológica de Pereira para el análisis de concentración de Mercurio, estas fueron transportadas en una nevera portátil a una temperatura de 4 °C con un tiempo no mayor a 24 horas.

El sistema estuvo compuesto por dos filtros:

Filtro 1 (blanco):

- Canal de entrada: El cual capta y conduce el agua hacia el filtro.
- Capa de grava: Empleada para la retención de partículas de mayor tamaño, esta tuvo un grosor del 2/3 del total del filtro.
- Canal de salida: Por donde sale el agua tratada hacia el efluente.

Filtro 2:

- Canal de entrada: El cual capta y conduce el agua hacia el filtro.
- Capa de borra de café: Diseñada para la remoción de mercurio presente en el agua, este tuvo un grosor del 1/3 del volumen total del filtro, que estará cubierta por una fibra fina evitando la pérdida de material y distorsión en los resultados.
- Capa de grava: Empleada para la retención de partículas de mayor tamaño, este tendrá un grosor del 1/3 del volumen total del filtro.

- Canal de salida: Por donde sale el agua tratada hacia el efluente.

El tiempo de retención hidráulico fue calculado en los dos filtros para determinar la capacidad del lecho filtrante.

3.2 FASE B. Establecimiento del porcentaje de remoción.

En esta fase se describen las actividades realizadas para definir el porcentaje de remoción de mercurio empleando la borra de café.

3.2.2 Componente 1. Recolección de datos.

3.2.2.1 Actividad 1. Prueba de sólidos.

Se hizo una medición de sólidos sedimentables para determinar la eficiencia, mediante el método de cono imhoff como se observa en la *Imagen 11*, tomando la muestra in situ, para ser llevada hasta el laboratorio de la Corporación Universitaria Autónoma del Cauca y realizar el debido proceso y análisis de resultados (Ver Anexo 5).

Imagen 11. Método cono imhoff



Fuente: Autor.

3.2.2.2 Actividad 2. Unidad de muestreo.

Se midieron los parámetros relevantes dentro del proyecto (Ver *Tabla 7*), mediante un muestreo compuesto con alícuotas de 30 minutos durante 3 horas.

El análisis de los parámetros muestreados fue realizado en el laboratorio de la Universidad Tecnológica de Pereira y el laboratorio de la Corporación Universitaria Autónoma del Cauca; se realizó la toma de muestras a la entrada del tanque de almacenamiento y a la salida de los 2 filtros; los resultados obtenidos se compararon con lo establecido en la resolución 0631 de 2015.

Para determinar el porcentaje de remoción de mercurio se empleó la *ecuación (3)*:

$$E = \frac{S_0 - S}{S_0} \times 100 \quad (3)$$

Dónde: S_0 : Carga contaminante de entrada
S: carga contaminante de salida

CAPITULO IV: RESULTADOS Y ANÁLISIS

A continuación, se presentan los resultados de los diferentes procesos realizados en el desarrollo del proyecto, iniciando con la caracterización y su respectivo análisis, activación de la borra de café, seguido del proceso de azul de metileno para el cálculo de la capacidad de adsorción, finalizando con el porcentaje de remoción de mercurio con borra de café.

Para el análisis de los resultados se dividieron en dos partes: parámetros in-situ, Corporación Universitaria Autónoma del Cauca; y parámetros analizados por el laboratorio de la Universidad Tecnológica de Pereira.

El análisis de los resultados se hizo de tres maneras: primero comparando con la normatividad colombiana (resolución 0631 del 2015), segundo realizando una comparación de resultados de la entrada con la salida del sistema y finalmente se hizo la comparación con el filtro blanco; que confirma la veracidad de los resultados obtenidos. Para llevar un orden específico y paralelo a los objetivos planteados inicialmente se optó por seguir el mismo orden de la metodología del proyecto.

4.1 CARACTERIZACIÓN DEL EFLUENTE

Para la elaboración del sistema de filtros de flujo ascendente, se realizó una caracterización inicial del efluente del entable minero ubicado en la vereda Tamboral; en la *Tabla 8* se indican los parámetros evaluados durante los 3 monitoreos.

Se puede evidenciar que la mayoría de los parámetros evaluados, se encuentran por fuera de lo establecido en la normatividad (resolución 0631 de 2015), lo que a primera instancia indica que los vertimientos mineros en especial el proveniente del entable del señor Julián Gómez, está generando un impacto a los cuerpos de agua receptores en este caso a la represa La Salvajina.

Tabla 8. Caracterización del agua residual del entable minero en la vereda Tamboral

Parámetros	Campañas de monitoreo			Norma (resolución 0631 de 2015)
	1	2	3	
Temperatura (°C)	21,53	23,07	24,60	< 40
Oxígeno disuelto (mg/L)	1,37	1,20	1,00	> 5
Conductividad (µS/cm)	178,73	202,00	156,47	–
Sólidos disueltos totales (mg/L)	122,83	138,53	107,90	< 50
pH	7,47	7,40	7,98	6,0 - 9,0
Turbidez (NTU)	1219,33	1463,63	9761,00	< 100
Alcalinidad (mg/L CaCO ₃)	2,40	2,27	4,00	–
Caudal promedio (L/s)	1,93	0,91	1,20	–
DBO ₅ (mg O ₂ /L)	20	6	22	< 50
DQO (mg O ₂ /L)	308	39	58,1	< 150
SST (mg/L)	2058	1647	9090	< 50
Mercurio (mg Hg/L)	1,03	1,04	0,45	< 0,002

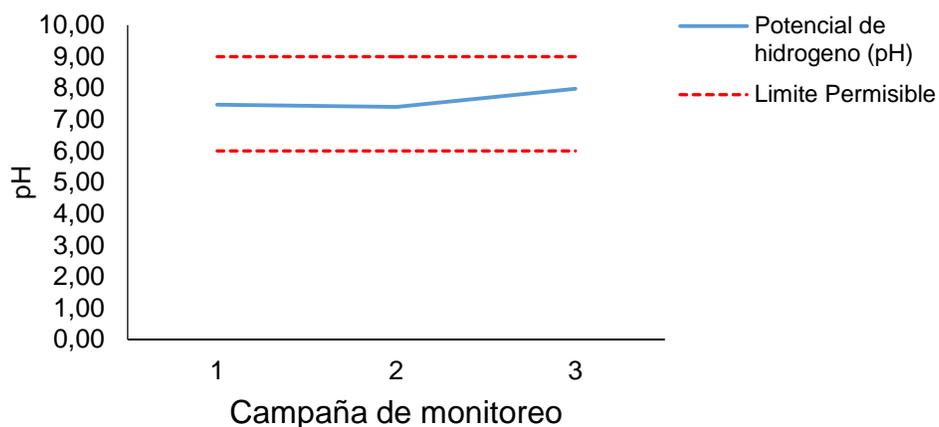
A continuación se observa con mayor detalle algunos de los parámetros más relevantes según la resolución 0631 de 2015. En los ejes de las gráficas se establecen el parámetro medido y las 3 caracterizaciones (Campaña de monitoreo) realizadas en el entable (1, 2 y 3):

4.1.1 Potencial de hidrogeno (pH).

En el *Gráfico 1* se muestra los resultados de pH, los cuales están dentro del rango del límite permisible según la resolución 0631 de 2015.

El pH corresponde a la concentración de iones o cationes de hidrogeno [H⁺] presentes en una sustancia. De acuerdo con la resolución 0631 de 2015 este parámetro debe estar en un rango entre 6-9, con lo anterior se logró establecer que los datos del efluente están dentro del rango permitido, arrojando valores entre 7,0-8,0

Gráfico 1. Potencial de Hidrogeno.



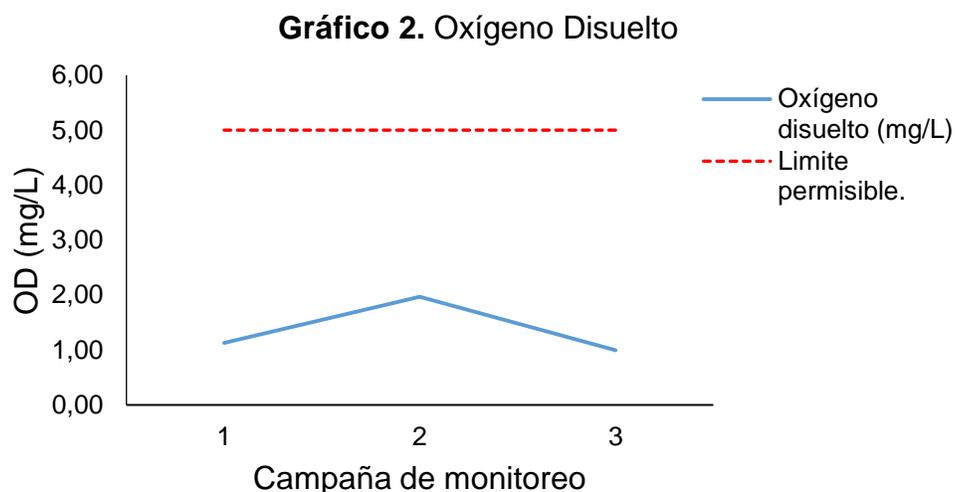
El pH del entorno es un parámetro importante en el estudio sobre metales pesados, ya que este permite la disponibilidad de iones metálicos para ser retenidos por el material adsorbente; la mayoría de estos metales tienden a estar más disponibles en pH ácido porque se ven menos adsorbidos, lo cual es favorable ya que los resultados de pH del efluente son básicos, debido a que no se agregan otras sustancias durante el proceso del beneficio del oro, que puedan afectar el rango de este parámetro. [52]

Los resultados de pH del efluente minero, son aceptables ya que está dentro del rango permisible favoreciendo los procesos naturales tanto del cuerpo de agua como del ecosistema en general para llevar a cabo el desarrollo de procesos como la fotosíntesis; por otro lado este logró ser un factor determinante en la remoción de mercurio debido a su capacidad de regular la movilidad de metales pesados.

4.1.2 Temperatura y Oxígeno Disuelto (OD).

Para estos parámetros no se expresó gráficamente la temperatura debido a que no tuvo una diferencia significativa durante las campañas de monitoreo realizadas, sin embargo es un parámetro que está muy relacionado con el Oxígeno Disuelto.

La temperatura es un parámetro termodinámico que caracteriza el calor o la transferencia de energía, se pudo observar en el *Gráfico 2* que su variación fue mínima ya que su medición se realizó en horarios similares.



La temperatura es muy importante ya que esta influye en diferentes parámetros como sólidos disueltos y oxígeno disuelto. El aumento de la temperatura también modifica la solubilidad de las sustancias aumentando la de los sólidos disueltos [61]; el oxígeno disuelto puede ser un indicador de contaminación en el agua, este tiene una relación inversamente proporcional con la temperatura, por lo tanto un aumento de ésta, acelera el proceso fotosintético, disminuyendo el oxígeno presente en el agua, a temperaturas normales la concentración de OD es de aproximadamente 9 mg/L, considerando que bajo 5 mg/L, el agua no es apta para el desarrollo de la vida como se observa en la *Tabla 9*. [53]

Tabla 9. Rangos de concentración de oxígeno disuelto y consecuencias eco sistémicas frecuentes.

OD (mg/L)	Condición	Consecuencia
0	Anoxia	Muerte masiva de organismos aerobios
0-5	Hipoxia	Desaparición de organismos y especies sensibles
5,0 - 8,0	Aceptable	[OD] adecuadas para la vida de la gran mayoría de especies de peces y otros organismos acuáticos.
8,0 - 12,0	Buena	

OD (mg/L)	Condición	Consecuencia
>12	Sobresaturada	Sistemas en plena producción fotosintética.

Fuente: [54]

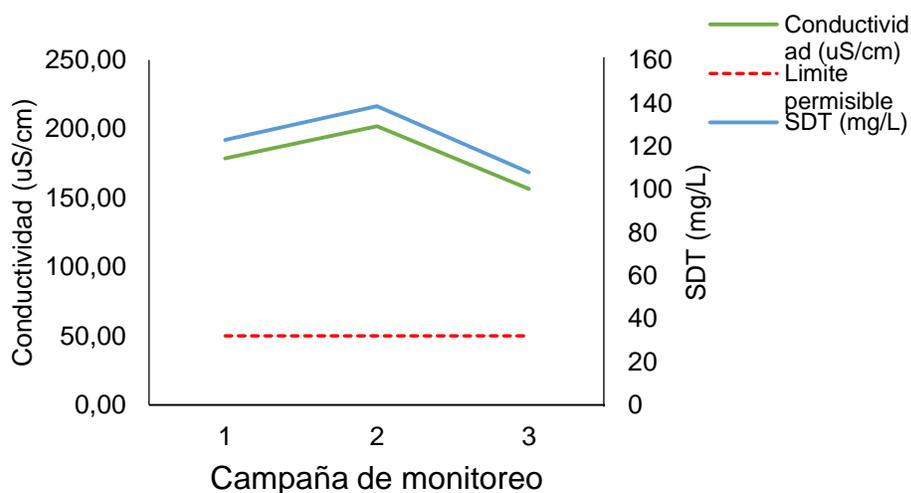
Es por esto que en épocas de verano hay mayor mortandad de especies acuáticas [55]. En el análisis de OD es importante tener en cuenta que el aumento de los residuos orgánicos contribuye a los niveles de éste, debido al consumo de oxígeno en el proceso de descomposición del limón utilizado para facilitar el proceso de amalgamación del oro.

Los resultados obtenidos de OD (1,37; 1,20 y 1mg/L), no alcanzan el rango de límite permisible ocasionando disminución de la disponibilidad de especies aerobias, esto debido a las altas temperaturas de esta región, siendo uno de los principales factores que afectan directamente la concentración de oxígeno, trayendo consigo desventajas para el desarrollo de la actividad pesquera de la comunidad.

4.1.3 Conductividad y sólidos disueltos totales.

Para estos parámetros se presentan resultados directamente proporcionales en las 3 campañas de monitoreo realizadas en el entable:

Gráfico 3. Conductividad eléctrica y sólidos disueltos totales



El agua se comporta como un aislante eléctrico, ya que las sustancias disueltas en ella le proporcionan la capacidad de conducir corriente eléctrica; el índice de TDS es una medida de concentración de iones en una solución y la capacidad de estos para conducir corriente es llamada conductividad, por lo tanto tienen una relación directamente proporcional. [56]

La medida de sólidos disueltos totales (TDS) es un índice de la cantidad de sustancias disueltas en el agua, convirtiéndose en un indicador de la calidad del agua; a diferencia de los sólidos suspendidos, los sólidos disueltos determina la salinidad del suelo y en consecuencia la conductividad del mismo. [57]

Los sólidos disueltos totales obtenidos en este proceso sobrepasan los límites de la norma (resolución 631 de 2015), lo cual es representado por el material disuelto en el agua, tales como sales, minerales, metales y residuos orgánicos; relacionándose con la pureza y calidad del agua que afecta a consumidores o quien utiliza este recurso.

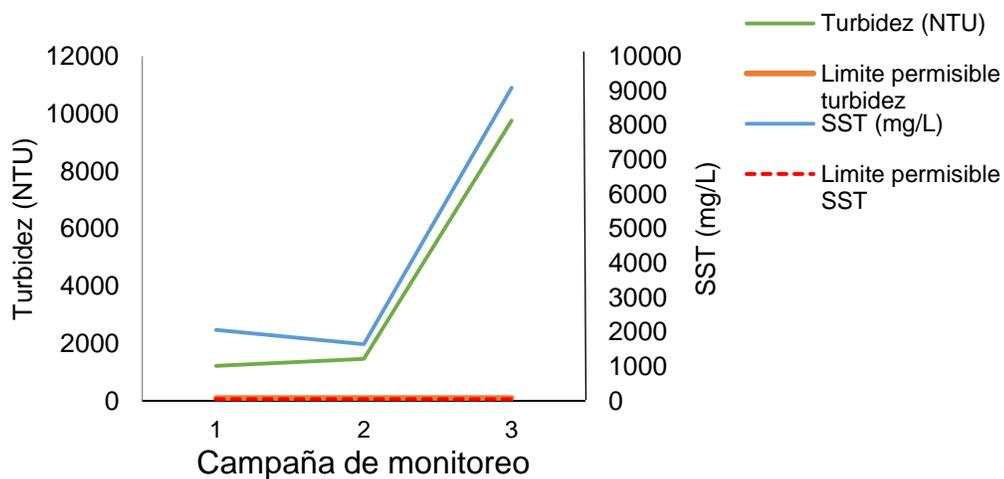
Teniendo en cuenta que los TDS ocasionó una apariencia turbia en el agua incrementando el riesgo de enfermedades gastrointestinales al beber o irritaciones en la piel por contacto directo; para el sistema de filtros estos altos niveles de sólidos disueltos totales representa la necesidad de instalar un sistema (osmosis reversa o destilación) [58] antes de pasar el agua, para evitar colmatación o cambios en el caudal. Respecto a la conductividad, al ser directamente proporcional con los TDS representa igualmente daños para el desarrollo de la vida acuática por el incremento de sales y minerales en el cuerpo acuífero.

4.1.4 Turbidez y sólidos suspendidos totales.

A continuación se refleja la relación entre turbidez y SST, los cuales sobrepasaron notablemente los límites permisibles.

La turbidez es la medida de dispersión de la luz en el agua por la presencia de sólidos suspendidos, disminuyendo la calidad del agua, este parámetro tiene una relación directa con los sólidos suspendidos totales, ya que la concentración excesiva de estos va a aumentar considerablemente los niveles de turbidez del agua [57]. De acuerdo con el *Gráfico 4* se observar que el valor de SST sobrepasa el rango establecido en la resolución para este parámetro (50 mg/L).

Gráfico 4. Turbidez y SST



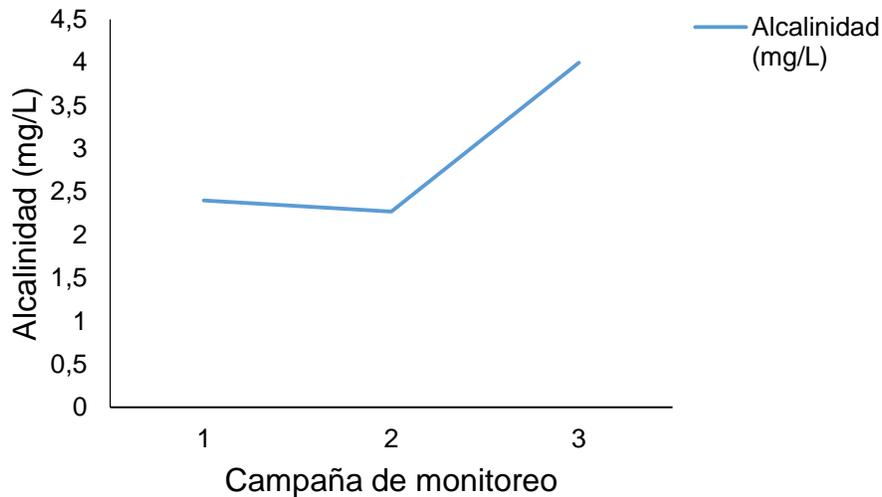
En las actividades del beneficio del oro se genera gran cantidad de sólidos suspendidos, debido a la trituración del material extraído de las minas en uno de menor tamaño, por eso cuando hay mayor producción se puede evidenciar un aumento de estos.

De acuerdo con los valores de la última caracterización, se puede observar que la turbidez tiene un valor muy elevado, ya que el entable estuvo en su máxima producción, aumentando considerablemente los sólidos suspendidos, la presencia de estos incrementan la adhesión de metales pesados, haciendo que el agua a simple vista sea desagradable, debido a que sus altos niveles de turbidez disminuyen la posibilidad de vida de algunos organismos y los sedimentos acumulados destruyen sitios de

alimentación para las especies acuáticas del ecosistema; por otro lado estos obstruyen los equipos o canales causando reboses, por eso requiere de tratamientos extras de altos costos como tanques sedimentadores o desarenadores.

4.1.5 Alcalinidad.

Gráfico 5. Alcalinidad.



La alcalinidad del agua está dada por la presencia de carbonatos (CO_3^{2-}), bicarbonatos (HCO_3^-) e hidróxidos; la alcalinidad no solo es el principal sistema amortiguador de un cuerpo dulce, sino que también sirve como fuente de reserva de la fotosíntesis.

Tabla 10. Rangos de concentración de oxígeno disuelto

Rangos	Alcalinidad (mg/L CaCO_3)
Baja	< 75
Media	75 – 150
Alta	> 150

Fuente: [59]

De acuerdo con la *Tabla 10*, la alcalinidad del efluente producto de la actividad minera, es baja, por lo tanto su capacidad amortiguadora directamente proporcional resulta baja, lo que puede producir alteraciones

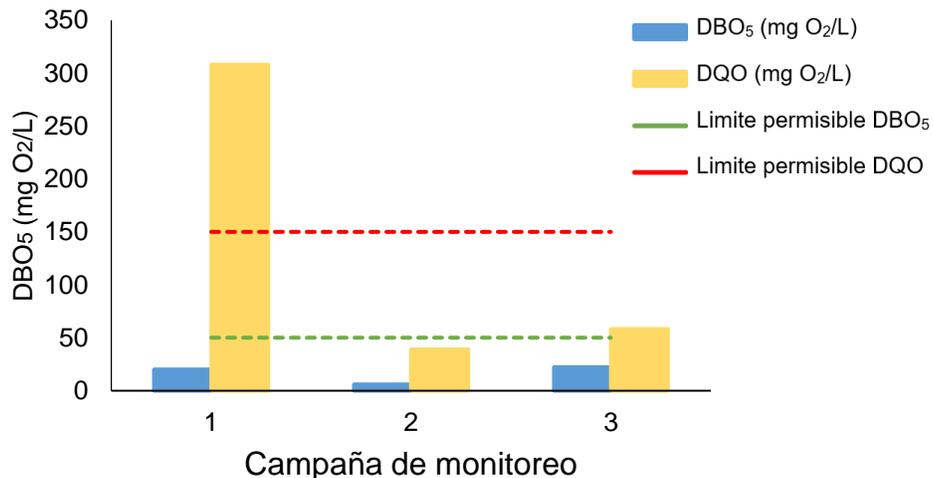
en este parámetro ya que no está en la capacidad de asimilar con facilidad cambios bruscos al ser vertido.

La alcalinidad es un parámetro que está ligado con el pH, ya que la presencia de diferentes sustancias como carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos, producto del desgaste o transformación de rocas o el mineral extraído de las minas, pueden alterar su valor.

4.1.6 Demanda biológica de oxígeno (DBO₅) y Demanda Química de Oxígeno (DQO).

En la gráfica 6 se presentan los resultados de DBO₅ y DQO para analizar su respectiva relación como parámetros relevantes del agua contaminada por mercurio.

Gráfico 6. Demanda Biológica de Oxígeno y Demanda Química de Oxígeno.



Este parámetro permite determinar la cantidad de materia orgánica biodegradable presente en el agua, la DBO es la cantidad de oxígeno necesaria para descomponer la materia orgánica presente, por la acción bioquímica aerobia; la resolución 0631 de 2015 establece que para efluentes mineros la concentración de DBO debe estar por debajo de 50 mg/L, claramente los resultados obtenidos están dentro del rango

establecido como se observa en el *Gráfico 6*; la presencia de materia orgánica se puede deber a diferentes insumos utilizados en el proceso del beneficio del oro, como el limón, el cual es puesto en barriles para descomposición y luego vertido a los tambores para mejorar el proceso de amalgamación, ya que facilita la captura del mineral. [68]

En la *Gráfico 6* se observa que en la segunda caracterización la DBO disminuyó notablemente, esto pudo suceder porque en esa jornada de trabajo se empleó material inicial diferente a lo habitual con una menor cantidad de Mercurio. Respecto al cuerpo de agua que es vertido (represa la Salvajina) mientras se mantenga el nivel de DBO bajo se garantiza la presencia de microorganismos encargados de degradar la materia orgánica presente en éste.

- **Demanda química de oxígeno (DQO).**

La DQO es la cantidad de oxígeno consumido por los cuerpos reductores presentes en el agua sin la intervención de los organismos vivos; ayuda a determinar la materia orgánica oxidable. La resolución 0631 de 2015 establece un límite de 150 mg/L para efluentes producto de la actividad minera, se observa que el primer resultado sobrepasa significativamente el rango establecido que pudo presentarse por el lavado de los tambores con altos contenidos de detergentes y lejías, en el segundo muestreo se presenta una disminución de este parámetro que se mantuvo cercano al tercer resultado, probablemente porque en esos días de muestreo hubo menos producción de lo habitual.

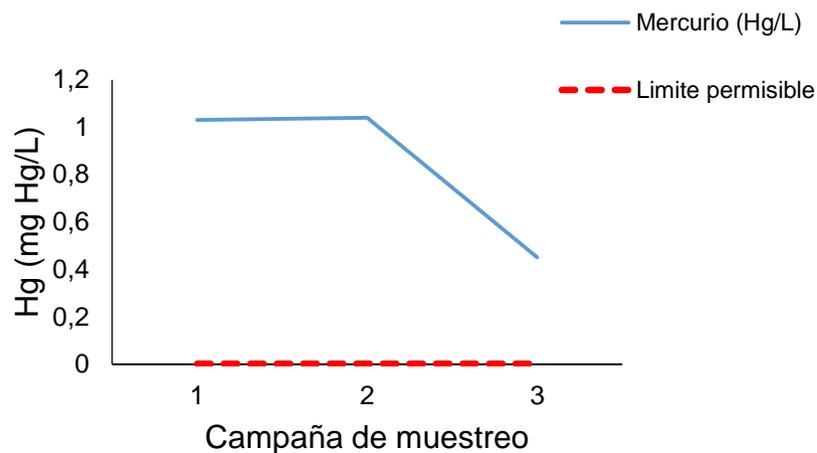
La relación entre DBO/DQO o índice de biodegradabilidad es importante para determinar la capacidad de depuración por medio de microorganismos; si ésta relación es menor a 0,5 se clasifica como un efluente fácilmente biodegradable, mientras que si el resultado es inferior a 0,2 será escasamente biodegradable [53]; notablemente el cociente de esta relación da por debajo de 0,2; clasificando el efluente del entable minero

como escasamente biodegradable, demostrando así que la presencia de contaminantes como el mercurio no permite la compensación del agua sin ayuda de tratamientos antes del vertimiento de esta agua al afluente, donde las bacterias depuradoras no logran realizar su trabajo.

4.1.7 Mercurio.

En la gráfica 7 se muestran los resultados de mercurio obtenidos de las campañas de monitoreo realizadas en el entable:

Gráfico 7. Mercurio



El mercurio es el parámetro clave en el desarrollo de este proyecto, debido a que el objetivo principal es aprovechar la borra de café para la adsorción de éste metal, que representa la carga contaminante que contiene el agua proveniente del entable minero, ya que es utilizado en la amalgamación del oro facilitando su extracción.

Respecto a las afectaciones en la salud, esta sustancia llega a las personas por medio de los alimentos (peces) o directamente por manipulación en el momento de desarrollar su trabajo, ocasionando daños irreversibles al tratarse de una sustancia neurotóxica. [60]

Por otro lado, está la afectación también irreversible que causa al medio ambiente, al ser vertido directamente a fuentes de agua sin ningún tratamiento previo, el mercurio acarrea consigo alteraciones tanto en el color, turbidez, sólidos suspendidos y OD.

En el *Gráfico 7* se logró observar que la cantidad de mercurio presente en el agua evaluada sobrepasa notoriamente el límite permisible, aunque en la tercera campaña de monitoreo arrojó un valor menor en comparación con las otras dos; esto pudo presentarse porque en esa jornada de trabajo solo estuvieron en función 12 tambores de un total de 36, utilizando una proporción mínima de mercurio.

4.2 CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE AZUL DE METILENO

Para realizar la activación de la borra de café se tuvo en cuenta los resultados de la prueba de absorbancia con azul de metileno tomadas antes de la impregnación con ácido fosfórico y después de su proceso de activación; esta prueba fue realizada con el fin de medir la capacidad de adsorción del gránulo de borra de café, a través de la formación de mesoporos.

Una vez realizada la curva de azul de metileno, se procedió a tomar una muestra de la borra de café antes y después de la impregnación con ácido fosfórico y se depositó en un beaker para su respectivo procedimiento; transcurrido el tiempo (48h) se midió la absorbancia de cada muestra obteniendo los resultados expresados en el *Anexo 15*.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos por los porcentaje de remoción en las diferentes concentraciones (0,2; 0,5; 2,0 ppm), se puede evidenciar que la remoción por la borra de café es mejor si se realiza por activación química (ácido fosfórico); igualmente al comparar los resultados que arroja la prueba sin realizar la activación de la borra, presentando estos una diferencia despreciable. Se considera que algunos valores fueron afectados por factores

metodológicos e instrumentales como: la intensidad de agitación de la plancha, la precisión de la preparación de la curva y el contacto de la muestra de azul de metileno- borra con la atmósfera; al no estar debidamente cubiertos los recipientes se presentaron pérdidas de azul de metileno.

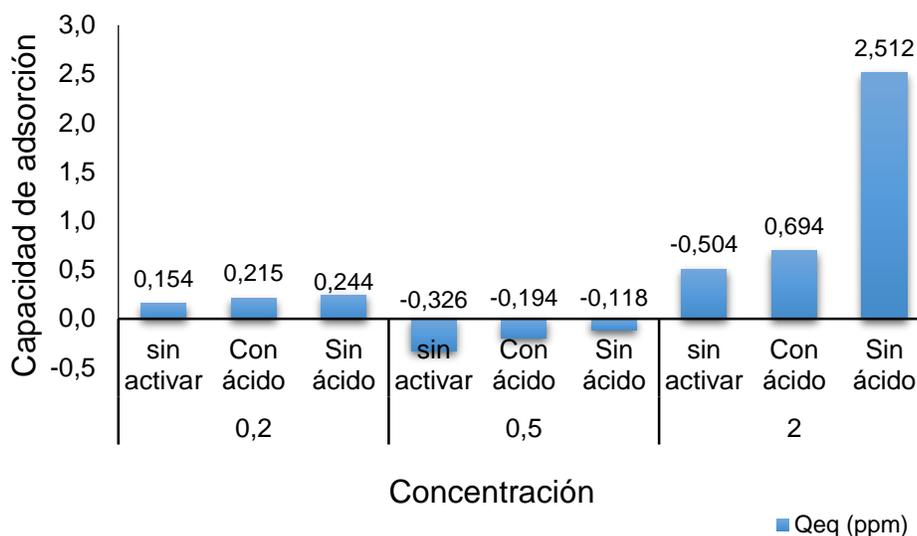
Tabla 11. Comparación de la capacidad de adsorción de la borra activada y sin activar.

	Borra sin activar			Borra activada					
	0,2	0,5	2,0	0,2		0,5		2,0	
				Con ácido	Sin ácido	Con ácido	Sin ácido	Con ácido	Sin ácido
Concentración	0,105	0,105	0,105	0,0014	-0,016	0,632	0,594	1,649	0,740
% Remoción	47,5	0,8	-103,8	99,3	108	-26,4	-18,8	17,55	63

Se obtuvo una capacidad de adsorción (q_{eq}) de 2,5 (Ver Anexo 15), a una absorbancia de 630 nm y una concentración de 2,0 ppm, teniendo en cuenta que su resultado corresponde a la borra sin residuos de ácido (H_3PO_4). Al comparar los resultados de q_{eq} , se pudo determinar que el proceso de activación con ácido, es favorable para la formación de mesoporos, potencializando la retención del material contaminante.

A continuación se recopilan los resultados de la borra activada y sin activar expuesta a diferentes concentraciones (0,2; 0,5 y 2,0 ppm) con su respectiva Q_{eq} y concentración de remoción, para lograr comparar la eficiencia de este residuo de café, el cual resulta tener gran capacidad de captación de azul de metileno como prueba previa:

Gráfica 9. Capacidad de adsorción de la borra activada y sin activar.



4.3 RESULTADOS DEL SISTEMA DE FILTROS DE LA BORRA ACTIVADA CON H₃PO₄

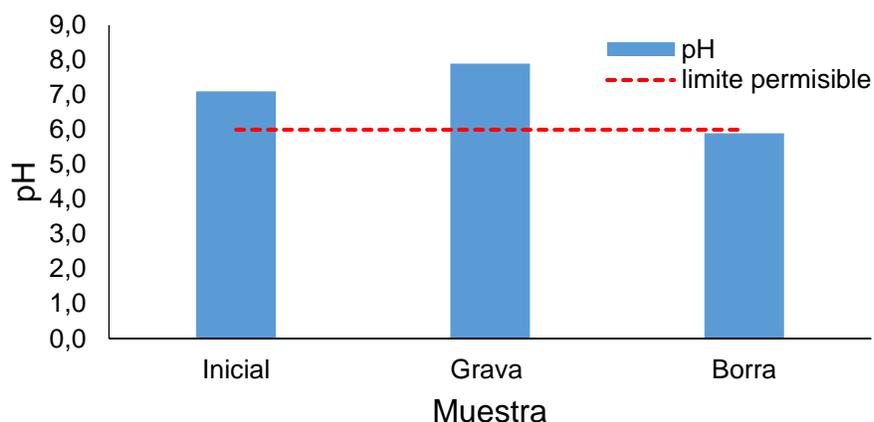
En la *Tabla 12* se presentan los resultados del sistema de filtros ascendentes con borra activada.

Tabla 12. Parámetros medidos en el sistema de filtros.

	Muestra			
	Inicial	Grava	Borra-grava	Normatividad
Volumen (mL)	250	250	250	--
Caudal (mL/s)	1,22	1,22	1,22	--
pH	7,1	7,9	5,9	6 – 9
Turbidez (NTU)	584	406	191,5	<100
Conductividad	866	281,5	938	--
SDT (mg/L)	930	264	1342,8	<50
Color	550	550	550	--
Mercurio (mg Hg/L)	0,0141	0,0049	<0,0008	<0,002

Los resultados del sistema de filtración fueron comparados con: la normatividad (resolución 631 de 2015), filtro blanco (grava) y la muestra inicial.

Gráfico 8. Resultado de pH.

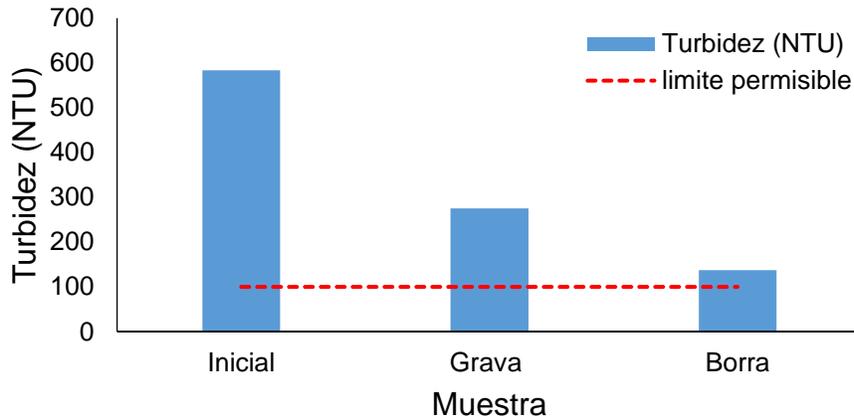


Al comparar el pH del filtro de borra con la normatividad, su pH se encuentra muy cercano al rango establecido, presentando una diferencia despreciable; igualmente al ser comparado con la muestra inicial, su pH disminuye, esto se debe a la activación de la borra de café, ya que se realizó con ácido fosfórico, lo que pudo alterar o influir en su valor (Ver *Gráfico 8*).

El incremento del pH de las muestras del filtro con grava se puede presentar por la composición de ésta (minerales carbonatados) clasificándose como roca calcárea o caliza; al estar compuesto por estos minerales y entrar en contacto con el agua hace que su pH aumente, ya que hidroliza el medio aportando OH^- . [61]

Al hacer la activación química del granulo de café, se presentan una serie de reacciones en la superficie de éste, generando un intercambio iónico de los grupos ácidos al liberar protones y de los grupos básicos que tienden a captarlos cuando se encuentran en un medio ácido; así pues cuando se presentan cargas negativas en la superficie del granulo, estas son atraídas para adsorber cationes y aquellas que presentan carga positiva, adsorben aniones. Por lo tanto es probable que la adsorción de metales pesados se presente principalmente por la formación de iones metálicos y los grupos superficiales ácidos carboxilo- COOH . [70]

Gráfico 9. Resultado de Turbidez.



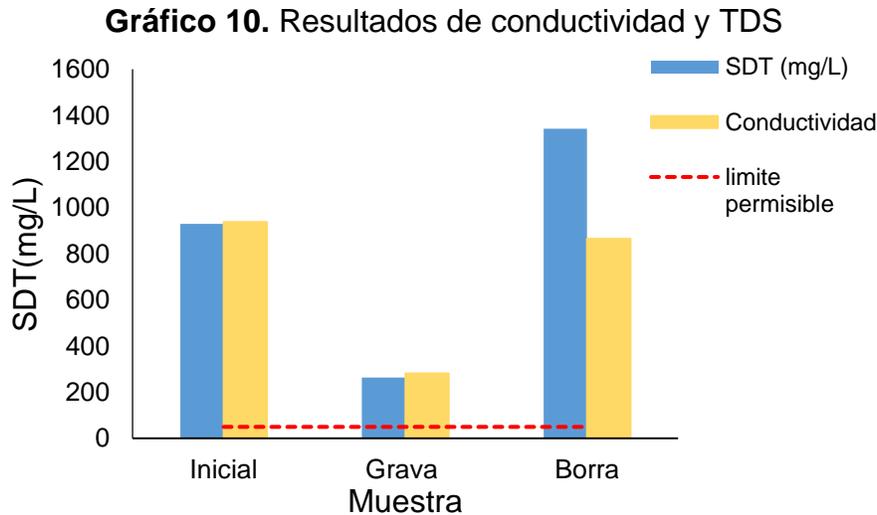
La turbidez es un parámetro favorable al compararlo con la muestra inicial y el filtro con grava, ya que su valor disminuyó significativamente sobrepasando el límite permisible requerido por la normatividad colombiana vigente.

Este parámetro juega un papel importante al implementar un tratamiento de agua, ya que al estar en altos niveles puede deteriorar o disminuir la eficiencia del tratamiento, por ello debe estar en constante monitoreo para mantener niveles bajos de ésta y no colmatar dicho tratamiento.

El primer factor que pudo haber afectado el valor de este parámetro es el tiempo de sedimentación, ya que el efluente contenía gran cantidad de sólidos sedimentables, lo que requería mayor tiempo en los conos imhoff. Otro factor fue la composición de la borra, ya que en el momento de lavarla pudieron quedar residuos de menor granulometría, que con la presión del agua sobrepasaron la membrana que encapsula la borra.

Los parámetros de conductividad y sólidos disueltos totales, están directamente relacionados, por esta razón a medida que incrementó su conductividad, también incrementó la presencia de sólidos disueltos totales (TDS), esto se debe principalmente a la presencia de sales y minerales característico de este tipo de efluentes. La presencia de sólidos disueltos en

gran cantidad, fue uno de los factores que afectó el paso del agua, haciéndolo más lento, lo que provocó la colmatación de los lechos filtrantes.



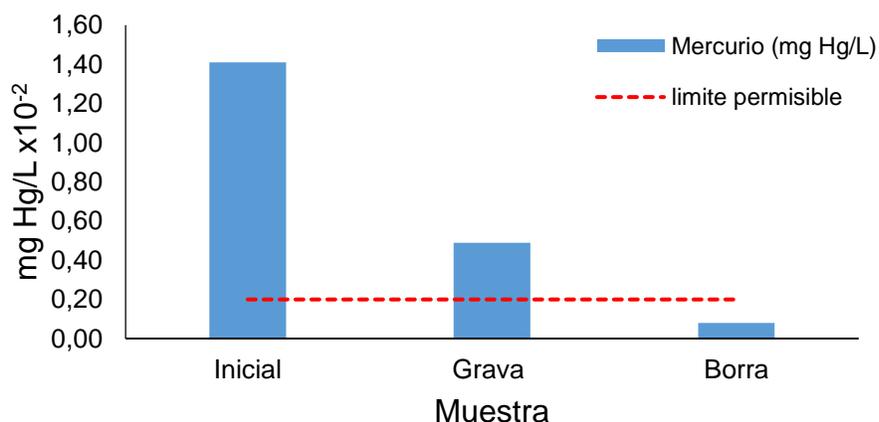
Comparando el filtro compuesto por grava y la muestra inicial, los TDS presentaron una disminución considerable, que pudo ser ocasionada por la composición de la grava, evitando el paso de sólidos disueltos, igualmente al estar relacionada con la conductividad, provocó una disminución en ésta.

Se observa un aumento significativo de TDS en el filtro compuesto por la borra de café (Ver Gráfico 10), esto puede indicar que posiblemente en el interior de estos, se hayan desarrollado diferentes reacciones que degradaron la borra, disolviendo compuestos al entrar en contacto con el agua.

4.4 ESTABLECIMIENTO DEL PORCENTAJE DE REMOCIÓN

Para calcular el porcentaje de remoción de mercurio presente en el agua proveniente de la producción minera se tuvo en cuenta los resultados presentados en la siguiente gráfica:

Gráfico 11. Resultado de Mercurio.



La presencia de mercurio en el agua proveniente del entable minero, fue un parámetro favorable al evaluar el sistema de filtración, ya que su valor está por debajo del límite establecido por la resolución 0631 de 2015 (Ver *Tabla 11*), de igual manera al compararlo con la muestra inicial y el filtro compuesto con grava, se evidencia una diferencia significativa.

La borra de café es un subproducto con un gran potencial de adsorción de metales pesados debido a la composición de este, la cual fue sometida a un proceso de activación con ácido fosfórico, con el fin de mejorar su eficiencia formando meso poros que retuvieron el mercurio, dando como resultado una remoción del 94,33%, liberando el agua de metales pesados.

Para determinar el porcentaje de remoción de mercurio se empleó la ecuación (3). Respecto a los resultados obtenidos en este proyecto se observa una diferencia significativa:

- El filtro con grava y borra de café tuvo un porcentaje de remoción de 94,33%.
- El filtro blanco compuesto por grava tuvo un porcentaje de remoción de 65,25%.

Es importante tener en cuenta los lodos y sólidos producidos por esta actividad debido a que pueden causar afectaciones irreversibles para el ser humano y

el medio ambiente, ya que en la normatividad Colombiana no se establece un límite para este tipo de residuos.

El mercurio es un insumo fundamental para la explotación minera, por esta razón se encuentra en grandes cantidades como material contaminante para ser vertido al cuerpo de agua; por ello se implementó un tipo de absorbente como lo es la borra de café, que resultó ser un material orgánico efectivo para este proceso.

De acuerdo a otros estudios realizados (Ver *Tabla 1*), se encontró que aplicando el método de quimisorción se activaron grupos funcionales presentes en el bioadsorbente para la adsorción de mercurio (residuo de café molido), alcanzando un porcentaje de remoción del 97% [12]; de igual manera se han aprovechado otros subproductos del café como la hoja, obteniendo unos resultados del 82% de remoción según revisión bibliográfica. [13]

Para la aplicabilidad de éste sistema de filtros a escala real se debe tener en cuenta el estado del tiempo de la zona, el espacio disponible para su adaptación, las condiciones del efluente tales como la carga contaminante y el caudal; y los costos del proyecto (elaboración, instalación y funcionamiento).

Para la obtención de la borra (Cuncho) es necesario crear convenios con empresas productoras de café como Supra Café, café Expres, café la Palma, café Penagos de Caldon, entre otros. Haciendo uso de un residuo que comúnmente es desechado.

A continuación se presenta un esquema de presupuesto para la elaboración del sistema de filtros a escala piloto como base para implementarlo a escala real:

Análisis costo-beneficio del sistema de filtros ascendentes

La elaboración del sistema de filtros ascendente a escala piloto E 1:10 compuesto por borra de café y grava para la adsorción de mercurio, resultó

viable y económico con un costo aproximado de **\$155.000**, detallado a continuación:

- Tanque de almacenamiento : \$45.000
- Tubería y conexiones : \$10.000
- Estructura de los filtros: \$25.000
- Grava : \$5.000
- Reactivos: \$40.000
- Otros(silicona, macilla, cinta, pegante de PVC): \$30.000

CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

- La borra de café es un residuo aconsejable para el tratamiento de efluentes de la actividad minera, ya que las eficiencias de remoción son relevantes; Sin embargo el limitante en el desarrollo de este proyecto es la activación de la borra de café, por esta razón se propone la creación de empresa para la comercialización de este tipo de carbón activado, facilitando el acceso para el pequeño y mediano minero.
- El sistema de filtros ascendentes compuesto por grava y borra de café, resultó un tratamiento apropiado para efluentes con una alta carga de sólidos sedimentables, ya que al ser ascendente impidió el paso de estos residuos en mayor proporción, al retener el agua por mayor tiempo.
- El proceso de activación química con ácido fosfórico que se le aplicó a la borra de café, resultó efectivo para la remoción de mercurio, alcanzando un porcentaje de remoción del 94%.
- El entable minero del señor Julián Gómez ubicado en la vereda Tamboral, aporta cantidades considerables de mercurio (1,04 mg Hg/L como la mayor concentración obtenida en las campañas de monitoreo), sobrepasando el límite permisible de la resolución 0631 de 2015, lo que disminuye la calidad del recurso hídrico receptor (La Salvajina) y por lo tanto pone en riesgo la salud de la comunidad del municipio al abastecerse de ésta.
- El diseño y construcción del sistema de adsorción de mercurio resultó ser un tratamiento económico y viable, estando al alcance del pequeño y mediano minero, dándole uso a un residuo que comúnmente es desechado.

6.2 RECOMENDACIONES

- Se deben plantear alternativas como tratamiento de los efluentes de los entables mineros que estén al alcance del pequeño y mediano minero y que proporcione la eficiencia requerida para cumplir con la normatividad vigente en Colombia.
- Dar conocimiento acerca de la problemáticas o afectaciones que traen consigo las prácticas mineras en cuanto a la salud del ser humano; ya que el mercurio se considera una sustancia toxica, que debe ser manipulada con los elementos de protección personal (EPP).
- Para mejorar la eficiencia del tratamiento aplicado es esencial aplicar un tratamiento previo que podría ser un tanque de sedimentación, un desarenador, entre otros; Con el fin de remover particular o solidos que causen la obstrucción de los filtros.
- Se recomienda que posterior al tratamiento de filtros ascendentes con borra de café, se realicen otros procesos para mejorar la remoción de metales pesados del sistema y el tratamiento de lodos producidos por esta actividad tales como los humedales, tratamiento de lodos, entre otros, como también el material rocoso producto de la explotación; de igual manera se podría proponer la recirculación del agua dentro del entable con el fin de disminuir el consumo y la contaminación de un volumen elevado del recurso.
- Respecto a la borra de café, se recomienda la realización de estudios que profundicen en la determinación del tiempo de vida útil que presentaría la borra para efluentes de condiciones similares.
- Para mejorar el proceso de filtración, se recomienda que el diámetro de los filtros sea lo suficientemente amplio para que entre en contacto con el efluente a tratar, de esta manera el agua va a travesar el filtro con menor dificultad.

- Para tener una aproximación del tiempo de colmatación del filtro, se recomienda que las muestras se realicen a horas y días diferentes para obtener información sobre la mayor y menor producción del entable.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] E. Yacuzzi, “Chisso corporation y la enfermedad de Minamata,” vol. 4575, 2008.
- [2] E. Quiñones, “Remoción De Plomo Y Níquel En Soluciones Acuosas Usando Biomosas Lignocelulósicas: Una Revisión,” *Rev. U.D.C.A Act. Div. Cient.*, vol. 16, no. 2, pp. 479–489, 2013.
- [3] J. M. P. Muñoz, “Evaluación de la capacidad de adsorción del residuo de café molido en la remoción de mercurio (ii) en matrices acuosas.,” no. li, 2017.
- [4] O. F. H. Cobos, L. C. F. García, and J. F. A. Londoño, “Estudio de la biosorción de cromo con hoja de café,” *Ing. e Investig.*, vol. 29, no. 2, pp. 59–64, 2009.
- [5] A. Romero H., “La minería y la industrialización del país. Una mirada desde Antioquia,” *Virtual Cult. Identity Commun. Cybersociety*, pp. 7–35, 1997.
- [6] B. Andrea, “Historia Doble Del Cauca,” 2011.
- [7] Corporacion Autonoma regional del Cauca, “Aspecto minero en el municipio de Suarez, area de influencia corregimientos de Mindala y la Toma.”
- [8] Ministerio de minas y energia, “Glosario Técnico Minero,” Bogota, 2003.
- [9] Camara Argentina de empresarios mineros, “Minería Argentina, minería de superficie.”
- [10] E. Enriquez, “Manual de Minería,” *Estud. Mineros del Perú*, p. 290, 2013.
- [11] P. Coral, “Evaluación de la eficiencia de la especie *Heliconia psittacorum* en la remoción de mercurio proveniente de los efluentes mineros en un entable de Suárez Cauca,” 2017.

- [12] H. C. Soto, "El mundo de los Minerales y las Gemas," pp. 1–46.
- [13] Sociedad nacional de minería petróleo y energía, "El oro," 2012. .
- [14] Programa de las naciones unidas para el medio Ambiente, "El uso del mercurio en la minería de oro artesanal y en pequeña escala," *Programa las Nac. Unidas para el medio Ambient.*, p. 20, 2008.
- [15] M. Gaioli, "Impacto del mercurio sobre la salud humana y el ambiente," *Pediatr. Pract.*, vol. 110, no. 3, pp. 259–264, 2012.
- [16] E. K. Silbergeld, "Toxicología," pp. 1 – 84, 2013.
- [17] C. Yañes, "Laboratorio de toxicología ocupacional," vol. 18, p. 18, 2014.
- [18] S. . Innovagua, "Historia del Tratamiento del Agua," p. 7000, 1827.
- [19] C. Tejada-Tovar, "Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico," *Tecno Lógicas*, vol. 18, no. 34, pp. 109–123, 2015.
- [20] Universidad de Valencia, "Superficies sólidas: adsorción y catálisis heterogénea," p. 28.
- [21] J. V. Trejo, "Fisicoquímica de alimentos," no. 514, pp. 1–17, 2013.
- [22] C. M. Torrado, "Performance of a fixed bed reactor for mercury removal by biosorption using agricultural residue performance of a fixed bed reactor for mercury removal by biosorption using agricultural," no. September, p. 96, 2018.
- [23] M. J. Ramos Rincon, "Estudio del proceso de Biosorción de colorantes sobre borra (cuncho) de café," pp. 1–128, 2010.
- [24] P. U. Rodriguez, "Adsorción en carbón activo," *Inditex*, p. 24, 2015.
- [25] A. R. Moreno Marengo, "Estudio de diferentes bioadsorbentes como posibles retenedores de fosfatos en aguas," p. 98, 2013.
- [26] E. Bustamante Alcantara, "Adsorción de metales pesados en residuos

- de café modificados químicamente,” pp. 31–50, 2011.
- [27] D. Juárez, “cuantificación y comparación del contenido de cafeína en diez marcas de café comercializadas en Saltillo,” Universidad Autónoma Agraria Antonia Narro, 2009.
- [28] N. O. Calviño, *Filtración de aguas residuales para reutilización*. 2006.
- [29] D. S. Kharat, “Preparing agricultural residue based adsorbents for removal of dyes from effluents - a review,” vol. 32, no. 01, pp. 1–12, 2015.
- [30] L. D. Sanchez, *Filtración en múltiples etapas*. 2006.
- [31] J. T. P. Mera, “Trabajo colaborativo número 1 mapas de conocimiento regional, Suarez-Cauca,” 2012.
- [32] Alcaldía Municipal Suarez Cauca, “Sitio oficial de Suarez en Cauca, Colombia,” 2016. [Online]. Available: <http://www.suarez-cauca.gov.co/presentacion.shtml>.
- [33] Asamblea Nacional Constituyente, “Constitución política de Colombia 1991,” p. 108, 1991.
- [34] Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, “Ley 685 de 2001,” *El abedul*, vol. 2, no. agosto 15, pp. 1–109, 2002.
- [35] Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, “Ley 1658 de 2013,” 2013.
- [36] Congreso De La Republica, “Ley 9 De 1979,” *Vasa*, vol. 1979, no. enero 24, p. 13, 2008.
- [37] Presidente de la república de Colombia, “DECRETO 2636 DE 1994.” .
- [38] Presidente de la República de Colombia, “Decreto 501 de 1995,” vol. 1995, no. marzo 24, pp. 1994–1996, 1995.
- [39] Presidente de la República de Colombia, “DECRETO 1481 DE 1996.” .
- [40] Ministerio de Minas y Energía, “Resolución N° 18-1467 de 2011.” .

- [41] Presidente de la Republica de Colombia, “Decreto 2811 de diciembre de 1974,” 1974.
- [42] Congreso de Colombia, “Ley 9 de 1979,” p. 84, 1979.
- [43] Congreso de Colombia, “LEY 99 DE 1993,” p. 44, 1993.
- [44] Congreso de Colombia, “Ley 253 de 1996,” no. 42, p. 30, 1996.
- [45] Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, “Resolucion 0631 de 2015.” p. 62, 2015.
- [46] Ministerio de Minas, “Conpes 2898,” p. 37, 1997.
- [47] Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, “Conpes 3762,” p. 29, 2013.
- [48] Alcaldía Municipal Suarez Cauca, “POT Suarez Cauca,” p. 146.
- [49] Ministerio de minas y energia, “Unidad de planeacion Minero Energetica,” 2006.
- [50] Alcaldía Totoro, “Plan de desarrollo municipal 2012-2015.,” pp. 1–126, 2015.
- [51] Ministerio de minas y energia, “Plan Nacional de Ordenamiento Minero PNOM,” 2014.
- [52] E. Galán Huertos and A. Romero Baena, “Contaminación de Suelos por Metales Pesados,” in *Macla*, 2008, vol. 10, pp. 48–60.
- [53] A. Aznar Jiménez, “Determinación de los parámetros fisico-químicos de calidad de las aguas.,” 2000.
- [54] G. Guillermo, “Oxígeno Disuelto,” 2007.
- [55] UPRM, *Nutrientes y Gases : Oxigeno Disuelto*. 2007.
- [56] Ecofluidos ingenieros S.A., “Estudio De La Calidad De Fuentes Utilizadas Para Consumo Humano Y Plan De Mitigación Por Contaminación Por Uso Doméstico Y Agroquímicos En Apurimac Y

Cusco,” 2012.

- [57] Breu Guggenbichler, “Análisis de aguas.,” 2008.
- [58] A. Sigler, “Alcalinidad , pH y Sólidos Disueltos Totales,” p. 8.
- [59] M. Miller, “Parametros fisico-quimicos: Alcalinidad,” *Parámetros Fis.*, no. Tabla 1, pp. 1–14, 2012.
- [60] C. Nava-Ruíz and M. Méndez-Armenta, “Efectos neurotóxicos de metales pesados (cadmio, plomo, arsénico y talio),” *Arch. Neurociencias*, vol. 16, no. 3, pp. 140–147, 2011.
- [61] Universidad de Cordoba, “La química de las aguas naturales,” *Univ. Cordoba*, pp. 19–21, 2009.

ANEXOS

Anexo 1. Caracterización del sitio de trabajo.

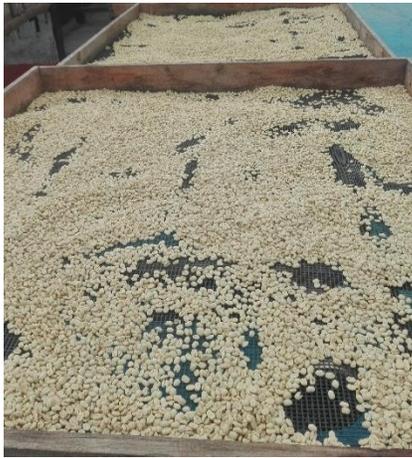




Fuente: elaboración propia.

Anexo 2. Empresa Supracafé.





Fuente: elaboración propia.

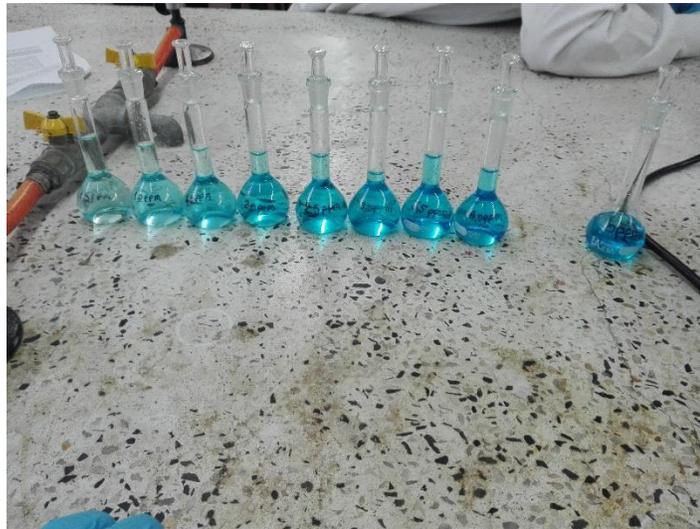
Anexo 3. Activación de la borra de café.





Fuente: elaboración propia.

Anexo 4. Prueba de azul de metileno.





Fuente: elaboración propia.

Anexo 5. Sedimentación del agua.



Fuente: elaboración propia.

Anexo 6. Elaboración del sistema de filtros.



Fuente: elaboración propia.

Anexo 7. Parámetros de caracterización.

Parámetros	Campaña de monitoreo 1			Campaña de monitoreo 2			Campaña de monitoreo 3		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Temperatura (°)	21,90	21,50	21,20	22,90	23,00	23,30	24,30	24,60	24,90
Oxígeno disuelto (mg/L)	1,50	1,20	1,40	1,40	1,30	0,90	1,70	0,70	0,60
Conductividad (uS/cm)	206,60	166,00	163,60	176,80	241,00	188,20	167,80	140,00	161,60
Sólidos disueltos totales (mg/L)	142,35	115,05	111,10	116,35	173,15	126,10	118,30	95,55	109,85
pH	7,90	7,50	7,00	7,40	7,00	7,80	7,69	8,28	7,98
Turbidez (NTU)	2910,00	378,00	370,00	3776,00	537,00	77,90	350,00	1808,00	27125,00
Alcalinidad (mg/L)	4,00	2,00	1,20	1,80	1,20	3,80	3,70	4,20	4,10
Caudal promedio (L/seg)	1,90	2,07	1,83	1,58	0,60	0,56	1,34	1,18	1,07

Anexo 8. Resultados finales

Muestra	Volumen (mL)	Caudal (mL/s)	pH	Turbidez (NTU)	Conductividad	SDT (mg/L)	Color	Mercurio (mg Hg/L)
Inicial	250	1,22	7,1	584	938	930	550	0,0141
Grava 1	250	1,22	7,9	355	291	251	550	0,0027
Grava 2	250	1,22	7,9	406	265	256	550	0,0028
Grava 3	250	1,22	7,9	446	295	285	550	0,0083
Grava 4	250	1,22	7,9	417	275	264	550	0,0059
Borra 1	250	1,22	6,2	192	427	2340	550	0,0008
Borra 2	250	1,22	5,6	195	1491	1470	550	0,0008
Borra 3	250	1,22	5,7	192	1057	1061	550	0,0008
Borra 4	250	1,22	6,0	187	489	500	550	0,0008

Anexo 9. Análisis de resultados realizados en la Universidad Tecnológica de Pereira.

**VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIONES,
INNOVACIÓN Y EXTENSION
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUAS Y ALIMENTOS
INFORME DE ENSAYOS No. 791/17**

Código	123-1AA-F06
Versión	7
Fecha	2017-06-22
Página	1 de 8

Fecha Edición			Cotización Aprobada No.
AÑO	MES	DÍA	<u>728/17</u>
2017	07	27	

INFORMACIÓN DEL CLIENTE	
Razón Social:	CORPORACION UNIVERSITARIA AUTONOMA DEL CAUCA Nit o C.C : 891.501.766-6
Solicitante:	Carlos Miguel Torrado Cargo: Docente Investigador
Dirección:	Calle 5 No 3-85 Teléfono/Fax: (2) 8213000
Municipio/Departamento:	Popayán / Cauca Correo electrónico: carlos.torrado.c@uniautonom.edu.co

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA					
Fecha de recepción: 2017-06-30					
Tipo de muestra	Descripción:	Fecha de toma de muestra	Hora de la toma	Tomadas por	Código interno
Agua Residual	Punto de muestreo: entable Minero Ronald Responsable: Arnol Arias Departamento : Cauca Suarez	2017-06-30	NO REPORTA	Carlos Torrado	<u>647-1</u>
OBSERVACIONES:					

RESULTADOS						
Fecha del ensayo	Ensayo	Método	Unidades	Código interno: 647-1		Rango permitido:
				Resultado	Uexp	
2017-06-30	DBO ₅	SM: 5210 Test DBO ₅	mg O ₂ /L	20	N.E	N.E
2017-06-30	DQO	SM: 5220 C Titulométrico Reflujo Cerrado	mg O ₂ /L	308	N.E	N.E
2017-07-10	Sólidos Suspendidos Totales	SM: 2540 – D Sólidos Suspendidos Totales a 103 – 105°C	mg / L	2058	N.E	N.E

RESULTADOS						
Fecha del ensayo	Ensayo	Método	Unidades	Código interno: 647-1		Rango permitido:
				Resultado	Uexp	
2017-07-11	Mercurio Total	SM: 3112 B Espectrometría de Absorción Atómica Vapor Frío	mg Hg / L	1,03	N.E	N.E

(*): Ensayos Acreditados ONAC

**VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIONES,
INNOVACIÓN Y EXTENSION**
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUAS Y ALIMENTOS
INFORME DE ENSAYOS No. 1022/17

Código	123-LAA-F06
Versión	7
Fecha	2017-06-22
Página	1 de 5

Fecha Edición			Cotización Aprobada No.
AÑO	MES	DÍA	233/17
2017	08	30	728/17

INFORMACIÓN DEL CLIENTE			
Razón Social:	CORPORACION UNIVERSITARIA AUTONOMA DEL CAUCA	Nit o C.C :	891.501.766-6
Solicitante:	Carlos Miguel Torrado	Cargo:	Docente Investigador
Dirección:	Calle 5 No 3-85	Teléfono/Fax:	(2) 8213000
Municipio/Departamento:	Popayán / Cauca	Correo electrónico:	carlos.torrado.c@uniautonomia.edu.co

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA					
Fecha de recepción: 2017-08-18					
Tipo de muestra	Descripción:	Fecha de toma de muestra	Hora de la toma	Tomadas por	Código interno
Agua Residual	Punto de muestreo: Entable Suarez	N.R	N.R	Arnol Arias Hoyos	864-1
OBSERVACIONES:					

RESULTADOS						
Fecha del ensayo	Ensayo	Método	Unidades	Código interno: 864-1		Rango permitido:
				Resultado	Uexp	
2017-08-18	DBO ₅	SM: 5210 Test DBO ₅	mg O ₂ /L	6	N.E	N.E
	DQO	SM: 5220 C Titulométrico Reflujo Cerrado	mg O ₂ /L	39	N.E	N.E
2017-08-24	Sólidos Suspendidos Totales	SM: 2540 – D Sólidos Suspendidos Totales a 103 – 105°C	mg / L	1647	N.E	N.E
2017-08-25	Mercurio Total	SM: 3112 B Espectrometría de Absorción Atómica Vapor Frío	mg Hg / L	1,04	N.E	N.E

(*): Ensayos Acreditados ONAC

RESULTADOS						
Fecha del ensayo	Ensayo	Método	Unidades	Código interno: 864-2		Rango permitido:
				Resultado	Uexp	
2017-08-25	Mercurio Total	SM: 3112 B Espectrometría de Absorción Atómica Vapor Frío	mg Hg / L	0,55	N.E	N.E

(*): Ensayos Acreditados ONAC

RESULTADOS						
Fecha del ensayo	Ensayo	Método	Unidades	Código interno: 864-3		Rango permitido:
				Resultado	Uexp	
2017-08-25	Mercurio Total	SM: 3112 B Espectrometría de Absorción Atómica Vapor Frío	mg Hg / L	0,028	N.E	N.E

RESULTADOS						
Fecha del ensayo	Ensayo	Método	Unidades	Código interno: 864-4		Rango permitido:
				Resultado	Uexp	
2017-08-25	Mercurio Total	SM: 3112 B Espectrometría de Absorción Atómica Vapor Frío	mg Hg / L	0,046	N.E	N.E

(*): Ensayos Acreditados ONAC

RESULTADOS						
Fecha del ensayo	Ensayo	Método	Unidades	Código interno: 864-5		Rango permitido:
				Resultado	Uexp	
2017-08-25	Mercurio Total	SM: 3112 B Espectrometría de Absorción Atómica Vapor Frío	mg Hg / L	0,133	N.E	N.E

(*): Ensayos Acreditados ONAC

Elaboro: Betty P.

**VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIONES,
INNOVACIÓN Y EXTENSION
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUAS Y ALIMENTOS
INFORME DE ENSAYOS No. 1050/17**

Código	123-LAA-F06
Versión	7
Fecha	2017-06-22
Página	1 de 5

Fecha Edición			Cotización Aprobada No.
AÑO	MES	DÍA	233/17
2017	09	04	728/17

INFORMACIÓN DEL CLIENTE	
Razón Social:	CORPORACION UNIVERSITARIA AUTONOMA DEL CAUCA Nit o C.C : 891.501.766-6
Solicitante:	Carlos Miguel Torrado Cargo: Docente Investigador
Dirección:	Calle 5 No 3-85 Teléfono/Fax: (2) 8213000
Municipio/Departamento:	Popayán / Cauca Correo electrónico: carlos.torrado.c@uniautonom.edu.co

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA					
Fecha de recepción: 2017-08-23					
Tipo de muestra	Descripción:	Fecha de toma de muestra	Hora de la toma	Tomadas por	Código interno
Agua Residual	Punto de muestreo: Municipio de Suarez Muestra No 1 Temperatura de ingreso al laboratorio: 17,7°C	N.R	N.R	Arnol Arias Hoyos	883-1
OBSERVACIONES:					

RESULTADOS						
Fecha del ensayo	Ensayo	Método	Unidades	Código interno: 883-1		Rango permitido:
				Resultado	Uexp	
2017-08-25	Mercurio Total	SM: 3112 B Espectrometría de Absorción Atómica Vapor Frío	mg Hg / L	0,015	N.E	N.E

(*): Ensayos Acreditados ONAC

RESULTADOS						
Fecha del ensayo	Ensayo	Método	Unidades	Código interno: 883-2		Rango permitido:
				Resultado	Uexp	
2017-08-25	Mercurio Total	SM: 3112 B Espectrometría de Absorción Atómica Vapor Frío	mg Hg / L	0,012	N.E	N.E

(*): Ensayos Acreditados ONAC

RESULTADOS						
Fecha del ensayo	Ensayo	Método	Unidades	Código interno: 883-3		Rango permitido:
				Resultado	Uexp	
2017-08-25	Mercurio Total	SM: 3112 B Espectrometría de Absorción Atómica Vapor Frío	mg Hg / L	0,034	N.E	N.E

(*): Ensayos Acreditados ONAC

RESULTADOS						
Fecha del ensayo	Ensayo	Método	Unidades	Código interno: 883-4		Rango permitido:
				Resultado	Uexp	
2017-08-25	Mercurio Total	SM: 3112 B Espectrometría de Absorción Atómica Vapor Frío	mg Hg / L	0,032	N.E	N.E

(*): Ensayos Acreditados ONAC

RESULTADOS						
Fecha del ensayo	Ensayo	Método	Unidades	Código interno: 883-5		Rango permitido:
				Resultado	Uexp	
2017-08-25	Mercurio Total	SM: 3112 B Espectrometría de Absorción Atómica Vapor Frío	mg Hg / L	0,033	N.E	N.E

(*): Ensayos Acreditados ONAC

Elaboro: Betty P.

**VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIONES,
INNOVACIÓN Y EXTENSIÓN**

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUAS Y ALIMENTOS

INFORME DE ENSAYOS No. 1400/17

Código	123-LAA-FIG
Versión	7
Fecha	2017-06-22
Página	32 de 34

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA					
Fecha de recepción: 2017-10-18					
Tipo de muestra	Descripción:	Fecha de toma de muestra	Hora de la toma	Tomadas por	Código interno
Agua Residual	Entable Vereda Muestra No 1 Municipio de Cauca Suarez T° de recepción 22,4°C	N.R	N.R	Arnol Arias	1149-22
OBSERVACIONES:					

RESULTADOS						
Fecha del ensayo	Ensayo	Método	Unidades	Código interno: 1149-22		Rango permitido:
				Resultado	Uexp	
2017-10-31	Mercurio Total	SM: 3112 B Espectrometría de Absorción Atómica Vapor Frío	mg Hg / L	0,00179	N.E	N.E

(*): Ensayos Acreditados ONAC

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA					
Fecha de recepción: 2017-10-18					
Tipo de muestra	Descripción:	Fecha de toma de muestra	Hora de la toma	Tomadas por	Código interno
Agua Residual	Entable Vereda Muestra No 2 Municipio de Cauca Suarez T° de recepción 22,4°C	N.R	N.R	Arnol Arias	1149-23
OBSERVACIONES:					

RESULTADOS						
Fecha del ensayo	Ensayo	Método	Unidades	Código interno: 1149-23		Rango permitido:
				Resultado	Uexp	
2017-10-31	Mercurio Total	SM: 3112 B Espectrometría de Absorción Atómica Vapor Frío	mg Hg / L	0,00206	N.E	N.E

(*): Ensayos Acreditados ONAC

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA					
Fecha de recepción: 2017-10-18					
Tipo de muestra	Descripción:	Fecha de toma de muestra	Hora de la toma	Tomadas por	Código interno
Agua Residual	Entable Vereda Muestra No 3 Municipio de Cauca Suarez T° de recepción 22,4°C	N.R	N.R	Arnol Arias	1149-24
OBSERVACIONES:					



Universidad
Tecnológica
de Pereira

VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIONES,
INNOVACIÓN Y EXTENSION
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUAS Y ALIMENTOS
INFORME DE ENSAYOS No. 1796/17

Código	123-AA-F06
Versión	7
Fecha	2017-06-22
Página	1 de 7

Fecha Edición			Cotización Aprobada No.
AÑO	MES	DÍA	
2017	12	27	1476/17

INFORMACIÓN DEL CLIENTE			
Razón Social:	CORPORACION UNIVERSITARIA AUTONOMA DEL CAUCA	Nit o C.C.:	891.501.766-6
Solicitante:	Carlos Miguel Torrado	Cargo:	Docente Investigador
Dirección:	Calle 5 No 3-85	Teléfono/Fax:	(2) 282 13 000
Municipio/Departamento:	Popayán / Cauca	Correo electrónico:	carlos.torrado.c@uniautonomaeu.co

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA					
Fecha de recepción: 2017-12-12					
Tipo de muestra	Descripción:	Fecha de toma de muestra	Hora de la toma	Tomadas por	Código interno
Agua Residual	Punto de muestreo: Entable Tamboral Responsable: Arnol Arias Muestra No 1 Departamento: Cauca Suarez	N.R	N.R	Arnol Arias	1451-1
OBSERVACIONES:					

RESULTADOS						
Fecha del ensayo	Ensayo	Método	Unidades	Código interno: 1451-1		Rango permitido
				Resultado	Uexp	
2017-12-20	Mercurio Total	SM: 3112 B Espectrometría de Absorción Atómica Vapor Frío	mg Hg / L	0,0083	N.E	N.E

(*): Ensayos Acreditados ONAC

VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIONES,
INNOVACIÓN Y EXTENSION
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUAS Y ALIMENTOS
INFORME DE ENSAYOS No. 1796/17

Código	123-LAA-F06
Versión	7
Fecha	2017-05-22
Página	2 de 7

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA						
Fecha de recepción: 2017-12-12						
Tipo de muestra	Descripción:	Fecha de toma de muestra	Hora de la toma	Tomadas por	Código interno	
Agua Residual	Punto de muestreo: Entable Tamboral Responsable: Arnol Arias Muestra No 2 Departamento: Cauca Suarez	N.R	N.R	Arnol Arias	1451-2	
OBSERVACIONES:						
RESULTADOS						
Fecha del ensayo	Ensayo	Método	Unidades	Código interno: 1451-2		Rango permitido
				Resultado	Uexp	
2017-12-20	Mercurio Total	SM: 3112 B Espectrometría de Absorción Atómica Vapor Frío	mg Hg / L	0,0027	N.E	N.E

(*): Ensayos Acreditados ONAC

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA						
Fecha de recepción: 2017-12-12						
Tipo de muestra	Descripción:	Fecha de toma de muestra	Hora de la toma	Tomadas por	Código interno	
Agua Residual	Punto de muestreo: Entable Tamboral Responsable: Arnol Arias Muestra No 3 Departamento: Cauca Suarez	N.R	N.R	Arnol Arias	1451-3	
OBSERVACIONES:						
RESULTADOS						
Fecha del ensayo	Ensayo	Método	Unidades	Código interno: 1451-3		Rango permitido
				Resultado	Uexp	
2017-12-20	Mercurio Total	SM: 3112 B Espectrometría de Absorción Atómica Vapor Frío	mg Hg / L	0,0028	N.E	N.E

(*): Ensayos Acreditados ONAC

Dirección: Cra 27 No 10-02 Los Álamos – Pereira-Risaraldá-Colombia- Laboratorio de Análisis de Aguas y Alimentos Edificio 8 Piso 1 y 2. Teléfonos: Telefax: (57) (6) 321 5750 / 313 7437 / e-mail: labaguas@utp.edu.co



VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIONES,
INNOVACIÓN Y EXTENSION
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUAS Y ALIMENTOS
INFORME DE ENSAYOS No. 1796/17

Código	123-AAA-F06
Versión	7
Fecha	2017-06-22
Página	3 de 7

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA						
Fecha de recepción: 2017-12-12						
Tipo de muestra	Descripción:	Fecha de toma de muestra	Hora de la toma	Tomadas por	Código interno	
Agua Residual	Punto de muestreo: Entable Tamboral Responsable: Arnol Arias Muestra No 4 Departamento: Cauca Suarez	N.R	N.R	Arnol Arias	1451-4	
OBSERVACIONES:						
RESULTADOS						
Fecha del ensayo	Ensayo	Método	Unidades	Código interno: 1451-4		Rango permitido
				Resultado	Uexp	
2017-12-20	Mercurio Total	SM: 3112 B Espectrometría de Absorción Atómica Vapor Frío	mg Hg / L	0,0141	N.E	N.E

(*): Ensayos Acreditados ONAC

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA						
Fecha de recepción: 2017-12-12						
Tipo de muestra	Descripción:	Fecha de toma de muestra	Hora de la toma	Tomadas por	Código interno	
Agua Residual	Punto de muestreo: Entable Tamboral Responsable: Arnol Arias Muestra No 5 Departamento: Cauca Suarez	N.R	N.R	Arnol Arias	1451-5	
OBSERVACIONES:						
RESULTADOS						
Fecha del ensayo	Ensayo	Método	Unidades	Código interno: 1451-5		Rango permitido
				Resultado	Uexp	
2017-12-20	Mercurio Total	SM: 3112 B Espectrometría de Absorción Atómica Vapor Frío	mg Hg / L	0,0059	N.E	N.E

(*): Ensayos Acreditados ONAC

VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIONES,
INNOVACIÓN Y EXTENSIÓN
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUAS Y ALIMENTOS
INFORME DE ENSAYOS No. 1796/17

Código	123-LAA-F05
Versión	7
Fecha	2017-06-22
Página	4 de 7

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA						
Fecha de recepción: 2017-12-12						
Tipo de muestra	Descripción:	Fecha de toma de muestra	Hora de la toma	Tomadas por	Código interno	
Agua Residual	Punto de muestreo: Entable Tamboral Responsable: Arnol Arias Muestra No 6 Departamento: Cauca Suarez	N.R	N.R	Arnol Arias	1451-6	
OBSERVACIONES:						
RESULTADOS						
Fecha del ensayo	Ensayo	Método	Unidades	Código interno: 1451-6		Rango permitido
				Resultado	Uexp	
2017-12-20	Mercurio Total	SM: 3112 B Espectrometría de Absorción Atómica Vapor Frío	mg Hg / L	<0,0008	N.E	N.E

(*): Ensayos Acreditados ONAC

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA						
Fecha de recepción: 2017-12-12						
Tipo de muestra	Descripción:	Fecha de toma de muestra	Hora de la toma	Tomadas por	Código interno	
Agua Residual	Punto de muestreo: Entable Tamboral Responsable: Arnol Arias Muestra No 7 Departamento: Cauca Suarez	N.R	N.R	Arnol Arias	1451-7	
OBSERVACIONES:						
RESULTADOS						
Fecha del ensayo	Ensayo	Método	Unidades	Código interno: 1451-7		Rango permitido
				Resultado	Uexp	
2017-12-20	Mercurio Total	SM: 3112 B Espectrometría de Absorción Atómica Vapor Frío	mg Hg / L	<0,0008	N.E	N.E

(*): Ensayos Acreditados ONAC



VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIONES,
INNOVACIÓN Y EXTENSIÓN
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUAS Y ALIMENTOS
INFORME DE ENSAYOS No. 1796/17

Código	123-IAA-F06
Versión	7
Fecha	2017-06-22
Página	3 de 7

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA						
Fecha de recepción: 2017-12-12						
Tipo de muestra	Descripción:	Fecha de toma de muestra	Hora de la toma	Tomadas por	Código interno	
Agua Residual	Punto de muestreo: Entable Tamboral Responsable: Arnol Arias Muestra No 8 Departamento: Cauca Suarez	N.R	N.R	Arnol Arias	1451-8	
OBSERVACIONES:						
RESULTADOS						
Fecha del ensayo	Ensayo	Método	Unidades	Código interno: 1451-8		Rango permitido
				Resultado	Uexp	
2017-12-20	Mercurio Total	SM: 3112 B Espectrometría de Absorción Atómica Vapor Frío	mg Hg / L	<0,0008	N.E	N.E

(*): Ensayos Acreditados ONAC

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA						
Fecha de recepción: 2017-12-12						
Tipo de muestra	Descripción:	Fecha de toma de muestra	Hora de la toma	Tomadas por	Código interno	
Agua Residual	Punto de muestreo: Entable Tamboral Responsable: Arnol Arias Muestra No 9 Departamento: Cauca Suarez	N.R	N.R	Arnol Arias	1451-9	
OBSERVACIONES:						
RESULTADOS						
Fecha del ensayo	Ensayo	Método	Unidades	Código interno: 1451-9		Rango permitido
				Resultado	Uexp	
2017-12-20	Mercurio Total	SM: 3112 B Espectrometría de Absorción Atómica Vapor Frío	mg Hg / L	<0,0008	N.E	N.E

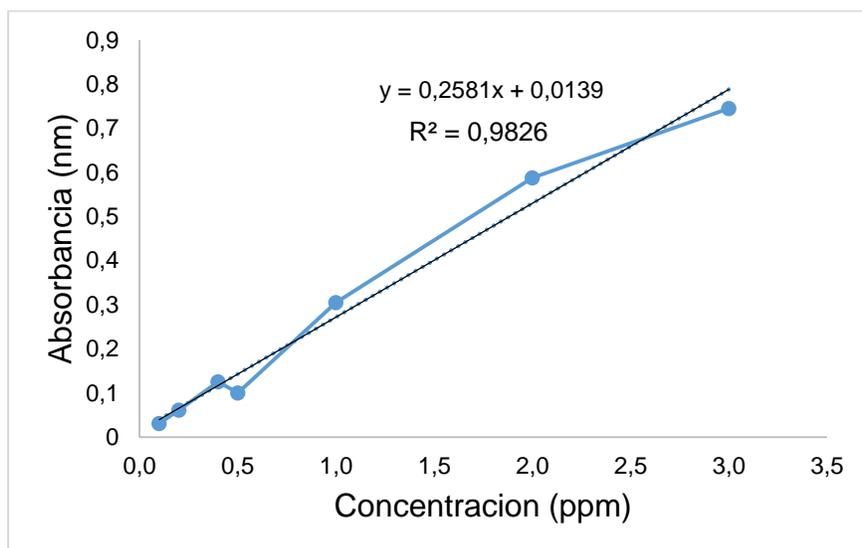
(*): Ensayos Acreditados ONAC

Elaboro: Jacqueline

Anexo 10. Curva inicial de azul de metileno sin activación

curva inicial de azul de metileno	
concentración (ppm)	absorbancia (nm)
	630
3,0	0,745
2,0	0,588
1,0	0,305
0,5	0,1
0,4	0,125
0,2	0,061
0,1	0,031

Gráfico 12. Curva inicial absorbancia 630 nm.



Absorbancia para una concentración de 0,2 ppm:

concentración	Absorbancia (nm)	Perdidas	Concentración (ppm)	% Remoción
	630			
Inicial	0,061			
Blanco	0,089			
0,2 ppm	0,069	0,291	0,504	-152,228

Anexo 11. Procedimiento para longitud de onda de 630 nm

$$y = 0,2581x + 0,0139 \quad (4)$$

$$X = \frac{(y - 0,0139)}{0,2581}$$

Para determinar la capacidad de adsorción se utilizó la ecuación (1), a continuación se muestra el cálculo para una concentración de 0,2 ppm o 0,2 mg/L:

Calculo de C_o :

$$X = \frac{(0,061 - 0,0139)}{0,2581}$$

$$X = 0,182 \text{ ppm}$$

Calculo de C_e :

$$X = \frac{(0,069 + (-0,028)) - 0,0139}{0,2581}$$

$$X = 0,105 \text{ ppm}$$

Calculo de q_{eq} para 630 nm:

$$q_{eq} = \frac{\left(\frac{0,182 \text{ mg}}{L} - 0,105 \text{ mg/L}\right) 0,02L}{0,01 \text{ mg}}$$

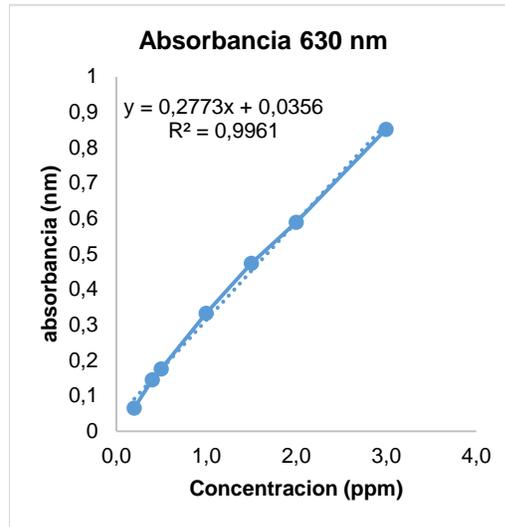
$$q_{eq} = 0,154$$

Absorbancia (m) 0,061 0,089 0,069 0,100 0,089 0,131 0,588 0,089 0,567

Anexo 12. Prueba de azul de metileno con borra activada-Curva para 0,2 y 2,0 ppm

Concentración (ppm)	Absorbancia (m)			Absorbancia para 630 nm			
	Inicial	Blanco	Borra	Degradación	Concentración (ppm)	% remoción	q_{eq}
0,2	Inicial	0,061					
	Blanco	0,089					
	Borra	0,069		-0,028	0,105	47,5	0,154
0,5	Inicial	0,100					
	Blanco	0,089					
	Borra	0,131		0,011	0,496	0,8	-0,326
2,0	Inicial	0,588					
	Blanco	0,089					
	Borra	0,567		0,499	4,076	-103,8	-0,504

Concentración (ppm)	Absorbancia (nm)
	630
3,0	0,852
2,0	0,589
1,5	0,474
1,0	0,333
0,5	0,176
0,4	0,145
0,2	0,065



Absorbancia para una concentración de 0,2 ppm:

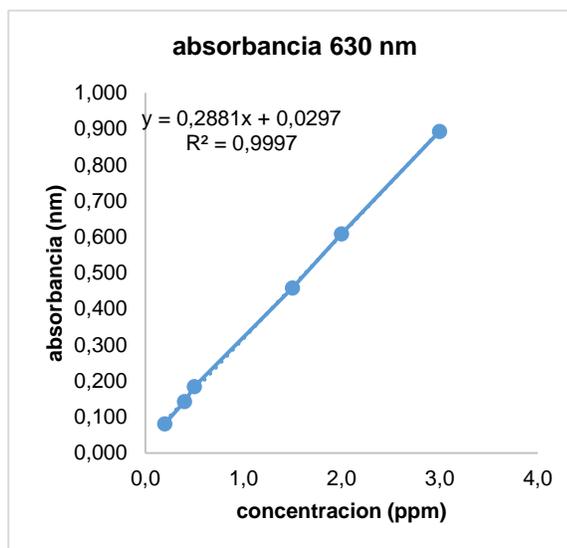
Prueba	Absorbancia (nm)	Perdidas	Concentración (ppm)	% Remoción
	630			
Inicial	0,065			
Blanco	0,050			
48 h sin Acido	0,016	0,052	-0,019	109,376
48 h con Acido	0,021		-0,053	126,325

$$y = 0,2773x + 0,0356 \quad (5)$$

$$X = \frac{(y - 0,0356)}{0,2773}$$

Anexo 13. Curva para 0,5 ppm de azul de metileno:

concentración (ppm)	absorbancia (nm)
	630
3,0	0,893
2,5	0,850
2,0	0,609
1,5	0,458
1,0	0,434
0,5	0,184
0,4	0,143
0,2	0,081



Anexo 14. Síntesis de la absorbancias a diferentes concentraciones con borra activada.

Concentración	Prueba	Absorbancia (nm)	Absorbancia para 630 nm			
			Degradación	Concentración de equilibrio (mg/L)	% remoción	q _{eq}
0,2 ppm	Inicial	0,065				
	Blanco	0,050				
	48 h sin ácido	0,016		-0,016	108	0,244
	48 h con ácido	0,021	0,015	0,0014	99,3	0,209
0,5 ppm	Inicial	0,184				
	Blanco	0,092				
	48 h sin ácido	0,109		0,594	-18,8	-0,118
	48 h con ácido	0,120	0,092	0,632	-26,4	-0,194
2,0 ppm	Inicial	0,589				
	Blanco	0,476				
	48 h sin ácido	0,128		0,740	63	2,512
	48 h con ácido	0,380	0,113	1,649	17,55	0,694