

Determinación de los Índices de Calidad del Agua (ICA), Índices de Contaminación del Agua (ICOs), Metales Pesados 50 metros aguas arriba (coordenadas 7°22'53.75" N-72°53'54.16" O) y 50 metros aguas abajo (coordenadas 7°22'50.60" N-72°53'54.79" O) de un punto de vertimiento en la quebrada Angosturas del municipio California (Santander) y su Evaluación de Impacto Ambiental

German Alonso Jaimes León

Yury Quintana Sepúlveda

Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente - ECAPMA

Ingeniería Ambiental

Bucaramanga

2020

Determinación de los Índices de Calidad del Agua (ICA), Índices de Contaminación del Agua (ICOs), Metales Pesados 50 metros aguas arriba (coordenadas 7°22'53.75" N-72°53'54.16" O) y 50 metros aguas abajo (coordenadas 7°22'50.60" N-72°53'54.79" O) de un punto de vertimiento en la quebrada Angosturas del municipio California (Santander) y su Evaluación de Impacto Ambiental

German Alonso Jaimes León

Yury Quintana Sepúlveda

**Trabajo de Grado para optar por el título de
Ingeniero Ambiental**

Directora

María Fernanda Domínguez Amorocho

Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente - ECAPMA

Ingeniería Ambiental

Bucaramanga

2020

Dedicatoria

A Dios forjador de mi camino, por guiarme y permitirme cumplir otro logro en mi vida.

A mis Padres, por todo su apoyo, amor, confianza y ejemplo como base primordial de mi formación personal.

A mi esposo Camilo, por todo su amor, paciencia y apoyo durante este largo proceso.

Yury Quintana S.

A Dios por darme la oportunidad de lograr este propósito.

A mi esposa, Diana Castillo, por su amor, paciencia y entrega total, animándome a no dar tregua en los momentos más difíciles.

A mis padres, German Jaimes y Sandra León, por apoyarme incansablemente e inculcarme la constancia y perseverancia para el logro de mis objetivos.

A mis hermanos, Carlos Felipe Jaimes y María Alejandra Jaimes, por su ayuda incondicional y disposición cuando más los necesité.

German Jaimes L.

Agradecimientos

El más cordial reconocimiento y agradecimiento a la empresa PSL PROANÁLISIS LTDA, por el apoyo otorgado mediante la realización de los análisis fisicoquímicos y el suministro de los equipos necesarios para la realización del monitoreo.

A la directora del proyecto, Ingeniera María Fernanda Domínguez, por su gestión, orientación y apoyo durante el proceso.

A Camilo Rojas, por su orientación y acompañamiento frente al monitoreo y toma de muestras.

A la Ingeniera Helga Viviana Almeida, por ofrecernos sus conocimientos en algunos temas relevantes de la presente investigación.

Yury Quintana, German Jaimes.

Resumen

El presente proyecto de investigación consistió en determinar los índices de calidad de agua ICA e índices de contaminación del agua ICOs, los metales pesados (Arsénico, plomo, hierro y mercurio) y la realización de la evaluación del impacto ambiental a través de la matriz de Vicente Conesa Fernández con el fin de determinar los factores que generan deterioro ambiental ocasionados por la minería artesanal en el punto de vertimiento seleccionado de la quebrada Angosturas del municipio California, Santander. Los análisis se desarrollaron a partir de la recolección de información, determinación analítica de parámetros fisicoquímicos para las muestras recolectadas y el establecimiento de la calidad del recurso hídrico en la zona de estudio.

Para la implementación de la EIA del proyecto se realizó un estudio matricial de causa-efecto, también conocida como matriz de identificación de impactos ambientales, en las cuales se presentan a nivel de columnas las actividades y a nivel de filas los componentes ambientales. Los aspectos objeto de análisis fueron: Carácter, extensión, persistencia, intensidad, momento, reversibilidad, recuperabilidad, periodicidad y efectos de los impactos ambientales. De los resultados obtenidos y la respectiva evaluación; además, se emitió un juicio sobre las consecuencias de los hallazgos derivados de la actividad de minería artesanal en el sector de estudio.

Finalmente, se indicó la severidad de la alteración del recurso hídrico y se presentaron las respectivas conclusiones y recomendaciones del estudio según los objetivos planteados.

Palabras clave: Índices de calidad de agua, índice de contaminación, Evaluación de Impacto Ambiental, Minería artesanal, metales pesados, caracterización físico química.

Abstract

This research work aims to determinate the ICA water quality indices and ICOs water contamination indexes, heavy metals (Arsenic, lead iron and mercury) and environmental impact assessment through the Vicente Conesa matrix to determinate the factors that generate environmental deterioration caused by artisanal mining in the selected dumping points of the Angosturas gorge in the municipality California, Santander.

The analyzes were developed from the collection of information, analytical physicochemical parameters determination for the samples collected and the establishment of the water quality resource in the study area.

For the EIA implementation a cause- effect matrix study was carried out, also known as the identification matrix of environmental impacts, in which activities are presented at the column level and the environmental components at the row level. The analysis aspects were: Character, extension, persistence, intensity, moment, reversibility, recoverability, periodicity, and effects of the environmental impacts. In addition, a judgment was issued on the consequences of the findings derived from artisanal mining activity in the study sector.

Finally, the alteration severity of the water resource was indicated, strategies were formulated to mitigate the negative impacts and the respective conclusions and recommendations were presented according to the stated objectives.

Keywords: water quality indices, contamination index, environmental impact assessment, artisanal mining, heavy metals, physical- chemical characterization.

Tabla de contenido

Descripción del problema	13
Justificación	16
Objetivos de la investigación	18
Objetivo General.....	18
Objetivos específicos.....	19
Antecedentes de investigación	20
Antecedentes internacionales.....	20
Antecedentes Nacionales.....	21
Antecedentes Locales.....	22
Referentes Teóricos y Conceptuales	23
Aguas residuales.	23
Municipio de California.	24
Ubicación de la quebrada angosturas y punto de vertimiento..	26
Áreas expuestas a amenazas..	26
Índice de calidad del agua ICA.....	27
Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO5).....	31
Coliformes totales.....	31
Oxígeno disuelto.....	31
Potencial de hidrógeno (pH).	31
Temperatura.	32
Índice de contaminación ICO..	32
Impactos ambientales al recurso hídrico por explotación minera.....	33
Arsénico.	33
Mercurio.....	34
Evaluación de impacto ambiental.....	34
Marco Legal	38
Técnicas e instrumentos	44
Investigación Primaria	49
Caracterización y muestreo	50
Tipo de muestras.....	51
Determinación de índices de calidad del agua y contaminante.....	51
Índice de calidad de agua (ICA)..	51
Índice de calidad de contaminantes (ICOs)..	52
Índice de contaminación por mineralización ICOMI.	52
Índice de contaminación por materia orgánica ICOMO.....	53
Conclusiones	73
Recomendaciones.....	74
Referencias	76

Lista de tablas

Tabla 1. Principales contaminantes del agua	24
Tabla 2. Amenazas Naturales.....	27
Tabla 3. ICA como herramienta de evaluación de calidad de agua. Ventajas y limitaciones.	28
Tabla 4. Factores de ponderación para el ICA.....	30
Tabla 5. Interpretación de Índice de Calidad de Agua según ICA- CETESB	30
Tabla 6. Componentes ambientales en la metodología de valoración cualitativa.	366
Tabla 7. Normatividad	38
Tabla 8. Resumen parámetros de calificación de importancia ambiental.	455
Tabla 9. Rangos de importancia del efecto	46
Tabla 10. Criterios de evaluación	47
Tabla 11. Clasificación de la Contaminación del Agua mediante los ICOs.	555
Tabla 12. Parámetros para la evaluación de la calidad del agua.....	56
Tabla 13. Matriz evaluación del impacto ambiental	59
Tabla 14. Índice de calidad de aguas arriba	62
Tabla 15. Índice de calidad de aguas abajo.....	62
Tabla 16. Índice de contaminación ICOs.....	65
Tabla 17. Categorización de índices ICOs.....	65
Tabla 18. Metales pesados	71

Lista de figuras

Figura 1. Red Hídrica del municipio de California, Santander.	26
Figura 2. Diseño metodológico.....	44

Lista de Anexos

Anexo A. Matriz de impacto ambiental	78
Anexo B. Registro fotográfico del monitoreo.	80
Anexo C. Análisis IN SITU	83
Anexo D. Registro fotográfico de la zona para la Matriz EIA aguas abajo	84
Anexo E. Método de laboratorio para análisis de parámetros	85
Anexo F. Determinación y cuantificación de metales pesados específicamente, mercurio, hierro, plomo y arsénico	86

Introducción

El departamento de Santander está conformado por diversas corrientes hídricas las cuales permiten el abastecimiento necesario para las actividades socioeconómicas desarrolladas en la región; estos usos ocasionan la escasez y contaminación de ríos, quebradas, lagos y contribuyen a la destrucción de los ecosistemas.

Esta problemática se intensifica con las actividades productivas principalmente en municipios como California por su importante presencia en la minería como fuente económica generando la alteración de la calidad del agua en el municipio debido a que se requiere el uso de sustancias tóxicas en la industria aurífera, ocasionando una gran contaminación para aquellas quebradas aledañas que desembocan en el río Vetás.

La presente investigación se centra en la determinación y análisis de los índices ICA e ICOs en la quebrada Angosturas para identificar la calidad de agua a partir de los parámetros de ICOMO, ICOMI, ICOSUS e ICOTRO, requeridos para la validación del análisis global del recurso hídrico, además de la determinación de la presencia de metales pesados específicamente el Arsénico, hierro, Plomo y el mercurio con base en la caracterización físico química, además se realiza la evaluación de impactos ambientales a partir de la matriz formulada por Vicente Conesa en el punto de monitoreo seleccionado para la investigación.

El ICA es una técnica estadística aplicada en diversos programas de monitoreo y a partir de esta se establecen múltiples variables físicas y químicas, las cuales dieron origen a la formulación de los índices de ICOMI, ICOMO, ICOSUS e ICOTRO. (Ramírez, R, 1999).

Los ICOs permiten por medio de la planificación, controlar la disminución o el aumento de la contaminación programando metas y objetivos a corto y largo plazo, las cuales pueden ser medidas y evaluadas en el tiempo. (Castro, 2014).

En el primer capítulo se realiza un planteamiento y descripción del problema a partir de las principales características, informes, políticas y demás indicadores que permitan evidenciar la problemática en estudio.

En el segundo capítulo se elabora el marco teórico que sustenta la propuesta de investigación; los principales postulados de autores y los planteamientos que presenta las teorías vigentes y la postura teórica que apoya el estudio en cuanto al municipio afectado, los parámetros de medición y los conceptos requeridos para la comprensión de la problemática.

En el tercer capítulo se presenta el diseño y descripción de la metodología de investigación, las etapas, el proceso de recolección de información, contextualización, técnicas y actividades implementadas para dar cumplimiento a los objetivos planteados.

En el cuarto capítulo se analizan los resultados del proceso de investigación acordes a la metodología planteada, el estudio de las muestras recolectadas para el análisis de los índices ICA e ICOs, la determinación de metales pesados y la evaluación de la matriz de impactos ambientales de Vicente Conesa.

Finalmente se realiza el cierre del informe de investigación generando las conclusiones pertinentes según los objetivos planteados y las recomendaciones para futuros estudios.

Planteamiento del problema

Descripción del problema

La política para la gestión Integral del Recurso Hídrico por parte del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial establece directrices unificadas para el manejo de aguas en el país, que además de apuntar a resolver la actual problemática del recurso hídrico, permitan hacer uso eficiente del recurso y preservarlo como una riqueza natural para el bienestar de las generaciones futuras de colombianos (IDEAM 2010).

Sin embargo, el municipio de California por su importante presencia en la minería como principal fuente económica siendo desarrollada por el 53,4% de la población, intensifica la preocupación por la alteración de la calidad de agua en el municipio debido a que se requiere el uso de sustancias tóxicas en la industria aurífera, generando una gran problemática para aquellas quebradas aledañas que desembocan en el río Vetás.

Según el informe de gestión del Acueducto Metropolitano de Bucaramanga S.A ESP del año 2018, la comisión de Monitoreo Hidrológico del AMB S.A ESP para el recurso hídrico en las zonas mineras del municipio de California como el río Vetás, Quebradas la Baja, Angosturas y Móngora, obtuvo a partir de los resultados de las muestras de agua tomadas de estos sitios y monitoreadas diariamente que en estos puntos se continúa evidenciando la presencia de Mercurio, Arsénico y Cianuro que en algunos momentos sobrepasa el límite máximo permitido por norma (resolución 1594/1984) para estos parámetros. (Informe de gestión, AMB. 2018)

El cauce principal del Río Vetás tiene una longitud de 21,37 Km, su nacimiento está en la cota 4.200 m.s.n.m. y desciende hasta llegar a los 1.600 m.s.n.m. Los

principales afluentes de este río son las siguientes quebradas: Angosturas, Páez, Salado, Móngora, La Plata, La Baja, El volcán, Chumbula, Cunta, Agua de Paramo y Mataperros. La microcuenca del Río Vetas está conformada por 16 veredas de los municipios de Vetas, California y Suratá; en el área de extensión de este río se desarrollan las actividades de origen agrícola, pecuario, forestal y minero. (CDMB, 2010), por tal razón, para la presente investigación se tomará un punto en la quebrada Angosturas donde se ubica un túnel de antigua minería cuyas coordenadas son $7^{\circ}22'53.75''\text{N}$ - $72^{\circ}53'54.16''\text{O}$ y $7^{\circ}22'50.60''\text{N}$ - $72^{\circ}53'54.79''\text{O}$ ya que representa uno de los principales afluentes de la microcuenca del río Vetas, quien recibe residuos de minería de oro que deterioran la calidad del recurso hídrico.

Por otra parte, la Alcaldía de California 2016-2019 planteó como meta de producto implementar un programa para la aplicación de tecnologías que reduzcan y optimicen el uso del agua en la actividad minera y ejecutar una estrategia para mineros de hecho y/o instrumentos de gestión minero ambiental, reducción y/o eliminación del uso de mercurio como proceso de apoyo a los procesos de formalización minera. (Plan de Desarrollo Municipal. 2016-2019).

Además, el Decreto 1076 de 2015 establece que deben desarrollarse planes de gestión de riesgo para disminuir el impacto negativo que originan los vertimientos que afectan los cauces naturales, los cuales deben incluir análisis de riesgos, medidas de prevención y mitigación, protocolos de emergencia y contingencia, programa de rehabilitación y recuperación de programas, así como el desarrollo de proyectos y actividades necesarias para que las aguas se encuentren dentro de los parámetros

establecidos y esta información vincularla con el plan de ordenamiento y manejo para prevenir el deterioro de las aguas. (Decreto Único reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2016).

Teniendo en cuenta los dos aspectos anteriores, resulta pertinente llevar a cabo una estrategia de investigación que permita responder a la problemática descrita a partir del interrogante central ¿Cómo evaluar el impacto ambiental del recurso hídrico 50 m aguas arriba y 50 m aguas abajo de un punto de vertimiento de la quebrada Angosturas del municipio California afectado por la minería, a través de la matriz de causa- efecto formulada por Vicente Conesa, teniendo en cuenta la determinación del índice de Calidad del Agua (ICA) e Índice de contaminación del agua (ICOs) y la cuantificación de algunos metales pesados? y como preguntas directrices ¿Cómo realizar la caracterización físico química de las muestras recolectadas en un punto de vertimiento de la quebrada Angosturas, en el municipio de California? ¿Cuáles son los índices de calidad del agua en la quebrada Angosturas a partir del cálculo del ICA e ICOs (ICOMO, ICOSUS, ICOTRO, ICOMI) y los metales pesados, específicamente el Arsénico, hierro, plomo y el mercurio con base en la caracterización físico química de la fuente hídrica? y ¿Cuál es el resultado de la evaluación del impacto ambiental del recurso hídrico en un punto de vertimiento de la quebrada Angosturas a través de la matriz de causa- efecto formulada por Vicente Conesa y cuáles acciones de control se clasifican en preventivas y/o correctivas?

La valoración de los parámetros se seleccionaron de acuerdo a los requerimientos de la metodología establecida, además de parámetros como: Conductividad, sólidos

disueltos, sólidos suspendidos totales, dureza, calcio y magnesio, alcalinidad (bicarbonatos), DBO5, DQO, coliformes totales, oxígeno disuelto, porcentaje de saturación de oxígeno, fósforo total, Nitrógeno total, Nitratos, Nitritos los cuales permitieron observar las concentraciones de materia orgánica en el recurso hídrico y hacer una valoración de la calidad en relación con los efectos sobre humanos.

Entre los indicadores que permiten determinar el estado en el que se encontraban los cuerpos de aguas se destacan el índice de Calidad del Agua (ICA), el cual constituye una herramienta para la administración de recursos hídricos y las corporaciones ambientales. Además, fue necesario establecer los índices de contaminación de agua (ICOs; ICOMI, ICOMO, ICOSUS, ICOTRO), ya que estos, tienen como base los resultados de análisis multivariados de componentes principales que permiten determinar la calidad del agua y establecer el estado del recurso como función de actividades específicas que originan las modificaciones del recurso hídrico; además de los análisis in situ, como temperatura, caudal y oxígeno disuelto. (Ballesteros, L y Perosa, L. 2010).

Desde esta perspectiva, es clara la necesidad de generar estudios alrededor del cuerpo hídrico que permitan conocer el estado actual y plantear soluciones frente al impacto generado sobre el contenido de materia contaminante del afluente.

Justificación

El plan de desarrollo de California 2016-2019 propuso en el sector ambiental el fortalecimiento de la gestión integral del recurso hídrico con el uso del territorio fomentando la conservación de los ecosistemas que regulan la calidad, cantidad y permanencia en el desarrollo económico y social, promoviendo instrumentos ambientales

que minimicen los impactos causados por la minería y bajo el Decreto 1575 de 2007 mantener bajo 5 el índice de riesgo de calidad de agua (Plan de Desarrollo de California) por esta razón surge la iniciativa de apoyar las metas de producto y de resultado planteadas en el documento enunciado.

La presente investigación se centra en el sector minero por ser la actividad principal del Municipio de California ya que representa la mayor fuente económica y de contaminación. Para el sector seleccionado se estudia la presencia de metales pesados en la fuente hídrica por efecto de la realización de minería artesanal ya que en esta se ha empleado el mercurio sin tener en cuenta las consecuencias de su uso en la explotación del oro, su utilización ha generado daños irreparables al medio ambiente y a las comunidades que viven en las áreas influenciadas por la explotación y río abajo de estas zonas, ocasionan efectos que posiblemente continúen un largo periodo posterior a la actividad minera, por esta razón y por los altos riesgos ambientales y ocupacionales como exposición al polvo, mercurio y demás productos químicos (ILO, 1999) se establece esta investigación con el propósito de generar un análisis y evaluación del recurso hídrico afectado por esta problemática socioambiental que se genera por el uso de mercurio informal.

La situación actual de la quebrada Angosturas puede ser evaluada a partir de la aplicación del índice ICA e ICOs, los cuales son parámetros indispensables en la identificación de la calidad del agua. El ICOMO obtenido a partir de la demanda biológica de oxígeno, los coliformes totales y el porcentaje de saturación de oxígeno, el ICOMI permite conocer la conductividad como el reflejo de los sólidos disueltos y

mineralización de las aguas y la dureza en aguas con problemas de limpieza, el ICOSUS determinado a partir de la contaminación por sólidos suspendidos relacionados con los compuestos orgánicos y las impurezas visibles y el ICOTRO necesario para la determinación de la concentración de fósforo total, estos son los indicadores representativos que permiten la validación del análisis global del recurso hídrico.

La selección de indicadores se hizo teniendo en cuenta el cumplimiento de criterios tales como: sensibilidad a cambios para mostrar alteraciones de tendencia del recurso; Fiabilidad de los datos, es decir, que provengan de variables que pueden ser obtenidas a través de metodologías estándar, predictivos para que provea señales de alarma previa de futuras tendencias; cobertura geográfica que puedan ser extensibles de la escala local a la regional y nacional; comparable para permitir comparaciones entre áreas y comprensible para todos los usuarios (Guía de monitoreo y seguimiento del AGUA IDEAM, 2010).

Esta investigación representa gran utilidad pues proporciona datos exactos que indican la severidad de la alteración del recurso hídrico, mediante la evaluación del impacto ambiental para identificar y considerar los efectos ambientales de la minería artesanal y permitir mejorar la calidad de vida de los habitantes de las zonas aledañas a la Quebrada Angosturas.

Objetivos de la investigación

Objetivo General. Evaluar el impacto ambiental generado en una fuente hídrica 50 metros aguas arriba y 50 metros aguas abajo de un punto de vertimiento que se encuentra ubicado en la salida de un túnel de antigua minería del sector de la quebrada Angosturas

del municipio California, a través de la matriz de causa- efecto formulada por Vicente Conesa, teniendo en cuenta la determinación y análisis del índice de Calidad del Agua (ICA) e Índice de contaminación del agua (ICOs) y la cuantificación de algunos metales pesados.

Objetivos específicos. Realizar la caracterización físico química de las muestras recolectadas una fuente hídrica 50 metros aguas arriba y 50 metros aguas abajo de un punto de vertimiento que se encuentra ubicado en la salida de un túnel de antigua minería del sector de la quebrada Angosturas del municipio California.

Determinar y analizar la calidad del agua en la quebrada Angosturas a partir del cálculo del ICA e ICOs (ICOMO, ICOSUS, ICOTRO, ICOMI) y los metales pesados específicamente el arsénico, hierro, plomo y el mercurio con base en la caracterización físico química de la fuente hídrica.

Evaluar los resultados de la matriz de impactos ambientales de causa-efecto formulada por Vicente Conesa para el recurso hídrico en un punto de monitoreo seleccionado y emitir un juicio sobre los hallazgos derivados de la actividad minera realizada en el sector de estudio.

Marco teórico

Antecedentes de investigación

En el proceso de investigación es necesario tomar como referencia diferentes autores, artículos y otros proyectos que complementan las ideas planteadas en los objetivos del presente trabajo.

Antecedentes internacionales.

Amado A. (2006) en su investigación titulada “Índice de calidad del agua en la cuenca del río Amajac, Hidalgo, México: Diagnóstico y predicción” determinó el grado de contaminación y se establecieron las estrategias de planeación en el manejo de los recursos hídricos para la cuenca en estudio. La metodología se basó en la expresión cuantitativa de la calidad del agua, se realizó un análisis de regresión múltiple entre el ICA y los parámetros seleccionados. Se obtuvo que la calidad del agua para uso urbano fue de calidad media y en un doce por ciento de los sitios se encontró estaban altamente contaminados.

Ramírez A. realizó una investigación titulada “Impacto ambiental de la pequeña minería y minería artesanal en la Subcuenca del río Inambari madre de Dios”, donde se analizaron aspectos físicos, biológicos y socioeconómicos, así como los métodos de extracción aurífera que afectan la Subcuenca; la investigación fue aplicada, directa y descriptiva empleando imágenes satelitales, revisión de expedientes e intensidad de impacto donde se obtuvieron como principales resultados la presencia de zonas de deforestación minera y agrícola.

Pontón M. (2018). Realizó una investigación titulada “Evaluación de la calidad del agua de la microcuenca del Río Piñas mediante los índices ICA y BMWP”, este estudio se realizó en la provincia de El Oro- Ecuador en cuatro estaciones de muestreo a lo largo del cauce del río donde se constató que se presentaron zonas de aguas contaminadas y fuertemente contaminadas a razón de la cantidad de carga contaminante que pasa por los puntos de estudio encontrando familias de macroinvertebrados dominantes como los oligoquetos y los quironómidos generando mala calidad de agua.

Antecedentes Nacionales.

Martínez R. (2010) desarrolló una propuesta metodológica para la evaluación de impacto ambiental en Colombia, en la cual se incorporó un análisis conceptual de los criterios seleccionados para la valoración de la importancia de los impactos y la correlación de las medidas de manejo ambiental con la valoración final del impacto. Se seleccionaron siete variables cualitativas: carácter, intensidad, cobertura, sinergismo, acumulación, reversibilidad y periodicidad por medio de los cuales se logró obtener un índice de importancia en función de la calidad ambiental que representa el impacto causado. La propuesta demostró que el cálculo de la importancia en función de la calidad ambiental resulta muy pertinente para la EIA, debido a que, utilizando un enfoque más objetivo, clasifica un mayor número de impactos en las categorías de severo y crítico, que podrían ser subestimados con el uso de otros métodos cualitativos.

Gómez S. (2014). En su investigación titulada “Afectación ambiental de la calidad del agua de la quebrada Cascabel generada por la explotación minera artesanal del Municipio de Marmato departamento de Caldas” implementó métodos cuantitativos que

permitieron realizar la identificación, análisis y evaluación de impactos ambientales y se identificaron las acciones de mayor impacto sobre el componente hídrico. La investigación arrojó la importancia neta de cada uno de los impactos generados por las actividades mineras en función de la calidad ambiental considerando la situación real del área de estudio y las condiciones mínimas de manejo ambiental donde se considera que se requieren nuevas alternativas de manejo con tecnologías más avanzadas.

Aguilar S. (2018). Realizó una investigación titulada “Evaluación del impacto por vertimientos de aguas residuales domésticas, mediante la aplicación del índice de contaminación (ICOMO) en Caño Grande, localizado en Villavicencio- Meta”, en la cual se establecieron tres estaciones de muestreo y se obtuvieron los valores promedio del índice ICOMO donde por medio de la correlación de Pearson se encontró una alta presencia de coliformes totales en el resultado final ocasionados por la actualización del sistema de acueducto y alcantarillado.

Antecedentes Locales.

Buitrago E. (2013). En su investigación titulada “Evaluación del índice de alteración potencial de la calidad del agua (IACAL) del municipio California, Santander” permitió determinar los sectores socioeconómicos del Municipio que representaban la mayor contaminación en el Río Vetás. La metodología se desarrolló a partir de datos obtenidos de la población rural y urbana, la oferta hídrica, producción anual de oro y plata, caudal y vertimientos; se concluyó que los parámetros anteriormente mencionados no representan una alteración potencial a la calidad del agua del Río Vetás.

Ballesteros L. (2014). En su investigación titulada “Diseño e implementación de una herramienta sistematizada empleando el índice de calidad del agua (ICA) para determinar el deterioro de las aguas superficiales de los vertimientos del río Suárez zona comunera”, se identificaron los vertimientos que contribuyen al deterioro del recurso hídrico y los principales elementos contaminantes que afectan las propiedades fisicoquímicas del mismo. Se desarrolló una herramienta informática por medio del programa ArcGIS para ubicar los puntos de muestreo en un mapa, guardar información y mostrar los resultados y según los resultados obtenidos se obtuvo un ICA aceptable ya que las PTAR requieren limpieza eficiente de los equipos.

Zabala E. (2018). Desarrolló una investigación titulada “Determinación de los índices de calidad y contaminación del agua (ICA e ICOs) sobre tramos superficiales del río de oro y Río Vetas para el análisis y verificación del cumplimiento de la normatividad colombiana”; en la cual se realizó la determinación analítica de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para muestras de agua recolectadas en diferentes puntos de monitoreo presentes en el Río de Oro y Río Vetas. Se evidenció el deterioro de la calidad de agua por el alto contenido de coliformes totales, presencia de componentes agroquímicos, sólidos suspendidos y afectando la calidad de agua para consumo humano.

Referentes Teóricos y Conceptuales

Aguas residuales.

Se clasifican según su origen, es decir, en industriales o en domésticas. Están compuestas por metales pesados, aceites, petroquímicos, plaguicidas, entre otros. Las domésticas son las de uso cotidiano en los hogares o establecimientos comerciales, por tal

razón los principales desechos encontrados son el carbono, nitrógeno y fósforo.

(Martínez, P. 2019).

Las aguas receptoras experimentan la mayor contaminación por químicos orgánicos e inorgánicos empleados en actividades industriales y domésticas, siendo los vertimientos de aguas residuales los principales puntos de afectación de los ecosistemas. (Figueroa, 2007).

Las principales sustancias contaminantes encontrados en el agua residual, se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Principales contaminantes del agua

Contaminante	Fuente	Importancia
Sólidos suspendidos	Doméstico e industrial	Causa depósitos de lodo y condiciones anaeróbicas en ecosistemas acuáticos.
Compuestos orgánicos biodegradables	Doméstico e industrial	Causa degradación biológica e incrementa la demanda de oxígeno
Microorganismos Patógenos	Desechos domésticos	Causa enfermedades transmisibles
Nutrientes	Desechos domésticos	Puede causar eutrofización
Compuestos orgánicos refractarios	Sustancias industriales	Toxicidad o carcinogénicos
Metales pesados	Sustancias industriales, minería	Tóxicos
Sólidos inorgánicos disueltos	Doméstico e industrial	Interfiere con el reúso del efluente.

Fuente. Orjuela Gutiérrez y Lizarazo Becerra, 2013.

Municipio de California.

La subregión a la cual pertenece el Municipio de California está además integrada por los Municipios de Bucaramanga, Matanza, Suratá, Vetas, Charta y Tona. La subregión determinada forma parte de la provincia Soto Norte, en el Sector Nororiental del Departamento de Santander, conocida también como Región Oriental o Montaña

Santandereana. Geológicamente está se localiza en la zona de influencia de las Fallas de Bucaramanga- Santa Marta y de Suratá.

Hidrológicamente, pertenece a la Gran Cuenca del Río Magdalena, Cuenca Superior del Río Lebrija, Subcuenca del Río Suratá y Microcuenca de los ríos Tona, Vetas y Charta.

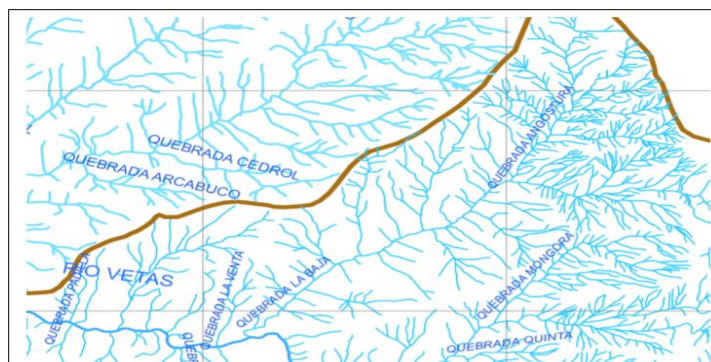
La principal riqueza del municipio la constituye la explotación de las minas auroargentíferas ubicadas en los sitios La Baja, Angosturas y La Alta. El municipio vive alrededor de las minas de oro, cuya explotación data de la época de la conquista. Además de la minería, que es la actividad económica principal, se desarrollan la agricultura de autoconsumo de cultivos de maíz, trigo, papa, verduras, hortalizas y algunos frutales como mora y curuba. (California para todos, 2011).

Hidrológicamente pertenece a la Cuenca Superior del Río Lebrija, Subcuenca Río Suratá, microcuencas del Río Vetas. Su principal corriente de agua es la Quebrada La Baja, con afluentes como la Quebrada Angosturas, Páez, San Juan, Agua Limpia, entre otros, dicho sistema de drenaje vierte sus aguas al Río Vetas. En la zona de Páramo se encuentra ubicada la Laguna de Páez. (Sitio Oficial California en Santander, 2018).

El principal afluente, la Quebrada La Baja nace en la Vereda Angosturas de la intersección de las quebradas Angosturas y Páez, con coordenadas N: 1'307.840; E: 1'129.800 con 5.5 Km de recorrido, presentando como tributarios principales las quebradas San Antonio, San Juan, la Higuera, Agua Limpia y otras de las cuales se toman sus aguas para abastecer los acueductos de las veredas presentes en su recorrido. Dicha quebrada sigue una dirección aproximada S-50o-W, hasta la confluencia con el Río

Vetas. A partir de este punto el Río Vetas una dirección N- 90o-W, hasta llegar al Río Suratá. La Figura 1 presenta la red Hídrica del municipio de California. (Plan de saneamiento y manejo de vertimientos, 2011).

Figura 1. Red Hídrica del municipio de California, Santander.



Fuente. CDMB

Ubicación de la quebrada angosturas y punto de vertimiento.

La Quebrada Angosturas nace en el páramo de Monsalve, cuchilla El Narizón y sigue una dirección S-20°-W. Se extiende desde las coordenadas 1300221N y 1130221E, a una altura de 1035 msnm. El punto de vertimiento seleccionado está ubicado en un túnel de antigua minería cuyas coordenadas de estudio están comprendidas entre 7°22'53.75"N-72°53'54.16"O y 7°22'50.60"N-72°53'54.79"O.

Áreas expuestas a amenazas.

Según el plan de desarrollo de la Alcaldía de California “por California la unidad” (2012-2015) en el municipio se cuenta con un análisis de la situación de riesgos y además existen mecanismos para operarlo, sin embargo, se presentan una zonificación de amenazas para el territorio rural. A continuación, se relacionan estas zonas con su respectiva extensión.

Tabla 2. Amenazas Naturales

Zonificación Amenaza	Veredas Afectadas	Extensión (Km²)
Alta	La Baja y parte de Angosturas	0,27
Moderada	La Baja, el centro y parte de Angostura y Cerrillos	18,15
Baja	Parte de todas las veredas	29,19
Muy Baja	Angosturas y Santa Úrsula	5,96

Fuente. EOT. California.

Como se observa en la Tabla 2 la vereda Angosturas es una de las zonas amenazadas por la contaminación del recurso hídrico, esto ocurre, ya que la tradición minera característica y la cultura asociada a esta actividad ha generado en los habitantes indiferencia ante el impacto ambiental generado por esta práctica indicando como principal preocupación el beneficio económico. (Plan de desarrollo California, 2012-2015).

Índice de calidad del agua ICA.

El ICA surge como una herramienta simple para la evaluación del recurso hídrico fundamental en procesos decisorios de políticas públicas y en el seguimiento de sus impactos. Se define como una expresión simple de una combinación más o menos compleja de un número de parámetros que sirven como expresión de la calidad del agua; el índice puede ser representado por un número, un rango, una descripción verbal, un símbolo o incluso un color. (Torres P, 2009).

En términos simples, un ICA es un número único que expresa la calidad del

recurso hídrico mediante la integración de las mediciones de determinados parámetros de calidad del agua y su uso es cada vez más popular para identificar las tendencias integradas a los cambios en la calidad del agua. (Samboni N, 2007). La Tabla 3. presenta las principales ventajas y limitaciones de los ICA.

Tabla 3. ICA como herramienta de evaluación de calidad de agua. Ventajas y limitaciones.

Ventajas	Limitaciones
Permiten mostrar la variación espacial y temporal de la calidad del agua.	Proporcionan un resumen de los datos. No proporcionan información completa sobre la calidad del agua.
Método simple, conciso y válido para expresar la importancia de los datos generados regularmente en el laboratorio.	No pueden evaluar todos los riesgos presentes en el agua
Útiles en la evaluación de la calidad del agua para usos generales.	Pueden ser subjetivos y sesgados en su formulación
Permiten a los usuarios una fácil interpretación de los datos.	No son de aplicación universal debido a las diferentes condiciones ambientales que
Pueden identificar tendencias de la calidad del agua y áreas problemáticas.	presentan las cuencas de una región la otra.
Permiten priorizar para evaluaciones de calidad del agua más detalladas.	Se basan en generalizaciones conceptuales que no son de aplicación universal.

Mejoran la comunicación con el público y

aumentan su conciencia sobre las

condiciones de calidad del agua.

Ayudan en la definición de prioridades

con fines de gestión.

Fuente. Adaptado de A. Sacha, and C. Espinoza, 2001.

La importancia del ICA no sólo se limita a la evaluación de la calidad de las fuentes superficiales. En el país, el Decreto 1575 de 2007 considera el ICA como uno de los instrumentos básicos para garantizar la calidad del agua para consumo.

El índice de calidad del agua ICA –CETESB es una adaptación del ICA-NSF para ríos de condiciones tropicales, que fue realizada por la compañía tecnológica de Saneamiento Ambiental de Brasil- CETESB (2002). El ICA se determina a partir de las formulaciones de tipo norteamericano adaptadas al trópico. (Secretaría Do Medio Ambiente, 2017).

Para determinar el ICA se asignan valores de ponderación a cada una de las variables tomadas en cuenta y se define según las adaptaciones de las formulaciones norteamericanas como:

$$ICA = \prod_{i=1}^n C_i^{w_i}$$

Donde:

ICA: índice de calidad del agua, varía entre 0 y 100

CI: Calidad del *i*ésimo parámetro, varía entre 0 y 100 obtenido del respectivo gráfico de calidad en función de su concentración.

Wi: Valor ponderado correspondiente al *i*ésimo parámetro atribuido en función de la importancia de ese parámetro para la conformación global de la calidad, un número entre 0 y 1. La sumatoria de *w_i* es igual a 1, siendo *i* el número de parámetros que entran en el cálculo. En la Tabla 4 se presentan los factores de ponderación de cada variable.

Tabla 4. Factores de ponderación para el ICA

PARÁMETRO	PESO RELATIVO (W)
Oxígeno disuelto	17%
Coliformes fecales	15%
pH	12%
DBO5	10%
Fósforo Total	10%
Nitrógeno Total	10%
Temperatura	10%
Sólidos disueltos	8%
Turbiedad	8%

Fuente. CETESB (2002).

El CETESB plantea una clasificación de la calidad del agua de los ríos como se presenta en la Tabla 5.

Tabla 5. Interpretación de Índice de Calidad de Agua según ICA- CETESB

Intervalo	Calidad
80-100	Excelente Calidad
52-79	Buena calidad

37-51	Regular calidad
20-36	Mala calidad
0-19	Pésima Calidad

Fuente. CETESB (2002).

Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO5).

Cantidad de oxígeno necesaria consumida por microorganismos en condiciones aerobias para descomponer la materia orgánica que se presenta en un cuerpo de agua. Es un método indirecto, el valor se expresa en (mg/L) y normalmente se utiliza un análisis de 5 días a una temperatura de 20°C (Avecillas, 2014).

Coliformes totales.

Grupo de géneros bacterianos, formados por bacilos gram negativos, anaerobios facultativos, no esporulantes con características comunes que se encuentran con frecuencia en el medio ambiente: en el suelo, en superficies de aguas dulces, como también en las heces de animales y humanos (IDEAM 2007), razón por la que son empleados como bioindicadores de contaminación por materia fecal.

Oxígeno disuelto.

Es la cantidad de oxígeno presente en el agua y es fundamental para la respiración de los microorganismos y organismos acuáticos. (IDEAM, 2004).

Potencial de hidrógeno (pH).

Expresa la actividad del ion de hidrógeno [H⁺] que se presenta en el agua, permite indicar por medio de una escala logarítmica la cantidad ácida o alcalina de una solución acuosa, los valores van en un rango de 0 a 14 (IDEAM, 2007).

Temperatura.

Mide el nivel térmico que un cuerpo de agua posee y contribuye en la variación del comportamiento de algunos parámetros físico- químicos y biológicos. (Babativa & Caicedo, 2018).

Índice de contaminación ICO.

En Colombia se realizó un Análisis de componentes Principales (ACP) aplicado a información físico química para estudios de la industria petrolera. En este análisis se definieron cuatro índices de contaminación dentro de los que se incluye, mineralización, materia orgánica, sólidos suspendidos y nivel trófico, los cuales miden el grado de contaminación de un cuerpo en escala de 0 a 1. (Ramírez, A y Viña, G, 1998).

Los ICOs permiten determinar diversos parámetros de forma sencilla a través de una expresión sin requerir de un análisis de comportamientos individuales. Los índices permiten plantear metas a cumplir ya que posibilitan el control de la contaminación y su evaluación en un determinado tiempo. (Castro, M. 2017).

Los índices de contaminación que se emplearon en la investigación serán índice de contaminación por mineralización (ICOMI), el índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS), el índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO) y el índice de contaminación trófico (ICOTRO), los cuales permiten evaluar de forma explícita e implícita las principales variables involucradas en la calidad del agua; conductividad, dureza, alcalinidad, sólidos suspendidos, porcentaje de saturación de oxígeno, demanda biológica de oxígeno (DBO5), Fósforo total y Coliformes totales. (Universidad del Valle, 2004).

Impactos ambientales al recurso hídrico por explotación minera.

Ocurre la generación de drenajes ácidos generados por la oxidación de sulfuros en los minerales, desechos liberados a aguas superficiales y subterráneas y utilización de reactivos químicos que contribuyen a la generación de sedimentos y sólidos totales. (González, 2001).

Pueden presentarse los drenajes ácidos dependiendo de la hidrología del lugar. La liberación de metales pesados aumenta con la exposición de rocas a ambientes oxidantes y el nivel de acidez se ve influenciado por la presencia de bacterias.

La contaminación por metales pesados ocurre cuando las rocas por su contenido natural de metales pesados entran en contacto con el río siendo arrastrados río abajo; además este proceso se intensifica cuando se produce la trituración y excavación del mineral y queda expuesta mayor área superficial. (Moran, 2002).

La erosión en la tierra es una de las consecuencias de la explotación de las rocas en la minería, además del transporte de los sedimentos a ríos y lagos.

Arsénico.

En la naturaleza se encuentra como mineral de Cobalto, aunque generalmente está en la superficie de las rocas combinado con azufre o metales como el Mn, Fe, Co, Ni, Ag o Sn. El principal mineral del arsénico es el FeAsS (arsenopirita) y se usa en tratamiento de maderas, productos agrícolas (pesticidas, herbicidas) bronceadores de piel, anticorrosivos, vidrio, cerámica, pinturas, pigmentos, medicamentos.

En humanos la toxicidad crónica con arsénico causa lesiones en piel (queratosis, hiperqueratosis, hiper-pigmentación) y lesiones vasculares en sistema nervioso e hígado.

Las complicaciones agudas aparecen por exposición a dosis elevadas y pueden ser letales, sus primeros efectos suelen ser fiebre, hepatomegalia, melanosis, arritmia cardíaca, neuropatía periférica, anemia y leucopenia. (Reyes Y, Vergara I, 2016).

Mercurio.

Número atómico 80 y peso atómico 200. Es un líquido blanco plateado a temperatura ambiente. El mercurio forma soluciones- amalgamas con otros metales (oro, plata, platino, uranio, cobre, plomo, sodio y potasio), se encuentra comúnmente como sulfuro, también como rojo de cinabrio, en menor abundancia metacinabrio negro y el menos común cloruro de mercurio.

La intoxicación crónica por mercurio se presenta temblores, hipertrofia de tiroides, taquicardia, gingivitis, cambios en la personalidad, eretismo, pérdida de memoria, depresión severa, delirios y alucinaciones. Los tres rasgos más usados para reconocer la enfermedad profesional en la industria son la excitabilidad, los temblores y la gingivitis. La inhalación de altas concentraciones de mercurio puede provocar bronquitis corrosiva y neumonías agudas que causan la muerte. La exposición crónica ocasiona daños al sistema nervioso central. (Londoño, 2016).

Evaluación de impacto ambiental.

La evaluación de impacto ambiental (EIA) surge en Estados Unidos a partir de la necesidad de cambio en los aspectos ambientales durante el año 1969 dadas las acciones negativas generadas por el hombre. En tiempos posteriores esta herramienta fue adoptada por diversos países en el mundo abarcando los fenómenos naturales, sociales y económicos de políticas, proyectos y demás actividades.

La evaluación del impacto ambiental (EIA) debe considerar y ocuparse de la variabilidad, la interpretación y el manejo del cambio ambiental y debe generarse en un contexto que permita las condiciones que se requieran para su aplicación.

En el contexto internacional la EIA corresponde a un proceso de carácter jurídico y administrativo utilizado para decidir sobre la viabilidad de ejecutar un proyecto, obra o actividad que potencialmente puede generar impactos sobre el ambiente. (Toro, 2009). En Colombia, la EIA permite la identificación y valoración de los impactos ambientales que un proyecto, obra o actividad puedan generar (Martínez, 2010).

Para Conesa (1997), la EIA es un “procedimiento analítico orientado a formar un juicio objetivo sobre las consecuencias de los impactos derivados de la ejecución de una determinada actividad” la cual puede regirse bajo una metodología cualitativa correspondiente a un método matricial de causa-efecto que indica las características y el nivel de complejidad del proyecto que se está evaluando; Conesa resume la metodología cualitativa en los siguientes pasos:

- 1 Identificación de las acciones cualitativa potencialmente impactantes.
- 2 Identificación de los factores del medio potencialmente impactados.
- 3 Identificación de relaciones causa- efecto entre acciones del proyecto y factores del medio, elaboración de la matriz de importancia y valoración cualitativa del impacto.
- 4 Valoración cualitativa de las acciones y los factores ambientales.

1. Identificación de las acciones del proyecto potencialmente impactantes.

Se identifican las acciones susceptibles a generar impactos las cuales se fundamentan en los siguientes aspectos:

- Acciones que modifiquen el uso del suelo.
- Acciones que generen contaminantes a la atmósfera, aguas y suelo.
- Acciones que impliquen sobreexplotación de materias primas.
- Acciones que actúan sobre el medio biótico generando efectos negativos en las especies.
- Acciones que deterioren el paisaje por cambios en el suelo, vegetación y/o agua.
- Acciones que modifiquen el entorno social, económico y cultural.
- Acciones derivadas del incumplimiento de la normatividad ambiental vigente.

2. Identificación de los factores del medio potencialmente impactados.

Esta fase tiene como finalidad detectar aspectos del ambiente sobre los cuales pueden ocurrir cambios positivos o negativos ante las acciones del proyecto en sus diferentes etapas. Para este proceso Conesa (1997) plantea el modelo presentado a continuación:

Tabla 6. Componentes ambientales en la metodología de valoración cualitativa.

SISTEMA AMBIENTAL	SUBSISTEMA AMBIENTAL		COMPONENTE AMBIENTAL
			Atmósfera
	MEDIO INERTE	O	Suelo
	ABIOTICO		Agua
MEDIO FÍSICO			
	MEDIO BIÓTICO		Fauna-Flora
	MEDIO PERCENTUAL		Paisaje
			Uso del territorio

				Cultura
MEDIO	SOCIO-	MEDIO	SOCIO-	Infraestructura
ECONÓMICO	Y	CULTURAL		Humanos y estético
CULTURAL				Economía
		MEDIO ECONÓMICO		Población

Fuente. Conesa, 1997.

3. Identificación de relaciones causa-efecto entre acciones del proyecto y factores del medio, elaboración de la matriz de importancia y valoración cualitativa del impacto.

Una vez realizados los pasos 1 y 2 se realiza el análisis de las interacciones medio- acción, que dará como resultado la identificación de los impactos y a partir de allí se inicia la valoración cualitativa.

4. Valoración cualitativa de las acciones y factores del proyecto.

Posterior a la ponderación de los factores ambientales se procede a valorar la importancia de los impactos que cada acción genera en los factores ambientales, esto permite identificar las acciones con mayor y menor potencialidad para generar impactos positivos y negativos.

Medidas de control. El Decreto 1220 de 2005 establece la reglamentación de las licencias ambientales las cuales se establecen a continuación; una vez determinados los impactos ambientales se implementan las medidas de control que para este tipo de impacto son corrección, prevención, mitigación y compensación.

Medidas de corrección. Son las acciones dirigidas a recuperar, restaurar o reparar las condiciones del medio ambiente afectado por el proyecto, obra o actividad.

Medidas Preventivas. Medidas que se implementan con la finalidad de disminuir los daños ocasionados con la actividad. Estas se consideran las más eficientes ya que solucionan los impactos directos e indirectos y los costos de aplicación son más rentables a largo plazo.

Medidas de mitigación. Permiten reducir o reparar los daños que son inevitables que se generen por las acciones de la actividad, se proponen las medidas necesarias para detener los impactos negativos.

Medidas de compensación. Acciones dirigidas a resarcir y retribuir a la comunidad por los impactos negativos que no puedan evitarse, corregirse o mitigarse.

Marco Legal

La normatividad relacionada al cumplimiento de los objetivos trazados en la presente investigación se dispone a continuación:

Tabla 7. Normatividad

Norma	Año	Artículo	Concepto
Decreto 1076	2015		Único reglamento del sector de ambiente y Desarrollo Sostenible en el que se establecen los parámetros de calidad por uso, destinación del agua, control de vertimientos y ordenamiento del recurso hídrico.
Decreto 1594	1984	72, 74, 38, 39	Art. 72. Normas de vertimiento: Todo vertimiento de agua debe cumplir características específicas.

Art. 74. De las concentraciones para el control de la carga de sustancias de interés sanitario.

Art. 38. De los criterios de calidad admisibles para uso del recurso de agua en consumo humano y doméstico, para la cual se requiere tratamiento convencional para su potabilización.

Art. 39. De los criterios de calidad admisibles para uso del recurso de agua en consumo humano y doméstico, para la cual se requiere tratamiento de desinfección para su potabilización.

Decreto 3930	2010 4, 7	Establece la Norma de Vertimientos Puntuales a Cuerpos de Aguas Superficiales y a los Sistemas de Alcantarillado Público
	Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 ^a de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II del	Artículo 4. Las autoridades ambientales competentes son las encargadas de realizar el ordenamiento (clasificación y destino) del recurso hídrico.
		Artículo 7. Parámetros para tener en consideración para determinar las capacidades asimilativas de sustancias biodegradables o la dilución de

Decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones.	sustancias no biodegradables presentes en recurso hídrico. 1. DBO ₅ : Demanda bioquímica de oxígeno a cinco (5) días. 2. DQO: Demanda química de oxígeno. 3. SS: Sólidos suspendidos. 4.pH: Potencial de ión hidronio, H ₃ O ⁺ 5. T: Temperatura 6. OD: Oxígeno Disuelto 7. Q: Caudal 8. Datos hidrobiológicos 9. Coliformes totales y coliformes fecales.	
Decreto 2811	1974 80, 86, 134, 138	<p>Por el cual se dicta el código Nacional de Recursos Naturales y de Protección al Medio Ambiental.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Las aguas son de dominios públicos, inalienables e imprescriptibles. - Derecho a utilizar las aguas de dominio público para satisfacer sus necesidades elementales, siempre que con ello no cause prejuicios a terceros. - Corresponde al Estado garantizar la calidad del

agua para consumo humano y, en general para las demás actividades que en su uso es necesario.

- Se fijarán zonas en que quede prohibido descargar, sin tratamiento previo y en cantidades y concentraciones que sobrepasen los niveles admisibles, aguas negras o residuales de fuentes industriales o domésticas, urbanas o rurales, en las aguas superficiales.

Decreto 1575	2007	Establece un sistema para la protección y control de la calidad del agua para consumo humano.
Decreto 1323	2007	Mediante el cual se crea el sistema de información del recurso hídrico.
Decreto 933	2013	Define la minería tradicional, tramite para la formalización de mineros tradicionales, causales de rechazo.

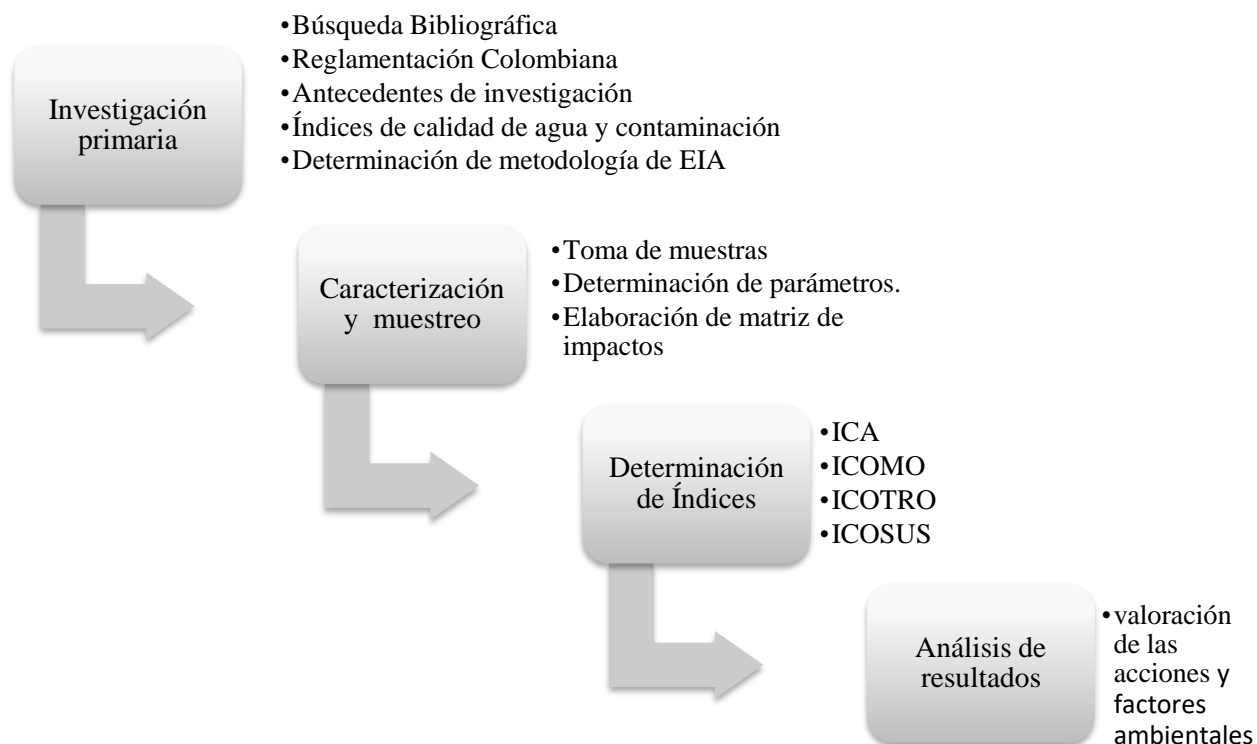
Decreto 1541	1978	Art. 211. Por el cual se reglamenta la parte III del Libro II del Decreto ley 2811 de 1974:” De las aguas no marítimas” y parcialmente la Ley 23 de 1973”.	Se prohíbe verter, sin tratamiento, residuos sólidos, líquidos o gaseosos, que puedan contaminar eutrofizar las aguas, causar daño o poner en peligro la salud humana o el normal desarrollo de la flora o fauna, o impedir u obstaculizar su empleo entre otros.
Ley 9ª	1979		Medidas sanitarias y de control sanitario del uso del agua.
Ley 99	1993		Por la cual se crea el Ministerio de Medio Ambiente, se reordena al Sector Público encargado de la gestión y la conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA y se dictan otras disposiciones.

Ley 373	1997	Por la cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua.
Ley 658	2001	Por la cual se expide el Código de Minas, introduce algunas modificaciones sobre multas, reservas mineras, prohibiciones a la minería por razones ambientales, Plan Nacional de Ordenamiento Minero, adiciona causales de caducidad y suspensión por razones de seguridad minera, control a la explotación ilícita.
Resolución 0631	2015 10	Establece los valores máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado. Artículo 10. Establece los valores de los parámetros para máximos permitidos según su aplicación.
Resolución 2115	2007	La cual señala características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano.

Aspectos Metodológicos

La metodología de la presente investigación se estructura según las etapas mostradas en la Figura 2, donde se evidencia la consecución de las fases que permitieron alcanzar los objetivos planteados.

Figura 2. Diseño metodológico



Fuente. Elaboración propia.

Técnicas e instrumentos

Recolección de información de antecedentes de investigación y bibliografía, evaluación de resultados a través del análisis de la caracterización físico química de los puntos a evaluar de la quebrada Angosturas para determinar el grado de contaminación del recurso hídrico como resultado de las actividades mineras llevadas a cabo como

principal actividad económica del municipio; se realizó la determinación analítica de los indicadores ICA e ICOs para determinar la calidad del agua en el punto de monitoreo seleccionado.

La metodología a implementada para la evaluación del impacto ambiental correspondió a una valoración cualitativa por medio de un proceso destinado a prever e informar sobre los efectos que una determinada actividad podría ocasionar.

El método matricial causa- efecto fue seleccionado para la presente investigación ya que combina la evaluación cualitativa con la evaluación cuantitativa. Conesa (1997) formuló parámetros y estableció una serie de atributos (Tabla 8), que al plasmarlos en la ecuación propuesta por el autor arrojan un resultado numérico, que corresponden a la importancia del impacto; posteriormente establece un rango de 0-100 y a los cuatros rangos propuestos le asigna la clase de efecto que hace referencia a si es compatible, moderado, crítico o severo y a su vez establece un color para cada uno como se observa en la Tabla 9. (Alcaldía mayor de Bogotá, 2013).

Tabla 8. Resumen parámetros de calificación de importancia ambiental.

CRITERIO/RANGO	CALIF.	CRITERIO/RANGO	CALIF.
NATURALEZA		INTENSIDAD (IN) (Grado de destrucción)	
Impacto benéfico	+	Baja	1
Impacto perjudicial	-	Media	2
		Alta	4
		Muy alta	8
		Total	12
EXTENSIÓN (EX)		MOMENTO (MO) (Plazo de manifestación)	
Puntual	1	Largo plazo	1
Parcial	2	Medio Plazo	2
Extensa	4	Inmediato	4
Total	8	Crítico	(+4)
Crítica	(+4)		
PERSISTENCIA (PE)		REVERSIBILIDAD (RV)	
Fugaz	1	Corto plazo	1
Temporal	2	Medio plazo	2
Permanente	4	Irreversible	4

CRITERIO/RANGO	CALIF.	CRITERIO/RANGO	CALIF.
SINERGIA (SI)		ACUMULACIÓN (AC) (Incremento progresivo)	
Sin sinergismo (simple)	1	Simple	1
Sinérgico	2	Acumulativo	4
Muy sinérgico	4		
EFEECTO (EF)		PERIODICIDAD (PR)	
Indirecto (secundario)	1	Irregular o aperiódico o discontinuo	1
Directo	4	Periódico	2
		Continuo	4
RECUPERABILIDAD (MC)		IMPORTANCIA (I)	
Recuperable inmediato	1	$I = (3IN + 2EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + MC)$	
Recuperable a medio plazo	2		
Mitigable o compensable	4		
Irrecuperable	8		

Fuente. Alcaldía mayor de Bogotá. 2013.

A continuación, se presenta el algoritmo para determinar la importancia del impacto ambiental:

$$I = (3IN + 2EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + MC)$$

Donde:

IN= Intensidad	EX= Extensión
MO= Momento	PE= Persistencia
RV= Reversibilidad	SI= Sinergia
AC= Acumulación	EF=Efecto
PR=Periodicidad	MC= Recuperabilidad

Tabla 9. Rangos de importancia del efecto

Rango de importancia	Clase de efecto	Trama
$0 \leq 25$	Compatible	Verde
$26 \leq 50$	Moderado	Amarillo
$51 \leq 75$	Crítico	Rojo
$76 \leq 100$	Severo	Naranja
Los valores con signo positivo (+) se consideran de impacto nulo		Azul

Fuente. Alcaldía mayor de Bogotá. 2013

Los criterios de evaluación y su significado se presentan en la Tabla 10.

Tabla 10. Criterios de evaluación

CRITERIOS		SIGNIFICADO
Signo	positivo (+)/negativo (-)	Hace alusión al carácter benéfico (+) o perjudicial (-) de las distintas acciones que van a actuar sobre los distintos factores considerados.
intensidad	IN	Grado de incidencia de la acción sobre el factor en el ámbito específico en el que actúa. Varía entre 1 y 12, siendo 12 la expresión de la destrucción total del factor en el área en la que se produce el efecto 0 y 1 una mínima afectación.
Extensión	EX	Área de influencia teórica del impacto en relación con el entorno de la actividad (% de área, respecto al entorno, en que se manifiesta el efecto). Si la acción produce un efecto muy localizado, se considera que el impacto tiene un carácter puntual (1). Si, por el contrario, el impacto no admite una ubicación precisa del entorno de la actividad, teniendo una influencia generalizada en todo él, el impacto será Total (8). Cuando el efecto se produce en un lugar crítico, se le atribuirá un valor de cuatro unidades por encima del que le correspondía en función del % de extensión en que se manifiesta.
Momento	MO	Alude al tiempo entre la aparición de la acción que produce el impacto y el comienzo de las afectaciones sobre el factor considerado. Si el tiempo transcurrido es nulo, el momento será Inmediato, y si es inferior a un año, Corto plazo, asignándole en ambos casos un valor de cuatro (4). Si es un período de tiempo mayor a cinco años, Largo Plazo (1).

Persistencia	PE	Tiempo que supuestamente permanecerá el efecto desde su aparición y, a partir del cual el factor afectado retornaría a las condiciones iniciales previas a la acción por los medios naturales o mediante la introducción de medidas correctoras.
Reversibilidad	RV	Se refiere a la posibilidad de reconstrucción del factor afectado, es decir, la posibilidad de retornar a las condiciones iniciales previas a la acción, por medios naturales, una vez aquel deje de actuar sobre el medio.
Recuperabilidad	MC	Se refiere a la posibilidad de reconstrucción, total o parcial, del factor afectado, es decir, la posibilidad de retornar a las condiciones iniciales previas a la acción, por medio de la intervención humana (o sea mediante la implementación de medidas de manejo ambiental). Cuando el efecto es irrecuperable (alteración imposible de reparar, tanto por la acción natural, como por la humana) le asignamos el valor de ocho (8). En caso de ser irrecuperable, pero existe la posibilidad de introducir medidas compensatorias, el valor adoptado será cuatro (4).
Sinergia	SI	Este atributo contempla el reforzamiento de dos o más efectos simples. La componente total de la manifestación de los efectos simples, provocados por acciones que actúan simultáneamente, es superior a la que cabría de esperar cuando las acciones que las provocan actúan de manera independiente, no simultánea.
Acumulación	AC	Este atributo da idea del incremento progresivo de la manifestación del efecto cuando persiste de forma continuada o reiterada la acción que lo genera. Cuando una acción no produce efectos acumulativos (acumulación

		simple), el efecto se valora como uno (1); si el efecto producido es acumulativo el valor se incrementa a cuatro (4).
Efecto	EF	Este atributo se refiere a la relación causa-efecto, o sea, a la forma de manifestación del efecto sobre un factor, como consecuencia de una acción. Puede ser directo o primario, siendo en este caso la repercusión de la acción consecuencia directa de ésta, o indirecto o secundario, cuando la manifestación no es consecuencia directa de la acción, sino que tiene lugar a partir de un efecto primario, actuando este como una acción de segundo orden.
Periodicidad	PR	Se refiere a la regularidad de manifestación del efecto, bien sea de manera cíclica o recurrente (efecto periódico), de forma impredecible en el tiempo (efecto irregular) o constante en el tiempo (efecto continuo).

Fuente. Martínez R. 2010.

Investigación Primaria

La búsqueda bibliográfica fue necesaria para realizar un análisis global y obtener un conocimiento e interpretación adecuada de los parámetros seleccionados, es decir, comprender las expresiones matemáticas que permitieron realizar cálculos para la determinación de los índices de calidad y contaminación de aguas (ICA e ICOs) sobre el punto de monitoreo seleccionado; posteriormente se obtuvieron los resultados y se realizó el diagnóstico, clasificación y toma de decisiones con respecto a la calidad de agua obtenida.

Caracterización y muestreo

La necesidad de determinar la calidad del agua y llevar a cabo una caracterización de un punto de vertimiento 50 metros aguas arriba y 50 metros aguas abajo de la quebrada Angosturas surgió a partir de la presencia mercurio, Arsénico, hierro y plomo por causa de la actividad minera desarrollada en el municipio según los registros del informe de gestión del AMB en el año 2018 y por ser este punto un afluente del río Vetás en el cual se ven afectadas 16 veredas de los municipios de Vetás, California y Surata. La ubicación del punto seleccionado depende de variables como, condiciones climáticas, accesibilidad y topografía. Las variables determinadas permitieron realizar un análisis de la calidad del agua en la zona escogida.

En el Anexo B se observa la toma de muestras en la fuente hídrica siguiendo los protocolos recomendados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Guía IDEAM, 2004), para ello, los investigadores se desplazaron hasta los puntos indicados, realizando el muestreo (equipos suministrados por la empresa PSL PROANÁLISIS LTDA), preservación y transporte de las muestras al laboratorio.

Posterior a la toma de muestras, estas fueron trasladadas al laboratorio PSL PROANÁLISIS LTDA, empresa privada que facilitó las instalaciones, materiales y equipos, para el análisis fisicoquímico y microbiológico, donde se determinaron los parámetros necesarios para estudiar la calidad y contaminación de los puntos de interés.

Para comprender mejor el desarrollo de los índices de determinación de la calidad del agua en el Anexo E se listan los métodos que se emplearon para la determinación analítica de cada parámetro solicitado al laboratorio de servicios.

Tipo de muestras.

El tipo de muestra seleccionado para caracterizar es puntual, ya que representa la composición del cuerpo de agua original; las muestras se tomaron en un sitio determinado y en una sola ocasión.

Se garantizó la integridad de las muestras para su preservación durante un periodo de tiempo en el cual se procuró que la realización fuese lo más rápido posible para evitar errores por deterioro de muestras. (Atencia C, 2007).

Muestras Físicoquímicas.

Las muestras físicoquímicas “in situ” fueron tomadas aguas abajo y aguas arriba; en estos dos puntos se determinó el pH, la conductividad, el oxígeno disuelto, la temperatura y el caudal. Los resultados se presentan en el Anexo C. donde se observó una diferencia significativa en los valores obtenidos en la conductividad y la temperatura siendo superior los valores obtenidos aguas abajo. Estos parámetros presentaron variación por las condiciones propias del terreno, ubicación geográfica y el proceso productivo de extractivo.

Determinación de índices de calidad del agua y contaminante**Índice de calidad de agua (ICA).**

La determinación y evaluación de los parámetros de la Tabla 1 se realizaron de acuerdo con el índice de calidad del agua y su comparación con el Estatuto Sanitario y el Decreto 1594 de 1984 señalado en el Informe Anual de Recursos Naturales de la CDMB. Las interpretaciones de los resultados de los índices de calidad del agua se realizaron por medio de la Tabla 4 donde se encuentra la relación entre el valor ICA calculado y la

clasificación del agua según los intervalos establecidos. (Informe Anual Recursos Naturales CDMB, 2016).

Índice de calidad de contaminantes (ICOs).

El informe de recursos naturales indica las formulaciones necesarias para el cálculo de los índices de contaminación denominados ICOs los cuales involucran en un solo parámetro numerosas variables que conllevan a que no exista correspondencia en el puntaje de calidad de agua con el tipo de contaminación en una corriente.

Las formulaciones de estos índices de contaminación tuvieron como base reglamentaciones nacionales e internacionales para distintos usos del agua; así como registros de aguas naturales colombianas y relaciones con otros autores.

El procedimiento metodológico indica cuatro índices de contaminación los cuales están conformados por: ICOMI, ICOMO, ICOSUS e ICOTRO para posteriormente realizar el análisis e interpretación de estos. A continuación, se definen los parámetros y la forma de calcularlos:

Índice de contaminación por mineralización ICOMI.

Se expresa por medio de la conductividad en función de los sólidos disueltos, la dureza la cual reúne los cationes calcio y magnesio y la alcalinidad en función de los aniones de carbonato y bicarbonato.

Para el cálculo de ICOMI se aplican las siguientes expresiones:

$$ICOMI = \frac{1}{3} (I_{\text{Conductividad}} + Dureza + I_{\text{Alcalinidad}}).$$

$$I_{\text{Conductividad}} = -3,26 + 1,34 \log (\text{conductividad})$$

Si conductividad > 270 $\mu\text{S}/\text{cm}$, entonces $I_{\text{Conductividad}} = 1$

$$I_{\text{Dureza}} = -9,09 + 4,4 \log_{10} (\text{Dureza})$$

Si dureza > 110 mg/l, entonces $I_{\text{Dureza}} = 1$ Si

Si la dureza < 30 mg/l, entonces $I_{\text{Dureza}} = 0$

$$I_{\text{Alcalinidad}} = -0,25 + 0,005 (\text{Alcalinidad})$$

Si la alcalinidad > 250 mg/l, entonces $I_{\text{Alcalinidad}} = 1$

Si la alcalinidad < 50 mg/l, entonces $I_{\text{Alcalinidad}} = 0$

Índice de contaminación por materia orgánica ICOMO.

Para su determinación se tiene en cuenta las variables físico químicas de Demanda Biológica de Oxígeno (DBO_5), Coliformes Totales y porcentaje de saturación de oxígeno.

La demanda Biológica de Oxígeno permite determinar la cantidad de materia consumida por medios biológicos contenidos en una muestra líquida, el porcentaje máxima de saturación de oxígeno mide la cantidad de oxígeno en el agua comparada con la cantidad de esta a igual temperatura y presión. Los coliformes totales, incluyen los grupos de bacterias que se determinan por pruebas en estado de aislamiento. El cálculo del ICOMO se determina por medio de las expresiones:

$$ICOMO = \frac{1}{3} (I_{\text{DBO5}} + I_{\text{Colif.Total}} + I_{\text{Oxígeno}})$$

Donde:

$$I_{DBO5} = -0,05 + 0,70 \log_{10} (DBO5)$$

Si DBO5 > 30 mg/l, entonces I DBO5 = 1

Si DBO5 < 2 mg/l, entonces I DBO5 = 0

$$I_{Colif.Total} = -1,44 + 0,56 \log_{10} (Colif Total)$$

Si Coliformes Totales > 20000 NMP/100 ml, entonces I Colif Total = 1

Si Coliformes Totales < 500 NMP/100 ml, entonces I Colif Total = 0

El I oxígeno se calcula por medio de la expresión:

$$I_{Oxígeno} = 1 + 0,01 Oxígeno (\%)$$

Si Oxígeno (%) mayor al 100%, I Oxígeno% = 0

Índice de contaminación por sólidos Suspendidos ICOSUS.

Para su determinación fueron requeridos los valores de las concentraciones de sólidos suspendidos; los cuales se relacionan con compuestos inorgánicos e impurezas visibles. Las principales causas de la presencia de este parámetro son los procesos extractivos. Se determina mediante la expresión:

$$ICOSUS = -0,02 + 0,003 Sólidos Suspendidos$$

Si sólidos suspendidos mayores a 340 mg/l, entonces ICOSUS = 1

Si sólidos suspendidos menores a 10 mg/l, entonces ICOSUS = 0

Índice de contaminación Tráfico ICOTRO.

Define el tipo de organismos vegetales que prevalecen y la eutrofización de los sistemas acuáticos por medio de la concentración de fósforo total la cual permite

determinar las variables que ocasionan la concentración de nutrientes. A continuación, se establecen las categorías que lo conforman:

Oligotrófico < 0.01 (mg/l)

Mesotrófico 0.01 - 0.02 (mg/l)

Eutrófico 0.02 - 1 (mg/l)

Hipereutrófico > 1 (mg/l)

La clasificación de la calidad del agua según los valores obtenidos se representa en la Tabla 11. (Ramírez y Viña, 1997).

Tabla 11. Clasificación de la Contaminación del Agua mediante los ICOs.

Valor del ICO	Clasificación de la contaminación
0- 0,2	Muy baja
0,2 – 0,4	Baja
0,4 – 0,6	Media
0,6- 0,8	Alta
0,8-1,0	Muy alta.

Fuente. CETESB 2002.

Resultados y discusión.

Caracterización y muestreo.

Con el fin de evaluar el impacto del vertimiento sobre el recurso hídrico en los puntos seleccionados en la quebrada Angosturas se escogieron 24 parámetros, cuidando seleccionar mensurados que abarcaran un comportamiento global y las características fisicoquímicas del agua, con particularidades fijas como: variables cómodas de medir, trazables, relevantes en su rol ecológico y con reconocimiento internacional a la hora de evaluar la calidad del agua nivel de oxígeno, sustancias disueltas, eutrofización y aspectos de salud, en los que se encuentran parámetros como fósforo total, conductividad, coliformes totales, nitrógeno total, dureza, arsénico total, mercurio total, sólidos suspendidos, entre otros.

En la tabla 12 se resumen los parámetros cuantificados para evaluación de la calidad del agua e índice de contaminación. Se tomaron muestras en dos puntos a nivel superficial, el primero, 50 metros arriba de vertimiento (aguas arriba) y 50 metros abajo del vertimiento (agua abajo).

Tabla 12. *Parámetros para evaluación de calidad del agua.*

Parámetro	Unidad	Aguas abajo	Aguas arriba
		Valor	Valor
Cambio de Temperatura	°C	4,00	4,00
Alcalinidad total	mg CaCO ₃ /L	23,4	21
Bicarbonatos	mg CaCO ₃ /L	23,4	21
Conductividad	μS/cm	101,2	49,3
Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO5)	mg O ₂ /L	2,4	9,2

Parámetro	Unidad	Aguas abajo	Aguas arriba
		Valor	Valor
Demanda Química de oxígeno (DQO)	mg O ₂ /L	< 10,3	15,3
Dureza Cálctica	mg CaCO ₃ /L	33,3	19,7
Dureza Magnésica	mg CaCO ₃ /L	14	4,4
Fósforo Total	mg P/L	0,050	0,050
Nitratos-Nitrógeno	mg NO ₃ -N/L	<0,400	<0,400
Nitritos-Nitrógeno	mg NO ₂ -N/L	0,041	<0,008
Nitrógeno Total	mg N/L	1,00	1,00
Oxígeno disuelto	mg/L	7,74	7,50
pH (25 °C)	Unidades de pH	7,23	7,20
Coliformes Fecales	NMP/ 100 mL	2,00	2,00
Coliformes totales	NMP/ 100 mL	8,3	27
Sólidos disueltos totales SDT	mg/L	50,30	24,4
Sólidos suspendidos totales SST	mg/L	5,5	5,5
Sólidos Totales	mg/L	54,3	25,4
Turbiedad	NTU	5,9	3,2

Los resultados están expresados en términos del promedio.

Teniendo en cuenta la tabla 12, se evidenció que para el punto aguas abajo se presenta un aumento en el valor de los parámetros fisicoquímicos de Conductividad, Dureza Cálctica, Dureza Magnésica, Sólidos Disueltos Totales y Sólidos Totales, con respecto a los valores reportados para aguas arriba, situación que podría verse favorecida por la mineralización natural que tiene lugar en el punto de muestreo.

En el punto aguas arriba, los resultados indicaron el incremento de parámetros fisicoquímicos (DBO₅, DQO) y microbiológicos (Coliformes Totales), con respecto a los

valores aguas abajo, indicando mayor presencia de materia orgánica. Sin embargo, estos resultados se evaluaron detalladamente mediante los Índices de Contaminación – ICOs.

En términos generales, los parámetros evaluados y resumidos en la tabla 12, cumplen con las características fisicoquímicas con valores por debajo a los máximos aceptables para el agua para consumo humano, aguas superficiales y sistemas de alcantarillado público, de acuerdo con las resoluciones 2115 del 2007, la 631 del 2015 y el decreto 1594 de 1984.

Evaluación del impacto ambiental.

Con el fin de identificar posibles impactos generados al ecosistema derivados de la minería artesanal se llevó a cabo un estudio de impacto ambiental (EIA), como una herramienta de prevención y control en el contexto del Sistema Nacional Ambiental (Toro, Requena & Zamorano, 2010).

El estudio se desarrolló con ayuda del método matricial cualitativo, con el modelo general adaptado a la legislación española por Conesa (2006) sin modificaciones, por facilidad de manejo, bajo costo y rapidez en la obtención de resultados, además, de ser la metodología más común en el marco nacional, un 67% de los EIA realizados en Colombia fueron realizados con ayuda de esta metodología.

Se seleccionaron 10 atributos determinantes desde la perspectiva conceptual y técnica para la valoración de impactos ambientales y detallados en la metodología de la presente investigación.

La matriz presenta resultados interesantes pues deja en evidencia que los componentes ambientales evaluados, en términos generales, presentan efectos

compatibles o moderados e inclusive en algunos casos con nivel de importancia nulo. Los resultados obtenidos para la EIA sobre el vertimiento en la quebrada angosturas se resumen en la tabla 13 y anexo A.

Tabla 13. Matriz evaluación de impacto ambiental.

ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTALES		IMPORTANCIA	ACCIONES DE CONTROL
COMPONENTE AMBIENTAL	Reducción cobertura vegetal	-25	Correctiva
	Deterioro del paisaje	-32	Correctiva
	Contaminación agua por sólidos	-41	Correctiva
	Contaminación del suelo	-35	Correctiva
	Pérdida de cobertura vegetal	-25	Correctiva
	Cambios en el uso del suelo	-44	Correctiva
	Desplazamiento de viviendas y familias	+13	Preventiva
	Agotamiento de recursos naturales	-30	Correctiva
	Disminución del recurso hídrico	-50	Correctiva
	Contaminación visual	-48	Correctiva
	Contaminación sonora	+13	Preventiva
	Deterioro del ecosistema	-44	Correctiva
	Incomodidad de la comunidad	+13	Preventiva
	Activación de procesos erosivos	-37	Correctiva
	Afectación de la infraestructura pública y privada	+13	Preventiva
	Movimiento del macizo rocoso	+13	Preventiva
	Emisión de material particulado	+13	Preventiva

La inserción en un territorio genera curiosidad, interés o rechazo en muchas de las actividades presentes en la zona, pudiendo causar efectos adversos y subjetivos en la población y en el área de influencia; esto se manifiesta en la calificación del impacto ya que según los valores expuestos en la tabla 12 permiten observar que para los componentes relacionados con la reducción y pérdida de cobertura vegetal la sumatoria no excede los 25 puntos, clasificándose como compatibles, por lo cual, los autores según lo dispuesto en el Decreto 2820 de 2010 en el artículo 1 correspondiente a las definiciones y las medidas de prevención, mitigación, corrección y compensación para actividades con efectos ambientales que para la presente investigación, teniendo en cuenta que el impacto generado es de baja intensidad y reversible, recomiendan que las medidas preventivas y correctivas estén encaminadas principalmente al seguimiento del comportamiento de los medios bióticos, abióticos y de recursos naturales frente a la ejecución de la actividad desarrollada en el área de estudio, para ello, se propone realizar visitas periódicas, presentar requerimientos si se observan alteraciones a los parámetros iniciales, implementar medidas de reciclaje de agua, recuperación de energía y aprovechamiento de subproductos y residuos; esto con el fin de controlar los efectos negativos que genera la actividad humana en el entorno natural.

Por otra parte, los resultados mostraron niveles moderados según la categorización de la matriz Conesa para componentes que involucran mediciones relacionadas con deterioro del paisaje, contaminación de aguas, contaminación y cambios en usos de suelo, agotamiento de recursos naturales y deterioro del ecosistema; por lo anterior, se recomiendan acciones correctivas que logren recuperar y restaurar el

ecosistema aledaño al punto de estudio en la quebrada Angosturas. Finalmente se evidenció un impacto nulo sobre la población o su entorno próximo soportado con los resultados obtenidos para los componentes ambientales que evalúan desplazamiento de viviendas y/o familias, contaminación sonora, incomodidad de la comunidad y afectación de la infraestructura pública y privada; para estos últimos se sugiere acciones preventivas que logren garantizar un estatus de impacto nulo de forma permanente.

Determinación de índices de calidad del agua (ICA).

Los parámetros empleados en los ICA son una herramienta útil para la evaluación de la calidad del agua ya que permiten la comparación de la normatividad con el uso evaluado, lo cual puede favorecer la evaluación de la fuente hídrica con variaciones de calidad en el tiempo y facilitar la aplicación según las condiciones particulares de una región; para la presente investigación, cada uno de los factores de calidad (Q-valor), así como el ICA para los dos puntos evaluados en esta investigación fue calculado con ayuda de la página web oficial del centro de investigación de agua de Estados Unidos (Water Research Center) y reconfirmado con ayuda del software ICATEST, programa diseñado y desarrollado en la universidad de Pamplona por el grupo de investigación en recursos naturales y el grupo de investigación en ciencias computacionales.

Los resultados mostraron que el punto aguas arriba posee un índice de calidad con un valor ponderado de 82, lo que permite clasificar este punto según la categorización ICA-NSF-CETESB con una calidad excelente. Los datos obtenidos de los parámetros evaluados para el punto aguas arriba se resumen en la tabla 14.

Tabla 14. Índices de calidad aguas arriba

Parámetro	Unidad	Resultado	Q-Valor	Factor de ponderación	Subtotal
Oxígeno disuelto	mg/L	7,50	91	0,17	2,15
Coliformes fecales	NMP/ 100 mL	2,00	91	0,16	2,06
pH	Unidades de pH	7,20	88	0,11	1,64
DBO ₅	mg O ₂ /L	9,20	38	0,11	1,49
Fósforo total	mg P/L	0,050	98	0,10	1,58
Nitrógeno total	mg N/L	1,00	96	0,10	1,58
Cambio Temperatura	°C	4,00	77	0,10	1,54
Sólidos totales	mg/L	25,4	84	0,07	1,36
Turbiedad	NTU	3,2	90	0,08	1,43
Sumatoria índices					82

Los resultados obtenidos para el punto de evaluación aguas abajo permiten sugerir que la fuente hídrica no pierde su calidad y se mantiene como excelente según la categorización del ICA-NSF-CETESB. Los datos obtenidos para los parámetros aguas abajo se resumen en la tabla 15, mostrando algunas diferencias no significativas en el valor de la sumatoria de los índices.

Tabla 15. Índice de calidad agua abajo

Parámetro	Unidad	Resultado	Q-Valor	Factor de ponderación	Subtotal
Oxígeno disuelto	mg/L	7,74	93	0,17	2,16
Coliformes fecales	NMP/ 100 mL	2,00	91	0,16	2,06
pH	Unidades de pH	7,23	88	0,11	1,64
DBO ₅	mg O ₂ /L	2,40	80	0,11	1,62

Parámetro	Unidad	Resultado	Q-Valor	Factor de ponderación	Subtotal
Fósforo total	mg P/L	0,050	98	0,10	1,58
Nitrógeno total	mg N/L	1,00	96	0,10	1,58
Cambio Temperatura	°C	4,00	77	0,10	1,54
Sólidos totales	mg/L	54,3	87	0,07	1,36
Turbiedad	NTU	5,90	84	0,08	1,43
Sumatoria índices					89

Otros investigadores han reportado datos similares a los hallados en este trabajo; en el año 2017 Rodríguez realizó una evaluación de la calidad del agua del río Vetás relacionada con la minería aurífera practicada en la provincia de Soto en Santander; este autor tuvo entre sus principales afluentes de estudio las quebradas Angosturas con punto de monitoreo a 50 metros abajo de la desembocadura de la quebrada la Baja en el río Vetás en el municipio de California, la quebrada recibe los vertimientos líquidos y los residuos sólidos de la actividad minera de esta zona.

Los resultados obtenidos permiten inferir que una muestra de agua puede aparentar una buena calidad, a pesar de que alguna(s) variable(s) exhiban algún grado de contaminación, puesto que la presencia conjunta de múltiples variables esconde o enmascaran tal condición. La ponderación de la incidencia de cada uno de estos factores, en la determinación final del ICA, es subjetiva y, por ende, susceptible de proporcionar resultados diversos bajo las mismas condiciones, porque depende del criterio del profesional a cargo de la investigación y evaluación de los resultados obtenidos. Dos

cuerpos de agua con condiciones fisicoquímicas ampliamente opuestas pueden obtener un igual valor del índice de calidad ICA. Por tanto, éstos pueden conducir a falsas interpretaciones. En los parámetros evaluados para la quebrada angosturas se lograron evidenciar diferencias entre algunos de los parámetros evaluados, específicamente, demanda biológica de oxígeno, sólidos totales y turbiedad, pero estos eventos no se podrán ver explícitos a la hora de clasificar la fuente hídrica con el método usado y, por tanto, quedan ocultos y no podrá conocerse con precisión lo que sucede en el cuerpo de agua evaluado.

Determinación de índices de contaminación (ICO).

Debido a las limitaciones manifiestas en el ICA, a continuación, se calcularon los índices de contaminación (ICO), los cuales son complementarios en sentido ecológico y, por lo tanto, permiten precisar problemas ambientales, así como profundizar en la identificación de especies con potencial indicador.

Con los datos recolectados se calcularon cada uno de los índices seleccionados en esta investigación con ayuda del software ICATES, herramienta de apoyo a la investigación que facilita los procedimientos de cálculo de índices de contaminación y se evitan errores manuales en las fórmulas.

Los resultados obtenidos para los 4 índices de contaminación (ICOMI, ICOMO, ICOSUS e ICOTRO) evaluados para los puntos de muestreo se resumen en la tabla 16.

Tabla 16. Índices de contaminación (ICOs)

Índice de contaminación	Sigla	Resultado	
		Agua arriba	Aguas abajo
Índice de contaminación por mineralización	ICOMI	0,034	0,095
Índice de contaminación por sustancias orgánicas	ICOMO	0,258	0,112
Índice de contaminación por solidos suspendidos	ICOSUS	0,056	0,143
Índice de contaminación por trófica	ICOTRO	0,050	0,050

Estos resultados permitieron la categorización de cada uno de los índices de acuerdo con (Ramírez y Viña, 1997), los cuales se resumen en la tabla 17 y lograron mostrar, en forma general, que existe una clasificación de agua con muy baja contaminación para los dos puntos de muestreo.

Tabla 17. Categorización de los índices de contaminación ICOs

Índice de contaminación	Sigla	Clasificación de la contaminación	
		Agua arriba	Aguas abajo
Índice de contaminación por mineralización	ICOMI	Muy baja	Muy baja
Índice de contaminación por sustancias orgánicas	ICOMO	Baja	Muy baja
Índice de contaminación por solidos suspendidos	ICOSUS	Muy baja	Muy baja
Índice de contaminación trófica	ICOTRO	Eutrófico	Eutrófico

De los resultados obtenidos para cada uno de los índices de contaminación y resumidos en las tablas 17 y 18 se puede hacer diferentes inferencias con relación a alguna posible contaminación. Lo primero que se evidenció está relacionado con el

ICOMI; se logró deducir que no existe contaminación por mineralización en ninguno de los puntos de muestreo, los valores de ICOMI fueron menores a 0,2 con una clasificación por contaminación muy baja. Los datos primarios permiten sugerir que el ICOMI está influenciado principalmente por la conductividad eléctrica ya que la dureza y la alcalinidad totales fueron muy bajas. Estos resultados son congruentes con valores reportados para fuentes hídricas que no han sido modificadas por uso doméstico, industrial o agrícola, como es el caso de la investigación desarrollada por Chavarro (2016), quien caracterizó la calidad del agua de la quebrada Fuchas al suroriente de Bogotá. Por su parte Zabala E. (2018), realizó un estudio para la determinación de los índices de calidad y contaminación sobre tramos superficiales del río Oro y Vetás, recursos hídricos pertenecientes al área metropolitana de Bucaramanga, reportando valores de ICOMI similares a los hallados en esta investigación.

Así mismo, los valores de alcalinidad total, dureza total y conductividad, en los dos puntos son menores al límite permitido de acuerdo con las resoluciones 2115 del 2007, la 631 del 2015 y el decreto 1594 de 1984, (alcalinidad total: 200 mg/l, dureza total: 300 mg/l y conductividad menor a 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$), lo que indica que con respecto a la mineralización el agua sería apta para el consumo humano.

De forma similar, los datos permiten realizar un análisis para otro de los índices evaluados para los puntos de interés en esta investigación. El relacionado con el índice de contaminación por sustancias orgánicas ICOMO. Los autores se permiten mencionar que fue el único que presentó calidad baja para el punto aguas arriba, en relación con la clasificación, y en comparación a los demás índices donde todos obtuvieron una

clasificación muy baja, la conclusión directa al observar los resultados para el punto aguas arriba sería que presenta contaminación por sustancias orgánicas mayor que aguas abajo, resultados confuso, y sin lógica desde el punto de vista ecológico y fisicoquímico, no es de esperar que el vertimiento mejore las características del recurso hídrico. Esto conduce a una conclusión errónea con relación a la clasificación del agua por el ICOMO. Con el fin de elucidar esta posible conclusión, se debe recordar que el cálculo del ICOMO es la suma ponderada de tres parámetros; la demanda biológica de oxígeno, coliformes totales y oxígeno disuelto, variables que miden de forma indirecta las sustancias orgánicas biodegradables y los microorganismos presentes en la muestra. Por esta razón se deben evaluar los datos primarios por separado y analizar estos parámetros a fondo.

La demanda biológica de oxígeno (9,2 mg O₂/L) para el punto aguas arriba mostró una cantidad mayor frente al valor hallado para el punto aguas abajo (2,4 mg O₂/L), el mismo comportamiento fue observado para los coliformes totales, pasado de 27 NMP/ 100 mL a 8,3 NMP/100 mL, esta conducta se podría explicar debido a los diferentes niveles y grados de inclinación que lograron observarse en los puntos de muestreo, para aguas arriba la quebrada se encuentra completamente horizontal, lo que permite una acumulación de material orgánico y microorganismos incrementando la demanda biológica de oxígeno, de forma opuesta el punto aguas abajo presenta un cambio dimensional con leves caídas en cascada permitiendo la oxigenación del recurso hídrico lo que favorece la disminución de microorganismos y de la DBO.

Por lo expuesto anteriormente los autores se permiten sugerir que a pesar de que el punto aguas arriba aparentemente presenta contaminación baja por sustancias

orgánicas esto no refleja de forma total la realidad del recurso hídrico en cuanto a los compuestos orgánicos. Los resultados muestran que existe una evidente contaminación leve por microorganismos y materia orgánica aguas arriba, pero se enmascara en el cálculo ponderado del ICOMO, esta contaminación es debido posiblemente al uso que se le está dando al recurso aguas arriba del punto de monitoreo.

Resultados discordantes fueron reportados por Rodríguez (2017), quien realizó una evaluación de la calidad del agua del río vetas relacionada con la minería aurífera practicada en la provincia de Soto en Santander, este autor tuvo como principales afluentes de la microcuenca del río Vetas las quebradas: Angosturas, Páez, El Salado, Móngora, La Plata, La Baja, EL Volcán, Chumbula, Agua de Páramo y Mataperros, esta investigación permitió concluir que el punto de monitoreo ubicado en la quebrada Angosturas existe una presencia significativa de materia orgánica en el agua proveniente de las aguas residuales domésticas y de un bajo porcentaje de saturación del oxígeno por actividades domésticas y de minería. Los resultados heterogéneos podrían atribuirse principalmente a los puntos de monitoreo. La presente investigación se centró en un vertimiento con dos puntos a 50 metros, mientras que Rodríguez tuvo como nicho de estudio un tramo de aproximadamente 5 km.

Los valores calculados para la demanda biológica de oxígeno y oxígeno disuelto, en los dos puntos son menores al límite permitido de acuerdo con las resoluciones 2115 del 2007, la 631 del 2015 y el decreto 1594 de 1984, (demanda biológica de oxígeno: 50 mg O₂/L y oxígeno disuelto > 5 mg/L), lo que indica que el agua sería apta para el consumo humano.

Con relación al índice de contaminación por sólidos suspendidos ICOSUS, solo se tiene en cuenta la concentración de sólidos suspendidos totales (SST) (Ramírez, Restrepo, & Viña, 1997) obteniendo valores de 0,056 y 0,143 para aguas arriba y aguas abajo respectivamente.

Con los datos se logra establecer la carencia de contaminación por la presencia de partículas suspendidas, causantes de turbidez o producto de material inorgánico, el cual es un factor incidente en el deterioro del buen estado del recurso hídrico.

Al observar de forma detallada los resultados para el parámetro sólidos suspendidos se puede notar la existencia de un leve aumento, sin embargo, esto no afecta la calidad del agua cumpliendo con las resoluciones 2115 del 2007, la 631 del 2015 y el decreto 1594 de 1984, (sólidos suspendidos: 50 mg/L) indicando que el agua sería apta para el consumo humano.

Finalmente, el índice de contaminación trófica (ICOTRO) consignados en las tablas 17 y 18 muestran valores de 0,050 mg P/L, lo que indica que la quebrada exhibe procesos de eutrofización para los dos puntos de muestreo. Se debe recalcar que los valores del ICOTRO reflejan la cantidad de fósforo total en la muestra, mensurando e influenciados por los fertilizantes a base de fósforo utilizados en los posibles cultivos, al arrastre de material por lavado de los suelos y a las descargas de aguas residuales domésticas de algunos asentamientos urbanos localizados en esta zona.

Además de la deforestación y la erosión, los suelos agrícolas influyen la carga de nutrientes, debido a que los escurrimientos al pasar por una tierra que no tiene protección lavan la capa fértil llevándose consigo los nutrientes a la quebrada (RAPAL, 2010).

Los resultados de ICOTRO obtenidos en esta investigación son similares a los reportados por Zabala E. (2018) y Chavarro (2016) quienes realizaron una investigación enfocada en la determinación de los índices de calidad y contaminación del agua (ICA e ICOs) sobre tramos superficiales del Río de Oro y Río Vetas para el análisis y verificación del cumplimiento de la normatividad colombiana y la caracterización de la calidad de las aguas de la quebrada Fucha utilizando los índices de contaminación ICO con respecto a la precipitación y usos del suelo, respectivamente.

Determinación y cuantificación de metales pesados.

A las muestras recolectadas a nivel superficial en la quebrada angosturas, 50 metros arriba y 50 metros abajo del vertimiento se le cuantificó la cantidad de metales pesados, específicamente, arsénico total (As), hierro total (Fe), mercurio total (Hg) y plomo total (Pb), la cantidad cuantificada para cada uno de los metales pesados se resumen en la tabla 18, la metodología y normatividad empleada se observa en el Anexo F.

La medición de los metales pesados se realizó debido al vertimiento proveniente de la minería artesanal y a que en cercanías al distrito minero California-Vetas, se ha diagnosticado previamente por la Corporación Autónoma Regional para la defensa de la meseta de Bucaramanga (CDMB) altos contenidos de algunos metales pesados, producto de las actividades mineras que allí se desarrollan (Wolff, 2001).

Tabla 18. Metales pesados.

Metales Pesados	Unidad	Aguas abajo	Aguas arriba
		Valor	Valor
Arsénico Total	µg As/L	< 9,6 ⁺	< 9,6 ⁺
Hierro Total	µg Fe/L	1500	406
Mercurio Total	µg Hg/L	<0,0008 ⁺	<0,0008 ⁺
Plomo Total	µg Pb/L	<150 ⁺	<150 ⁺

⁺Límite de cuantificación del método.

La cantidad de hierro total cuantificado mostro un incremento de 406 a 1500 µg/L, crecimiento que puede ser atribuido a la mineralización natural debida al contacto de la fuente hídrica con las rocas, aun cuando existe un incremento del hierro, este elemento en los dos puntos bajo estudio cumple con los valores límites máximos permisibles que deberán cumplir quienes realizan vertimientos puntuales en cuerpos de aguas superficiales y sistemas de alcantarillado público (límite máximo permisibles por el ministerio de ambiente y desarrollo sostenible según la resolución 631 de 2015, 2000 µg fe /L para extracción de oro y otros metales preciosos).

Las muestras analizadas mostraron valores bajos de arsénico y mercurio, con valores debajo del límite de cuantificación del laboratorio; para el plomo total, el laboratorio emite resultados a partir de 150 µg/L (LCM), por tal razón, no reporta un dato con exactitud y precisión. Lo que deja en evidencia que los contenidos encontrados en las muestras no superaron el valor máximo permisible por la legislación colombiana (Límite máximo permisibles por ministerio de la protección social y ministerio de

Ambiente, vivienda y desarrollo territorial, resolución 2115 del 2007; 10, 1 y 10 $\mu\text{g/L}$ para el As, Hg y Pb respectivamente). Resultados similares fueron reportados en el año 2015 por Benjumea quien evaluó el contenido de arsénico total en aguas del río Suratá (Santander-Colombia) logrando identificar y cuantificar As para muestras tomadas en inmediaciones de Vetas-California donde el contenido de arsénico fue de 1,1 $\mu\text{g/L}$. Así mismo, Alonso (2014) realizó un análisis multielemental por ICP-MS (espectrometría masas por plasma acoplado inductivamente) para determinar metales pesados y biodisponibilidad en la zona sur-occidental del distrito minero de oro California Vetas en el departamento de Santander, reportando valores de Pb de 3,1 $\mu\text{g/L}$, valor muy por debajo del máximo permitido por normatividad en Colombia.

Finalmente, investigaciones desarrolladas en la región para evaluar el contenido de mercurio total en agua superficiales del río Suratá y sus confluencias Vetas, Charta y Tona, utilizando un sistema para análisis directo de mercurio logro concluir que, para esta fuente hídrica, la cantidad de mercurio total se encuentran dentro del criterio establecido por la normatividad colombiana para el agua destinada para el consumo humano.

Por lo expuesto anteriormente se puede sugerir que esta fuente hídrica no está afectada por minería artesanal en el punto de muestreo y el contenido de metales pesados se debe a un proceso natural.

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

La caracterización fisicoquímica y microbiológica de los puntos bajo estudio; 50 metros aguas arriba y 50 metros aguas abajo del punto de vertimiento ubicado en la salida del túnel de antigua minería del sector de la quebrada Angosturas del municipio California, y resumidos en las tablas 12, 14, 15 y 18 permitieron determinar los índices de calidad y contaminación evaluando de forma global las características de la fuente hídrica, el valor obtenido de los ponderados para los índices de calidad del agua fue de 82 y 84 para los puntos aguas arriba y aguas abajo respectivamente, estos resultados lograron exponer que el punto de vertimiento no afecta la calidad del recurso hídrico y se mantiene con calidad excelente, evaluado a través del ICA, como complemento se evaluó los índices de contaminación ICO's mostraron valores cercanos a cero; 0,034, 0,258, 0,056 y 0,050 (aguas arriba), y 0,095, 0,112, 0,143 y 0,050 (aguas abajo) para el ICOMI, el ICOMO, el ICOSUS y el ICOTRO, mostrando que para los puntos bajo estudio el índice de contaminación es bajo. Por su parte, el contenido de metales pesados (As, Hg, Fe y Pb) para los puntos de muestreo en la quebrada angosturas se encuentran por debajo de los límites exigidos.

En términos generales, el índice de calidad, índices de contaminación y los metales cuantificados mostraron que el recurso hídrico cumple con los valores límites máximos permisibles para agua con calidad para consumo humano y que deberán cumplir quienes realizan vertimientos puntuales a los cuerpos de aguas superficiales y a los

sistemas de alcantarillado público, de acuerdo con las resoluciones 2115 del 2007, la 631 del 2015 y el decreto 1594 de 1984.

Se evaluaron los impactos generados en el recurso hídrico y su entorno en el punto de monitoreo por medio de la matriz causa-efecto formulada por Vicente Conesa, la cual mostro que, en términos generales, el vertimiento no está generando impactos negativos a niveles críticos o severos sobre el recurso hídrico.

Como conclusión general de este trabajo y gracias a los datos recolectados, tratados y analizados en esta investigación los autores se permiten concluir que el punto de vertimiento evaluado en esta investigación no está generando cambios o contaminando el recurso hídrico.

Recomendaciones.

Para todos los componentes ambientales evaluados en esta investigación los autores recomiendan se tomen acciones de control correctivas o preventivas de forma inmediata, pues se considera que estas acciones son más efectivas y su resultado se podrá ver reflejado en todo el ecosistema a corto y mediano plazo. Por su parte, la mitigación no garantiza la recuperabilidad total del factor afectado y sólo permite atenuar el impacto.

Se recomienda realizar periódicamente seguimiento al índice de calidad del agua (ICA) así como a los índices de contaminación (ICOs) para llevar un control y evaluar posibles tendencias en diferentes épocas del año.

Si bien, los resultados en este trabajo para la cuantificación de metales pesados mostraron la ausencia de estos analitos a nivel superficial, se recomienda realizar un análisis multielemental para el agua superficial y sobre el sedimento de la zona

posiblemente afectada, datos que podrían ser de gran ayuda en un análisis multivariado que ayuden a una descripción más detallada y evaluación más a fondo del comportamiento del recurso hídrico en el punto de vertimiento.

Referencias

Alcaldía Municipal California, Santander, Colombia. Sitio Oficial (2018) Recuperado de:

<http://www.california-santander.gov.co/municipio/nuestro-municipio>.

Alcaldía municipal California, Santander. (2016) Plan de Desarrollo Municipal. (2016-

2019). California Avanza. Recuperado de:

https://californiasantander.micolombiadigital.gov.co/sites/californiasantander/content/files/000457/22848_plan-de-desarrollo-california-parte-estrategica-ultimo-3.pdf.

Alcaldía mayor de Bogotá. (2013). Guía metodológica para la evaluación de aspectos e impactos ambientales.

Alonso, D. (2014). Determinación de arsénico total y biodisponible en la zona sur occidental del distrito minero de oro California- Vetas en el departamento de Santander, Colombia. Universidad Nacional de Colombia. Recuperado de <http://bdigital.unal.edu.co/46037/1/80727607.2014.pdf>

Álvarez, A., & Rubiños, J. (2006). Índice de calidad del agua en la cuenca del río Amajac, Hidalgo, México: diagnóstico y predicción. *Revista internacional de Botánica experimental*, 71-83.

AMB (2018). Informe de gestión. Recuperado de:

http://www.amb.com.co/DocumentoInfo/INFORME_GESTION_2018.pdf

Atencia C. (2007) Diagnóstico de la contaminación por vertimiento de aguas residuales domésticas y residuos sólidos domésticos sobre la microcuenca monte dentro

hasta el sector de la Bocatoma del acueducto de la Ciudad Pamplona. Proyecto de pasantía. Fac. de ingeniería ambiental. Universidad Libre de Colombia.

Avecillas, L. A. (2014). Repositorio Institucional de la Universidad de Guayaquil.

Obtenido de Caracterización físico químico del Estero Salado entre el puente de la avenida Kennedy y el Puente 5 de junio efectuado en el período agosto - octubre del año 2012: <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/3502/1/1093.pdf>

Babativa, I. A., & Caicedo, J. C. (2018). Evaluación de la presencia y distribución de los metales pesados Cromo, Níquel y Plomo en el río Ocoa, en la zona comprendida entre la desembocadura del Caño Maizaro hasta el puente Murujuy, municipio de Villavicencio - Meta. Tesis de pregrado. Recuperado el 2018, de <http://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/12075/2018ivonbarativa.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Ballesteros, L y Perosa, L. (2014). Diseño e implementación de una herramienta sistematizada empleando el índice de calidad del agua (ICA) para determinar el deterioro de las aguas superficiales de los vertimientos del río Suárez zona comunera. Fac. de ingenierías fisicoquímicas. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. Disponible en el catálogo en línea de la Universidad Industrial de Santander: <http://tangara.uis.edu.co/>

Bernal, C. (2013). Evaluación del contenido de mercurio total en aguas, suelos y sedimentos del río Suratá, utilizando un sistema para análisis directo de mercurio. Universidad Industrial de Santander. Facultad de ciencias. Bucaramanga. Recuperado de <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2013/150762.pdf>

- Benjumea C. (2015). Evaluación del contenido de arsénico total en aguas del río Suratá por espectrometría de absorción atómica con generación de hidruros. Universidad Santo Tomás. Facultad de Química Ambiental. Recuperado de <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/1130/2015-BenjumeaFlorez%2cCarlosFelipe-Trabajodegrado.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Caceda, M. (2016). Coliformes Totales, Termotolerantes y Escherichia Coli en relación a la Temperatura, pH y Demanda Bioquímica de Oxígeno en la Playa de Puerto Malabrigo. Trujillo, Perú: Universidad Nacional de Trujillo. Retrieved from <http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/9040/Caceda%20Sanchez%2c%20Miriam%20Elizabel.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Castro, M. y Almeida, J. (2014). Indicadores de la calidad del agua: Evolución y tendencias a nivel global [En línea]. Bogotá: Universidad Cooperativa de Colombia, 2014. 112-122 p. Recuperado en noviembre de 2017. Disponible en: <https://revistas.ucc.edu.co/index.php/in/article/download/811/770>
- CDMB (2010). Subdirección de ordenamiento y planificación integral del territorio: Plan de ordenamiento del recurso hídrico para la microcuenca del Río Vetás. Bucaramanga. 2010.
- CDMB (2016). Informe de Recursos naturales. Recuperado de: <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:http://www.cdmb.gov.co/web/images/Documentacion/gestion-institucional/calidad-ambiental/INFORME-RECURSOS-NATURALES-2016.pdf>

- CETESB (2002). Gómez, S. 2014. Afectación ambiental de la calidad del agua de la quebrada Cascabel Generada por la explotación minera artesanal del municipio Marmato departamento de Caldas.
- Conesa V. (2006). Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental. Madrid: Mundi-Prensa Libros.
- COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Decreto 3930. (25, octubre, 2010). Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9a de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II del Decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones. Diario oficial. Bogotá D.C. no. 47837.
- Chavarro A, Gelvéz E. (2006). Caracterización de la calidad de las aguas de la quebrada Fucha utilizando los índices de contaminación ICO con respecto a la precipitación y usos del suelo. Universidad Jorge Tadeo Lozano, Facultad de ciencias e ingeniería. Bogotá. Research article. Mutis Vol. 6 pp. 19-31. Recuperado de <https://revistas.utadeo.edu.co/index.php/mutis/article/view/1148/1191>
- Decreto 1076 de 2015. Decreto único reglamentario del sector Ambiente y Desarrollo Sostenible. Recuperado de: www.minambiente.gov.co
- Dellavedova, M. G. (2011). Guía Metodológica para una evaluación de impacto ambiental. La plata: Universidad Nacional de la Plata.
- Fernández, N. Ramos G, Solano F. (2010) ICATEST V1.0 Una herramienta informática para el análisis y valoración de la calidad del agua. Universidad de Pamplona.

Departamento de biología. Recuperado de

http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portaIG/home_10/recursos/general/pag_contenido/publicaciones/bistua_revista_ciencias_basica/2004/11082010/rev_bis_vol2_num2_art12.pdf

Figuroa, M. J. (2007). Estudio sobre los vertimientos de aguas residuales domesticas generadas en el municipio de Charalá. universidad industrial de Santander.

IDEAM (2004). Guía para el monitoreo y seguimiento del agua. Bogotá. Colombia.

IDEAM. (2004). Determinación de oxígeno disuelto por el método yodométrico modificación de azida. Bogotá. Disponible en:

<http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Ox%C3%ADgeno+Disuelto+M%C3%A9todo+Winkler.pdf/e2c95674-b399-4f85-b19e-a3a19b801dbf>

IDEAM. (2007). Determinación De Escherichia Coli Y Coliformes Totales En Agua Por El Método De Filtración Por Membrana En Agar Chromocult. Bogotá. Disponible en:

<http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Coliformes+totales+y+E.+coli+en+Agua+Filtraci%C3%B3n+por+Membrana.pdf/5414795c-370e-48ef-9818-ec54a0f01174>.

IDEAM. (2007). PH EN AGUA POR ELECTROMETRIA. Bogotá. Disponible en:

<http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/pH+en+agua+por+Electrometr%C3%ADa.pdf/ec53b64e-91eb-44c1-befe-41fcfccdff1>

IDEAM. (2007). Demanda Bioquímica De Oxígeno 5 Días, Incubación Y Electrometría. Bogotá. Disponible en:

<http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Demanda+Bioqu%C3%ADmica+de+Ox%C3%ADgeno..pdf/ca6e1594-4217-4aa3-9627-d60e5c077dfa>

IDEAM. (2010). Bosques, biodiversidad y servicios ecosistémicos. Política nacional para la gestión del recurso hídrico. Dirección de ecosistemas. Recuperado de:

http://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemas/pdf/Normativa/Politicasy5774_240610_libro_pol_nal_rec_hidrico.pdf

IDEAM. (26 de junio de 1984). Decreto 1594 de 1984. Recuperado el 02 de junio de 2017, de Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales:

http://www.ideam.gov.co/documents/24024/36843/Dec_1594_1984.pdf/aacbcd5d-fed8-4273-9db7-221d291b657f

IDEAM (2019). Resolución 0231 de 06 de marzo de 2019. Sistema de acreditación analítica de laboratorios de producción de datos físico químicos.

INTERNATIONAL LABOUR OFFICE (ILO). Social and Labour Issues in Small-scale Mines. Informe para la discusión en la Reunión Tripartita sobre Problemas Sociales y Laborales de la Minería en Pequeña Escala. Ginebra, 17–22 de mayo 1999. OIT, Ginebra.

Londoño (2016). Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. Biotecnología en el sector agroindustrial. Colombia.

Martínez, R. (2010). Propuesta metodológica para la evaluación de impacto ambiental en Colombia.

Martínez, P. (2019). Diagnóstico de efectos ambientales del vertimiento de aguas residuales del municipio Pijiño del Carmen (Sur de Magdalena) en la ciénaga del Palmar. Fac. Fisicoquímicas. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (18 de diciembre de 1974). Decreto 2811 de 1974. Recuperado el 02 de junio de 2017, de Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible:

<http://biblovirtual.minambiente.gov.co:3000/DOCS/MEMORIA/MADS-0026/MADS-0026.pdf>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (22 de diciembre de 1993). Ley 99 de 1993. Recuperado el 14 de junio de 2017, de Corpoboyacá:

<http://www.corpoboyaca.gov.co/cms/wp-content/uploads/2015/11/Ley-99-1993.pdf>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (06 de junio de 1997). Ley 373 de 1997. Recuperado el 02 de junio de 2017, de Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible:

http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/leyes/1997/ley_0373_1997.pdf

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (15 de Julio de 2002).

Ministerio de la protección social. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Resolución número 2115. (22 de junio de 2007). Recuperado de https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/normativa/Res_2115_de_2007.pdf

Moran, R. (2002). De- coding Cyanide, an Assessment of Gap in Cyanide Regulation at Mines.

Orjuela G. y Lizarazo B. (2013) Orjuela Gutiérrez, M. I., & Lizarazo Becerra, J. M. (2013). Sistemas De Plantas De Tratamiento De Aguas Residuales. Colombia. Universidad Nacional de Colombia Facultad.

PNUMA. Material para sensibilización. Recuperado de:

<http://www.unep.org/hazardoussubstances/Mercury/MercuryPublications/ReportsPublications/AwarenessRaisingPackage/AwarenessRaisingPackageSpanishVersion/tabid/4535/Default.aspx>

Ramírez, A, Restrepo, R, y Viña, G. (1997). Cuatro índices de contaminación para caracterización de aguas continentales pp. 131-151. En: CT&F - Ciencia, Tecnología y Futuro [Base de datos en línea]. Vol. 1 No 3. Bucaramanga, 1997. Disponible en SciELO (Scientific electronic library online).

Ramírez, R. Restrepo, M. Cardeñosa. Índices De Contaminación Para Caracterización De Aguas Continentales Y Vertimientos. En: CT&F - Ciencia, Tecnología y Futuro [Base de datos en línea]. Vol. 1 No 5. Bucaramanga, 1999. Disponible en SciELO (scientific electronic library online)

RAPAL Uruguay. (2010). Contaminación y eutrofización del agua. Impactos del modelo de agricultura industrial. Recuperado de <http://ww.rapaluruguay.org/agrotoxicos/Uruguay/Eutrofizacion.pdf>

Reyes, Y. Vergara I. (2016). Contaminación por metales pesados: Implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. Revista ingeniería, Investigación y Desarrollo. Sogamoso, Boyacá. Colombia.

Resolución 0631 de 2015. Recuperado el 14 de junio de 2017, de MINAMBIENTE:

<http://www.lasalle.edu.co/wps/wcm/connect/7bf35b9e-b9ac-45b3-a280-c7dec8b1499d/Resolucion+631-2015.pdf?MOD=AJPERES>

Rodríguez, C. (2018). Evaluación de la calidad del agua del Río Vetas relacionada con la minería aurífera practicada en la provincia de Soto en Santander. Recuperado de <http://ridum.umanizales.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/6789/3413/documento%20maestria%20%20FINAL%2018%20MAYO%20%282%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Samboni, N, Carvajal Y, Escobar J. (2007). “Parámetros Fisicoquímicos como Indicadores de Calidad y Contaminación del Agua, Estado del Arte.,” Ingeniería e Investigación, vol. 27, pp. 172 –181.

Sacha, A y Espinoza, C “Determinación de Contenido Natural e Índices de Calidad: ¿Presente y Futuro de Calidad de Aguas?,” in XIV Congreso Chileno de Ingeniería Sanitaria y Ambiental AIDIS, Chile, 2001.

Secretaría Do Medio Ambiente et al (2009). A Rede de Monitoriamento quai-quantitativo das Bacias Hidrográficas do Município do Caxias do Sul. Brasil.[En línea] Recuperado en: http://vbaco01.uces.br/caxiasFase3/base_de_dados/paginas/qualidade_agua/iqa.html.

Secretaría General de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. (21 de diciembre de 2012).

Decreto 2667 de 2012. Recuperado el 02 de junio de 2017, de Secretaría General de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C.:

<http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=51042#0>

Secretaría Jurídica Distrital de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. (25 de octubre de

2010). Decreto 3930 de 2010. Recuperado el 2 de septiembre de 2017, de Régimen Legal de Bogotá D.C.:

<http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=40620>

Secretaría General de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. (25 de enero de 1979). Ley 9 de

1979. Recuperado el 02 de junio de 2017, de Secretaría General de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C.:

<http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=1177>

Torres, P. (2009). Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Una revisión teórica.

Toro, J., Requena, I. & Zamorano, M. (2010). Environmental impact assessment in Colombia: critical analysis and proposals for improvement. *Environ Impact Asses Rev.*, 30 (4): 247-261

Toro J, Martínez R & Loyo G (2013). Methods of enviromental impact assessment in Colombia. Instituto de estudios ambientales IDEA. Universidad Nacional de Colombia. 43-53. Recuperado de

<https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/article/view/990/967>

UPME: Producción Más Limpia en la Minería del Oro en Colombia. Mercurio, Cianuro y otras sustancias. 2007

Water Research Watershed Center. (2014). Drinking water testing private well owned well water testing city drinking water.

Wolff E. (2001). Proyecto rio Suratá: Líneas de acción para reducir contaminación proveniente de la pequeña minería aurífera en Vetas y California. Santander, Colombia. Corporación técnica Colombo- alemana. Recuperado de <http://www.gama-peru.org/jornada-hg/wolff.pdf>

Anexos.

Anexo A. Matriz de impacto ambiental.

ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTALES		NAT	IN	EX	MO	PE	RV	SI	AC	EF	PR	MC	IMPOR-TANCIA	ACCIONES DE CONTROL	
COMPONENTE AMBIENTAL	Reducción cobertura vegetal	-	2	2	1	2	2	2	1	1	4	2	25	Correctiva	
	Deterioro del paisaje	-	4	2	2	2	2	2	1	1	4	2	32	Correctiva	
	Contaminación agua por sólidos	-	4	4	4	2	2	2	1	4	4	2	41	Correctiva	
	Contaminación del suelo	-	2	2	1	4	4	2	4	4	4	2	35	Correctiva	
	Pérdida de cobertura vegetal	-	2	2	1	2	2	2	1	1	4	2	25	Correctiva	
	Cambios en el uso del suelo	-	4	4	2	4	2	2	4	4	4	2	44	Correctiva	
	Desplazamiento de viviendas y familias	+	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	13	Preventiva
	Agotamiento de recursos naturales	-	2	2	2	2	2	2	4	4	2	2	2	30	Correctiva
	Disminución del recurso hídrico	-	4	4	4	4	4	4	2	4	4	4	4	50	Correctiva
	Contaminación visual	-	4	4	2	4	4	4	2	4	4	4	4	48	Correctiva

ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTALES		NAT	IN	EX	MO	PE	RV	SI	AC	EF	PR	MC	IMPOR-TANCIA	ACCIONES DE CONTROL
	Contaminación sonora	+	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	13	Preventiva
	Deterioro del ecosistema	-	4	2	4	4	2	2	4	4	4	4	44	Correctiva
	Incomodidad de la comunidad	+	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	13	Preventiva
	Activación de procesos erosivos	-	2	2	2	4	4	1	4	4	4	4	37	Correctiva
	Afectación de la infraestructura pública y privada	+	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	13	Preventiva
	Movimiento del macizo rocoso	+	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	13	Preventiva
	Emisión de material particulado	+	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	13	Preventiva

Anexo B. Registro fotográfico del monitoreo

- Punto de monitoreo Aguas abajo P-1

 A wide-angle photograph of a rocky stream with clear, flowing water over brownish rocks.	 A person in a blue jacket and boots is kneeling in the stream, using a net to collect a sample from the water.
PANORAMICA DEL PUNTO	TOMA DE MUESTRA
 Two people are kneeling on the rocky bank, handling several white plastic bottles and a bucket, likely for water sampling.	 A person in a blue jacket and boots is standing in the stream, holding a white container, possibly for microbiological sampling.
FISICOQUIMICOS	MICROBIOLÓGICO
 Two people are kneeling on the rocky bank, looking at a clipboard and a small container, likely recording data for an in-situ parameter.	 A person is using a graduated cylinder to measure the volume of sediment that has settled in a sample of water.
PARAMETRO IN-SITU	SOLIDOS SEDIMENTABLES



- Punto de monitoreo Aguas arriba P-2



	
<p>FISICOQUIMICOS</p>	<p>MICROBIOLÓGICO</p>
	
<p>PARAMETRO IN-SITU</p>	<p>SOLIDOS SEDIMENTABLES</p>
	
<p>GEOREFERENCIACION</p>	<p>MEDICION DE CAUDAL</p>
	
<p>PRESERVACION DE MUESTRAS</p>	

- Punto de vertimiento



Anexo C. Análisis IN-SITU

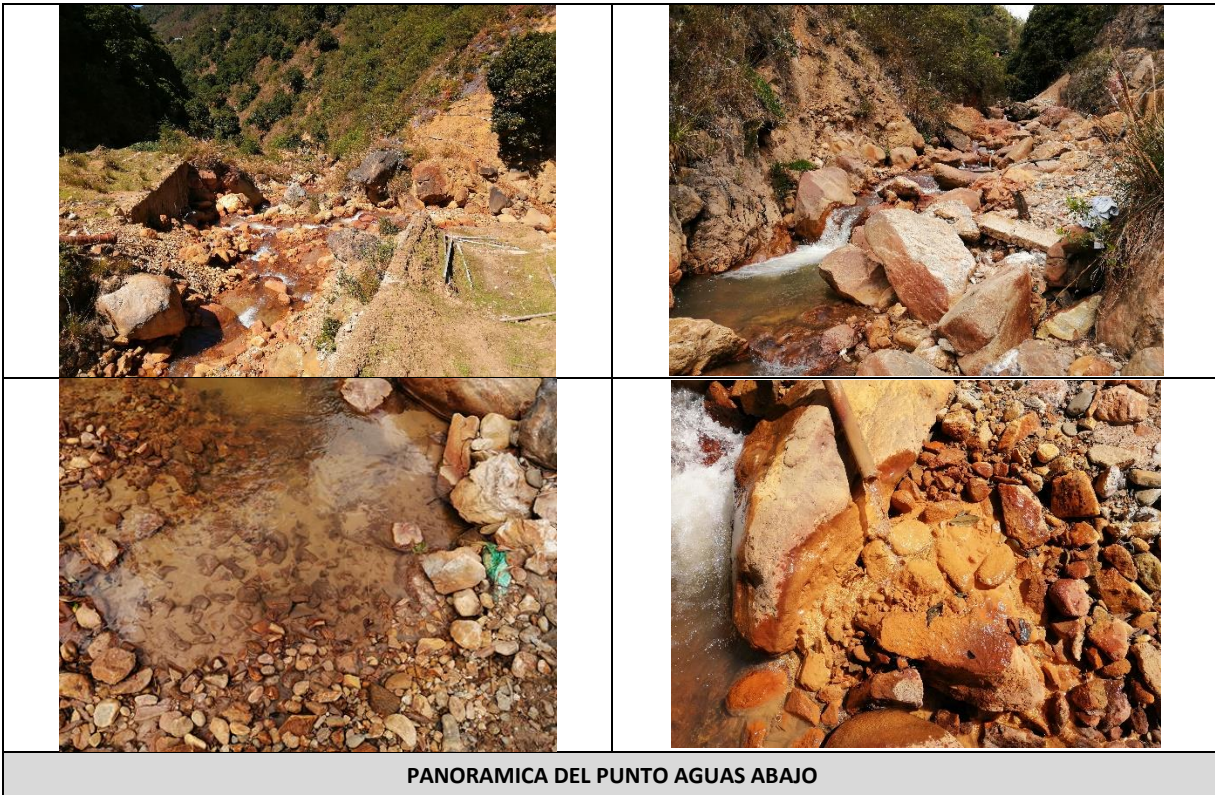
P 1- Aguas abajo

REGISTRO DE ANÁLISIS IN-SITU												
Identificación en la alicuota (1)	Coordenadas del punto de muestreo	pH (unidades de pH)		Conductividad ($\mu\text{S/cm}$)		Oxígeno disuelto ($\text{mg O}_2/\text{L}$)		Temperatura de la muestra ($^{\circ}\text{C}$)		Caudal L/seg	Sólidos sedimentables (ml/L)	
		Valor	Equipo	Valor	Equipo	Valor	Equipo	Valor	Equipo	Valor	Valor	Equipo
P-1	O: 72°53'54.79 N: 7°22'50.60	7.22	EC-038	99.8	EC-198	7.78	EC-085	24	EC-198	166	<0.1	N.A

P 2- Aguas arriba

REGISTRO DE ANÁLISIS IN-SITU												
Identificación en la alicuota (1)	Coordenadas del punto de muestreo	pH (unidades de pH)		Conductividad ($\mu\text{S/cm}$)		Oxígeno disuelto ($\text{mg O}_2/\text{L}$)		Temperatura de la muestra ($^{\circ}\text{C}$)		Caudal L/seg	Sólidos sedimentables (ml/L)	
		Valor	Equipo	Valor	Equipo	Valor	Equipo	Valor	Equipo	Valor	Valor	Equipo
P-2	O: 72°53'54.16 N: 7°22'53.75	7.19	EC-038	49.9	EC-198	7.70	EC-085	20	EC-198	165	<0.1	N.A

Anexo D. Registro fotográfico de la zona para la Matriz de EIA aguas abajo



Anexo E. Métodos de laboratorio para determinación de parámetros.

PARÁMETRO	MÉTODO
Alcalinidad total	SM 2320 B/ Ed. 22
Arsénico total	SM 3030 F. SM 3114 B. Ed 22
Conductividad	SM 2510. B
Dureza cálcica	SM 3500 Ca B/Ed. 22
Dureza magnésica	SM 3500 Mg B/Ed. 22
DBO5	SM 5210 B. SM 4500 O G/ Ed. 22
DQO	SM 5220 C/ Ed. 22
Fósforo Total	SM 4500 P B, SM 4500- P E/Ed. 22
Hierro Total	SM 3030 E; SM 3111 B. Ed. 22
Mercurio	EPA 245.1 Revisión 3.0, 1994
Nitratos	Caron y Bacquet. Análisis de aguas, J. Rodier, 3ª edición, 1998.
Nitritos	Reactivo de Zambelli. Análisis de aguas, J. Rodier, 3ª Edición, 1998.
Nitrógeno total	subcontratado
Oxígeno disuelto	SM 4500 – O G/ Ed. 22
pH	SM 4500 – H+ B/Ed. 22
Plomo total	SM 3030 F SM 3111 B Ed. 22
Sólidos disueltos totales	SM 2540 C/ Ed. 22
Sólidos suspendidos totales	SM 2540 D/ Ed. 22
Coliformes fecales	Tubo fermentación múltiple
Coliformes totales	Filtración por membrana ISO 9308-1: 2014
Turbidez	SM 2130 B

Fuente. Tomado de Propuesta técnico- económica para la prestación de servicios laboratorio PSL
PROANÁLISIS LTDA. 2019

Anexo F. Determinación y cuantificación de metales pesados, específicamente mercurio, plomo, hierro y arsénico.

Mercurio.

Para la determinación de Mercurio Total se aplicará bajo el método EPA 245.1 Revisión 3.0, 1994.

Arsénico

La muestra será determinada teniendo en cuenta el método S.M 3030F, S.M 3114 B, ed. 22.

Plomo

La determinación de Plomo Total se realizará por medio del método S.M 3030 F, S.M 3111 B. Ed. 22.

Hierro

El hierro total será determinado por el método S.M 3030 E, S.M 3111B, Ed. 22
