



Evaluación de los impactos ambientales de la actividad minera sobre la calidad de agua de la quebrada La Baja en el tramo comprendido entre el sector conocido como La Bodega y la confluencia con el Río Vetas en el municipio de California Santander.

Proyecto de Investigación

**Gina Yuliana Rivera Sánchez
CC 1098681433
Yanerlis Cruz Palencia
CC 1002319494**

**UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
Facultad de Ciencias Naturales e Ingenierías
Ingeniería Ambiental
Bucaramanga, noviembre 8 de 2023**



Evaluación de los impactos ambientales de la actividad minera sobre la calidad de agua de la quebrada La Baja en el tramo comprendido entre el sector conocido como La Bodega y la confluencia con el Río Vetas en el municipio de California Santander.

Proyecto de Investigación

**Gina Yuliana Rivera Sánchez
CC 1098681433
Yanerlis Cruz Palencia
CC 1002319494**

**Trabajo de Grado para optar al título de
Ingeniero Ambiental**

**DIRECTOR
Msc. Aura Victoria Barrera Navarro**

Grupo de Investigación en Ingeniería Verde – GRIIV

**UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
Facultad de Ciencias Naturales e Ingenierías
Ingeniería Ambiental
Bucaramanga, noviembre 8 de 2023**

Nota de Aceptación

Firma del Evaluador

Firma del Director

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a mis padres, por ser pilares de motivación y ejemplo de perseverancia. A mis hermanos y amigos que de una u otra forma hicieron parte de este proceso. También a mis compañeras de carrera y docentes que fueron parte de este proceso Hoy es tangible aquello que comenzó como un anhelo.

Yanerlis Cruz

Dedico con todo mi amor este proyecto a toda mi familia, en especial a mi hija Mariana por el futuro que nos espera y a mi abuela Zoraida por el pasado que nos trajo a este momento soñado.

Gina Rivera

AGRADECIMIENTOS

A la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga CDMB, que nos brindó la asesoría e información necesaria para el desarrollo de nuestro proyecto, en especial al grupo de Gestión de Conocimiento Ambiental que administra la Red de Calidad de Agua de la Jurisdicción CDMB, coordinado por la Ingeniera María Carmenza Vicini, y a su grupo de trabajo, el Ingeniero Carlos Mauricio Torres y la Química Olga Johanna Sanabria, a todos ellos un profundo agradecimiento.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN EJECUTIVO	11
INTRODUCCIÓN	12
1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	15
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
1.2. JUSTIFICACIÓN	16
1.2.1. OBJETIVO GENERAL.....	17
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
1.3. ESTADO DEL ARTE.....	18
2. MARCO REFERENCIAL.....	23
2.1. MARCO TEORICO	23
2.1.1. CALIDAD DEL AGUA	23
2.1.2. IMPACTOS AMBIENTALES.....	24
2.1.3. EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES.....	25
2.1.4. MINERÍA EN COLOMBIA.....	27
2.1.5. CONTAMINACIÓN DEL AGUA EN LA MINERÍA	28
2.1.6. CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS EN COLOMBIA	30
2.1.7. CONTAMINACIÓN EN FUENTES HÍDRICAS POR MERCURIO	31
2.1.8. PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DEL MERCURIO	32
2.2. MARCO LEGAL.....	34
2.3. MARCO GEOGRAFICO	36
2.4. MARCO CONCEPTUAL.....	38
3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	41

3.1.	TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	41
3.2.	ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN	41
3.3.	MÉTODO DE INVESTIGACIÓN.....	42
3.4.	TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN.....	42
4.	DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO.....	43
4.1.	FASE 1: DESARROLLO DE LA LÍNEA BASE EN EL ÁREA DE INFLUENCIA SELECCIONADA 43	
4.1.1.	ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA- ICA	45
4.2.	FASE 2: CÁLCULOS DE LA IMPORTANCIA DEL IMPACTO GENERADO POR LOS VERTIMIENTOS PROCEDENTES DE ACTIVIDADES MINERAS EN LA CALIDAD DE AGUA DE LA QUEBRADA LA BAJA	46
4.3.	FASE 3: PLANTEAMIENTO DE ESTRATEGIAS QUE MITIGUEN, PREVENGAN O COMPENSEN LAS ALTERACIONES QUE LAS ACTIVIDADES DE MINERÍA GENERAN EN LA CALIDAD DE AGUA DE LA QUEBRADA LA BAJA.....	48
5.	RESULTADOS.....	49
5.1.	LÍNEA BASE PARA IDENTIFICAR EL ESTADO ACTUAL DE LA CALIDAD DE LA QUEBRADA LA BAJA.	49
5.1.1.	MEDIO ABIÓTICO	49
5.1.2.	COMPONENTE SOCIOECONÓMICO.....	57
5.1.3.	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL OBJETIVO 1	59
5.2.	EVALUACION DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES	60
5.2.1.	IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS GENERADOS POR LA ACTIVIDAD MINERA SOBRE LA CALIDAD DE AGUA DE LA QUEBRADA LA BAJA.	60
5.2.2.	RESULTADOS EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES.....	71
5.3.	ESTRATEGIAS DE MITIGACIÓN, PREVENCIÓN O COMPENSACIÓN.	76
5.3.1.	RESULTADOS ESTRATEGIAS DE MITIGACIÓN, PREVENCIÓN O COMPENSACIÓN ...	80

6.	CONCLUSIONES.....	84
7.	RECOMENDACIONES	85
8.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	86
9.	ANEXOS	93

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Identificación de la zona de estudio	38
Figura 2. Puntos de monitoreo año 2023	44
Figura 3. Índice de Calidad de Agua- Punto QLB-01 – Sector Loma Redonda	52
Figura 4. Porcentaje de categorías ICA punto QLB-01_ Sector Loma Redonda	52
Figura 5. Índice de Calidad de Agua. Año 2023	55
Figura 6. Concentraciones de Mercurio vs Admisibilidad Decreto 1594, punto LB-02 Sector La Bodega	56
Figura 7. Concentraciones de Mercurio vs Admisibilidad Decreto 1594, punto QLB-01 Sector Loma Redonda	56
Figura 8. impactos identificados.....	75
Figura 9. Categoría de impactos identificados	76

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Métodos de evaluación de impactos ambientales	26
Tabla 2. Compuestos inorgánicos más comunes.....	33
Tabla 3. Combinaciones del mercurio en el agua	33
Tabla 4. Normatividad ambiental	34
Tabla 5. Legislación de disposición final del mercurio en Colombia.....	36
Tabla 6. Rangos de medida del ICA	45
Tabla 7. Método de Arboleda para evaluación de impactos ambientales.....	46
Tabla 12. Resultados de análisis históricos realizados en el sector de Loma Redonda ...	50
Tabla 13. Índices de Calidad de Agua- Puntos QLB-01, sector Loma Redonda.....	51
Tabla 14. Subíndices del ICA Sector Loma Redonda	53
Tabla 15. Identificación de impactos ambientales.....	61
Tabla 16. Evaluación impacto 1	62
Tabla 17. Evaluación impacto 2.....	63
Tabla 18. Evaluación impacto 3.....	64
Tabla 19. Evaluación impacto 4.....	65
Tabla 20. Evaluación impacto 5.....	66
Tabla 21. Evaluación impacto 6.....	67
Tabla 22. Evaluación impacto 7.....	67
Tabla 23. Evaluación impacto 8.....	68
Tabla 24. Evaluación impacto 9.....	69
Tabla 25. Evaluación impacto 10.....	70
Tabla 26. Impactos identificados y sus calificaciones e importancia ambiental.....	72
Tabla 27. Estrategia de mitigación, prevención o compensación 1.....	76
Tabla 28. Estrategia de mitigación, prevención o compensación 2.....	77
Tabla 29. Estrategia de mitigación, prevención o compensación 3.....	78
Tabla 30. Estrategia de mitigación, prevención o compensación 4.....	79
Tabla 31. Estrategia de mitigación, prevención o compensación 5.....	79
Tabla 32. Plan de manejo ambiental.....	81

RESUMEN EJECUTIVO

La minería artesanal desarrollada en el municipio de California Santander, provoca importantes impactos ambientales, sobre todo en la calidad de agua de su principal fuente hídrica, la quebrada La Baja, el presente informe evaluó los impactos ambientales generados por la actividad minera sobre la calidad de agua, por medio de investigación tipo cualitativa descriptiva se desarrolló una línea base con información secundaria de diferentes fuentes bibliográficas mostrando el proceso desarrollado por la minería en el municipio de California, y el uso de mercurio como principal insumo de extracción de oro del material sacado de la montaña, se trabajó con información remitida por la Autoridad Ambiental que funge en la jurisdicción de la zona estudio, la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga, CDMB, se realizó acompañamiento a monitoreos de calidad de agua estableciendo el estado actual de la corriente hídrica, como resultado se logró establecer que la fuente hídrica que se contempla como de uso doméstico, no cumple con las concentraciones máximas exigidas por el Decreto 1594 de 1984 compilado en el Decreto 1076 de 2015 Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, para tal uso, sobre todo en el parámetro Mercurio, se calculó la importancia de los impactos ambientales generados por las actividades minera artesanales sobre la quebrada La Baja utilizando el método de Arboleda o EPM, donde se identificaron diez (10) impactos ambientales entre las categorías significativo o relevante y muy significativo o grave, que van desde la contaminación de agua por mercurio hasta la afectación a fauna y flora. Y por último se proponen cinco (5) estrategias para implementar o incrementar medidas de mitigación de los impactos generados en la corriente hídrica.

PALABRAS CLAVE. Minería artesanal, impactos ambientales, calidad de agua, estrategias, mitigación.

INTRODUCCIÓN

En las economías locales y regionales de Colombia, la minería ha sido durante mucho tiempo una industria importante. Aunque la minería ha formado parte de la historia de la humanidad desde el principio de los tiempos, recientemente los gobiernos han hecho más hincapié en esta industria, considerándola un motor clave de la expansión de la economía colombiana impulsada por la inversión extranjera. Esta estrategia plantea serias preocupaciones sobre la riqueza del medio ambiente que representa Colombia. El suministro de agua del país es seis veces mayor que el del resto del mundo y tres veces mayor que el de América Latina. Sin embargo, los colombianos tienen un acceso limitado a este recurso porque aproximadamente el 80% de la población y la actividad económica del país se concentran en cuencas que naturalmente carecen de agua (Gomez & Rojas, 2014).

Las industrias extractivas han sido cruciales para el crecimiento económico de Colombia, con un aumento exponencial de la actividad entre 2010 y 2014. Según la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME, 2014), la producción de oro del país aumentó un 16,5% entre 2009 y 2013, pasando de 47,8 toneladas a 55,7 toneladas, con un descenso en 2013 debido a la calidad de los precios de la onza en el mercado. Sin embargo, la expansión de estas actividades ha tenido un impacto en el medio ambiente, la sociedad, la política y la economía. De ellos, los efectos de orden medioambiental son los más representativos, ya que derivan de las restricciones al uso del recurso para otros fines, así como de las limitaciones en su cantidad y calidad (Gonzales, 2018).

Colombia es una de las naciones con mayor riqueza hídrica en el mundo (IDEAM, 2018); sin embargo, debido a los impactos antrópicos sobre diversos cuerpos de agua, su disponibilidad es mucho menor y supera su capacidad de autodepuración, dando como resultado un índice de calidad bajo que indica deterioro en la calidad

del agua. Algunos constituyentes han sido simplificados con fines de gestión integral del recurso hídrico global (Parranda, y otros, 2019; Hoyos, Rodriguez, & Torres, 2018)

Los registros adquiridos por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial en 2004 demuestran el problema de contaminación a nivel nacional, con cerca de 1.300 cuerpos de agua contaminados, particularmente en el interior del país: los ríos Bogotá, Medellín, Cali y Sogamoso. Estas fuentes hídricas fueron contaminadas por problemas de calidad de los parámetros fisicoquímicos, lo que generó condiciones anóxicas. Debido a su uso en diversas actividades domésticas, las poblaciones pueden estar en riesgo por esta circunstancia y por el hecho de que más del 80% de los asentamientos urbanos reciben el agua de fuentes naturales, como ríos, quebradas y arroyos, entre otros (Hernandez, Pinedo, & Paternina, 2021).

La introducción de contaminantes antropogénicos, más agresivos y difíciles de gestionar debido a su composición química, tiene un impacto significativo en la calidad de las aguas superficiales y es objeto de controversia en todo el mundo. Además, los cambios en el uso del suelo tienen un gran impacto en el paisaje, modificando los recursos naturales y los ecosistemas (Rodriguez, 2018).

El presente informe da a conocer los impactos ambientales generados por la actividad minera que se desarrolla en el municipio de California en el departamento de Santander, y la problemática existente por parte de la minería artesanal con lo establecido en la Política Minera de Colombia haciendo énfasis en el concepto de responsabilidad, sobre todo responsabilidad ambiental. Se muestra el estado de la calidad de agua de la quebrada La Baja, que recibe los vertimientos de los puntos de beneficio de oro, utilizando indicadores estandarizados por el IDEAM como el Índice de Calidad de Agua ICA, y se determina el cumplimiento de los criterios de

calidad establecidos por la normatividad vigente ambiental para la destinación del recurso hídrico para consumo humano y doméstico, teniendo en cuenta la clasificación de tramos de corrientes establecidos por el Acuerdo de Consejo Directivo No. 1075 de 15/12/2006 de la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga CDMB.

Este informe también plantea estrategias de mitigación, prevención o compensación de las alteraciones que han generado las actividades mineras en la calidad de agua de la quebrada La Baja.

1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La población del municipio de Bucaramanga y parte del área metropolitana se beneficia del agua proveniente de la cuenca del Río Surata, agua captada y tratada por el Acueducto Metropolitano de Bucaramanga amb S.A. ESP, la captación que realiza la planta de agua potable Bosconia está localizada en la vía que conduce al municipio de Matanza sobre el Río Surata (AMB, 2023), este río cuenta con importantes tributarios que hacen de él un gran aportante a la oferta hídrica de la región, uno de ellos es el Río Vetas (CDMB, 2023) y en la misma lógica un tributario importante del Río Vetas es la quebrada La Baja ubicada en el municipio de California y objeto del análisis realizado por el impacto generado de las actividades mineras que se desarrollan en la zona, sobre la calidad de este afluente.

En los últimos años en el río Surata, en Santander, se han llegado a detectar hasta 163 µg/l, una situación que prendió las alertas sobre la presencia de ese elemento tóxico en aguas que alimentan desde acueductos veredales hasta el de Bucaramanga (Fonnegra, 2023). Sobre la quebrada La Baja, los monitoreos de agua realizados por la CDMB, muestran excedencias de los límites establecidos por el Decreto 1594 de 1984 en cuanto a los usos de agua para destino de consumo humano. Aunque el mercurio se puede encontrar en la naturaleza, los niveles detectados hacen referencia a orígenes antropogénicos y debido a que la actividad que predomina en la zona es la minería artesanal ésta es considerada como la fuente de la problemática, según lo anterior, se plantea realizar un análisis que responda a la pregunta ¿Cuál es el impacto ambiental generado por las practicas mineras en la calidad de agua superficial de la quebrada La Baja en el municipio de California Santander?

1.2. JUSTIFICACIÓN

El municipio de California alberga dos de los proyectos más grandes de minería de oro en el país, frenados ante la incertidumbre de las coordenadas y el plan de manejo del páramo de Santurbán, enfrenta una invasión de minería ilegal protagonizada por habitantes de la región y personas que llegan de otras zonas del país (Celedon, 2022). Las empresas multinacionales como ECO ORO y MINESA adquirieron títulos mineros en la zona y construyeron túneles exploratorios, sin embargo, la declaración de zona protegida del Páramo de Santurbán no permitió la extracción por parte de estas multinacionales, lo que conllevó a que la empresa ECO ORO renunciara a la concesión minera (El Espectador, 2019). Con túneles exploratorios ya construidos y sin ningún tipo de seguridad en los mismos, se han presentado incursiones y extracción de material que posteriormente es procesado con mercurio para la obtención de oro.

Las concentraciones altas de mercurio en el agua, representan una amenaza a la salud de los seres humanos, a la agricultura y la fauna. El agua de la quebrada La Baja hace parte del agua captada por el amb, ya que es un tributario en la subcuenca del Río Surata que abastece a parte de la población de los municipios de Girón y Bucaramanga, sin embargo, el amb realiza control sobre el agua captada, lo que significa que la problemática no radica en el consumo de agua potable por la población del área metropolitana pero si en las comunidades rurales que captan agua sin los debidos controles, así como en el consumo de cualquier producto agrícola que provenga de la zona.

Por lo anteriormente expuesto, se hace necesario realizar este proyecto de investigación y determinar como la minería artesanal afecta la calidad de agua de la Quebrada La Baja, y así exponer posibles soluciones a la problemática planteada, que garantice el cumplimiento de los criterios de calidad que exige la normatividad

vigente para aguas de uso humano y doméstico. El valor en la realización de este proyecto está en el aspecto ambiental y social. Al mismo tiempo, este proyecto demuestra cómo las UTS pueden apoyar la creación de instrumentos de planificación y medidas de mitigación en los municipios a través de la educación ambiental.

1.2.1. OBJETIVO GENERAL

- Evaluar los impactos ambientales que genera la actividad minera desarrollada en el municipio de California – Santander sobre la calidad de agua de La Quebrada La Baja.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desarrollar la línea base en el área de influencia seleccionada, teniendo en cuenta información primaria y secundaria concerniente a análisis fisicoquímicos y microbiológicos del agua, para identificar el estado actual de la calidad de la Quebrada La Baja y las condiciones socioeconómicas de la población de la zona.
- Calcular la importancia del impacto generado por los vertimientos procedentes de actividades mineras en la calidad de agua de la quebrada La Baja en el municipio de California Santander.
- Plantear estrategias que mitiguen, prevengan o compensen las alteraciones que las actividades de minería generan en la calidad de agua de la quebrada La Baja y en la población favorecida del recurso hídrico de la zona.

1.3. ESTADO DEL ARTE

A continuación, se presentan algunos referentes teóricos importantes para la elaboración de este proyecto.

Un estudio realizado por Wilson Vilela, Marbella Espinosa y Ana Bravo (2020), sobre La contaminación ambiental ocasionada por la minería en la provincia de El Oro, Ecuador, refleja que para la región, por sus repercusiones y efectos en el medio ambiente, la minería se considera una de las empresas más perjudiciales desde el punto de vista ecológico, cuyos resultados y análisis de los autores mostraron que si las cosas siguen así, será difícil disminuir el daño que la explotación de recursos y la contaminación están causando al ecosistema, que no sólo es malo para el medio ambiente, sino también esencial para que todo ser humano sobreviva. Esto no implica que debamos detener esta actividad industrial, ya que es esencial para que la nación siga creciendo (Vilela-Pincay, Espinosa-Encarnación, & Bravo-González, 2020).

En las últimas décadas, la minería artesanal y a pequeña escala (MAPE) se ha convertido en una importante actividad económica mundial, según O'Faircheallaigh & Corbet (2016), de los 80 países donde se practica la MAPE, se calcula que entre 20 y 30 millones de personas se dedican a la minería, y entre 75 y 125 millones de ellas dependen indirectamente de ella para su subsistencia. La extracción de diamantes, piedras preciosas y, sobre todo, oro (Au) es el principal objetivo de la MAPE. La minería de oro artesanal o a pequeña escala se lleva a cabo en Indonesia, Filipinas, Sudamérica y África, afirma Male, Reichelt, Pocock, and Nanlohy, (2013), que aproximadamente el 10-15% de la producción minera mundial se produce anualmente en la MAPE. Dado que la minería se concentra en recursos fácilmente disponibles, que a menudo se encuentran cerca de la superficie, las reservas minerales viables suelen agotarse rápidamente.

Contrastando con lo anterior, un estudio en España sobre el uso del agua en la minería, la autora María de los Ángeles Fernández (2021), afirma que, el agua es uno de los recursos más vitales para la minería, ya que es necesaria para numerosos procesos relacionados con las operaciones mineras. Sin duda, el agua está fuertemente relacionada con las actividades mineras: es un recurso que hay que preservar por razones medioambientales, es necesaria para las operaciones mineras tanto dentro como fuera de la mina, e incluso es un problema que hay que evitar, minimizar o solucionar.

Según González et al, (2018), El cadmio, el mercurio y el plomo son los metales considerados más tóxicos y arriesgados para el medio ambiente y algunos de estos metales proceden de las minas. El minero deja residuos de plomo, mercurio, manganeso y cianuro en el agua cuando viaja al río para lavar el oro que ha descubierto, dejando el agua totalmente envenenada e insegura para el consumo humano (Castro, 2019)

Por otro lado, El Ministerio de Medio Ambiente y el Gobierno de Bolivia presentaron un estudio sobre las emisiones de mercurio y la contaminación en esa región (2018). El informe señala que el sector minero es responsable de alrededor del 70% de la contaminación en Bolivia y que el promedio anual de emisión o liberación de mercurio de fuentes primarias y secundarias combinadas en Bolivia es de 133,1 t, o 133,1 t de mercurio. Esto es aproximadamente el 7% de las emisiones mundiales en 2016. También muestra que el mercurio está presente en el 78% de los jabones y cosméticos del país, el 17% de los equipos farmacéuticos, el 3% de los fabricantes de cemento y el 2% de las baterías y pilas. Según las estimaciones, los ríos transportan anualmente entre 7,7 y 20,3 t de mercurio debido a la erosión y la migración, lo que deteriora enormemente el ecosistema (WWF, 2018).

Asimismo, el 10% de la producción total de 146 toneladas de oro de Perú en 2015 procedió de la minería artesanal, que produjo 14,6 toneladas de oro (Kuramoto, 2010). La minería artesanal ha utilizado 21,9 T de mercurio, con muchos de los recursos hídricos más importantes de Perú como destino final, dado que se necesitan 1,5 kg de mercurio para crear 1 kilogramo de oro (Bauer, 2015).

Debido a que la misma población utiliza esta fuente de agua para consumo y otras actividades, el estudio de Goyzueta & Trigos (2010), en el río Lunar de Oro y su desembocadura en La Rinconada recibe aguas mercuriales. Se origina en la cabecera de la cuenca del lago Titicaca, donde se descargan las aguas de la ciudad y bocas de minas (Cuentas, 2006). Los resultados de esta investigación en el río lunar de oro en el Perú arrojaron valores en las características fisicoquímicas como el pH con un valor de 3,47, valor indiferente a los valores permisibles de calidad ambiental en el Perú (MINAM, 2017), teniendo así una muy mala calidad principalmente por las actividades de extracción de oro. La fuente de agua Lunar de Oro representa un riesgo ecológico significativo debido a sus valores mensuales de mercurio que superan los 0,00034 mg/L en el agua superficial. Estas concentraciones de metales superan los límites establecidos por la normativa peruana (ECA Categoría 4). Además, las muestras tomadas en el agua sedimentada revelaron niveles de mercurio excepcionalmente altos, con un promedio de 180 mg/kg. En el 100% de las muestras, las cantidades de mercurio en los sedimentos eran muy superiores al nivel de referencia de 2 mg/kg, que se sabe que perjudica gravemente a la mayoría de los animales acuáticos (Loza Del Carpio & Ccancapa, 2020).

El caso Colombiano no está lejos de los anteriores, un estudio titulado “Impacto de la minería del oro asociado con la contaminación por mercurio en suelo superficial de San Martín de Loba, Sur de Bolívar (Colombia)”, realizado por Leobardo Rocha,

Jesús Olivero y Karina Rocío Caballero del Grupo de Química Ambiental y Computacional de la Facultad de Ciencias Farmacéuticas de la Universidad de Cartagena (2017), se determinó un alto contenido de Hg-t en suelo superficial proveniente del municipio de San Martín de Loba, una zona de influencia de minería aurífera. La tecnología utilizada para extraer oro a lo largo de los procesos de amalgamación ha sido y es causa de la contaminación por Hg en el área de influencia de la operación minera. Los resultados revelan que altos niveles de Hg están presentes a la entrada del municipio, cerca de las minas, tanto de aquellas que han sido abandonadas como de las que siguen activas, así como en tiendas de oro, entre otros” (Rocha, Olivero, & Caballero, 2017).

Colombia al igual que la mayoría de países en desarrollo se ubican en el top 20 de países que utilizan este metal pesado para el proceso de la extracción del oro, convirtiendo este elemento en una pieza clave para su uso exclusivo en las plantas auríferas (Díaz, 2014).

Según un estudio realizado por Ehrlich, Marco, & Marcela (2016), en varias fuentes hídricas del país colombiano se encontraron concentraciones superiores a las máximas permisibles de este metal pesado (según la normatividad colombiana deben ser de 2.0 µg/L) logrando valores críticos con capacidad de generar un impacto ambiental y daños colaterales en a la salud de la población cercana a las explotaciones de la minería.

En el año 2001 la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB), la Compañía del Acueducto Metropolitano de Bucaramanga (CAMB, hoy amb), la Gobernación del Departamento de Santander y la Autoridad Minera, aunaron esfuerzos para que con ayuda del gobierno alemán a través del Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales (BGR por sus siglas en alemán), se ejecutara el Proyecto “Reducción de la Contaminación Ambiental

Debida a la Pequeña Minería en la Cuenca del Río Suratá”, mejor conocido y abreviado como Proyecto Río Suratá, entre las conclusiones del mismo se destacan:

- Los procesos realizados por la pequeña minería aurífera desarrollada en Vetas y California contaminan con mercurio y cianuro las aguas del río Suratá. (Wolff Carreño, 2001)
- El problema de contaminación está agravado unos 40 km más abajo de la región minera, por la presencia de infraestructura para potabilización de agua (Planta Bosconia). Esta Planta produce regularmente el 40% del agua potable para la ciudad de Bucaramanga y su área metropolitana con una población cercana al millón de habitantes (Wolff Carreño, 2001)

2. MARCO REFERENCIAL

2.1. MARCO TEORICO

Dado que algunas de las teorías y conceptos del proyecto dependen de una amplia gama de variables para su aplicación, es crucial examinar a fondo cómo afectarán al trabajo, sobre todo en lo que respecta al entorno. Teniendo esto en cuenta, las ideas e hipótesis clave del proyecto se enumeran en la siguiente lista.

2.1.1. Calidad del agua

Se denomina calidad a la capacidad de un bien para satisfacer demandas o una combinación de aptitudes para diversas aplicaciones, en función de una variedad de características. Por tanto, cuantos más usos permita una masa de agua, mayor o más alta calidad tendrá. Pero como activo medioambiental y no como recurso que se puede explotar, una masa de agua debe protegerse, según la Directiva Marco Europea del Agua (IDEAM, 2019). En consecuencia, en este apartado se evalúan las tensiones ejercidas sobre las condiciones de calidad del agua por las cargas puntuales de contaminantes derivadas de las operaciones de los proyectos mineros. Según López-Sánchez, y Medina (2017), la contaminación química, el aumento de sedimentos, la disminución de caudales y el cambio de cauces son los efectos más típicos de la minería sobre la calidad de los recursos hídricos.

Utilizando el enfoque de investigación Delphi de la Rand Corporation, la National Sanitation Foundation (NSF) de Estados Unidos creó en 1970 el Índice de Calidad del Agua (ICA). El ICA en Colombia es el número que, con base en mediciones para un conjunto de cinco o seis variables, obtenidas en una estación de monitoreo j en el tiempo t y registradas allí, califica la calidad del agua de una corriente superficial en una de cinco categorías (IDEAM, 2019). Siguiendo los lineamientos del IDEAM

en la Ficha Metodológica del indicador Índice de Calidad del Agua en Corrientes Superficiales, para el cálculo del ICA se consideraron las siguientes variables: pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, demanda química de oxígeno, sólidos suspendidos totales y conductividad eléctrica.

2.1.2. Impactos ambientales.

Muchas actividades humanas, en particular las relacionadas con la creación o prestación de productos y servicios, el suministro de materias primas y el desarrollo de infraestructuras, interactúan de una u otra forma, tanto a lo largo de su construcción como de su funcionamiento, con el medio en el que se sitúan, como señala Arboleda (2008). Dicho de otro modo, alteran el entorno, consumen recursos naturales, eliminan vegetación, utilizan suelos productivos, alteran el paisaje, obligan a la población a desplazarse, producen residuos o emisiones, etc. Estos cambios pueden variar enormemente en cuanto a su importancia, alcance, duración y extensión (Gonzales, 2018).

Esta relación entre el proyecto y el medio ambiente a lo largo del tiempo ha dado lugar a un proceso de degradación o pérdida de calidad ambiental que se ha intensificado en los últimos tiempos y ha llegado a extremos preocupantes. Este proceso es en ocasiones insostenible o conduce a situaciones globales que ponen en peligro la salud, el bienestar e incluso la supervivencia de los seres humanos (Arboleda, 2008).

El término impacto ambiental se refiere al cambio o modificación que se produce cuando un proyecto de infraestructura o un proceso de producción de consumo chocan con un entorno determinado. Una visión holística del medio ambiente que tenga en cuenta las múltiples interrelaciones de los procesos biofísicos y sociales

puede servir de base para realizar análisis de impacto ambiental al nivel y escala necesarios (MAVDT, 2005).

2.1.3. Evaluación de impactos ambientales

Según Toro, Martínez y Arrieta (2013), la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) es un procedimiento técnico-administrativo que evalúa los efectos ambientales de obras, proyectos o actividades (POA) y los notifica previamente a la comunidad para que pueda participar en el proceso de toma de decisiones. Según la legislación, los POA pueden tener efectos negativos importantes sobre el medio ambiente o alterar significativamente el paisaje. En Colombia, la EIA está homologada al procedimiento de licenciamiento ambiental para estos proyectos (MiniAmbiente, 2015). El Manual de Evaluación de Estudios Ambientales de 2010 se utiliza para evaluar 25 estudios ambientales realizados en todo el país. En él se esbozan los requisitos para atender las solicitudes de trámites ambientales y se describen las necesidades del proyecto en cuanto a la elaboración del EIA. El manual también esboza la lista de comprobación que se utilizará para evaluar si el estudio se realizó adecuadamente y con datos suficientes para que los resultados puedan ajustarse a la realidad (Gonzales, 2018).

La mejor opción y su adaptación a las normas vigentes se deciden durante el proceso de Evaluación del Efecto Ambiental, que evalúa cualquier efecto ambiental derivado de un proyecto y/o actividad. La ubicación de los componentes y las obras físicas de un proyecto, así como la forma en que se llevan a cabo sus acciones, son factores que pueden tener un impacto en el medio ambiente. Entre ellos se incluyen las emisiones, vertidos y residuos del proyecto, así como la extracción, explotación, uso y manipulación de los recursos naturales renovables para satisfacer sus

necesidades (Orellana & Gonzalez, 2020). A continuación, se exponen algunos de los enfoques disponibles para evaluar los efectos sobre el medio ambiente:

Tabla 1. Métodos de evaluación de impactos ambientales

Método	Descripción
Matriz de Leopold	Éste es actualmente el enfoque más popular. Se construye sobre una matriz que tiene 88 elementos medioambientales en las filas y 100 acciones en las columnas. Las cruces representan repercusiones o efectos potenciales sobre el medio ambiente. Una diagonal divide las cuadrículas de las cruces que tienen efectos importantes, colocando un número entre 0 y 10 para la magnitud del impacto en la parte superior y un valor similar entre 0 y 10 para la importancia de la intersección en la parte inferior.
Método Battelle-Columbus	Fue uno de los primeros enfoques en buscar el valor del efecto total de todas las opciones. Los elementos se ponderaron utilizando el método Delphi, y se crearon 78 parámetros, desglosados en 18 componentes y ordenados en 4 categorías. Mediante funciones de transformación, se emplearon unidades homogéneas para evaluar la magnitud de cada parámetro, y el total ponderado de los componentes se utilizó para determinar el efecto global del proyecto.
Método Galletta	Se inspira en la evaluación de carreteras y autopistas y se basa en la metodología de transparencia de McHarg. La calidad ambiental original del entorno y la calidad con el proyecto se calculan mediante un programa informático, y los resultados se muestran visualmente. Se tienen en cuenta 14 elementos medioambientales, que se clasifican de 0 a 100. La zona se divide en cuadrículas uniformes que crean una malla, y la calidad del medio ambiente se determina asignando una puntuación de 1 a 5 a cada uno de los 14 criterios de cada

Método	Descripción
	cuadrícula. A continuación, se calculan los efectos del proyecto, lo que da como resultado la calidad final del proyecto en cada cuadrícula. Para ilustrar estos resultados se utilizan mapas medioambientales.
Análisis energético Mc Allister	El flujo energético de cada alternativa de proyecto se evalúa utilizando la relación "coste-beneficio", ya que se considera que la energía es un indicador más preciso del uso de recursos que el dinero.

Fuente: (Orellana & Gonzalez, 2020)

2.1.4. Minería en Colombia

Antes de la conquista española, varias culturas precolombinas que vivían en lo que hoy es Colombia explotaban minerales como el carbón, la arcilla y la sal para la construcción de centros urbanos, que eran cruciales para la economía prehispánica. Además de utilizar el oro y las piedras preciosas como materias primas para la orfebrería y las actividades ceremoniales, estas culturas también extraían otros minerales. La minería de oro en Antioquia y Chocó floreció durante todo el periodo colonial gracias al uso de mano de obra esclava. Esto marcó acontecimientos históricos para la zona antioqueña como centro de extracción y acopio de oro y, posteriormente, como fuente de financiación de las fuerzas que liberaron la provincia. En la República se consolidó la producción de oro y piedras preciosas, que superó en importancia a otras industrias fundamentales como la agricultura (Sentencia T 445, 2016)

En Colombia se producen diversos minerales, como carbón (térmico, metalúrgico y antracita), mineral de níquel, hierro, cobre, metales preciosos (oro, plata y platino), esmeraldas y materiales de construcción e industriales. En su desarrollo intervienen

cuatro fases: descubrimiento, montaje y construcción, explotación y cierre, y abandono (Código de Minas Ley 685 de 2001). En el esfuerzo de la nación por formular políticas públicas diferenciadas, esta industria se divide en tres categorías: pequeña, mediana y gran minería (EITI, 2023)

El subsuelo colombiano es propiedad del Estado y de sus habitantes, y los títulos mineros expedidos por la Agencia Nacional de Minería (ANM) otorgan el derecho a explorar y utilizar los recursos naturales de la nación, en este caso los minerales. Algo más del 5% de los 114 millones de hectáreas del territorio nacional están destinadas a actividades mineras; el 2,3% se utilizan para exploración, el 1,6% para construcción y montaje, y el 1,1% para explotación. Los 9.602 títulos mineros que están en vigor en Colombia abarcan 312 tipos de minerales diferentes que se clasifican en 8 clases principales en función del uso y la explotación de cada mineral. Los materiales de construcción representan el 57% de todos los recursos extraídos, seguidos del carbón (17%), los metales preciosos (11%), la piedra caliza (5%), los minerales industriales (4%), las piedras preciosas (4%) y otros metales (2%). Sin embargo, la Gobernación de Antioquia controla el 22% de la tierra, que es la mayor región apta para construir explotaciones mineras. Le siguen el PAR Cartagena y el PAR Valledupar, con un 10% cada uno. También podemos decir que la mayor parte del territorio colombiano -es decir, 30 de los 32 departamentos y el Distrito Capital- tiene desarrollo minero. Sin embargo, la ANM encontró que sólo el 32% (3.085 títulos) de los títulos mineros son propiedad de sociedades jurídicas, siendo las personas naturales titulares del 68% (6.517 títulos) del total (Agencia Nacional de Minería, 2023).

2.1.5. Contaminación del agua en la minería

El suministro de agua en una explotación minera puede cambiar de tres maneras. La primera es el drenaje, que se produce cuando los minerales sulfurosos del suelo entran en contacto con el agua y el oxígeno del aire circundante. Estos drenajes pueden tener un contenido sustancial básico, neutro o ácido. Además, pueden ser venenosos, corrosivos o radiactivos (Nordstrom, Blowes, & Ptacek, 2015). Los principales problemas de los drenajes mineros son su bajo pH (inferior a 4,5), los altos niveles de sulfatos disueltos (que pueden ascender a cientos de miligramos por litro) y las concentraciones de metales pesados (como As, Cd, Ni, Pb, Cr, Cu y Hg). Dado que estos metales alteran gravemente los procesos metabólicos de plantas, animales y seres humanos, pueden tener efectos adversos sobre su salud. Sin medidas adecuadas de control y gestión, los desagües que vierten a la superficie degradan el suelo, matan a las criaturas bentónicas y contaminan los cauces de los ríos alterando la cadena alimentaria (Johnson & Hallberg, 2005). Además, los niveles bajos de pH aumentan la concentración de partículas totales en suspensión y de sólidos disueltos, lo que puede repercutir en el abastecimiento de aguas subterráneas.

Cuando el agua se utiliza en operaciones mineras o de beneficio, las actividades mineras también pueden contaminarla. Cuando esta agua entra en contacto con los minerales extraídos, las escombreras o los estériles, se convierte en drenaje ácido y, en algunas situaciones -como durante la extracción de oro-, se contamina con cianuro o mercurio. La existencia de minas abandonadas al lado de minas activas agrava este problema, ya que el agua fluye a través de ellas con facilidad, haciendo que los metales terminen viajando incluso grandes distancias antes de entrar en los cursos de agua limpia (Sentencia T 445, 2016).

Por último, el tercer método de contaminación de los recursos hídricos es la minería aluvial, que a menudo provoca la modificación de las partículas en suspensión en las masas de agua. Cuando los sedimentos se acumulan de forma significativa,

impiden la penetración de la radiación fotosintéticamente disponible y obstruyen la columna de agua. Los sedimentos son partículas finas suspendidas en suspensión por los remolinos de las corrientes, que proporcionan una armadura al lecho que protege a los organismos de la exposición directa a la radiación solar (Davies, 1992). Aparte de esta cuestión, en ocasiones pueden estar presentes en los sedimentos metales pesados como el zinc, el aluminio y el mercurio que se bioacumulan en la cadena alimentaria (Davies, 1992).

2.1.6. Contaminación por metales pesados en Colombia

En las últimas décadas los estudios de calidad de los sistemas acuáticos continentales (ríos, lagos, embalses, etc.) han tenido un creciente interés por aspectos como: el incremento de la población en sus riberas, el creciente grado de industrialización, los aportes de los sectores agrícolas, ganaderos y mineros. La importancia que tiene el estudio de metales pesados en diferentes matrices es por la elevada toxicidad, la alta persistencia y rápida acumulación por los organismos vivos, sus efectos no se detectan fácilmente a corto plazo. La toxicidad de estos metales pesados es proporcional a la facilidad de ser absorbidos por los seres vivos (Reyes Y. C., 2016).

En Colombia la contaminación en las fuentes hídricas se da por la explotación minera como lo es la extracción de oro principalmente, alterando así el ecosistema por la concentración y movilidad de estos metales en el suelo. Tomando en cuenta también aquellos contaminantes químicos que son utilizados en la industria agrícola. Por tal razón estos contaminantes procedentes de estas actividades permanecen en el ambiente por un largo tiempo lo cual provoca una concentración en los seres vivos, provocando así una intoxicación (Agencia Nacional de Minería, 2023)

Uno de los metales pesados más peligrosos, el mercurio (Hg), suele estar presente en todos los aspectos del medio ambiente en todo el mundo. Tiene una relación favorable con el oro, por lo que ayuda a producirlo permaneciendo líquido a temperatura ambiente. Está reconocido como un contaminante universal porque, además de producirse artificialmente a través de la minería y la industria, también se libera al medio ambiente por erupciones volcánicas y puede recorrer grandes distancias hasta llegar a la atmósfera en forma de gas (Gaioli, Amoedo, & Gonzales, 2012)

2.1.7. Contaminación en fuentes hídricas por mercurio

En Colombia, la contaminación por metales pesados del aire, el agua y el suelo es un problema importante. El consumo de mercurio se ha documentado en varias regiones de la nación, principalmente en los recursos hídricos (Combariza & B, 2009). En 2014 se realizaron en Colombia varios muestreos de metales pesados en fuentes de agua. De estos, se realizaron 104 muestreos de mercurio y los resultados arrojaron cantidades significativas en los principales ríos de la nación, entre ellos el Magdalena, Guachal y Marmato (IDEAM, 2014). En el embalse del Muña, en la sabana de Bogotá, se realizó una investigación para evaluar los efectos de los metales pesados en la salud humana. El sector se dedica al cultivo de hortalizas, principalmente cebolla juncada (Pesca, 2015; Torres & Ramirez, 2014). Para el riego del cultivo se utiliza agua del río Bogotá, fuente hídrica con altas concentraciones de (Hg, Cd, Pb y As). Debido a que estos vegetales bioacumulan metales pesados, la población circundante está expuesta a niveles elevados de Hg, Cd, Pb y As (Sanchez C. , 2010). Según una investigación sociodemográfica y epidemiológica realizada en Bogotá (Mendez, 2007), los alimentos en plazas y supermercados pueden incluir estos metales (Miranda, y otros, 2011).

La agricultura, el uso de pesticidas y el agua de riego contaminada con estos metales pesados son las principales actividades productoras de mercurio (Miranda, y otros, 2011). Con poca regulación ambiental, la minería, que utiliza el mercurio como componente necesario para separar el oro de las rocas o piedras en las que se encuentra, ha afectado los ecosistemas colombianos, convirtiéndola en la nación con mayor consumo de mercurio (Pantpja & Pantoja, 2016). Dado que el acueducto se abastece de esta fuente hidrológica, se encontraron altas concentraciones de mercurio en el río Condoto-Choco como resultado del vertimiento directo de mercurio proveniente de las actividades mineras aledañas a la fuente hídrica. Esta carga varía entre 1000 kg/año en el río y en las especies de peces, afectando directamente la salud de la población (Sanchez & Cañon, 2010). En otra investigación se examinó la evolución de la contaminación por mercurio (Hg) en el Chocó analizando varias matrices. Se informó de que las cantidades medias de mercurio total (Hg-t) en el cabello humano eran de 6,72 ppm y 0,87 ppm, respectivamente. Se encontraron concentraciones de mercurio en peces por encima de los límites permitidos; entre las especies se destacaron el bagre, el barbudo y la doncella.

2.1.8. Propiedades físico-químicas del mercurio

El mercurio es un metal de color plateado presente en la naturaleza. Tiene un número atómico de 80 y una masa atómica de 200,59. Es un metal líquido a temperatura ambiente (Sarmiento, 1999). Es un metal brillante, denso y poco volátil a temperatura normal. Se solidifica a presiones de hasta 7640 Atm. Sus puntos de fusión y ebullición son -39 y 375 °C, respectivamente, y su densidad relativa es de 13,5 (Kirk & Othmer, 1967). Puede existir en forma gaseosa o metálica, y puede

combinarse con otros elementos para producir compuestos orgánicos e inorgánicos. Los compuestos inorgánicos más frecuentes se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Compuestos inorgánicos más comunes

Compuesto inorgánico	Nombre
$HgCl$	Cloruro mercurioso
$HgCl_2$	Cloruro mercúrico
HgO	Oxido mercúrico
HgS	Sulfuro mercúrico
$HgSO_4$	Sulfato de mercurio
$Hg(CNO)_2$	Cianato de mercurio
$Hg(OH)_2$	Hidróxido de mercurio

Fuente: Autor basados en (Kirk & Othmer, 1967)

También se han encontrado compuestos del mercurio cuando estos son expuestos al contacto con el agua, sufren combinaciones químicas aumentando su nivel de toxicidad, ver tabla 3.

Tabla 3. Combinaciones del mercurio en el agua

Estructura química.	Nombre
Hg^{2+}	Mercurio divalente
Hg^0	Mercurio metálico
$C_6H_5Hg^+$	Fenilmercurio
$CH_3OCH_2CH_2Hg^+$	Alcoxialquilo de mercurio
CH_3Hg^+	Metilmercurio

Fuente: (Kirk & Othmer, 1967)

2.2. MARCO LEGAL

Conocer las implicaciones legales para la evaluación de impactos ambientales es una parte fundamental al momento de iniciar un proyecto de este tipo. A continuación, se presenta en la tabla 4 la legislación pertinente a la planeación de proyectos relacionados con impactos ambientales, minería, recursos ambientales naturales, protección del medio ambiente, minería, entre otros.

Tabla 4. Normatividad ambiental

Normatividad	Descripción
Decreto 2811 de 1974	código nacional de recursos naturales renovables y de protección al medio ambiente (CNRCR), en su artículo 3.º dispone que uno de los objetivos del código es regular el manejo de los recursos naturales renovables, entre ellos las aguas continentales en cualquiera de sus estados. El artículo 8.º (CNRCR) considera que la contaminación del aire, de las aguas, del suelo y de los demás recursos naturales renovables es uno de los factores que deterioran el ambiente
Decreto 1594 de 1984	Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 09 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI - Parte III - Libro II y el Título III de la Parte III Libro I del Decreto 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos
Constitución política de Colombia 1991	Artículos 49, 79 y 80 que consagran el derecho colectivo a gozar de un ambiente sano y el deber del estado de proteger la diversidad e integridad del ambiente, prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental
Ley 99 de 1993	Se crea el Ministerio del Medio Ambiente, Sistema Nacional Ambiental (SINA). En el título VIII se establece la obligación de la licencia ambiental y sus disposiciones. Título que ha sido reglamentado en el decreto 2041 de 2014

Normatividad	Descripción
Ley 685 de 2001	En los artículos 85,205, 206, 208, entre otros, se establece la realización de estudio impacto ambiental y la expedición de la licencia ambiental, como requisito para la iniciación de los trabajos y obras de la explotación minera
Resolución 2115 de 2007	Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuentes del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano.
Decreto 4134 de 2011	Se crea la Agencia Nacional de Minería (ANM), se determinó su objetivo y estructura orgánica.
Decreto 1073 de 2015	Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Administrativo de Minas y Energía.
Resolución 0631 de 2015	Esta norma permite el control de las sustancias contaminantes que llegan a los cuerpos de agua vertidas por 73 actividades productivas presentes en ocho sectores económicos del país. Dicho control se efectúa a partir de la medición de la concentración de las sustancias descargadas a los cuerpos de agua y que afectan la calidad de esta
Decreto 1421 de 2016	mediante el cual se modifican algunas normas mineras y ambientales, ordena en su artículo 6.
Resolución 40391 de 2016	Por la cual se adopta la Política Minera Nacional
Decreto 419 de 2021	Por el cual se da cumplimiento a los compromisos adquiridos por Colombia relacionados con el Anexo A - Parte 1 del Convenio de Minamata sobre el Mercurio y se adoptan otras disposiciones.

Fuente: Autores

La principal fuente de contaminación es la minería artesanal de oro, que perjudica el abastecimiento de alimentos al regar el agua contaminada con mercurio, perturba la salud humana por ingestión del metal y destruye los ecosistemas del suelo y el

agua por vertidos incontrolados. Esta situación es preocupante porque la mayoría de los colombianos desconocen los efectos de dicha contaminación. En cuanto a la gestión normativa, Colombia cuenta con leyes relacionadas con la eliminación definitiva de este metal pesado, con especial énfasis en la reducción y remoción del mercurio (ver Tabla 5).

Tabla 5. Legislación de disposición final del mercurio en Colombia.

Normatividad	Descripción
Resolución 693 de 2007	Por la cual se establecen criterios y requisitos que deben ser considerados para los Planes de Gestión de Devolución de Productos Pos consumo de plaguicidas.
Resolución 1511 de 2010	Por la cual se establece que los comercializadores y productores de bombillas con tecnología fluorescente compacta, haluros, fluorescente tubular, vapor de sodio o vapor de mercurio están obligados a formular, presentar e implementar sistemas individuales o colectivos de recolección selectiva y de gestión ambiental de los residuos de las bombillas usadas
Ley 1658 de 2013	Por medio de la cual se establecen disposiciones para la comercialización y el uso de mercurio en las diferentes actividades industriales del país, se fijan requisitos e incentivos para su reducción y eliminación y se dictan otras disposiciones.
Resolución 159 de 2015	Establece lineamientos que deben cumplir los Prestadores de Servicios de Salud de Bogotá D.C. para la eliminación de productos y dispositivos con contenido de mercurio y la sustitución por alternativas seguras y tecnológicamente no contaminantes

Fuente: (Pinzon, 2018).

2.3. MARCO GEOGRAFICO

Uno de los aspectos importantes para llevar a cabo este proyecto es conocer la localización geográfica del municipio de California Santander, pues el objetivo central del trabajo implica conocer el impacto ambiental generado por la minería en el recurso hídrico de la región, específicamente en la quebrada la; y con base en estos hallazgos proceder a la formulación del documento.

El Municipio de California se localiza en una de las estribaciones de la Cordillera Oriental del Sistema Montañoso Andino Colombiano, con topografía ondulada y quebrada, con pendientes fuertes desde inclinadas hasta escarpadas. El perímetro urbano se encuentra a una altura promedio de 2.005 m.s.n.m., aunque en el territorio se presentan alturas hasta de 4.000 m.s.n.m., predomina el clima templado semihúmedo con períodos de lluvia, los suelos son de textura franco arenosa, superficiales, y con buen excesivo drenaje (Alcaldía municipal de California, 2019).

Según la proyección del censo de población del Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas DANE para el año 2016, California cuenta con 2.006 habitantes, de los cuales, el 51,05% (1.024) son hombres y el 48,95% (982) mujeres. El 52% de la población reside en la zona rural y el 48% en el área urbana, teniendo en promedio 41,2 habitantes por kilómetro cuadrado. El municipio posee una población potencialmente activa de 1.193 personas y población inactiva de 791 personas (Alcaldía municipal de California, 2019).

La quebrada La Baja está ubicada en el municipio de California Santander, Geográficamente se encuentra a 7° 21' de latitud norte y 72° 57' de longitud oeste. Con 5.260 hectáreas (52,60 km²) de extensión, limita al norte con el Departamento de Norte de Santander y el municipio de Suratá, al este con el municipio de Vetas, y al oeste y sur con el municipio de Suratá. Nace de la confluencia de las quebradas Páez y Angosturas en el Páramo de Santurbán en el sector conocido como La Bodega, y recorre la vereda Angosturas, para finalmente unirse con las aguas del Río Vetas (Alcaldía municipal de California, 2019).

La mayoría de las quebradas que alimentan la microcuenca del río Vetas son Angosturas, Páez, El Salado, Móngora, La Plata, La Baja, EL Volcán, Chumbula, Agua de Páramo y Mataperros. Sin embargo, Volcán, El Salado, Páez, Angosturas y La Baja reciben desechos de la explotación aurífera del complejo minero Vetas-

California, y sus descargas contienen material estéril y arenas trituradas y cianuradas con alto contenido de mercurio (Rodríguez, 2018).

En la figura 1, se identifican las veredas contiguas a la zona estudio las cuales son Vereda Centro, Vereda Angosturas y Vereda La Baja.

Figura 1. Identificación de la zona de estudio



Fuente: Autores basado en archivo shape CDMB

2.4. MARCO CONCEPTUAL

- a. **Bioacumulación:** En toxicología, la bioacumulación es el proceso de acumulación de sustancias químicas en organismos vivos de forma que estos alcanzan concentraciones más elevadas que las concentraciones en el medio ambiente o en los alimentos. Las sustancias propensas a la bioacumulación alcanzan concentraciones crecientes a medida que se avanza en el nivel trófico en la cadena alimenticia (Argota y otros, 2012).

- b. Contaminación por mercurio:** El mercurio es un contaminante mundial, cuando el mercurio es liberado en el medio ambiente, se evapora, viaja con las corrientes de aire y luego cae nuevamente a la tierra, algunas veces cerca de la fuente original y otras veces muy lejos. Cuando el mercurio entra en el medio ambiente acuático, los microorganismos pueden transformarlo en metilmercurio, un compuesto de mercurio que es más tóxico a dosis bajas que el mercurio elemental. (WEINBERG, 2010).
- c. Evaluación de impactos ambientales:** El objetivo de una evaluación de impacto ambiental (EIA) es identificar, prever y evaluar los efectos sobre el medio ambiente, así como evitar los efectos desfavorables sobre el bienestar de la comunidad, la salud humana y el equilibrio ecológico que puedan derivarse de determinados planes, programas y proyectos. En consecuencia, la evaluación del impacto ambiental (EIA) se convierte en una herramienta crucial para la toma de decisiones, especialmente durante la fase de planificación. No debe considerarse un obstáculo para el desarrollo, sino una ayuda para elegir las opciones más ventajosas y sostenibles desde el punto de vista medioambiental para cada proyecto concreto (Perevochtchikova, 2013).
- d. Minería:** La minería es una actividad industrial que implica la extracción y el uso de minerales del suelo y del subsuelo. Estos minerales son vitales para la supervivencia de cualquier comunidad y figuran entre las actividades humanas más antiguas, junto con la agricultura. El proceso de extracción ha cambiado a lo largo del tiempo, pasando del uso de herramientas manuales a métodos sofisticados y maquinaria de alta tecnología que permiten una minería ética y viable desde el punto de vista técnico, financiero, social y ecológico (Rios, 2018)
- e. Mercurio:** Además de en su forma elemental, el mercurio es un metal líquido que también puede encontrarse en forma de derivados orgánicos e inorgánicos a temperatura ambiente. Como el mercurio elemental es poco

soluble, no es tan nocivo cuando se consume; sin embargo, puede liberar humos nocivos a cualquier temperatura, lo que puede provocar intoxicaciones agudas y a largo plazo por inhalación (Reyes Y. C., 2016).

- f. Mercurio en agua:** Existen una serie de vías a partir de las cuales el mercurio puede entrar en el dominio de las aguas terrestres. Hg(II) y metilmercurio pueden ser depositados directamente desde la atmósfera por vía húmeda o seca sobre cuerpos de agua terrestre; Hg(II) y metilmercurio también pueden ser incorporados a las aguas terrestres por acción de la lluvia (Hg complejo a suelo/humus en suspensión o a DOC); por otro lado, este lavado y arrastre de mercurio desde el suelo a las aguas terrestres puede realizarse a partir de corrientes de agua subterránea. (Gaona Martínez, 2004)
- g. Mercurio en atmosfera:** Los procesos que definen el transporte y destino del mercurio en la atmosfera son básicamente las emisiones, la transformación y transporte en la atmosfera y la deposición. La emisión puede tener como origen procesos naturales o bien antropogénicos. Entre los primeros se encuentran la volatilización del mercurio desde medios acuáticos y marinos, la volatilización a partir de la vegetación, la liberación de gases de materiales geológicos y las emisiones volcánicas (Olivero y otros, 2013).
- h. Mercurios en suelo:** La presencia natural de metales pesados como el mercurio (Hg) o a actividades humanas como la extracción de oro, dejan estos metales en los suelos, este tipo de explotación minera libera entre 80-100 toneladas de mercurio al año en el suelo. Una vez en el suelo, esta contaminación tiene el potencial de transformarse en especies más peligrosas, ascender por la cadena alimentaria y, finalmente, llegar a las personas, donde puede causar graves problemas neurológicos y teratogénicos (Vidal y otros, 2010).

3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación

Como ya se sabe, el objetivo principal de este proyecto de investigación fue evaluar los impactos ambientales que genera la actividad minera desarrollada en el municipio de California – Santander sobre la calidad de agua de la quebrada La Baja. Sin embargo, para ello, fue necesario emplear el método descriptivo, según Tamayo y Tamayo (2006) afirman que la investigación descriptiva se diferencia esencialmente en que nos ofrece una interpretación precisa al tiempo que se concentra en verdades fácticas. La investigación cualitativa sustrajo e interpreto los hechos en función de las personas implicadas, observando la realidad en su medio natural y tal y como ocurre.

Esta investigación tuvo en cuenta los análisis físicos, químicos y microbiológicos de la calidad del agua en la Quebrada La Baja, lo que permitió evaluar la calidad del agua en puntos diferentes, así como la evaluación del impacto ambiental de los vertidos resultantes del beneficio de oro.

3.2. Enfoque de investigación

Para el desarrollo de este trabajo, se trabajó con el enfoque investigativo cualitativo. Los autores Blasco y Pérez (2007) señalan que la investigación cualitativa comprende la descripción, relación, análisis y deducción de la verdadera naturaleza y composición o técnicas de los fenómenos. Cuenta con una serie de instrumentos para recabar información, entre los que se encuentran las preguntas o entrevistas, los números, las observaciones y las narraciones de vida que describen los significados cotidianos de los miembros, así como las rutinas y las situaciones desafiantes.

3.3. Método de investigación

Este proyecto se desarrolló utilizando el método de la observación, que es el proceso de considerar metódica y atentamente el curso de la existencia de un objeto social. Así pues, alude a la recogida de objetos destinados a observar directamente sucesos que ocurren de forma natural. Esta definición sugiere dos cosas fundamentales: en primer lugar, que los datos se recogen en el momento del suceso, sin que ello implique la imposibilidad de registrarlos o reunirlos para un análisis posterior; en segundo lugar, que el suceso no se crea, mantiene o concluye únicamente con fines de investigación, ya que en ese caso estaríamos hablando del llamado método experimental (Pulido, 2015).

3.4. Técnicas de recolección de la información

A lo largo del desarrollo del proyecto, se recurrió a una exhaustiva investigación bibliográfica que recopiló datos y conclusiones de estudios anteriores sobre el terreno; se realizaron visitas sobre el terreno para recabar los datos que faltaban; y se emplearon enfoques específicos de evaluación de efectos para cumplir los objetivos del proyecto.

4. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO

En el proceso para llevar a cabo este proyecto de investigación se formularon tres fases, las cuales son descritas a continuación:

4.1. Fase 1: Desarrollo de la línea base en el área de influencia seleccionada

Para construir esta primera fase, que es la descripción ambiental del ámbito de afectación del proyecto minero, fue necesario consultar datos secundarios. En primer lugar, se realizó una revisión exhaustiva de todos los documentos relativos al municipio de California. Luego, se tomaron en cuenta los datos elaborados por la CDMB. Por último, se consideró un complemento útil el Informe de Caracterización del área de influencia de La quebrada la baja.

A partir de las actividades y operaciones previstas en el Proyecto, la línea base caracteriza los elementos medioambientales más importantes en la esfera de impacto. Los datos que figuran en esta página son una transcripción exacta de los informes facilitados por los consultores medioambientales.

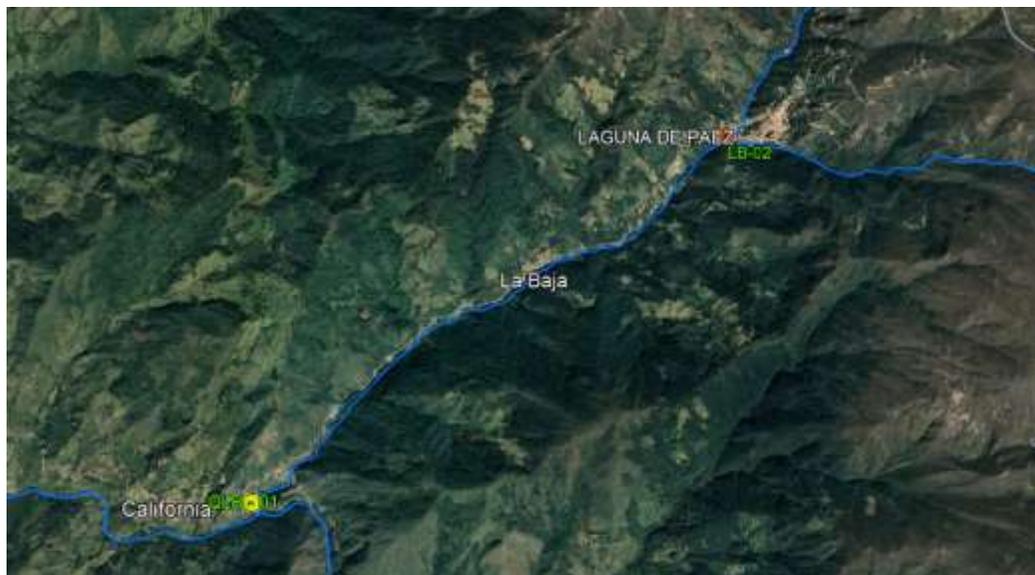
La información primaria, se recopiló gracias a visitas realizadas en la zona estudio durante los meses de junio y julio de 2023, evidenciando la principal actividad económica realizada en la zona estudio (minería artesanal). Con el fin de medir las condiciones actuales de la calidad de agua de la quebrada La Baja, en el mes de junio del año 2023 se realizó acompañamiento a la CDMB en la toma de muestras y análisis de laboratorio en la corriente hídrica de estudio.

El día 22 de junio de 2023, se realizó acompañamiento a la jornada de muestreo realizada por la CDMB y ejecutada por el laboratorio SIAMA que cuenta con acreditación vigente ante el IDEAM, en la quebrada La Baja. El muestreo inicio a las

07:00 am en el sector de Loma Redonda y a las 10:00 am en el sector de La Bodega y consistió en tomar muestras puntuales cada dos horas por veinticuatro horas para análisis de mercurio. El día 26 de junio de 2023, nuevamente se realizó acompañamiento a la jornada de muestreo, esta vez, se tomaron muestras para posterior análisis de laboratorio de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, resultados que permitieron calcular el Índice de Calidad de Agua ICA, tanto al inicio del tramo sobre la quebrada La Baja en el sector de La Bodega, como al final del tramo estudiado en el sector de Loma Redonda. En el anexo 2, se pueden identificar los métodos utilizados por el laboratorio para cada parámetro analizado.

En la figura 2 se identifican los puntos monitoreados, el punto LB-02 ubicado en el sector de La Bodega y el punto QLB-01 en el sector de Loma Redonda.

Figura 2. Puntos de monitoreo año 2023



Fuente: CDMB Autores basado en archivo shape CDMB

4.1.1. Índice de calidad de agua- ICA

El Índice de Calidad de Agua ICA, es una medida adimensional, que ubica la calidad de agua en una de cinco categorías. El indicador determina condiciones fisicoquímicas generales de la calidad de un cuerpo de agua y, en alguna medida, permite reconocer problemas de contaminación en un punto determinado, para un intervalo de tiempo específico. Permite representar el estado en general del agua y las posibilidades o limitaciones para determinados usos en función de variables seleccionadas, mediante ponderaciones y agregación de variables físicas, químicas y biológicas. Existen diferentes metodologías de cálculo del indicador ICA, para el presente proyecto se utilizó la metodología de cálculo estandarizada por el IDEAM (ver tabla 6). Valores menores en el ICA indican menor calidad y restricciones más estrictas en el uso del agua. El ICA acepta valores entre 0 y 1. El uso del ICA se emplea como medio para conocer el estado actual de las cuencas hidrográficas de la zona y, mediante su examen, se pueden evaluar las limitaciones de los fines delineados en cada segmento de un arroyo. Inundación (IDEAM, 2010).

Tabla 6. Rangos de medida del ICA

Categorías de valores que puede tomar el indicador	Calificación de la calidad del agua	Señal de alerta
0,00 – 0,25	Muy mala	Rojo
0,26 – 0,50	Mala	Naranja
0,51 – 0,70	Regular	Amarillo
0,71 – 0,90	Aceptable	Verde
0,91 – 1,00	Buena	Azul

Fuente: (IDEAM, 2010)

4.2. Fase 2: Cálculos de la importancia del impacto generado por los vertimientos procedentes de actividades mineras en la calidad de agua de la quebrada La Baja

Para realizar la valoración de impactos ambientales se utilizó el método de Arboleda o EPM (ver tabla 7). Fue desarrollado por la Unidad Planeación Recursos Naturales de las Empresas Públicas de Medellín en el año 1986, con el propósito de evaluar proyectos de aprovechamiento hidráulico de la empresa, pero posteriormente se utilizó para evaluar todo tipo de proyectos de EPM y ha sido utilizado por otros evaluadores para muchos tipos de proyectos con resultados favorables. Ha sido Manual de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) aprobado por las autoridades ambientales colombianas y por entidades internacionales como el Banco Mundial y el BID (Arboleda González, 2005).

Tabla 7. Método de Arboleda para evaluación de impactos ambientales

CRITERIOS DE EVALUACIÓN AMBIENTAL			
Parámetros de evaluación	Clasificación	Rango	Calificación
Clase (C)	Positivo (+)	-	1
	Negativo (-)	-	-1
Presencia (P):	Cierta	100%	1.0
	Muy probable	70 y 100%	0.7 y 0.99
	Probable	40 y 70%	0.4 y 0.69
	Poco probable	20 y 40%	0.2 y 0.39
	Muy poco probable	<20%	0.01 y 0.19
Duración (D):	Muy larga o permanente	10 años	1.0
	Larga	7 y 10 años	0.7 y 0.99
	Media	4 y 7 años	0.4 y 0.69
	Corta	1 y 4 años	0.2 y 0.39
	Muy corta	< 1 año	0.01 y 0.19
Evolución (E):	Muy rápida	< 1 mes	1.0
	Rápida	1 y 12 meses	0.7 y 0.99

F-DC-125

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO EN MODALIDAD DE PROYECTO
DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO TECNOLÓGICO, MONOGRAFÍA,
EMPREDIMIENTO Y SEMINARIO

VERSIÓN: 1.0

	Media	12 y 18 meses	0.4 y 0.69
	Lenta	18 y 24 meses	0.2 y 0.39
	Muy lenta	> 24 meses	0.01 y 0.19
Magnitud (M)	Muy alta	>80%	1.0
	Alta	60 y 80%	0.7 y 0.99
	Media	40 y 60%	0.4 y 0.69
	Baja	20 y 40%	0.2 y 0.39
	Muy baja	< 20%	0.01 y 0.19

CALIFICACIÓN AMBIENTAL DEL IMPACTO (Ca)

$$Ca = C(P[7, 0EM + 3, 0D])$$

Dónde:

Ca= Calificación Ambiental

C= Clase

P= Presencia

E= Evolución

M= Magnitud

D= Duración

IMPORTANCIA DEL IMPACTO

Calificación ambiental (Ca)	Importancia del IA
$\leq \pm 2.5$	Irrelevante o Poco significativo
$> \pm 2.5$ y $\leq \pm 5.0$	Moderadamente significativo o moderado
$> \pm 5.0$ y $\leq \pm 7.5$	Significativo o relevante
$> \pm 7.5$	Muy significativo o grave

Fuente: autores basados en el informe de evaluación de impactos ambientales de Arboleda González (2005)

Los impactos identificados partieron de la seguridad de que en la zona estudio se genera contaminación de la calidad de agua de la quebrada La Baja principalmente por mercurio, de esta manera, se identificaron los principales impactos ambientales generados sobre la fuente hídrica. Posterior a la identificación de impactos se realizó la evaluación de cada uno partiendo de la clase, la presencia, la duración, la evolución y la magnitud, tal y como lo indica el método de Arboleda y se evaluó la importancia de lo que esto atribuye a los actores identificados en la zona, atribuyendo a cada uno el valor numérico de calificación ambiental.

4.3. Fase 3: Planteamiento de estrategias que mitiguen, prevengan o compensen las alteraciones que las actividades de minería generan en la calidad de agua de la quebrada La Baja

Se formularon estrategias para implementar en medidas preventivas y correctivas que hacen parte de la evaluación de impactos ambientales de la quebrada La Baja del municipio de California Santander. Para llevar a cabo esta labor, se tuvo en cuenta el panorama ambiental de este municipio.

Las estrategias fueron planteadas en busca de soluciones a la problemática existente, las mismas parten de temas educativos, controles, nuevas tecnologías entre otras.

5. RESULTADOS

5.1. LÍNEA BASE PARA IDENTIFICAR EL ESTADO ACTUAL DE LA CALIDAD DE LA QUEBRADA LA BAJA.

5.1.1. Medio abiótico

5.1.1.1 Componente hídrico calidad de agua de la quebrada la baja y la subcuenca del río Suratá

La CDMB cuenta con una red de monitoreo de calidad de agua en 85 puntos dentro de su jurisdicción, pero solo uno de ellos se encuentra sobre la quebrada La Baja, es el punto denominado QLB-01 ubicado antes de la entrega al Río Vetas, y registra datos desde el año 2014; se monitorean parámetros físico químicos y microbiológicos, y de especial importancia se monitorean diferentes metales pesados incluyendo el parámetro mercurio total. Teniendo en cuenta la información suministrada por la CDMB, se realiza el análisis de la Calidad de Agua de la Quebrada La Baja de los años 2014 a 2022, por medio de cálculos del Índice de Calidad de Agua- ICA estandarizado por el IDEAM en el Estudio Nacional de Agua- ENA en el año 2010, también se presentan los resultados de monitoreo de metales y se compara con los niveles permisibles en la normatividad para aguas crudas para uso de consumo humano y doméstico (CDMB, 2011).

5.1.1.1.1 Índice de calidad de agua de la quebrada la baja

En la tabla 12 se pueden observar los resultados de los monitoreos realizados por la CDMB de los parámetros que tienen incidencia sobre el ICA.

Tabla 8. Resultados de análisis históricos realizados en el sector de Loma Redonda

Fecha Muestreo	Colif. Fecales [NMP/100]	Conductividad [us/m]	DQO [mgO ₂ /l]	Fósforo Total [mgP/l]	N. Total [mgN/l]	O.D. [mgO ₂ /l]	Sól. Susp [mg/l]	pH [Unidades]
26/03/2014	16000	666	22.5	0.1	1.956	7.88	118	8.15
4/06/2014	1700	444	19	0.06	1.433	7.84	46.6	8.04
25/06/2014	16000	321	15.7	0.06	1.013	8.28	36	6.89
26/08/2014	3500	532	25.7	0.06	1.408	8.09	54	7.92
17/09/2015	1.8	590	15	0.284	3.315	7.35	394	7.98
15/10/2015	2	541	15	0.062	3.234	7.42	157	7.59
27/11/2015	33	391	15	0.062	3.175	7.7	54	7.81
15/11/2016	8130	252	15	0.114	3.055	7.86	35	5.99
10/07/2017	3500	315	15	0.06	1.229	7.96	29.2	7.61
14/08/2017	490	349	15	0.08	1.216	7.51	43	7.69
18/09/2017	9200	336	15	0.17	1.166	7.45	27.5	7.81
17/10/2017	170	362	15	0.11	1.212	7.24	36.5	7.98
12/06/2018	490	312	15	0.05	1.167	7.28	16.5	7.55
13/08/2018	1700	383	15	0.07	2.669	7.86	34	7.58
6/11/2018	13	198.8	15	0.06	3.108	7.95	25.8	7.04
23/11/2018	1100	288	15	0.1	3.109	7.26	44	7.55
12/06/2019	350	236	15	0.12	3.106	7.77	90	7.29
15/08/2019	49000	390	15	0.15	3.108	7.11	75	8.01
10/10/2019	35000	422	15	0.05	3.111	7.72	162	7.79
7/12/2020	7800	312	15	0.07	3.716	7.79	25.5	6.48
28/01/2021	14000	493	19.2	2.94	3.128	7.87	520	7.34
4/08/2021	680	257	19.6	0.05	3.107	7.62	20.3	6.67
6/10/2021	79	314	15	0.12	3.109	7.72	53.3	7.7
1/12/2021	790	290	15	0.05	3.107	7.48	30.4	7.51
24/08/2022	790	180.2	15	0.05	3.105	---	10	6.03
26/08/2022	490	241	15	0.05	3.106	8.38	10	6.92
3/10/2022	330	159.7	15	0.17	3.108	8.57	51.3	7.39

Fuente: autores basados en los resultados de monitoreos realizados por la CDMB desde el año 2014 al año 2022.

Teniendo en cuenta los resultados anteriores, se realizan los respectivos cálculos que dan como resultados los siguientes Índices de Calidad de Agua en cada uno de los monitoreos realizados.

Tabla 9. Índices de Calidad de Agua- Puntos QLB-01, sector Loma Redonda

INDICE DE CALIDAD DE AGUA_ QUEBRADA LA BAJA_ PUNTO QLB-01/CDMB		
FECHA DE MUESTREO	ICA	DESCRIPTOR
26/03/2014	0.61	REGULAR
4/06/2014	0.58	REGULAR
25/06/2014	0.67	REGULAR
26/08/2014	0.52	REGULAR
17/09/2015	0.65	REGULAR
15/10/2015	0.66	REGULAR
27/11/2015	0.70	REGULAR
15/11/2016	0.55	REGULAR
10/07/2017	0.59	REGULAR
14/08/2017	0.75	ACEPTABLE
18/09/2017	0.62	REGULAR
17/10/2017	0.76	ACEPTABLE
12/06/2018	0.67	REGULAR
13/08/2018	0.58	REGULAR
6/11/2018	0.76	ACEPTABLE
23/11/2018	0.62	REGULAR
12/06/2019	0.68	REGULAR
15/08/2019	0.57	REGULAR
10/10/2019	0.53	REGULAR
7/12/2020	0.56	REGULAR
28/01/2021	0.46	MALA
4/08/2021	0.64	REGULAR
6/10/2021	0.70	REGULAR
1/12/2021	0.63	REGULAR
24/08/2022	0.63	REGULAR
26/08/2022	0.69	REGULAR
3/10/2022	0.82	ACEPTABLE

Fuente: autores basados en los cálculos de ICAS realizados teniendo en cuenta los resultados reportados en la tabla 12.

Figura 3. Índice de Calidad de Agua- Punto QLB-01 – Sector Loma Redonda

Fuente: autores

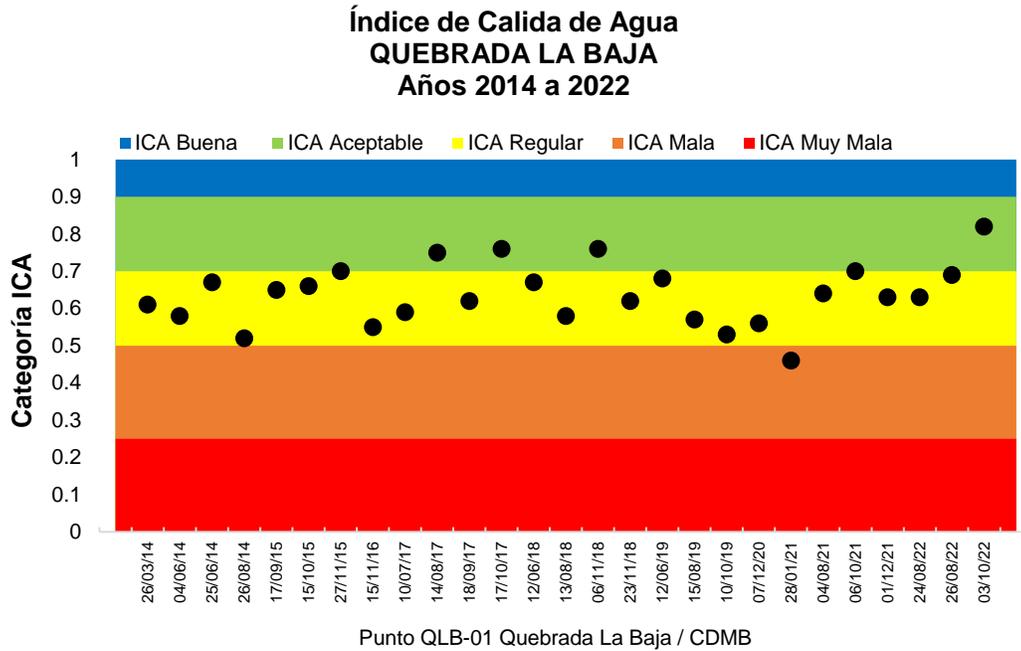
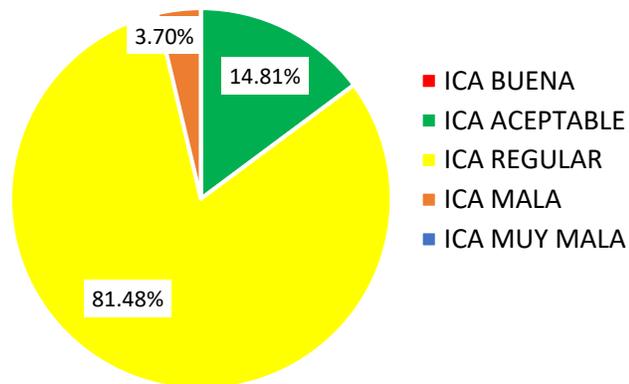


Figura 4. Porcentaje de categorías ICA punto QLB-01_ Sector Loma Redonda

**PORCENTAJE DE CATEGORIAS ICA
QUEBRADA LA BAJA PUNTO QLB-01 / CDMB**



Fuente: autores

El comportamiento de la calidad de agua de la quebrada La Baja durante el periodo de los años 2014 a 2022, muestra predominancia en la categoría Regular con un total de 22 de los 27 monitoreos realizados equivalente a un 81.4%, en la categoría Aceptable solo se ubicó en 4 de los 27 monitoreos realizados equivalente a un 14.9%, en la categoría Mala un 3.7% de la totalidad de monitoreos y en la categoría Buena y Muy Mala no se presentaron registros. Lo anterior se puede observar en las figuras 3 y 4.

Teniendo en cuenta que las aguas de la quebrada La Baja provienen directamente de las lagunas del Páramo de Santurbán, y que en su trayecto no existen centros urbanos o grandes industrias que puedan producir algún tipo de vertimiento considerable, es preocupante que la calidad de agua predomine en categoría Regular, ya que según el acuerdo 1075 del consejo directivo de la CDMB establece que las aguas en este tramo corresponden a uso de consumo humano y doméstico.

Para tener un detalle más profundo de los parámetros incidentes en ubicar la calidad de agua en las diferentes categorías, se presenta la tabla 14 con los subíndices del ICA.

Tabla 10. Subíndices del ICA Sector Loma Redonda

SUBINDICES DEL ICA - QUEBRADA LA BAJA_ PUNTO QLB-01 / CDMB						
I %SOD	I %SST	I DQO	I N/P	I COND	I PH	I CF (NMP)
0.96	0.67	0.71	0.80	0.00	0.93	0.10
0.98	0.88	0.91	0.15	0.00	0.98	0.10
0.96	0.91	0.91	0.80	0.00	0.95	0.10
0.96	0.86	0.51	0.15	0.00	1.00	0.10
0.96	0.00	0.91	0.60	0.00	1.00	0.98
0.97	0.55	0.91	0.15	0.00	1.00	0.98
0.95	0.86	0.91	0.15	0.00	1.00	0.98
0.97	0.92	0.91	0.15	0.09	0.59	0.10
0.95	0.93	0.91	0.15	0.00	1.00	0.10
0.98	0.89	0.91	0.80	0.00	1.00	0.63

SUBINDICES DEL ICA - QUEBRADA LA BAJA_ PUNTO QLB-01 / CDMB						
I %SOD	I %SST	I DQO	I N/P	I COND	I PH	I CF (NMP)
0.98	0.94	0.91	0.35	0.00	1.00	0.10
0.97	0.91	0.91	0.60	0.00	1.00	0.87
0.97	0.97	0.91	0.15	0.00	1.00	0.63
0.92	0.92	0.91	0.15	0.00	1.00	0.10
0.98	0.94	0.91	0.15	0.34	1.00	0.98
0.98	0.89	0.91	0.15	0.00	1.00	0.35
0.95	0.75	0.91	0.15	0.17	1.00	0.73
0.98	0.80	0.91	0.15	0.00	0.99	0.10
0.99	0.53	0.91	0.15	0.00	1.00	0.10
0.97	0.94	0.91	0.15	0.00	0.76	0.10
0.96	0.00	0.91	0.15	0.00	1.00	0.10
0.98	0.96	0.91	0.15	0.07	0.84	0.10
0.96	0.86	0.91	0.15	0.00	1.00	0.95
0.94	0.93	0.91	0.15	0.00	1.00	0.47

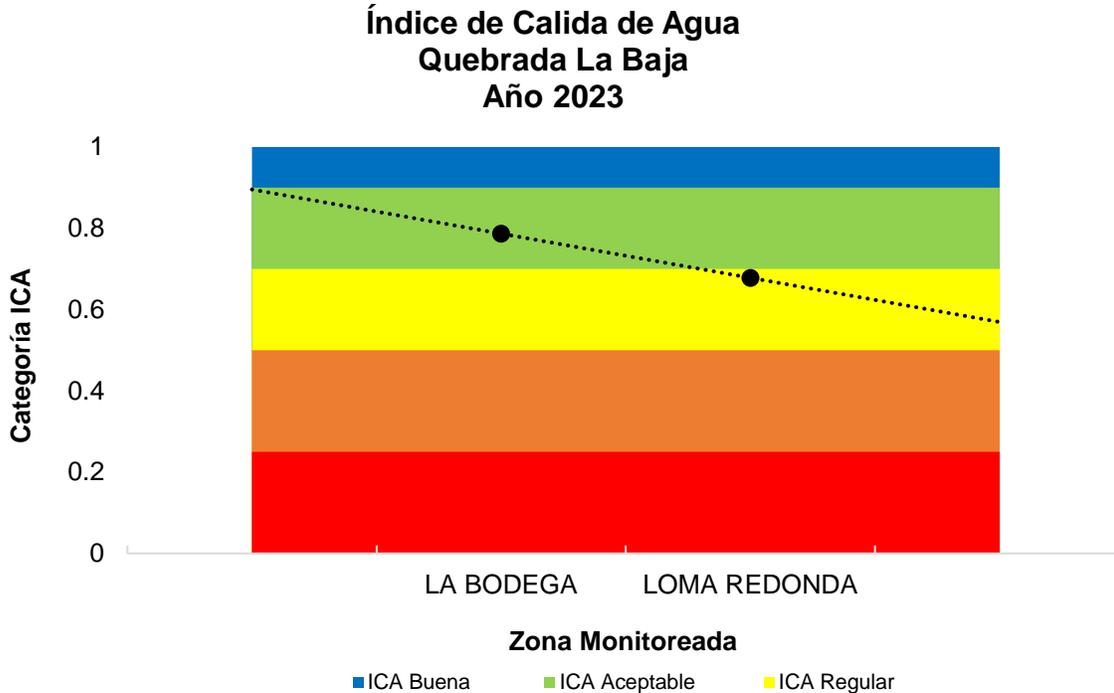
Fuente: autores basados en los resultados de los subíndices hacen parte de los cálculos realizados por cada variable.

Los subíndices del ICA son evaluados en un rango de cero (0) a uno (1) y después multiplicados por el peso de importancia para finalmente hacer la sumatoria y generar el ICA como se mencionó anteriormente (IDEAM, 2010). En la tabla 14 se observa que los subíndices correspondientes a conductividad, coliformes fecales y la relación de nitrógeno / fosforo son los que presentan menores aportes al ICA total.

5.1.1.1.2 Índice de calidad de agua actual

El 26 de junio de 2023, se realizó acompañamiento a monitoreo de calidad de agua de parámetros físico químicos y microbiológicos, en los puntos de monitoreo ubicados en el sector de La Bodega y Loma Redonda, en la figura 5 se puede observar el Índice de Calidad de Agua, calculado para cada punto.

Figura 5. Índice de Calidad de Agua. Año 2023



Fuente: autores

El ICA en el sector de La Bodega se encuentra en la categoría Aceptable con un valor de 0.79, sin embargo, el monitoreo realizado en el sector de Loma Redonda ubica la Calidad de Agua en la categoría Regular con un valor de 0.68, claramente se evidencia una desmejora en el trayecto analizado.

Así mismo, durante los días 22 y 23 de junio se realizó monitoreo de medición de mercurio cada dos horas por 24 horas en los sectores de La Bodega y Loma Redonda donde se puede hacer lectura de la contaminación que ha sido generada en la zona de estudio.

Figura 6. Concentraciones de Mercurio vs Admisibilidad Decreto 1594, punto LB-02 Sector La Bodega

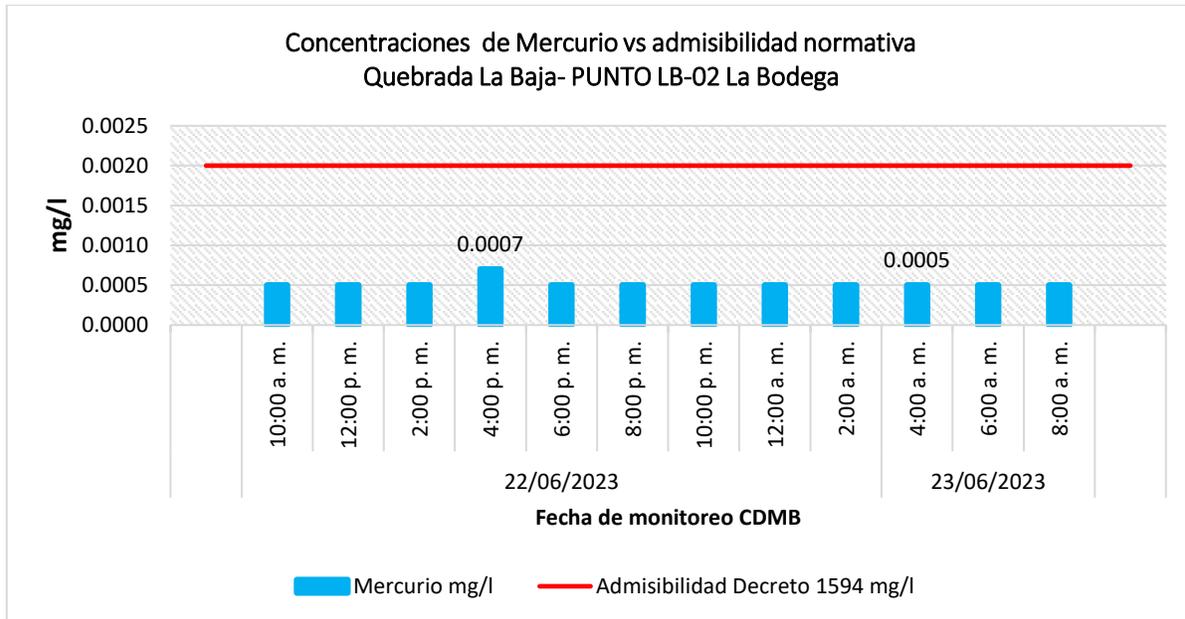
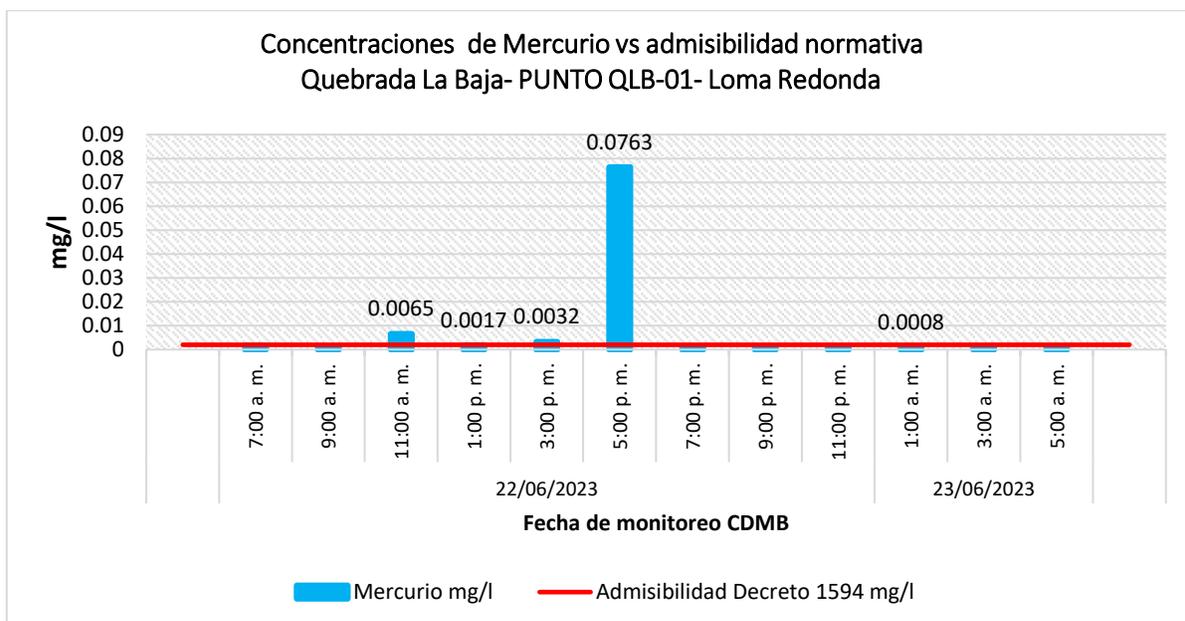


Figura 7. Concentraciones de Mercurio vs Admisibilidad Decreto 1594, punto QLB-01 Sector Loma Redonda



Las figuras 6 y 7 representan los datos obtenidos en los monitoreos, comparados con el nivel permisible normativo para agua destinada de consumo doméstico, en la figura 6, se observa que las concentraciones de mercurio en el punto LB-02 sector de La Bodega no exceden los 0.002 mg/l o 2 µg/l permisibles, sin embargo, en la figura 7, se evidencia que los niveles de mercurio en el punto QLB-01 exceden preocupantemente los niveles permisibles en 3 de las 12 muestras tomadas a lo largo de las 24 horas monitoreadas, las concentraciones que exceden la normatividad se registraron en 6.5 µg/l superando el máximo permisible en 325 %, 3.2 µg/l superando el máximo permisible en 160 % y la más alta en 76.3 µg/l superando el máximo permisible en 3815 %. Lo anterior indica puntualmente el nivel de contaminación generado por las actividades mineras en la zona de estudio.

5.1.2. Componente socioeconómico

La actividad principal es la minería de forma modesta, de los 2.062 residentes en el municipio, 923 o el 44,76% residen en regiones rurales. En el territorio no se conocen comunidades étnicas; el 55% de la población está afiliada al régimen subsidiado y el 42,87% al contributivo; la cobertura de acueducto es del 55,6%, la de alcantarillado del 51% y la de electricidad rural del 88%. Los déficits cuantitativo y cualitativo de vivienda son del 15,5% y el 59%, respectivamente. Las 26.000 hectáreas del municipio se reparten entre seis comunidades: Angosturas, La Baja, Pantanos, Santa Úrsula, Centro y Cerrillos. La minería tradicional es la principal industria en las dos primeras de estas poblaciones, y en menor grado en Centro. En los demás poblados se dedican principalmente a la agricultura y a la cría de animales, sobre todo para su sustento. Educación: 379 alumnos, de los cuales el 38% cursa la escuela primaria y el 25% la secundaria, están alojados en las instalaciones educativas. El municipio gestiona un instituto privado subvencionado en el centro urbano, además de sus cuatro campus oficiales -dos en distritos urbanos y dos en rurales (Alcaldía de Bucaramanga, 2020).

Caracterización de las propiedades rurales: Según el EOT, existen 15 grandes propiedades (8,98%), 61 medianas (36,53%) y 88 minifundios (52,7%).

Actividad financiera: En 2015 había 31 contratos de concesión minera y 875 animales, entre cerdos, caballos, gallinas, pollos de engorde y cabras. Como se indicó anteriormente, los principales cultivos, en su mayoría destinados a la alimentación, son el maíz, la cebolla, la mora y la papa. La mayoría de los alimentos en el mercado son importados de Bucaramanga, y hay muy pocos excedentes. Del presupuesto de 5.249 millones de dólares de California para 2015, el 49% provino del Sistema General de Participaciones. Realizó tres proyectos urbanos con recursos del Sistema General de Regalías. Planeación Nacional ha clasificado el Índice de Desempeño Fiscal como frágil por su fuerte dependencia de los recursos regionales y poca capacidad para producir recursos propios (Alcaldía de Bucaramanga, 2020).

Turismo: Seis empresas de transporte intermunicipal, tres organizaciones de servicios turísticos, siete hoteles y negocios de restauración. La senda minera, la ruta religiosa (Santuario de El Pósito de San Antonio de Padua) y el páramo de Santurbán es donde está el potencial (Alcaldía de Bucaramanga, 2020).

Servicios prestados por el gobierno: el 99% de los hogares urbanos y el 5,8% de los rurales tienen acceso al alcantarillado, mientras que el 100% de los hogares urbanos y el 8,1% de los rurales tienen acceso al suministro de agua; el 93% de los hogares del municipio tienen servicio de energía, frente al 99% de los residentes urbanos que tienen servicio de gas. El 82% de las residencias tienen teléfono, el 72% televisión y el 81% acceso a Internet (Alcaldía de Bucaramanga, 2020).

A continuación, se mencionan algunos aspectos importantes en el componente social (Alcaldía municipal de California, 2019; Garcia, 2008):

- La población de las veredas de la zona estudio cuentan con una escuela, sin embargo, el atractivo monetario de la actividad minera conlleva un aumento en la deserción escolar y aumento en las cifras de trabajo infantil.
- No se cuenta con acueducto.
- El agua para consumo humano es captada de la Quebrada San Antonio por medio de mangueras, sin embargo, no se cuenta con concesión de agua de la misma.
- Se encuentran organizados mediante comités mineros, que realizan campañas sobre aplicación de buenas prácticas mineras y buscan crear un proyecto para legalizar la actividad minera, proponen la creación de una secretaria minera que regule el funcionamiento de la actividad en la alcaldía municipal.
- Existen entre 300 a 400 mineros propiamente artesanales de la zona que cumplen con el perfil de tiempo en la actividad, pero actualmente se habla de cerca de 1000 personas dedicadas a la extracción y procesamiento del material, la inmigración de grandes cantidades de personas en un territorio pequeño pueden ser foco de conflicto con los lugareños, provocando, a veces, violencia e introduciendo nuevos problemas sociales y de salud.

5.1.3. Análisis de los resultados del objetivo 1

Se determinó que actualmente las actividades mineras desarrolladas en el municipio de California, en las veredas Centro, Angosturas y La Baja, contaminan el principal cuerpo hídrico de la zona denominada Quebrada La Baja, teniendo en cuenta los análisis de laboratorio realizados, los cuales presentan elevadas concentraciones del metal pesado Mercurio en el punto bajo de la zona de estudio

(loma redonda) con una concentración máxima medida de 76.2 µg/l, comparado con la concentración máxima medida de 0.7 µg/l tomada en el punto alto de la zona de estudio (la bodega). Lo anterior refleja una clara contaminación en el trayecto de la quebrada.

Se determinó que el agua de la quebrada La Baja NO CUMPLE con los criterios de calidad establecidos por el Decreto 1594 de 1984 para aguas de uso doméstico, sobre todo en las concentraciones medidas del metal pesado mercurio, el cual es considerado sustancia de interés sanitario por el art. 20 del mismo decreto. En consecuencia, la quebrada La Baja NO CUMPLE con las determinantes ambientales establecidas por la CDMB en el Acuerdo de Consejo Directivo 1075 de 2006.

El índice de calidad de agua en la quebrada la Baja se deteriora al comparar el punto LB-02 en la zona de la Bodega con el punto QLB-01 en la zona de Loma Redonda, al pasar de 0.79 (categoría aceptable) a 0.68 (categoría regular). Los parámetros que más inciden en la disminución de la calidad de agua, son la conductividad de agua y el componente microbiológico con los coliformes fecales.

5.2. EVALUACION DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES

5.2.1. Identificación de impactos generados por la actividad minera sobre la calidad de agua de la Quebrada La Baja.

Las actividades desarrolladas en la actividad minera artesanal y los impactos ambientales identificados sobre el componente hídrico de la quebrada La Baja se pueden observar en la tabla 15.

Tabla 11. Identificación de impactos ambientales

MEDIO	COMPONENTE	IMPACTO AMBIENTAL	DESCRIPCIÓN DEL IMPACTO
1 Abiótico	Hídrico - Calidad de agua	Contaminación de agua superficial por presencia de mercurio	Alteración de la concentración del contaminante mercurio en el cauce de la quebrada La Baja, las aguas residuales vertidas a la fuente hídrica hacen que las concentraciones de mercurio aumenten significativamente.
2 Abiótico	Hídrico - Calidad de agua	Cambios en la calidad del agua superficial	Alteración de la calidad de agua evaluada desde el inicio del tramo estudiado (sector la bodega) hasta el final del tramo estudiado (sector loma redonda). El índice de calidad de agua ICA disminuye considerablemente en los puntos de comparación.
3 Abiótico	Hídrico - Calidad de agua	Contaminación de fuentes de agua receptoras de la Quebrada La Baja	Alteración de la calidad de agua del Río Vetas, que recibe las aguas de la Quebrada La Baja y posteriormente alteración de la calidad de agua del Río Suratá que recibe las aguas del Río Vetas.
4 Abiótico	Hídrico - Calidad de agua	Cambios en la disponibilidad del recurso hídrico.	Las concentraciones del contaminante mercurio no cumplen con lo establecido en la normatividad para el uso catalogado como doméstico en el acuerdo 1075 de 2006 de la CDMB.
5 Abiótico	Hídrico – Cauce de la fuente hídrica	Alteración del cauce	Cambios que sufre la morfología del suelo por adición de materiales provenientes de los relaves realizados por lo galafardos y/o mineros ancestrales, el material que ha sido procesado y contaminado con mercurio es almacenado en sacos y posteriormente adicionado al río cuando hay grandes cantidades.
6 Abiótico	Suelos- sedimentos	Acumulación de mercurio en sedimentos	Alteración de las condiciones fisicoquímicas de los sedimentos de la quebrada La Baja. Acumulación de mercurio, teniendo en cuenta que el mercurio es un metal pesado que se precipita.
7 Biótico	Fauna terrestre	Afectación a especies de fauna terrestre	Contaminación por ingesta de agua con altos niveles de mercurio. Consumo de agua contaminada que puede generar bioacumulación del mismo en los organismos de los animales, incluyendo en ser humano.

MEDIO	COMPONENTE	IMPACTO AMBIENTAL	DESCRIPCIÓN DEL IMPACTO
8 Biótico	Fauna acuática	Afectación a especies de fauna acuática	Consumo de agua, plantas o animales contaminados de mercurio según cadena trófica que puede generar bioacumulación del mismo en los organismos de los animales
9 Biótico	Flora	Afectación a especies de flora	Alteración de la composición de las plantas y sus procesos de fotosíntesis y respiración. Se pueden generar procesos de bioacumulación y bioconcentración como consecuencia de la persistencia del contaminante mercurio en el ecosistema acuático.
10 Biótico	Ser Humano	Afectación a la salud del ser humano	Contaminación por ingesta de agua con presencia de mercurio. Consumo de agua contaminada que puede generar bioacumulación del mismo organismo y producir problemas de salud.

Fuente: autores

A continuación, se realiza la evaluación de los impactos identificados en las tablas 16 a la 25.

Tabla 12. Evaluación impacto 1

Impacto: Contaminación de agua superficial por presencia de mercurio			
Evaluación del impacto			
Parámetros de evaluación	Clasificación	Calificación	Justificación
Clase	Negativa	-1	La contaminación por mercurio, <u>desmejora</u> la calidad de agua de la quebrada La Baja
Presencia	Cierta	1	Los monitoreos realizados, demuestran la presencia en altos niveles del contaminante mercurio en la quebrada La Baja
Duración	Muy larga o permanente	1	El mercurio es una metal pesado y parte de la concentración de este en el agua puede precipitarse y bioacumularse en los sedimentos de la quebrada, también se puede bioacumular en los organismos que tienen contacto con él.

Impacto: Contaminación de agua superficial por presencia de mercurio			
Evaluación del impacto			
Parámetros de evaluación	Clasificación	Calificación	Justificación
Evolución	Muy rápida	1	La contaminación con mercurio en el agua se genera inmediatamente se haga un vertimiento directo.
Magnitud	Media	0.69	La contaminación por mercurio no cambia la composición de la fuente hídrica totalmente.
Calificación ambiental del impacto (Ca)			
-7.83			
Importancia del impacto			
Muy significativo o grave			

Fuente: autores aplicando en los lineamientos de Arboleda González (2005) en la zona de estudio.

Tabla 13. Evaluación impacto 2

Impacto Cambios en la calidad del agua superficial			
Evaluación del impacto			
Parámetros de evaluación	Clasificación	Calificación	Justificación
Clase	Negativa	-1	El Índice de Calidad de Agua ICA, evidencia una desmejora la calidad de agua de la quebrada La Baja comparando el sector de "la bodega" contra el sector de "loma redonda".
Presencia	Cierta	1	Los monitoreos realizados, demuestran la disminución del resultado de ICA en el sector de loma redonda.
Duración	Media	0.69	La calidad de agua de una corriente hídrica, puede variar constantemente, los vertimientos pueden ser constantes, pero factores como precipitaciones influyen en su calidad.
Evolución	Muy rápida	1	La calidad de agua puede disminuir inmediatamente se haga un vertimiento directo.

Impacto Cambios en la calidad del agua superficial			
Evaluación del impacto			
Parámetros de evaluación	Clasificación	Calificación	Justificación
Magnitud	Media	0.69	La disminución de la calidad de agua no cambia la composición de la fuente hídrica totalmente.
Calificación ambiental del impacto (Ca)			
-6.9			
Importancia del impacto			
Significativo o relevante			
Fuente: autores aplicando en los lineamientos de Arboleda González (2005) en la zona de estudio.			

Tabla 14. Evaluación impacto 3

Impacto Contaminación de fuentes de agua receptoras de la Quebrada La Baja			
Evaluación del impacto			
Parámetros de evaluación	Clasificación	Calificación	Justificación
Clase	Negativa	-1	La calidad de agua del Río Vetas desmejora al recibir una fuente de agua contaminada
Presencia	Cierta	1	Los monitoreos realizados en la fuente hídrica Río Vetas aguas debajo de la confluencia con la Quebrada La Baja muestran un ICA menor a los monitoreos realizados sobre el Río Vetas aguas arriba de la confluencia con la Quebrada La Baja.
Duración	Muy larga o permanente	1	El Río Vetas permanentemente se ve afectada por sus tributarios, en este caso por la quebrada La Baja.
Evolución	Muy rápida	1	La influencia de la calidad de agua de la quebrada La Baja sobre el Río Vetas se da inmediatamente se unen las dos corrientes hídricas.

Impacto			
Contaminación de fuentes de agua receptoras de la Quebrada La Baja			
Evaluación del impacto			
Parámetros de evaluación	Clasificación	Calificación	Justificación
Magnitud	Muy Alta	1	las condiciones del Río Vetas cambien totalmente al recibir como tributario a la quebrada La Baja, teniendo en cuenta que los caudales de la quebrada La Baja son considerables.
Calificación ambiental del impacto (Ca)			
-10			
Importancia del impacto			
Muy significativo o grave			
Fuente: autores aplicando en los lineamientos de Arboleda González (2005) en la zona de estudio.			

Tabla 15. Evaluación impacto 4

Impacto			
Cambios en la disponibilidad del recurso hídrico			
Evaluación del impacto			
Parámetros de evaluación	Clasificación	Calificación	Justificación
Clase	Negativa	-1	Desmejora la disponibilidad del recurso hídrico para uso doméstico.
Presencia	Cierta	1	Los parámetros analizados muestran incumplimiento de niveles máximos de parámetros establecidos en el Decreto 1594 de 1984.
Duración	Muy larga o permanente	1	Los contaminantes como el mercurio se bioacumulan y pueden permanecer por periodos de más de 10 años en el cauce de la fuente hídrica.
Evolución	Muy rápida	1	el impacto es generado inmediatamente se generen los vertimientos de las actividades mineras.
Magnitud	Muy Alta	1	La magnitud es alta debido a que la corriente hídrica no puede ser utilizada como uso de consumo humano como lo establecen las determinantes de calidad de la misma.

Impacto	Cambios en la disponibilidad del recurso hídrico
Calificación ambiental del impacto (Ca)	
-10	
Importancia del impacto	
Muy significativo o grave	
Fuente: autores aplicando en los lineamientos de Arboleda González (2005) en la zona de estudio.	

Tabla 16. Evaluación impacto 5

Impacto	Alteración del cauce		
Evaluación del impacto			
Parámetros de evaluación	Clasificación	Calificación	Justificación
Clase	Negativa	-1	Se altera y contamina el cauce de la quebrada La Baja
Presencia	Probable	0.4	El material de relave en la zona de estudio puede ser depositado en el cauce de la quebrada o vendido y sacado de la zona.
Duración	Muy larga o permanente	1	La duración del material de relave en el cauce de la quebrada puede durar más de 10 años.
Evolución	Muy rápida	1	El impacto es generado inmediatamente se generen el depósito de material en el cauce de la quebrada.
Magnitud	Media	0.69	La dimensión del cambio sufrido es considerado media, debido a que el cuerpo hídrico puede realizar remoción del material naturalmente.
Calificación ambiental del impacto (Ca)			
-3.132			
Importancia del impacto			
Moderadamente significativo o moderado			
Fuente: autores aplicando en los lineamientos de Arboleda González (2005) en la zona de estudio.			

Tabla 17. Evaluación impacto 6

Impacto		Acumulación de mercurio en sedimentos	
Evaluación del impacto			
Parámetros de evaluación	Clasificación	Calificación	Justificación
Clase	Negativa	-1	Desmejora las condiciones naturales de los sedimentos del cauce
Presencia	Cierta	1	La presencia de este impacto ya se encuentra determinada, según los resultados de laboratorio realizado en sedimentos de la fuente hídrica.
Duración	Muy larga o permanente	1	Se considera de duración muy larga y permanente, teniendo en cuenta que el mercurio es un metal pesado que se precipita y se bioacumula por más de 10 años.
Evolución	Rápida	0.7	Se considera de evolución rápida, teniendo en cuenta que la precipitación del mercurio puede considerar un periodo de tiempo por el arrastre del agua.
Magnitud	Alta	0.69	La contaminación de los sedimentos del cauce de la quebrada se puede generar a lo largo de la corriente.
Calificación ambiental del impacto (Ca)			
-6.381			
Importancia del impacto			
Significativo o relevante			

Fuente: autores aplicando en los lineamientos de Arboleda González (2005) en la zona de estudio.

Tabla 18. Evaluación impacto 7

Impacto		Afectación a especies de fauna terrestre	
Evaluación del impacto			
Parámetros de evaluación	Clasificación	Calificación	Justificación
Clase	Negativa	-1	Desmejora las condiciones de salud de los animales terrestres.

Impacto		Afectación a especies de fauna terrestre	
Presencia	Probable	0.69	Se considera probable que los animales que consuman agua contaminada, puedan bioacumular mercurio en sus organismos.
Duración	Muy larga o permanente	1	La acumulación de mercurio en el organismo puede darse de forma permanente.
Evolución	Media	0.69	Aunque la bioacumulación de mercurio se genera, cuando se consume agua contaminada, en dosis mínimas no revela algún tipo de afectación, sin embargo, al consumir permanentemente, se genera la bioacumulación del mismo.
Magnitud	Alta	0.7	La contaminación por mercurio en un animal terrestre puede generar graves problemas de salud.

Calificación ambiental del impacto (Ca)

-4.40289

Importancia del impacto

Moderadamente significativo o moderado

Fuente: autores aplicando en los lineamientos de Arboleda González (2005) en la zona de estudio.

Tabla 19. Evaluación impacto 8

Impacto		Afectación a especies de fauna acuática	
Evaluación del impacto			
Parámetros de evaluación	Clasificación	Calificación	Justificación
Clase	Negativa	-1	Desmejora las condiciones de salud de los animales acuáticos.
Presencia	Cierta	1	Se considera cierta, teniendo en cuenta que el agua de la fuente hídrica se encuentra contaminada y que los animales acuáticos al consumir agua, animales y/o plantas contaminadas, bioacumulan mercurio en sus organismos.
Duración	Muy larga o permanente	1	La acumulación de mercurio en el organismo puede darse de forma permanente.

Impacto		Afectación a especies de fauna acuática	
Evolución	Rápida	0.99	Aunque la bioacumulación de mercurio se genera, cuando se consume agua contaminada, en dosis mínimas no revela algún tipo de afectación, sin embargo, al consumir permanentemente, se genera la bioacumulación del mismo.
Magnitud	Alta	1	La contaminación por mercurio en un animal terrestre puede generar graves problemas de salud.
Calificación ambiental del impacto (Ca)			
-9.93			
Importancia del impacto			
Muy significativo o grave			
Fuente: autores aplicando en los lineamientos de Arboleda González (2005) en la zona de estudio.			

Tabla 20. Evaluación impacto 9

Impacto		Afectación a especies de flora	
Evaluación del impacto			
Parámetros de evaluación	Clasificación	Calificación	Justificación
Clase	Negativa	-1	Desmejora las condiciones y características naturales de las plantas.
Presencia	Muy Probable	0.99	Los metales pesados como el mercurio pueden acumularse en organismos vivos, inclusive los autótrofos, quienes son el primer eslabón de las cadenas alimenticias.
Duración	Muy larga o permanente	1	La bioacumulación del mercurio en forma de metilmercurio puede ser permanente.
Evolución	Media	0.69	La evolución del impacto se considera media, teniendo en cuenta que la bioacumulación se va generando en diferentes momentos.
Magnitud	Muy Alta	1	La magnitud se considera Muy Alta teniendo en cuenta que las plantas inician la cadena alimenticia, y la contaminación de las mismas pueden inducir una alteración de la propia cadena.

Calificación ambiental del impacto (Ca)

-7.7517

Importancia del impacto

Muy significativo o grave

Fuente: autores aplicando en los lineamientos de Arboleda González (2005) en la zona de estudio.

Tabla 21. Evaluación impacto 10

Impacto		Afectación a la salud humana	
Evaluación del impacto			
Parámetros de evaluación	Clasificación	Calificación	Justificación
Clase	Negativa	-1	Desmejora las condiciones y características naturales de las plantas.
Presencia	Cierta	1	El metilmercurio es una toxina que ataca el sistema nervioso central principalmente.
Duración	Muy larga o permanente	1	La bioacumulación del mercurio en forma de metilmercurio puede ser permanente.
Evolución	Rápida	0.99	La evolución del impacto se considera media, teniendo en cuenta que la bioacumulación se va generando en diferentes momentos.
Magnitud	Muy Alta	1	La dimensión de la afectación se considera Muy Alta teniendo en cuenta los daños que puede ocasionar la bioacumulación de metilmercurio en la salud del ser humano, siendo precisamente la salud un derecho fundamental establecido en la Constitución Política de Colombia.

Calificación ambiental del impacto (Ca)

-9.93

Importancia del impacto

Muy significativo o grave

Fuente: autores aplicando en los lineamientos de Arboleda González (2005) en la zona de estudio.

5.2.2. Resultados evaluación de impactos ambientales

Se determinaron y evaluaron los impactos ambientales generados por la actividad minera artesanal sobre la calidad de agua de la quebrada La Baja con sus respectivos niveles de importancia. Se identificaron impactos desde un nivel de importancia “Moderadamente significativo o moderado” hasta un nivel “Muy significativo o grave”. A continuación, se muestran los impactos identificados y sus calificaciones e importancia ambiental.

Tabla 22. Impactos identificados y sus calificaciones e importancia ambiental.

IMPACTO AMBIENTAL	DESCRIPCIÓN DEL IMPACTO	Calificación ambiental del impacto (Ca)	Importancia del impacto
Contaminación de agua superficial por presencia de mercurio	Alteración de la concentración del contaminante mercurio en el cauce de la quebrada La Baja, las aguas residuales vertidas a la fuente hídrica hacen que las concentraciones de mercurio aumenten significativamente.	-7.83	Muy significativo o grave
Cambios en la calidad del agua superficial	Alteración de la calidad de agua evaluada desde el inicio del tramo estudiado (sector la bodega) hasta el final del tramo estudiado (sector loma redonda). El índice de calidad de agua ICA disminuye considerablemente en los puntos de comparación.	-6.9	Significativo o relevante
Contaminación de fuentes de agua receptoras de la Quebrada La Baja	Alteración de la calidad de agua del Río Vetás, que recibe las aguas de la Quebrada La Baja y posteriormente alteración de la calidad de agua del Río Suratá que recibe las aguas del Río Vetás.	-10	Muy significativo o grave
Cambios en la disponibilidad del recurso hídrico	Las concentraciones del contaminante mercurio no cumplen con lo establecido en la normatividad para el uso catalogado como doméstico en el acuerdo 1075 de 2006 de la CDMB.	-10	Muy significativo o grave

IMPACTO AMBIENTAL	DESCRIPCIÓN DEL IMPACTO	Calificación ambiental del impacto (Ca)	Importancia del impacto
Alteración del cauce	Cambios que sufre la morfología del suelo por adicción de materiales provenientes de los relaves realizados por lo galafardos y/o mineros ancestrales, el material que ha sido procesado y contaminado con mercurio es almacenado en sacos y posteriormente adicionado al río cuando hay grandes cantidades.	-3.132	Moderadamente significativo o moderado
Acumulación de mercurio en sedimentos	Alteración de las condiciones fisicoquímicas de los sedimentos de la quebrada La Baja. Acumulación de mercurio, teniendo en cuenta que el mercurio es un metal pesado que se precipita.	-6.381	Significativo o relevante
Afectación a especies de fauna terrestre	contaminación por ingesta de agua con altos niveles de mercurio. Consumo de agua contaminada que puede generar bioacumulación del mismo en los organismos de los animales.	-4.402	Moderadamente significativo o moderado

IMPACTO AMBIENTAL	DESCRIPCIÓN DEL IMPACTO	Calificación ambiental del impacto (Ca)	Importancia del impacto
Afectación a especies de fauna acuática	Consumo de agua, plantas o animales contaminados de mercurio según cadena trófica que puede generar bioacumulación del mismo en los organismos de los animales	-9.93	Muy significativo o grave
Afectación a especies de flora	Alteración de la composición de las plantas y sus procesos de fotosíntesis y respiración. Se pueden generar procesos de bioacumulación y bioconcentración como consecuencia de la persistencia del contaminante mercurio en el ecosistema acuático.	-7.751	Muy significativo o grave
Afectación a la salud humana	Contaminación por ingesta de agua con presencia de mercurio. Consumo de agua contaminada que puede generar bioacumulación en el mismo organismo y producir problemas de salud.	-9.93	Muy significativo o grave

Fuente: autores

Los impactos ambientales identificados reflejan un panorama preocupante y muy grave con afectación directa la salud de seres humanos y animales. Las altas concentraciones de mercurio presentes en el agua, son una amenaza a la población, y no solo a la población del municipio de California, sino a todos los que aguas abajo en el Río Vetás, en el Río Suratá y hasta en el mismo Río Lebrija captan agua para consumo humano, para consumo de animales y para consumo de riego de plantaciones.

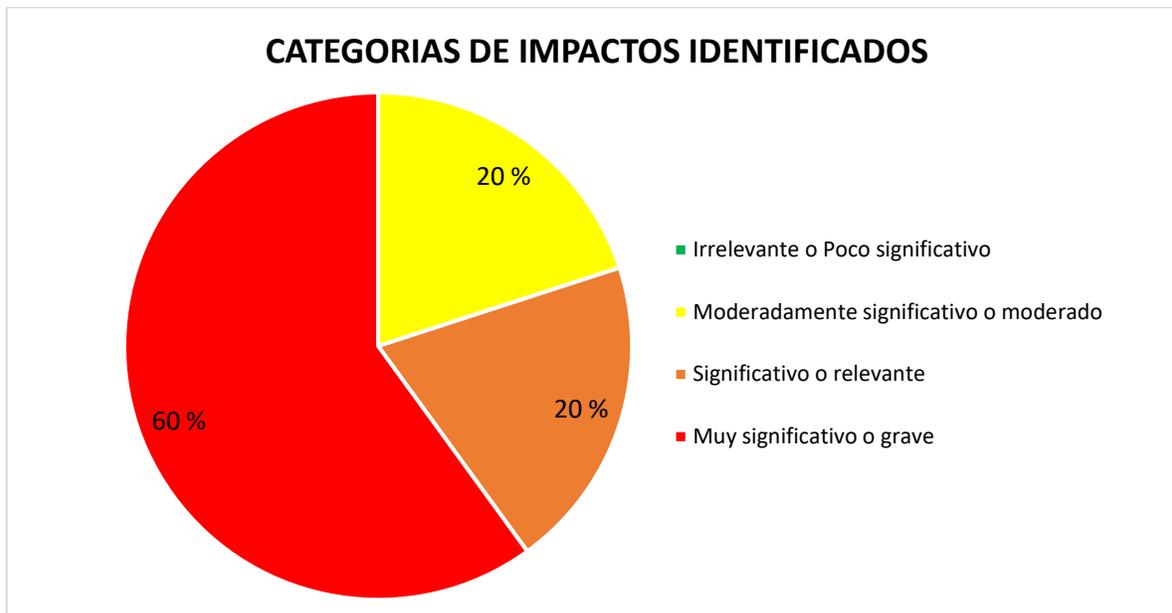
Se resalta que el 100 % de los impactos son de clase negativa (ver figura 8), lo que indica una desmejora en las condiciones ambientales de la zona estudiada. De los impactos identificados en la zona estudio, el 20 % corresponden a la categoría moderadamente significativo o moderado, el 20 % se ubica en la categoría significativo o más relevante y el 60 % restante en la categoría muy significativo o grave, como lo muestra la figura 9.

Figura 8. impactos identificados



Fuente: autores

Figura 9. Categoría de impactos identificados



Fuente: autores

5.3. Estrategias de mitigación, prevención o compensación.

Controlar al 100% la minería en el municipio de California, se puede decir, es casi imposible o al menos a corto plazo, no se puede erradicar la actividad económica de una población que la desarrolla desde hace al menos 450 años. En pro de contribuir con medidas de solución a la problemática ambiental actual, a continuación, se presentan una serie de estrategias (tablas 27 – 31) encaminadas a la mitigación, prevención y/o compensación de los impactos generados por la actividad minera en el municipio de California específicamente sobre la calidad de agua de la Quebrada La Baja.

Tabla 23. Estrategia de mitigación, prevención o compensación 1.

Control del comercio, distribución y transporte del mercurio.	
Tipo de estrategia	Mitigación

Control del comercio, distribución y transporte del mercurio.	
Objetivo	Controlar el transporte, comercialización y uso de mercurio
Actores involucrados	Policía Nacional de Colombia Fiscalía General de la Republica
Contexto	Ley 1658 de 2013, “por medio de la cual se establecen disposiciones para la comercialización y el uso de mercurio en las diferentes actividades industriales del país, se fijan requisitos e incentivos para su reducción y eliminación y se dictan otras disposiciones”. Esta Ley estableció un plazo de 5 años para la erradicación del uso de mercurio en la minería y 10 años en la industria. La primera ya se cumplió, el 15 de julio de 2018, la industria podía seguir utilizándolo hasta el 15 de julio de 2023. Teniendo en cuenta lo anterior, el uso de mercurio está prohibido en el territorio colombiano, por lo que la utilización del mismo, así como la comercialización y transporte pueden considerarse un posible delito.
Estrategias a implementar y/o incrementar	Mayor control aduanero en contrabando de mercurio. Incremento de procesos y actividades de inspección, control, vigilancia a establecimientos que vendan ilegalmente mercurio. Incremento de operativos y procesos sancionatorios a personas y/o empresas que manipulen mercurio.

Fuente: autores

Tabla 24. Estrategia de mitigación, prevención o compensación 2

Educación y sensibilización en buenas prácticas mineras	
Tipo de estrategia	Mitigación - Prevención
Objetivo	Dar a conocer a la población información sobre las buenas prácticas mineras sin la utilización del mercurio.
Actores involucrados	Alcaldía de California – secretaria de Educación CDMB

Educación y sensibilización en buenas prácticas mineras

Contexto Los mineros ancestrales cuentan con años de trayectoria en la actividad y cuentan con la formación en conceptos y técnicas, sin embargo, actualmente en California la actividad minera no se desarrolla solo por los mineros que llevan muchos años en el territorio, sino, que se ha generado inmigración de otras ciudades del país y hasta de otros países, por lo que se hace necesario hacer retroalimentaciones a toda la comunidad.

Estrategias a implementar y/o incrementar Realizar campañas educativas a la población general del municipio de California, con el fin de sensibilizar sobre los impactos ambientales y los impactos en la salud humana que produce el estar en contacto con mercurio.
Realizar campañas específicas a la población infantil del municipio de California, con el fin de prevenir que en años futuros usen mercurio en la actividad minera.

Fuente: autores

Tabla 25. Estrategia de mitigación, prevención o compensación 3.

Estrategias tecnológicas para reemplazar el uso de mercurio	
Tipo de estrategia	Mitigación
Objetivo	Implementar las buenas prácticas mineras en el municipio de California
Actores involucrados	Alcaldía de California Ministerio de Minas y Energía
Contexto	Existen diferentes tecnologías alternativas para eliminar el mercurio de la minería aurífera, así como buenas prácticas mineras formuladas por la Agencia Nacional de Minería y el Ministerio de Minas y Energía, lo anterior debe ser implementado en el municipio de California con asesoría de expertos técnicos.

Estrategias tecnológicas para reemplazar el uso de mercurio		
Estrategias implementar incrementar	a y/o	Acompañamiento técnico en procesos de reconversión de técnicas utilizadas en la minería actual en el municipio de California

Fuente: autores

Tabla 26. Estrategia de mitigación, prevención o compensación 4

Sistema de alertas tempranas por contaminación de mercurio en las fuentes hídricas.	
Tipo de estrategia	Prevención - Mitigación
Objetivo	Contar con información oportuna, rápida y veraz sobre los niveles de contaminación por mercurios en las corrientes hídricas.
Actores involucrados	Alcaldía de California CDMB
Contexto	En el marco de la mesa de mercurio liderada por la Procuraduría General de la Nación, se ha adelantado un plan de contingencias para actuar cuando se presente una contaminación de grandes concentraciones de mercurio, sin embargo, se debe contar con tecnología que pueda transmitir a tiempo real cuando esto suceda y poder hacer las actuaciones respectivas.
Estrategias implementar incrementar	a y/o Adquirir tecnología que transmita en tiempo real las concentraciones de mercurios en las corrientes hídricas afectadas.

Fuente: autores

Tabla 27. Estrategia de mitigación, prevención o compensación 5

Acompañamientos a cooperativas mineras existentes	
Tipo de estrategia	Prevención - Mitigación

Objetivo	Acompañar a las cooperativas mineras y a los mineros que deseen hacer reconversión de técnicas en minería.
Actores involucrados	Alcaldía de California CDBM Ministerio de Minas y Energía Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
Contexto	En el municipio de California existe al menos una cooperativa minera que buscan cumplir con los lineamientos establecidos por las autoridades mineras y ambientales, y buscan legalizar su oficio.
Estrategias implementar incrementar	Formalizar mineros que cumplan con los lineamientos establecidos por la a normatividad colombiana. y/o Acompañamiento técnico por parte de los diferentes entes territoriales y nacionales a las cooperativas y mineros que buscan cumplir con las buenas prácticas mineras.

Fuente: autores

5.3.1. Resultados estrategias de mitigación, prevención o compensación

Las estrategias que se plantean para su implementación y /o mejora buscan prevenir y mitigar los impactos generados por la actividad minera que utiliza como insumo el mercurio. Estas estrategias se basaron en el plan de manejo ambiental (PMA) realizado por MINESA (2019), y están planteadas bajo las siguientes temáticas:

- Control del comercio, distribución y transporte del mercurio.
- Educación y sensibilización en buenas prácticas mineras
- Estrategias tecnológicas para reemplazar el uso de mercurio

- Sistema de alertas tempranas por contaminación de mercurio en las fuentes hídricas.
- Acompañamientos a cooperativas mineras existentes

Una de las medidas que marcaría una solución inmediata a la problemática es la no existencia de mercurio, sin embargo, las actividades ilícitas como por ejemplo el contrabando, hace que existan aun el comercio, la distribución y el transporte de esta sustancia, por lo que se deben complementar de medidas tecnológicas y académicas.

A continuación, se muestra la estrategia de gestión ambiental, el plan de seguimiento y control y los efectos detectados y evaluados en la quebrada La Baja basados en el plan de manejo ambiental de Soto-Norte de MINESA (2019).

Tabla 28. Plan de manejo ambiental

Programas	Actividades	IMPACTO AMBIENTAL	Seguimiento
Programa de Manejo de aguas	Operación de las plantas de tratamiento	Contaminación de agua superficial por presencia de mercurio	
Programa de Manejo de aguas Residuales No Domésticas	Mecanismos de control y mantenimiento.	Cambios en la calidad del agua superficial	Seguimiento y control a los programas propuestos por parte de las entidades de control locales, regionales y nacionales.
Programa de Manejo de Aguas Residuales Domésticas	Manejo de baños portátiles	Contaminación de fuentes de agua receptoras de la Quebrada La Baja	
	Mecanismos de control y mantenimiento	Cambios en la disponibilidad del recurso hídrico.	

Programas	Actividades	IMPACTO AMBIENTAL	Seguimiento
		Alteración del cauce	
	Demarcación áreas a intervenir, objeto de remoción de suelo durante la etapa de construcción.		
	Remoción y transporte de material edáfico durante el desarrollo del proyecto.		
Programa de Manejo de la capa orgánica de los suelos	Almacenamiento y preservación del material edáfico.	Acumulación de mercurio en sedimentos	Seguimiento y control a los programas propuestos por parte de las entidades de control locales, regionales y nacionales.
Programa de Manejo de Residuos Sólidos y Sustancias peligrosas	Restauración de las áreas degradadas liberadas en la etapa de construcción y montaje (Cierre progresivo		
	Subprograma de manejo de residuos no peligrosos. Subprograma de manejo de residuos peligrosos. Subprograma de manejo de sustancias peligrosas		
Programa de manejo de Fauna Silvestre y especies endémicas con estatus especial de conservación	Subprograma de manejo de la fauna silvestre durante la construcción. Subprograma de manejo de la fauna silvestre durante la construcción y operación.	Afectación a especies de fauna terrestre	Seguimiento y control a los programas propuestos por parte de las entidades de control locales, regionales y nacionales.
Programa de	Subprograma de manejo de calidad de hábitats acuáticos.	Afectación a especies de fauna acuática	Seguimiento y control a los programas propuestos por parte

Programas	Actividades	IMPACTO AMBIENTAL	Seguimiento
manejo de comunidades hidrobiológicas	Subprograma para la compensación de hábitats acuáticos		de las entidades de control locales, regionales y nacionales.
Programa de conservación de especies de flora endémica y con estatus de conservación y veda.	Subprograma de manejo de especies de arbóreas, arbustivas y epifitas vasculares y no vasculares con estatus especial de conservación durante las fases del Proyecto	Afectación a especies de flora	Seguimiento y control a los programas propuestos por parte de las entidades de control locales, regionales y nacionales.
Plan de manejo ciudadano a la salud pública	Atención a la población en condición de vulnerabilidad por consumo de fuentes contaminantes	Afectación a la salud del ser humano	Seguimiento y control a los programas propuestos por parte de las entidades de control locales, regionales y nacionales.

Fuente: autores basados en el informe de evaluación de impactos ambientales de MINESA (2019)

6. CONCLUSIONES

La actividad minera artesanal desarrollada actualmente en las veredas El Centro, Angosturas y La Baja del municipio de California afecta negativamente el cuerpo hídrico Quebrada La Baja, pues es receptor de los vertimientos derivados de los procesos que se desarrollan con mercurio, contaminante del que ya se ha demostrado su toxicidad y afecciones al medio ambiente y a la salud. Su importancia como impacto ambiental es considerada muy significativa o grave pues se considera un impacto de permanente duración y de evolución muy rápida entre otros.

La Quebrada La Baja actualmente no cumple con lo establecido en el Decreto 1594 de 1984 con respecto a los niveles máximos permisibles para uso doméstico, consecuente con esto, no cumple con lo establecidos en los Objetivos de calidad establecidos por el acuerdo de consejo directivo CDMB 1075 de 2006. Su importancia como impacto ambiental se categoriza como muy significativa o grave, puesto que no permite dar el uso doméstico establecido.

- La contaminación de agua genera afectación en la fauna que de manera directa consumen agua contaminada de la quebrada La Baja, pues son objeto de bioacumulación de mercurio en su organismo.
- Existen estrategias en pro de mejorar las técnicas de minería artesanal, sin uso de mercurio como insumo principal.
- Colombia como parte participe del convenio de Minamata, cuenta con la normatividad establecida para la eliminación del mercurio de las actividades desarrolladas en el país.

7. RECOMENDACIONES

La actividad minera en el municipio de California tiene una historia de más de 400 años, sin embargo, en los últimos años, eventos como el abandono de títulos mineros por parte de empresas como ECO ORO han influenciado a personas a inmigrar al territorio, se recomiendan incrementar los controles por parte de las autoridades sanitarias, ambientales, judiciales y municipales e iniciar procesos disciplinarios por el uso de mercurio, el cual ya está prohibido por la Ley 1892 de 2018.

El municipio de California, debería realizar las acciones necesarias para cerrar definitivamente las bocaminas que se encuentran abiertas en este momento y de donde se está extrayendo material rocoso.

El monitoreo de las corrientes hídricas de la Quebrada La Baja y todas aquellas que confluyen agua abajo, debería ser constante, y se debería implementar el Sistema de Alertas Tempranas, con el fin de informar cuando el agua presente altas concentraciones de mercurio.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(s.f.).

- Ortega Ramírez, A. T. (2023). Proceso de Minería Artesanal. Agencia Nacional de Minería. (2023). *Así es nuestra Colombia minera*. Obtenido de <https://www.anm.gov.co/?q=Asi-es-nuestra-Colombia-minera>
- Alcaldía de Bucaramanga. (2020). *PRIMER INFORME DE OBSERVACIONES AL ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PARA EL PROYECTO DE EXPLOTACION DE MINERALES AUROARGENTIFEROS "SOTO NORTE"*. Obtenido de <https://www.bucaramanga.gov.co/wp-content/uploads/2020/07/INFORME-COMPILADO-FINAL-REVISION-EIA-MINESA.pdf>
- Alcaldía municipal de Clifornia. (2019). *CALIFORNIA FRENTE A LA DELIMITACIÓN DEL CALIFORNIA*. Obtenido de https://santurban.minambiente.gov.co/images/Pdf_santurban/Propuestas/California/Propuesta_California_P.pdf
- AMB. (2023). *Plantas de Tratamiento*. Obtenido de <https://www.amb.com.co/amb/conoce-amb/nuestros-procesos/procesos-operativos/plantas-de-tratamiento/>
- Arboleda González, J. A. (2005). *Manual para la evaluación de impacto ambiental de proyectos, obras o actividades*. Medellín.
- Bauer, J. (2015). *Efecto De La Minería Artesanal E Informal. Uso De Tecnologías Limpias Para La Recuperación De Oro. Consorcio De Universidades "Metas Del Perú Al Bicentenario", 15*.
- Bernhardt, A., Caravanos, J., & Fuller, R. (2019). *POLLUTION KNOWS NO BORDERS*. Biomédica . (septiembre de 2012). Contaminación con mercurio por la actividad minera. *Instituto Nacional de Salud, 32(3)*.
- Blasco, J., & Perez, J. (2007). *Metodologías de investigación en las ciencias de la física y el deporte: ampliando horizontes*. España, Editorial Club Universitario.
- Castro, D. (2019). *"Situación actual minería en Ecuador"*. Tesis de pregrado, Universidad de las Américas, Quito. Obtenido de <https://bit.ly/2NhPSBY>
- CDMB. (2011). *INFORME DE LA RED DE MONITOREO DE CALIDAD DE AGUA PRIMER SEMESTRE*. Obtenido de <http://caracoli.cdm.gov.co/cai/rhc/docs/INFORMES/Informe%20Semestral%20de%20Calidad%20del%20Agua%202011.pdf>
- CDMB. (2023). *Informe de Calidad de Agua 2022*. Bucaramanga.
- Celedon, N. (2022). Al menos mil mineros operan ilegalmente en Santurbán. *Portafolio*.
- Combariza, & B. (2009). *Contaminacion por Metales Pesados en el embalse del Muña y su relación con los niveles en sangre de Plomo, Mercurio y Cadmio y alteración de salud en los habitantes del municipio de Sibaté (Cundinamarca) pp.1– 115*. Trabajo de Maestría, Universidad Nacional.
- Cuentas, M. (2006). *Evaluación cualitativa del impacto ambiental generado por la actividad minera en la Rinconada Puno*. Tesis de Maestría en Gestión y Auditorías Ambientales. Facultad de Ingeniería, Universidad de Piura, Perú, 143 pp.
- Davies, C. H. (1992). *Effects of clay discharges on streams*. *Hydrobiologia, 248: 215-234*.

- Diaz, F. (2014). *Mercurio en la minería del oro: impacto en las fuentes hídricas destinadas para consumo humano*. *Revista de Salud Pública* (2015),16(6):947 . Obtenido de <http://dx.doi.org/10.15446/rsap.v16n6.45406>
- Ecología verde . (30 de Julio de 2020). Obtenido de <https://www.ecologiaverde.com/tipos-de-impactos-ambientales-2941.html>
- Ehrlich, I., Marco, A., & Marcela, N. (2016). *Contaminación por mercurio en ecosistemas acuáticos de la amazonia colombiana, Instituto Sinchi, Colombia, 2016*.
- EITI. (2023). *Sector Minería*. Obtenido de <https://www.eiticolombia.gov.co/es/informes-eiti/informe-2016/marco-institucional/sector-mineria/>
- El Espectador. (2019). Empresa Eco-Oro renunció a su concesión minera en el páramo de Santurbán. *El Espectador*.
- EOT. (2013). *Esquema de Ordenamiento Territorial California - Santander*. Obtenido de <https://www.california-santander.gov.co/estudios-e-investigaciones/esquema-de-ordenamiento-territorial-california-santander>
- EPA. (28 de marzo de 2023). *Agencia de protección ambiental de Estados Unidos*. Obtenido de Información básica sobre el mercurio: <https://espanol.epa.gov/espanol/informacion-basica-sobre-el-mercurio>
- Espinoza, D. (2018). "ESCALAS DE CONTAMINACIÓN POR MERCURIO Y SU IMPACTO AMBIENTAL POR LA MINERÍA, PROVINCIA DE MAYNAS – 2014. Obtenido de <http://repositorio.unfv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.13084/2347/ESPINOZA%20PADILLA%20DOMINGO%20PEDRO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Fernandez, M. (2021). *EL USO DEL AGUA EN LA MINERÍA. EN PARTICULAR, LA HUELLA , HÍDRICA Y LA HUELLA DE AGUA, DOS INDICADORES FUNDAMENTALES*. Obtenido de [file:///C:/Users/HP/Downloads/393342-Text%20de%20l'article-571081-1-10-20211027%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/HP/Downloads/393342-Text%20de%20l'article-571081-1-10-20211027%20(2).pdf)
- Fonnegra, M. (05 de Febrero de 2023).). Alerta por alta presencia de mercurio en importante río de Santander. *El Tiempo*.
- Gaioli, M., Amoedo, D., & Gonzales, D. (2012). *Impacto del mercurio sobre la salud humana y el ambiente*. *Archivos argentinos de pediatría*. Recuperado de: . Obtenido de http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0325-00752012000300017
- Galvan, S., Ortiz, N., & Pinto, J. (2023). *Patrón de riqueza vegetal (flora y vegetación) del páramo El Romeral-macizo de Santurbán*. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*. 47(183):281-300, abril-junio de 2023. doi:. Obtenido de <https://doi.org/10.18257/raccefyn.1872>
- Gaona Martínez, X. (2004). El mercurio como contaminante global.
- Garcia, M. (2008). *PLAN DE SALUD TERRITORIAL DEL MUNICIPIO DE CALIFORNIA SANTANDER*. Obtenido de <https://repositoriocdim.esap.edu.co/bitstream/handle/123456789/23078/27427-1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Gomez, S., & Rojas, S. (2014). *AFECTACIÓN AMBIENTAL DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA QUEBRADA CASCABEL GENERADA POR LA EXPLOTACIÓN MINERA ARTESANAL DEL MUNICIPIO DE MARMATO DEPARTAMENTO DE CALDAS*. Obtenido de <https://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/bitstream/handle/20.500.12746/1614/TESIS>

- %20DE%20GRADO%20SANDRA%20GOMEZ%20Y%20ROJAS%20JUNIO%2023.pdf?sequence=1
- Gonzales, V. (2018). *EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL DE LOS VERTIMIENTOS DE MINERÍA AURÍFERA SOBRE LA QUEBRADA BEMANGO (REMANGO) EN EL MUNICIPIO DE BURITICÁ DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA*. Obtenido de https://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/bitstream/handle/20.500.12746/4051/Gonzalez_Melendez_Viky_2018.pdf?sequence=2
- Gonzalez, V. V., Nirchio, M., Oliveiro, J., Tejada, L., Valdemar, J., & Pesantes, F. G. (2018). "Evaluación del riesgo de contaminación por metales pesados (Hg y Pb) en sedimentos marinos del estero Huaylá, Puerto Bolívar, Ecuador". *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica* 21 (41). Obtenido de <https://doi.org/10.15381/iigeo>
- Goyzueta, G., & Trigos, C. (2010). *Riesgos de salud pública en el centro poblado minero artesanal La Rinconada (5200 msnm) en Puno, Perú*. *Rev. Peru. Med. Exp. Salud Pública* 26 (1), 41-44.
- Hernandez, U., Pinedo, J., & Paternina, R. M. (2021). *Evaluación de calidad del agua en la Quebrada Jui, afluente del río Sinú, Colombia*. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 24(1):e1678. Obtenido de <http://doi.org/10.31910/rudca.v24.n1.2021.1678>
- Hoyos, M., Rodriguez, D., & Torres, J. (2018). *Evaluación del recurso hídrico superficial en la subcuenca hidrográfica del río frío en el departamento de Cundinamarca: oferta, demanda y calidad del agua*. *Rev. Investig. Agrar. Ambient. (Colombia)*. 9(1):128-136. Obtenido de <https://doi.org/10.22490/21456453.2075>
- IDEAM. (2010). *Evaluación Nacional del Agua*.
- IDEAM. (2014). *Estudio nacional de agua*. Obtenido de http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023080/ENA_2014.pdf
- IDEAM. (2018). *Reporte de avance del Estudio Nacional del Agua*. Obtenido de http://www.andi.com.co/Uploads/Cartilla_ENA_%202018.pdf (con acceso el 23/06/2020).
- IDEAM. (2019). *Estudio nacional de agua 2018*. Obtenido de http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023080/ENA_2014.pdf
- IDEAM. (2022). *Evaluación Nacional del Agua, ENA*.
- Instituto de Investigación de Recursos Biológicos. (2005). *Aves rapaces diurnas de Colombia*. Obtenido de <http://repository.humboldt.org.co/bitstream/handle/20.500.11761/32543/351.pdf?sequence=1%20repository.humboldt.org.co>
- Johnson, D., & Hallberg, K. (2005). *Acid mine drainage remediation options: a review*. *Science of the Total Environment*, 338(1–2), 3–14. Obtenido de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969704006199>
- Kirk, R., & Othmer. (1967). *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*. Vol. 16. *John Wiley and Sons, New York*.
- Kuramoto, J. (2010). *La minería artesanal e informal en el Perú. Mining, Minerals and Sustainable Development 82. IIED/WBCSD, Inglaterra, 53 pp.*
- Liberta, B. (2007). *Impacto, impacto social y evaluación del impacto*. Obtenido de <http://scielo.sld.cu/pdf/aci/v15n3/aci08307.pdf>

F-DC-125

 INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO EN MODALIDAD DE PROYECTO
 DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO TECNOLÓGICO, MONOGRAFÍA,
 EMPRENDIMIENTO Y SEMINARIO

VERSIÓN: 1.0

- Lopez-Sanchez, & Medina. (2017). *La prevención y mitigación de los riesgos de los pasivos ambientales mineros (PAM) en Colombia: una propuesta metodológica*. *Entramado*, Vol. 13 No. 1 (78-91). Obtenido de .
- Loza Del Carpio, A., & Ccancapa, S. (2020). *MERCURIO EN UN ARROYO ALTOANDINO CON ALTO IMPACTO POR MINERÍA AURÍFERA ARTESANAL (LA RINCONADA, PUNO, PERÚ)*. *Revista Internacional De Contaminación Ambiental*, 36(1), 33–44. Obtenido de <https://doi.org/10.20937/RICA.2020.36.53317>
- Luis Carlos Carvajal, E. D. (1975). *Geología Colombiana*. Obtenido de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/geocol/issue/view/2836>
- Male, Y., Reichelt, A., Pocock, M., & Nanlohy. (2013). "Recent mercury contamination from artisanal gold mining on Buru Island, Indonesia - Potential future risks to environmental health and food safety". *Marine Pollution Bulletin*, vol.77, pp.428-433,
- MAVDT. (2005). *MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL Decreto 1220*. Obtenido de http://www.ideam.gov.co/documents/24024/36843/Decreto_1220+de+2005.pdf/9127b232-8215-46aa-8793-c0d3ec21b076#:~:text=Impacto%20ambiental%3A%20Cualquier%20alteraci%C3%B3n%20en,un%20proyecto%2C%20obra%20o%20actividad.
- Mendez, F. (2007). *Estudio preliminar de los niveles de cadmio en arroz, frijoles y lentejas distribuidos en supermercados de Bogotá y plazas de Manizales*. *Fitotecnia Colombiana*, 7(2), pp.40–47.
- MINAM. (2017). *Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. Aprueban estándares de calidad ambiental (ECA) para agua y establecen disposiciones complementarias*. *Ministerio del Ambiente. Diario Oficial El Peruano*, 7 de junio.
- Minamata Convention on Mercury. (s.f.). *Minamata Convention on Mercury*. Recuperado el 16 de 05 de 2023, de <https://mercuryconvention.org/en>
- Minenergía. (s.f.). *Ministerio de minas y energía*. Recuperado el 15 de mayo de 2023, de <https://www.minenergia.gov.co/es/misional/transformaci%C3%B3n-minera/#:~:text=La%20miner%C3%ADa%20es%20una%20actividad,m%C3%A1s%20antiguas%20de%20la%20humanidad>.
- MINESA. (2019). *estudio de impacto ambiental, para el proyecto de explotación subterránea de minerales auroargentíferos "Soto-Norte"*. Obtenido de <https://justiciaambientalcolombia.org/wp-content/uploads/2019/01/Resumen-ejecutivo-compressed-1.pdf>
- MiniAmbiente. (2015). *Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, Decreto 1076. Bogotá*. Obtenido de <http://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article/81-normativa/2093-plantilla-areas-planeacion-y-seguimiento-30#decreto-%C3%BAnico-hipervinculos>
- Ministerio para la transición ecológica. España. (s.f.). *Mercurio*. Obtenido de https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/productos-quimicos/mercurio.html&as_qdr=y15.html
- MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. (2005). *DISTRITOS MINEROS: EXPORTACIONES E INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE*.

- Ministerio de Minas y Energía. (abril de 2016). *Ministerio de Minas y Energía*. Obtenido de <https://normativame.minenergia.gov.co/normatividad/2003/norma/>
- Miranda, D., Carranza, C., Rojas, C., Jerez, C., Fischer, G., & Zurita, J. (2011). *Acumulación de metales pesados en suelo y plantas de cuatro cultivos hortícolas, regados con agua del río Bogotá*. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 2(2), 180-191. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.17584/rcch.2008v2i2.1186>
- Moreno, M. (2017). *REVISIÓN DOCUMENTAL SOBRE LA PRESENCIA DE METALES PESADOS EN LAS FUENTES HIDRICAS DERIVADO DE LA ACTIVIDAD MINERA EN COLOMBIA 2010-2016*. Obtenido de <https://repository.ugc.edu.co/bitstream/handle/11396/5554/REVISI%C3%93N%20DOCUMENTAL%20SOBRE%20LA%20PRESENCIA%20DE%20METALES%20PESADOS%20EN%20LAS%20FUENTES%20HIDRICAS%20DERIVADO%20DE%20LA%20.pdf?sequence=1>
- Muñera, Z. M. (2023). Minas de California, Santander, no cumplen con los requisitos para poder operar. *EL TIEMPO*.
- Nordstrom, Blowes, & Ptacek. (2015). *Hydrogeochemistry and microbiology of mine drainage: An update*. *Applied Geochemistry*, Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2015.02.008>
- O`Faircheallaig, C., & Corbet, T. (2016). "Understanding and improving policy and regulatory responses to artisanal and small scale mining", *The Extractive Industries and Society*, vol.3, pp. 961-971.
- Orellana, E., & Gonzalez, V. (2020). *Aspectos e Impactos Ambientales*. Obtenido de <https://better.cl/wp-content/uploads/2020/05/NewsBetter-Aspectos-e-Impactos-Ambientales.pdf>
- Organización Panamericana de la Salud. (s.f.). Efectos del mercurio en la salud humana y el medio ambiente y consideraciones bajo el Convenio de Minamata.
- Osame, M., & Takiwaza . (2001). *A brief introduction to Minamata disease*. In Y Tikawaza and M Osame (eds): *Understanding of Minamata disease. Methylmercury poisoning in Minamata and Niigata Japan*. Tokyo, Japón: Japon Public Health Asociación.
- Padilla, d. E. (2018). *Escalas de contaminación por mercurio y su impacto ambiental por la minería, Provincia de Maynas–2014*. Lima Peru. Obtenido de <http://repositorio.unfv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.13084/2347/ESPINOZA%20PADILLA%20DOMINGO%20PEDRO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Pantpja, F., & Pantoja, S. (2016). *Problemas y desafíos de la minería de oro artesanal y en pequeña escala en Colombia*. *Revista de la facultad de ciencias económicas: Investigación y reflexión*. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/rfce/v24n2/v24n2a09.pdf>
- Parranda, J., Garcia, J., Gallego, A., Bravo, J., Garcia, M., & Paniagua, G. (2019). *Criterios de calidad y gestión del agua potable*. Ed. UNED, U. Nacional de Educación a Distancia (España). 480p.
- Pesca, S. (2015). *Seguimiento del comportamiento físico y químico de los agroquímicos mas utilizados en el cultivo de cebolla larga en el entorno cercano del lago de Tota y aplicación del modelo CEPIS para evaluar su impacto, Trabajo de Grado. Universidad Pedagógica y Tecn.*

- Pinzon, C. (2018). *Impacto del mercurio en los ecosistemas colombianos y las técnicas aplicables para su biorremediación*. Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD. Obtenido de <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/17784>
- PNUMA. (2002). *Evaluación mundial sobre el mercurio*. Ginebra, Suiza. Obtenido de <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/12297/final-assessment-report-Nov05-Spanish.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
- Proyecto Internacional de Aplicación del SAICM. (s.f.). *Enfermedad de Minamata*. Recuperado el 24 de 06 de 2023, de <https://ipen.org/sites/default/files/documents/Numero%20Once%20Enfermedad%20de%20Minamata.pdf>
- Pulido, P. (2015). *Ceremonial y protocolo: métodos y técnicas de investigación científica*. *Opción*, 31(1), 1137-1156. [fecha de Consulta 17 de Septiembre de 2023]. ISSN: 1012-1587. Recuperado de: Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=31043005061>
- QUIMIMCA.ES. (s.f.). *QUIMIMCA.ES*. Recuperado el 16 de mayo de 2023, de <https://www.quimica.es/enciclopedia/Bioacumulaci%C3%B3n.html>
- Reyes, A., & Sanchez, J. (2014). *EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD DEL DESLIZAMIENTO LOCALIZADO EN EL SECTOR LA BODEGA, VEREDA ANGOSTURAS, MUNICIPIO DE CALIFORNIA, MEDIANTE UN ANÁLISIS DETERMINÍSTICO POR MEDIO DE FACTORES DE SEGURIDAD*. Obtenido de <https://repositorio.udes.edu.co/handle/001/2903>
- Reyes, Y. C. (2016). *CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS: IMPLICACIONES EN SALUD, AMBIENTE Y SEGURIDAD ALIMENTARIA*. Obtenido de [file:///C:/Users/Pavilion/Downloads/Dialnet-ContaminacionPorMetalesPesados-6096110%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/Pavilion/Downloads/Dialnet-ContaminacionPorMetalesPesados-6096110%20(2).pdf)
- Rios, V. (2018). *MINERÍA EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE, UN ENFOQUE SOCIOAMBIENTAL*. *D.C.A Act. & Div. Cient.* 21(2):617-637, Julio-Diciembre, 2018. Obtenido de <https://revistas.udca.edu.co/index.php/ruadc/article/view/1066>
- Rocha, L., Olivero, J., & Caballero, K. (2017). *IMPACTO DE LA MINERÍA DEL ORO ASOCIADO CON LA CONTAMINACIÓN POR MERCURIO EN SUELO SUPERFICIAL DE SAN MARTÍN DE LOBA, SUR DE BOLÍVAR (COLOMBIA)*. Cartagena.
- Rodriguez, C. (2018). *EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO VETAS RELACIONADA CON LA MINERÍA AURÍFERA PRACTICADA EN LA PROVINCIA DE SOTO EN SANTANDER*. Obtenido de <https://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/bitstream/handle/20.500.12746/3413/documento%20maestria%20%20FINAL%2018%20MAYO%20%282%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Rubiano, M. J., Vélez, M. A., & Rueda, X. (2020). *Minería de oro artesanal y de pequeña escala*. Universidad de los Andes.
- Sanchez, C. (2010). *Perfil sociodemográfico y epidemiológico de la población expuesta a la contaminación por mercurio, plomo y cadmio, ubicada en la vereda Manuel Sur del municipio de Ricaurte y los barrios Brisas del Bogotá y La Victoria del municipio de Girardot*. Invest.

- Sanchez, D., & Cañon, J. (2010). *Análisis documental del efecto de vertimiento domésticos y mineros en la calidad del agua del río Condoto (Chocó, Colombia)*. Redalyc. . Obtenido de <http://www.redalyc.org/html/1694/169419996009/>
- Sarmiento, M. (1999). *Evaluación del Impacto de la Contaminación del Embalse del Muña Sobre la Salud Humana*. *Revista De Salud Publica*, 1(2) (February), pp.159–171.
- Sentencia T 445. (2016). *Documento técnico de Investigación científica y sociológica respecto a los impactos de la actividad minera y la explotación ilícita de minerales, en los ecosistemas del territorio Colombiano*. Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/06/Investigacion-cientifica-y-sociologica-respecto-a-los-impactos-de-la-actividad-minera-y-la-explotacion-ilicita-de-minerales.pdf>
- Servicio Geológico Colombiano, Ministerio de Minas y Energía. (2018). *GUÍA METODOLÓGICA PARA EL MEJORAMIENTO PRODUCTIVO DEL BENEFICIO DE ORO SIN EL USO DE MERCURIO*. Bogota, Colombia.
- Torres, B., & Ramirez, A. (2014). *Caracterización de la zona de influencia del cultivo de cebolla larga y la determinación de tasas de usos de agroquímicos en el Lago de Tota*. *Trabajo de Grado*. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.
- UPME. (2014). *Indicadores de la Minería en Colombia*. Bogotá. Obtenido de http://www1.upme.gov.co/simco/CifrasSectoriales/EstudiosPublicaciones/Indicadores_de_la_mineria_en_Colombia.pdf
- vdv. (s.f.).
- Vilela-Pincay, W., Espinosa-Encarnación, M., & Bravo-González, A. (2020). La contaminación ambiental ocasionada. 19. doi:<https://doi.org/10.32719/25506641.2020.8.8>
- WEINBERG, J. (2010). *Introducción a la contaminación por mercurio para las ONG*. Obtenido de https://ipen-china.org/sites/default/files/documents/ipen_mercury_booklet-es.pdf
- Wikipedia. (12 de 06 de 2023). *Wikipedia, la enciclopedia libre*. Obtenido de Wikipedia, la enciclopedia libre
- Wolff Carreño, E. (2001). *PROYECTO RÍO SURATÁ: LÍNEAS DE ACCIÓN PARA REDUCIR CONTAMINACIÓN PROVENIENTE DE LA PEQUEÑA MINERÍA AURÍFERA EN VETAS Y CALIFORNIA*. Lima.
- WWF. (2018). *Healthy Rivers, Healthy People. Addressing the Mercury Crisis in the Amazon*. WWF Latin America.
- YOLA. (2020). *Biodiversidad provincia de soto norte*. Obtenido de <https://biodiversidad-provincia-de-soto-norte.yolasite.com/>
- YOLA. (2023). *BIODIVERSIDAD PROVINCIA DE SOTO NORTE*. Obtenido de <https://biodiversidad-provincia-de-soto-norte.yolasite.com/>

9. ANEXOS

ANEXO A. EVIDENCIA FOTOGRAFICA





Fuente. Autores

ANEXO B. RESULTADOS DE LABORATORIO



SIAMA
NIT. 804.016.152-8

REPORTE DE RESULTADOS N° 223189

Fecha de emisión: 11 de agosto de 2023		Código de la muestra: 223189	
Solicitante: CORPORACION AUTONOMA REGIONAL PARA LA DEFENSA DE LA MESETA DE BUCARAMANGA / CDMB			
Dirección: CARRERA 23 No 37-63			
Muestra: LB-02-Q. LA BAJA			
Fecha de muestreo: 22 de junio de 2023	Matriz: Agua superficial		Responsable de muestreo: SIAMA
Fecha de recepción: 23 de junio de 2023	Procedimiento de muestreo: P-013		Tamaño de la muestra: 12000 ml
Envase o empaque: Plástico	Tipo de muestreo: Puntual		Plan de muestreo: 23140
Condiciones de recepción de la muestra: Refrigerada y preservada		Observaciones: //	

FECHA DE ANÁLISIS	VARIABLE	MÉTODO	RESULTADOS	UNIDADES
9/07/2023	MERCURIO TOTAL - 1 (10:00am) [A]	SM 3112 B	< 0,0005	mg Hg/L
9/07/2023	MERCURIO TOTAL - 2 (12:00pm) [A]	SM 3112 B	< 0,0005	mg Hg/L
9/07/2023	MERCURIO TOTAL - 3 (2:00pm) [A]	SM 3112 B	< 0,0005	mg Hg/L
9/07/2023	MERCURIO TOTAL - 4 (4:00pm) [A]	SM 3112 B	0,0007	mg Hg/L
9/07/2023	MERCURIO TOTAL - 5 (6:00pm) [A]	SM 3112 B	0,0005	mg Hg/L
9/07/2023	MERCURIO TOTAL - 6 (8:00pm) [A]	SM 3112 B	< 0,0005	mg Hg/L
9/07/2023	MERCURIO TOTAL - 7 (10:00pm) [A]	SM 3112 B	< 0,0005	mg Hg/L
9/07/2023	MERCURIO TOTAL - 8 (12:00 am) [A]	SM 3112 B	< 0,0005	mg Hg/L
9/07/2023	MERCURIO TOTAL - 9 (2:00 am) [A]	SM 3112 B	< 0,0005	mg Hg/L
9/07/2023	MERCURIO TOTAL - 10 (4:00am) [A]	SM 3112 B	< 0,0005	mg Hg/L
9/07/2023	MERCURIO TOTAL - 11 (6:00am) [A]	SM 3112 B	< 0,0005	mg Hg/L
9/07/2023	MERCURIO TOTAL - 12 (8:00am) [A]	SM 3112 B	< 0,0005	mg Hg/L

[A] Variables realizadas en SIAMA, acreditadas por IDEAM Resolución 1277 de 2019, extensión Resolución 0150 de 2020.
[S] Variables subcontratadas

[A] [S] Variables subcontratadas con laboratorio acreditado

Standard Methods for Examination of Water and Wastewater: AWWA, WPC, APHA 7th.

OBSERVACIONES:
Los resultados son válidos para la muestra analizada. No se pueden reproducir sin la previa autorización de SIAMA.
Este reporte de resultados es válido únicamente si tiene sello seco.

DATOS DE CAMPO		
Georreferenciación		
N 1307954	E 1130015	A 2687 masnm

Aprobó: 
ROSA MARÍA HIGUERA ARDILA
DIRECTORA DE FÍSICOQUÍMICA
QUÍMICA-PQ-00319

FIN DEL REPORTE DE RESULTADOS

Qualquier modificación no autorizada, fraude o falsificación del contenido o de la apariencia de este documento es ilegal y los culpables pueden ser procesados con el máximo rigor de la ley.

Código	II - PSA-008	Versión	0.4	Fecha	10/02/2020	Página	1 de 1
--------	--------------	---------	-----	-------	------------	--------	--------

Servicios Integrados para la Industria del Agro, Minero - Energética y el Medio Ambiente.

www.siama.co

Carretera 24 No. 36 - 11. Teléfonos +57 607 634 8000 Celular 318 707 0021 Bucaramanga - Colombia. info@siama.co



REPORTE DE RESULTADOS N° 223191

Fecha de emisión:	11 de agosto de 2023	Código de la muestra:	223191
Solicitante:	CORPORACION AUTONOMA REGIONAL PARA LA DEFENSA DE LA MESETA DE BUCARAMANGA / CDMB		
Dirección:	CARRERA 23 No 37-63		
Muestra:	QLB-01-Q- LA BAJA		
Fecha de muestreo:	22 de junio de 2023	Matriz:	Agua superficial
Fecha de recepción:	23 de junio de 2023	Responsable de muestreo:	SIAMA
Envase o empaque:	Plástico	Procedimiento de muestreo:	P-013
Tipo de muestreo:	Puntual	Tamaño de la muestra:	12000 ml
Condiciones de recepción de la muestra:	Refrigerada y preservada	Plan de muestreo:	23141
Observaciones:	//		

FECHA DE ANÁLISIS	VARIABLE	MÉTODO	RESULTADOS	UNIDADES
9/07/2023	MERCURIO TOTAL - 1 (7:00am) [A]	SM 3112 B	0,0016	mg Hg/L
9/07/2023	MERCURIO TOTAL - 2 (9:00am) [A]	SM 3112 B	0,0014	mg Hg/L
9/07/2023	MERCURIO TOTAL - 3 (11:00am) [A]	SM 3112 B	0,0065	mg Hg/L
9/07/2023	MERCURIO TOTAL - 4 (1:00pm) [A]	SM 3112 B	0,0017	mg Hg/L
9/07/2023	MERCURIO TOTAL - 5 (3:00pm)[A]	SM 3112 B	0,0032	mg Hg/L
9/07/2023	MERCURIO TOTAL - 6 (5:00pm) [A]	SM 3112 B	0,0763	mg Hg/L
9/07/2023	MERCURIO TOTAL - 7 (7:00pm) [A]	SM 3112 B	0,0010	mg Hg/L
9/07/2023	MERCURIO TOTAL - 8 (9:00pm) [A]	SM 3112 B	0,0009	mg Hg/L
9/07/2023	MERCURIO TOTAL - 9 (11:00pm) [A]	SM 3112 B	0,0009	mg Hg/L
9/07/2023	MERCURIO TOTAL - 10 (1:00am) [A]	SM 3112 B	0,0008	mg Hg/L
9/07/2023	MERCURIO TOTAL - 11 (3:00am) [A]	SM 3112 B	0,0007	mg Hg/L
9/07/2023	MERCURIO TOTAL - 12 (5:am) [A]	SM 3112 B	0,0007	mg Hg/L

[A] Variables realizadas en SIAMA, acreditadas por IDEAM Resolución 1277 de 2019, extensión Resolución 0150 de 2020.
[S] Variables subcontratadas
[A] [S] Variables subcontratadas con laboratorio acreditado
SM: STANDARD METHODS FOR EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER, AWWA, WEF, APHA 23th.

OBSERVACIONES:

Los resultados son válidos para la muestra analizada. No se pueden reproducir sin la previa autorización de SIAMA.
Este reporte de resultados es válido únicamente si tiene sello seco.

DATOS DE CAMPO		
Georreferenciación		
N 1304455	E 1125711	A 2020 msnm

Aprobó:

Rosa María Higuera Ardila
ROSA MARIA HIGUERA ARDILA
DIRECTORA DE FISICOQUIMICA
QUIMICA-PQ-00319

FIN DEL REPORTE DE RESULTADOS

Cualquier modificación no autorizada, fraude o falsificación del contenido o de la apariencia de este documento es ilegal y los culpables pueden ser procesados con el máximo rigor de la ley.

Código	R - PSA- 008	Versión	0.4	Fecha	10/02/2020	Página	1 de 1
--------	--------------	---------	-----	-------	------------	--------	--------

Servicios Integrados para la Industria del Agro, Minero - Energética y el Medio Ambiente.

www.siamaco.com

Camera 34 No. 36 - 11 Teléfono: +57 607 634 0000 Celular 318 707 0821 Bucaramanga - Colombia. info@siamaco.com



REPORTE DE RESULTADOS N° 223317

Fecha de emisión:	19 de septiembre de 2023	Código de la muestra:	223317
Solicitante:	CORPORACION AUTONOMA REGIONAL PARA LA DEFENSA DE LA MESETA DE BUCARAMANGA / CDMB		
Dirección:	CARRERA 23 No 37-63		
Muestra:	LB-02-QUEBRADA LA BAJA		
Fecha de muestreo:	26 de junio de 2023	Matriz:	Agua superficial
Fecha de recepción:	27 de junio de 2023	Responsable de muestreo:	SIAMA
Envase o empaque:	Plástico / vidrio	Procedimiento de muestreo:	P-013
Tipo de muestreo:	Puntual	Tamaño de la muestra:	11500 ml
Condiciones de recepción de la muestra:	Refrigerada y preservada	Plan de muestreo:	23146
Observaciones:	//		

FECHA DE ANÁLISIS	VARIABLE	MÉTODO	RESULTADOS	UNIDADES
27/06/2023	ALCALINIDAD TOTAL [A]	SM 2320 B	21,8	mg CaCO ₃ /L
2/07/2023	ALUMINIO TOTAL [A]	SM 3030 F, SM 3111 D	1,544	mg Al/L
21/07/2023	ARSÉNICO TOTAL (VER ANEXO) [A][S]	SM 3030 F - 3120 B	< 0,003	mg As/L
29/08/2023	CADMIO TOTAL (VER ANEXO) [A][S]	SM 3030 F - 3120 B	< 0,002	mg Cd/L
6/07/2023	CIANURO TOTAL [A]	SM 4500 CN C, F	< 0,025	mg CN /L
23/08/2023	COBRE TOTAL [A]	SM 3030 F - 3120 B	0,16	mg Cu/L
29/08/2023	CROMO TOTAL (VER ANEXO) [A][S]	SM 3030 F - 3120 B	< 0,002	mg Cr /L
27/06/2023	DBO ₅ [A]	SM 5210 B, SM 4500 O H	< 2,0	mg O ₂ /L
02/07/2023	DOQ [A]	SM 5220 C	< 15	mg O ₂ /L
27/06/2023	DUREZA TOTAL [A]	SM 2340 C	42,2	mg CaCO ₃ /L
27/06/2023	FÓSFORO TOTAL [A]	SM 4500-P B, E	< 0,05	mg P/L
16/08/2023	HIERRO TOTAL [A]	SM 3030 F, SM 3111 B	1,495	mg Fe/L
3/08/2023	MANGANESO TOTAL [A]	SM 3030 F, SM 3111 B	0,12	mg Mn/L
9/07/2023	MERCURIO TOTAL [A]	SM 3112 B	< 0,0005	mg Hg/L
29/08/2023	NÍQUEL TOTAL (VER ANEXO) [A][S]	SM 3030 F - 3120 B	0,005	mg Ni/L
28/06/2023	NITRATOS [A]	Méthode par spectrométrie d'absorption moléculaire, J. Roder, 1a Ed, 2005	< 0,1	mg NO ₃ ⁻ - N/L
28/06/2023	NITRITOS [A]	SM 4500-ND ₂ ⁻ B	< 0,005	mg NO ₂ ⁻ - N/L
1/07/2023	NITRÓGENO AMONIACAL [A]	SM 4500-NH ₃ B,C	< 2,0	mg N/L
1/07/2023	NITRÓGENO KJELDAHL [A]	SM 4500-N _{tot} C SM 4500 NH ₃ B, C	< 3,0	mg N/L
27/06/2023	SÓLIDOS SEDIMENTABLES [A]	SM 2540 F	< 0,1	ml/L
27/06/2023	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES [A]	SM 2540 D	< 10	mg/L
1/07/2023	SÓLIDOS TOTALES [A]	SM 2540 B	74,0	mg/L

Cualquier modificación no autorizada, fraude o falsificación del contenido o de la apariencia de este documento es ilegal y los culpables pueden ser procesados con el máximo rigor de la ley.

Código	R - PSA - 008	Versión	0.4	Fecha	10/02/2020	Página	1 de 2
--------	---------------	---------	-----	-------	------------	--------	--------

Servicios Integrados para la Industria del Agro, Minero - Energética y el Medio Ambiente.

www.siana.co



REPORTE DE RESULTADOS N° 223317

Fecha de emisión: 20 de septiembre de 2023	Código de la muestra: 223317
Solicitante: CORPORACION AUTONOMA REGIONAL PARA LA DEFENSA DE LA MESETA DE BUCARAMANGA / CDMB	
Dirección: CARRERA 23 No 37-63	
Muestra: LB-02-QUEBRADA LA BAJA	
Fecha de muestreo: 26 de junio de 2023	Matriz: Agua superficial
Fecha de recepción: 27 de junio de 2023	Responsable de muestreo: SIAMA
Envase o empaque: Plástico / vidrio	Procedimiento de muestreo: P-013
Tipo de muestreo: Puntual	Tamaño de la muestra: 11500 ml
Condiciones de recepción de la muestra: Refrigerada y preservada	Plan de muestreo: 23146
Observaciones: //	

FECHA DE ANÁLISIS	VARIABLE	MÉTODO	RESULTADOS	UNIDADES
27/06/2023	TURBIDEZ [A]	SM 2130 B	8,0	NTU
29/08/2023	ZINC TOTAL (VER ANEXO) [A][S]	SM 3030 F - 3120 B	0,021	mg Zn/L
27/06/2023 30/06/2023	COLIFORMES TERMOTOLERANTES - ANTERIORMENTE COLIFORMES FECALIS [A]	SM 9221 E	330	NMP/ 100ml
27/06/2023 01/07/2023	COLIFORMES TOTALES [A]	SM 9221 B	490	NMP/ 100ml

[A] Variables realizadas en SIAMA, acreditadas por IDEAM Resolución 1277 de 2019, extensión Resolución 0150 de 2020.
[S] Variables subcontratadas
[A] [S] Variables subcontratadas con laboratorio acreditado
SM: STANDARD METHODS FOR EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER, AWWA, WEF, APHA 23th.
SIAMA, calculado como Dodecilo sulfato, sal sódica (SDS), 288,38 g/mol.
OBSERVACIONES:
Los resultados son válidos para la muestra analizada. No se pueden reportar sin la previa autorización de SIAMA.
Este reporte de resultados es válido únicamente si tiene sello seco.

DATOS DE CAMPO		
ANÁLISIS	RESULTADO	UNIDADES
T. Ambiente [A]	17,7	°C
T. Muestra [A]	12,4	°C
pH [A]	7,26	unidades de pH
Conductividad [A]	92,4	µs/cm
O.D. [A]	7,8	mg O ₂ /L
Saturación de OD	101,2	%
Presión atm	560	mm Hg
Caudal [A]	471	L/s
Ancho	3,7	m
Profundidad promedio	0,412	m
Velocidad promedio	0,352	m/s
Georreferenciación		
N 1307954	E 1130015	A 2687 msnm

Aprobó:
ROSA MARÍA HIGUERA ARDILA
DIRECTORA DE FÍSICOQUÍMICA
QUÍMICA - PQ-00319

BRAYAN VILLAMIZAR
DIRECTOR DE MICROBIOLOGÍA
MICROBIÓLOGO REG. FOLIO 799 13-L

FIN DEL REPORTE DE RESULTADOS

Cualquier modificación no autorizada, fraude o falsificación del contenido o de la apariencia de este documento es ilegal y los culpables pueden ser procesados con el máximo rigor de la ley.

Código	R - PSA- 008	Versión	0,4	Fecha	10/02/2020	Página	2 de 2
--------	--------------	---------	-----	-------	------------	--------	--------



REPORTE DE RESULTADOS N° 223318

Fecha de emisión: 19 de septiembre de 2023	Código de la muestra: 223318
Solicitante: CORPORACION AUTONOMA REGIONAL PARA LA DEFENSA DE LA MESETA DE BUCARAMANGA / CDMB	
Dirección: CARRERA 23 No 37-63	
Muestra: QLB-01-QUEBRADA LA BAJA	
Fecha de muestreo: 26 de junio de 2023	Matriz: Agua superficial
Fecha de recepción: 27 de junio de 2023	Responsable de muestreo: SIAMA
Envase o empaque: Plástico / vidrio	Procedimiento de muestreo: P-013
Tipo de muestreo: Puntual	Tamaño de la muestra: 11500 ml
Condiciones de recepción de la muestra: Refrigerada y preservada	Plan de muestreo: 23146
Observaciones: //	

FECHA DE ANÁLISIS	VARIABLE	MÉTODO	RESULTADOS	UNIDADES
27/06/2023	ALCALINIDAD TOTAL [A]	SM 2320 B	25,6	mg CaCO ₃ /L
30/08/2023	ALUMINIO TOTAL (VER ANEXO)(A)[S]	SM 3030 E, SM 3111 B	0,667	mg Al/L
21/07/2023	ARSÉNICO TOTAL (VER ANEXO)(A)[S]	SM 3030 F, 3120 B.	0,021	mg As/L
29/08/2023	CADMIO TOTAL (VER ANEXO)(A)[S]	SM 3030 F, 3120 B.	0,007	mg Cd/L
6/07/2023	CIANURO TOTAL [A]	SM 4500 CN C, F	< 0,025	mg CN/L
23/08/2023	COBRE TOTAL [A]	SM 3030 F, SM 3111 B	0,32	mg Cu/L
29/08/2023	CROMO TOTAL (VER ANEXO)(A)[S]	SM 3030 F, 3120 B.	< 0,002	mg Cr /L
27/06/2023	DBO ₅ [A]	SM 5210 B, SM 4500 D H	< 2,0	mg O ₂ /L
02/07/2023	DQO [A]	SM 5220 C	< 15	mg O ₂ /L
27/06/2023	DUREZA TOTAL [A]	SM 2340 C	98,9	mg CaCO ₃ /L
27/06/2023	FÓSFORO TOTAL [A]	SM 4500-P B, E	< 0,05	mg P/L
16/08/2023	HIERRO TOTAL [A]	SM 3030 F, SM 3111 B	1,66	mg Fe/L
3/08/2023	MANGANESO TOTAL [A]	SM 3030 F, SM 3111 B	0,71	mg Mn/L
9/07/2023	MERCURIO TOTAL [A]	SM 3112 B	0,0016	mg Hg/L
29/08/2023	NIQUEL TOTAL (VER ANEXO)(A)[S]	SM 3030 F, 3120 B.	0,007	mg Ni/L
28/06/2023	NITRATOS [A]	Método por espectrometría d'absorption moléculaire, J. Rodier, G. Etz, 2009	< 0,1	mg NO ₃ - N/L
28/06/2023	NITRITOS [A]	SM 4500-NO ₂ B	< 0,005	mg NO ₂ - N/L
1/07/2023	NITRÓGENO AMONIACAL [A]	SM 4500-NH ₃ B, C	< 2,0	mg N/L
1/07/2023	NITRÓGENO KJELDAHL [A]	SM 4500-N _{org} C SM 4500-NH ₃ B, C	< 3,0	mg N/L
29/08/2023	PLOMO TOTAL (VER ANEXO)(A)[S]	SM 3030 F, 3120 B.	< 0,003	mg Pb/L
22/06/2023	SÓLIDOS SEDIMENTABLES [A]	SM 2540 F	< 0,1	ml/L
27/06/2023	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES [A]	SM 2540 D	19,7	mg/L
1/07/2023	SÓLIDOS TOTALES [A]	SM 2540 B	166	mg/L
27/06/2023	TURBIDEZ [A]	SM 2130 B	18,6	NTU
16/08/2023	URANIO (VER ANEXO) [A][S]*	DIN EN ISO 17294-2	0,0009	mg/L

Cualquier modificación no autorizada, fraude o falsificación del contenido o de la apariencia de este documento es ilegal y los culpables pueden ser procesados con el máximo rigor de la ley.

Código	R - PSA - 008	Versión	0.4	Fecha	10/02/2020	Página	1 de 2
--------	---------------	---------	-----	-------	------------	--------	--------

Servicios Integrados para la Industria del Agro, Minero - Energética y el Medio Ambiente.

www.siana.co



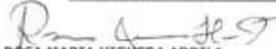
REPORTE DE RESULTADOS N° 223318

Fecha de emisión: 20 de septiembre de 2023	Código de la muestra: 223318
Solicitante: CORPORACION AUTONOMA REGIONAL PARA LA DEFENSA DE LA MESETA DE BUCARAMANGA / CDMB	
Dirección: CARRERA 23 No 37-63	
Muestra: QLS-01-QUEBRADA LA BAJA	
Fecha de muestreo: 26 de junio de 2023	Matriz: Agua superficial
Fecha de recepción: 27 de junio de 2023	Responsable de muestreo: SIAMA
Envase o empaque: Plástico / vidrio	Procedimiento de muestreo: P-013
Tipo de muestreo: Puntual	Tamaño de la muestra: 11500 ml
Condiciones de recepción de la muestra: Refrigerada y preservada	Plan de muestreo: 23146
Observaciones: //	

FECHA DE ANÁLISIS	VARIABLE	MÉTODO	RESULTADOS	UNIDADES
29/08/2023	ZINC TOTAL (VER ANEXO)[A][S]	SM 3030 F, 3120-B.	0,235	mg Zn/L
27/06/2023 30/06/2023	COLIFORMES TERMOTOLERANTES - ANTERIORMENTE COLIFORMES FECALIS [A]	SM 9221 E	790	NMP/ 100ml
27/06/2023 01/07/2023	COLIFORMES TOTALES [A]	SM 9221 B	2 400	NMP/ 100ml

*Muestra identificada como B02306189.001
 [A] Variables realizadas en SIAMA, acreditadas por IDEAM Resolución 1277 de 2019, extensión Resolución 0150 de 2020.
 [S] Variables subcontratadas
 [A] [S] Variables subcontratadas con laboratorio acreditado
 SM: STANDARD METHODS FOR EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER. AWWA, WEF, APHA 23th.
 SAAM, calculado como Dioxido sulfato, sal sódica (SDS), 288,18 g/mol.
OBSERVACIONES:
 Los resultados son válidos para la muestra analizada. No se pueden reproducir sin la previa autorización de SIAMA.
 Este reporte de resultados es válido únicamente si tiene sello seco.

DATOS DE CAMPO		
ANÁLISIS	RESULTADO	UNIDADES
T. Ambiente [A]	17,6	°C
T/Muestra [A]	15,9	°C
pH [A]	7,65	unidades de pH
Conductividad [A]	217,6	µs/cm
O.D. [A]	7,81	mg O ₂ /L
Saturación de OD	101,3	%
Presión atm	604	mm Hg
Caudal [A]	534	L/s
Ancho	534	m
Profundidad promedio	0,277	m
Velocidad promedio	0,338	m/s
Georreferenciación		
N 1304455	E 1125711	A 2020 manm

Aprobó: 
ROSA MARÍA HIGÜERA ARDILA
 DIRECTORA DE FÍSICOQUÍMICA
 QUÍMICA - PQ-00319


BRAYAN VILLAMIZAR
 DIRECTOR DE MICROBIOLOGÍA
 MICROBIÓLOGO REG. FOLIO 799 13-L

FIN DEL REPORTE DE RESULTADOS

Cualquier modificación no autorizada, fraude o falsificación del contenido o de la apariencia de este documento es ilegal y los culpables pueden ser procesados con el máximo rigor de la ley.

Código	II - PSA- 008	Versión	0.4	Fecha	10/02/2020	Página	2 de 2
--------	---------------	---------	-----	-------	------------	--------	--------

Servicios Integrados para la Industria del Agro, Minero - Energética y el Medio Ambiente.

www.siama.co