

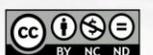


**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

**PROPUESTA DE UN PROCEDIMIENTO GEOINFORMÁTICO
PARA LA ESTIMACIÓN DE LA DIFUSIÓN
DEL VERTIMIENTO DE METALES PESADOS
EN FUENTES ABASTECEDORAS DE AGUA,
CASO EL CRISTO - MUNICIPIO DE REMEDIOS**

Daniela María Zapata Caro

**Universidad de Antioquia
Facultad de Ingenierías, Escuela Ambiental
Medellín, Colombia
2020**



PROPUESTA DE UN PROCEDIMIENTO GEOINFORMÁTICO PARA LA
ESTIMACIÓN DE LA DIFUSIÓN DEL VERTIMIENTO DE METALES PESADOS EN
FUENTES ABASTECEDORAS DE AGUA, CASO EL CRISTO - MUNICIPIO DE
REMEDIOS

Daniela María Zapata Caro

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:
Especialista en Medio Ambiente y Geoinformática

Asesor
Julián Darío Giraldo Ocampo

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería. Escuela Ambiental
Medellín, Colombia
2020

El mundo que hemos creado es un proceso de nuestro pensamiento. No se puede
cambiar sin cambiar nuestra forma de pensar
“Albert Einstein”

Gracias a Dios y el Universo por permitirme existir y guiarme por el camino que
siempre debo recorrer por brindarme además el regalo de alcanzar todo aquello que mi
corazón anhela en compañía de grandes seres de luz; a mis padres por ser mis manos y mis
pies para recorrer y construir esta hermosa palabra “vida”, a mi hija que es el motor y
fuente de inspiración de todo aquello que realizo, a mis hermanos por ser los compañeros
fieles de mi formación como ser y por ultimo a Daniel que ha estado presente en grandes
momentos de mi vida

“Este bellissimo sistema compuesto por el sol, los planetas y los cometas no pudo menos
que haber sido creado por consejo y dominio de un ente poderoso e inteligente. El Dios
supremo es un ser eterno, infinito, absolutamente perfecto”
Isaac Newton

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	5
OBJETIVO GENERAL	5
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	5
1. CONTEXTO.....	6
2. METODOLOGÍA.....	11
2.1. ACOPIO DE INFORMACIÓN	11
2.1.1. Definición de la zona de interés y Modelo de Elevación Digital (MDE).	11
2.1.2. Identificación de Actividades contaminantes en la fuente hídrica.	17
2.1.3. Datos de ubicación de contaminación.	19
2.1.4. Datos de concentración de contaminación por metales pesados (Mercurio Hg).	23
2.2 IDENTIFICACIÓN DE VERTIMIENTOS DE AGUA RESIDUAL NO DOMÉSTICA SOBRE LA FUENTE.....	25
2.3 ESTIMACIÓN DE ZONAS DE AFECTACIÓN	31
2.4. MODELO DE ESTIMACIÓN DE DISPERSION Y DILUSIÓN DE CONTAMINANTE:.....	34
3. RESULTADOS	38
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	39
5. REFERENCIAS.....	41
ANEXOS (Creo que esto no se debe incluir)	¡Error! Marcador no definido.

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Actividades contaminantes de la quebrada El Cristo.....	17
Tabla 2. Ubicación de puntos de muestreo en la quebrada El Cristo año 2015.....	20
Tabla 3. Ubicación de puntos de muestreo en la quebrada El Cristo año 2016.....	21
Tabla 3. Ubicación de puntos de muestreo en la quebrada El Cristo año 2018.....	22
Tabla 5. Resultado de toma de muestras en la quebrada El Cristo año 2015.....	24
Tabla 6. Resultado de toma de muestras en la quebrada El Cristo año 2016.....	24
Tabla 7. Resultado de toma de muestras en la quebrada El Cristo año 2018.....	25
Tabla 8. Puntos de Vertimientos sobre la quebrada El Cristo.....	28

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de zona de estudio	11
Figura 2. Proceso construcción de cuenca para la determinación de la quebrada El Cristo.	13
Figura 3. Construcción de Cuenca e identificación del afluente quebrada El Cristo con Color Verdadero	15
Figura 4. Construcción de Cuenca e identificación del afluente quebrada El Cristo con Falso Color.....	16
Figura 5. Actividad minera proveniente de “cambuches” y residuos.	18
Figura 6. Actividades minería proveniente de escorrentía e infiltración.	18
Figura 7. Actividades minería proveniente de barequeo y tala de árboles.....	19
Figura 8. Microcuenca El Cristo con puntos de monitoreo para el año 2015.	20
Figura 9. Microcuenca El Cristo rodeando el casco urbano del municipio de Remedios.....	20
Figura 10. Microcuenca El Cristo con puntos de monitoreo para el año 2016.	21
Figura 11. Microcuenca El Cristo rodeando el casco urbano del municipio de Remedios.....	22
Figura 12. Microcuenca El Cristo con puntos de monitoreo para el año 2018	23
Figura 13. Microcuenca El Cristo rodeando el casco urbano del municipio de Remedios.....	23
Figura 14. Clasificación supervisada en combinación (4,3,2) color verdadero.	26
Figura 15. Clasificación supervisada en combinación (4,5,3) falso color.	27
Figura 16. Ubicación de puntos de vertimiento sobre la fuente abastecedora El Cristo, con la composición de bandas (4,3,2).	29
Figura 17. Ubicación de puntos de vertimiento sobre la fuente abastecedora El Cristo, con la composición de bandas (4,5,3).	30
Figura 18. Creación de buffer con distancia a 100 metros de los drenajes de la cuenca.	32
Figura 19. Creación de buffer con distancia a 30 metros de los drenajes de la cuenca.	33

GLOSARIO

Metales pesados: Según la tabla periódica, es un elemento químico con alta densidad (mayor a 4 g/cm^3), masa y peso atómico por encima de 20, y son tóxicos en concentraciones bajas. Algunos de estos elementos son: aluminio (Al), bario (Ba), berilio (Be), cobalto (Co), cobre (Cu), estaño (Sn), hierro (Fe), manganeso (Mn), cadmio (Cd), mercurio (Hg), plomo (Pb), arsénico (As), cromo (Cr), molibdeno (Mo), níquel (Ni), plata (Ag), selenio (Se), talio (Tl), vanadio (Va), oro (Au) y zinc (Zn). En general se considera, que los metales son perjudiciales, pero muchos resultan esenciales en nuestra vida cotidiana y en algunos casos, su deficiencia o exceso puede conducir a problemas de salud, por ejemplo, el organismo requiere de hierro, cobalto, cobre, hierro, manganeso, molibdeno, vanadio, estroncio y zinc. Otros en cambio no cumplen una función fisiológica conocida, alteran la salud y es mejor evitarlos siempre. (Rodríguez, 2017).

Sistema de información geográfica SIG: Es una integración organizada de hardware, software, datos geográficos y personal, diseñado para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar en todas sus formas la información geográficamente referenciada con el fin de resolver problemas complejos de planificación y gestión. El propósito de los sistemas de información geográfica es proporcionar un entorno adecuado para permitir el análisis de datos geográficos, que facilite el proceso de toma de decisiones en aquellos casos en el que el componente geográfico es determinante. (Castro A., Durango C, 2009).

RESUMEN

El presente trabajo de monografía tiene como objetivo principal desarrollar un procedimiento geo informático para la estimación de la difusión del vertimiento de mercurio en fuentes abastecedoras de agua, caso El Cristo en el casco urbano del municipio de Remedios, que permita clasificar a partir de los diversos usos del suelo zonas mineras que causen impactos negativos a la fuente a través del procesamiento digital de imágenes, datos actuales del municipio y la empresa prestadora de los servicios públicos de acueducto y alcantarillado, con esta información se pretende ubicar espacialmente los monitoreos de calidad del agua para conocer las concentraciones del contaminante, y saber el cumplimiento de la normatividad legal vigente, también se establecen zonas de retiros para verificar que tan alejadas o si presentan cercanías estos vertimientos con las fuentes hídricas aledañas. Se busco además la implementación de un pequeño modelo que muestre los valores tentativos a los cuales puede llegar el contaminante de estudio al ser dispersado después de recorrer la distancia de la fuente hídrica, a partir de la interacción con fenómenos físicos, químicos y microbiológicos importantes para esta dispersión. Este procesamiento puede representar una herramienta innovadora aplicada para la identificación y clasificación de zonas mineras con gran influencia en cuerpos hídricos que sirven para el abastecimiento para consumo humano, además esta herramienta puede ser adaptada para realizar monitoreos en estas zonas, como también de fuente de control y regulación por parte de los entes Gubernamentales y Corporaciones ambientales con el fin de la detección temprana de actividades mineras enmarcadas en la ilegalidad o en impactos negativos sobre los diferentes cuerpos hídricos. Por último, se pudo conocer a partir de estimativos matemáticos que porcentajes y valores de dispersión pueden presentarse en las quebradas después de la interacción con diferentes factores y de aportes importantes de flujo de los diferentes afluentes que descargan a la fuente principal.

ABSTRACT (Rehacer del Resumen Actualizado)

The main objective of this monograph is to develop a geo-computerized procedure for estimating the diffusion of mercury dumping in water supply sources, as in the case of El Cristo in the urban area of the municipality of Remedios, which allows the classification of mining areas that cause negative impacts to the source through digital image processing, This information is used to locate water quality monitoring in order to know the concentration of the pollutant and to determine compliance with current legal regulations. In addition, a small model is being implemented to show the tentative values that the pollutant under study can reach when it is dispersed after travelling the distance from the water source, based on the interaction with physical, chemical and microbiological phenomena that are important for this dispersion. This processing can represent an innovative tool applied for the identification and classification of mining areas with great influence on water bodies that serve for human consumption. In addition, this tool can be adapted to carry out monitoring in these areas, as well as a source of control and regulation by government agencies and environmental corporations for the early detection of mining activities framed in illegality or negative impacts on different water bodies. Finally, it was possible to know from mathematical estimates what percentages and values of dispersion can occur in the streams after the interaction with different factors and important contributions of flow from the different tributaries that discharge to the main source.

Translated with www.DeepL.com/Translator (free version) Keywords: Palabras claves en inglés

INTRODUCCIÓN

Actualmente, los procesos del planeta se enmarcan en el modelo capitalista de producción a gran escala, y la práctica de la obsolescencia programada por parte de muchos sectores. Este modelo aumenta considerablemente con la era notoria de la tecnología y el crecimiento de las comunidades además de las necesidades creadas como necesarias para consumos, que demandan múltiples recursos renovables y no renovables para su producción y desarrollo de diferentes actividades, este es un claro ejemplo en muchos territorios donde se evidencia el deterioro a razón de la alta explotación de sus recursos para suplir las necesidades, lo cual lleva a la representación de una autodestrucción en estos territorios. (Latorre & Tovar, 2017).

En concordancia a esta conducta mundial, el modelo extractivista donde los procesos de extracción o eliminación de recursos naturales y materias primas de la tierra se realizan con el fin de vender en el mercado mundial. Se ha implementado fuertemente en el país como una de las principales actividades económicas, sin embargo los múltiples impactos ambientales, sociales, culturales y económicas debido a la falta de ordenación y vigilancia de las corporaciones ambientales y entes nacionales y regionales debido a los intereses particulares por el desarrollo de este modelo principalmente minero-energético han desarrollado problemáticas sociales y ambientales que tienen consecuencias en las comunidades donde se desarrolla el aprovechamiento de estos recursos directa o indirectamente repercutiendo de forma negativa a la salud, desarrollo de la vida o tejido social propio. (Latorre & Tovar, 2017).

Uno de los municipios bajo la influencia de este tipo de prácticas mineras es el municipio de Remedios, Antioquia, en donde se evidencia la presencia de minería legal e ilegal en todo el territorio. Esta actividad afecta fuertemente las fuentes hídricas, suelo y aire trayendo consigo el deterioro de estos recursos y la acumulación de contaminantes, principalmente por causa de metales pesados como el mercurio y el plomo que se convierten en perjudiciales para la salud humana.

Remedios es un municipio que posee abundantes recursos hídricos, donde las principales fuentes que surten el acueducto municipal están representadas por la quebrada La Culebra y quebrada El Cristo. Otras quebradas de importancia en el municipio de Remedios son San Pedro, Carnicería, La Hondura y La Concha; fuentes altamente contaminadas con Coliformes fecales, residuos de las plantas de beneficio de minerales y sedimentos de laboreo minero.

Estas prácticas de minería impactan fuertemente a la Quebrada El Cristo una de las principales fuentes abastecedoras de la zona urbana del municipio la cual se encuentra intervenidas aguas arriba de la captación, debido a la contaminación y sedimentación del agua, por labores de minería y con el vertimiento de aguas negras y servidas de los barrios que se asientan en la parte alta. Se hace necesario tomar medidas tendientes a la conservación de esta fuente de agua.

Fuente: Estudio y Diseño: Plan Maestro de Acueducto y Alcantarillado de la Zona Urbana Remedios, Antioquia.

Como uno de los resultados del desarrollo de esta propuesta se espera identificar las fuentes fijas generadoras de contaminantes de metales pesados en la quebrada abastecedora del acueducto de la zona urbana El Cristo del municipio de Remedios, puesto que es un territorio en una zona donde se presenta minería a grande escala.

La propuesta del procedimiento geoinformático con el apoyo de una herramienta SIG y a partir de procesos de caracterización univariada, se permitirá reconocer las zonas de mayor incidencia de los contaminantes como metales pesados en la quebrada el cristo, además de identificar los tipos de estos presentes en el cuerpo hídrico.

Los yacimientos de minerales en el Departamento han sido fuentes constantes de actividades que ponen una marca importante en la cultura y economía de nuestro país.

La dinámica de las practicas mineras en el territorio colombiano ha mostrado un considerable aumento lo que lleva a cuestionamientos tales como la importancia del impacto

positivo de estas actividades económicas en el territorio y como impulsaría el desarrollo económico y social del departamento.

El departamento de Antioquia es la representación de una zona fuertemente minera gracias a los recursos naturales importantes, lo que representa condiciones de formación geológica que favorecen la explotación de diferentes minerales seductores para muchos sectores productivos (PLANEA, 2010).

Antioquia posee recursos naturales renovable sy no renovables, particularidades que hacen que las actividades de explotación para el aprovechamiento deban de garantizar un sostenimiento para las futuras generaciones de las potencias naturales del territorio. Esto exige que el aprovechamiento de los recursos para el desarrollo de diferentes actividades productivas debe garantizar la sostenibilidad de la biodiversidad de la zona.(PLANEA, 2010).

En los últimos años se ha presentado en el país un considerable aumento de actividades de explotación, cuyas respuestas de varios factores sumados a la exploración de nuevos cogidos mineros, ha llevado a nuevos inversionistas del tema a observar el territorio colombiano con seducción. Algunos de los principales minerales observados para la explotación son principalmente oro, carbón, calizas, polimetálicos y materiales para la industria de la construcción. (Posada & Sepúlveda, 2013).

Evidentemente el principal mineral explotado en Antioquia es el oro, cuyos depósitos minerales se encuentran en territorios como lo son: Amalfi, Segovia, Remedios, Zaragoza, El Bagre, Frontino, Abriaquí, Caramanta y Cáceres y en menor proporción, se encuentra plata y platino, este último en depósitos de origen aluvial, principalmente del rio Nechí y algunos de sus afluentes cercanos. (Posada & Sepúlveda, 2013).

Desde los antepasados se implementaba minería en el Nordeste antioqueño con fines netamente comerciales y ornamentales. Sin embargo, con la llegada de los españoles la explotación de minería se fue colocando compleja, en tanto se impuso el sistema colonial que

tenía como meta una extracción más tecnificada y sistemática de los metales preciosos para enriquecer las arcas de la Corona (West, 2000).

En 1852 se conforma *The Frontino and Bolivia Company*, empresa de capital inglés con minas de veta en el municipio de Frontino, y la mina Bolivia en el municipio de Remedios (López, 2002). Con la caída del imperio inglés, la compañía pasa en 1910 a manos de la corporación norteamericana *International Mining Corporation*, simplificando su nombre a *Frontino Gold Mines*. La venta de la empresa a grupos de capital norteamericano generó un proceso de separación de las comunidades mineras campesinas, quienes respaldaban al grupo inglés, pues con dicha venta se precarizaron las condiciones continuo por más de 150 años y han producido un estimado de más de 5 millones de onzas de oro. Las operaciones incluyen las minas subterráneas El Silencio, Providencia y Sandra K en el municipio de Segovia, y la mina subterránea de Carla en el municipio de Remedios (*Gran Colombia Gold Corp.*, 2017).

En 2001, el Código de Minas favoreció actividades como las de *Gran Colombia Gold*, ya que privatizó la explotación de minerales y promovió la eliminación de barreras fiscales y comerciales para estimular la inversión extranjera directa. Esto trajo consigo problemáticas con las pequeñas y medianas minerías, así como la minería ancestral desarrollada por la comunidad del territorio.

Desde el Estado y el modelo extractivistas se continúa promoviendo las ideas que se implementan en el territorio proyectos de desarrollo, para las comunidades estratégicos; sin embargo estos proyectos representan en realidad fuertes impactos de deslocalización de pasivos ambientales de economías extranjeras llevándose los recursos del territorio, es así como el territorio nacional, y en particular aquellas áreas estratégicas, pasan a respaldar la consolidación de economías extractivas no pertenecientes a la región.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Diseñar un procedimiento geoinformático para la estimación de difusión del vertimiento de metales pesados en la fuente abastecedora El Cristo.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar los herramientas, información y procedimientos que serán involucrados en el proceso geoinformático, teniendo en cuenta disponibilidad de información disponible.
- Identificar vertimientos de agua residual no doméstica en la fuente abastecedora el Cristo.
- Identificar de los principales metales pesados presentes en la quebrada el cristo, con caracterizaciones de agua cruda.
- Aplicar una herramienta geoinformática para la ubicación de zonas de contaminantes como metales pesados en la quebrada el cristo.
- Estimar mediante la propuesta de modelo los valores y porcentajes de dispersión del contaminante de estudio.

1. CONTEXTO

Actualmente ha aumentado la importancia de conocer sobre los impactos ambientales producidos en las fuentes hídricas, frente a diversas fuentes generadoras de contaminantes que causan representativos cambios en las características físicas y químicas del agua que pueden llegar a ser perjudiciales para el consumo de los seres humanos, uno de los ejemplos de contaminación como se indica en (Tokar et al., 2015), son los metales pesados, entre los que podemos citar Cd, Hg, Pb, Cu, Ni, Sb y Bi, resultan altamente tóxicos al hombre, cuya presencia en determinadas cantidades lleva aparejadas disunciones en el organismo, además de presentar la propiedad de acumularse. Los metales pesados están presentes en todos los ecosistemas en el mundo; sin embargo, el aumento de estas sustancias en las fuentes hídricas se ha convertido en un inminente riesgo para la salud humana y el medio ambiente debido a sus efectos negativos y tóxicos.

Tal como menciona Zuluaga (2015). Las principales fuentes de contaminación por Hg, Cd, Pb y As en los cuerpos de agua son las industriales sumándole a esto las descargas de aguas residuales domésticas, la minería, la combustión de combustibles fósiles, la deforestación y fertilizantes utilizados en la agricultura y ganadería. Como se puede observar en el territorio Colombiano, una de las problemáticas ambientales más importantes se refiere al uso de metales pesados en sectores productivos minero, energético, agrícola e industrial según (Rudas et al., 2013); ya que gracias a su diversidad de ambientes, Colombia dispone de una variada oferta de productos mineros, entre los que se incluyen carbón, oro, platino, níquel, esmeraldas y caliza, así como la de otros que se producen en menor escala, principalmente: sal, roca fosfórica, arcillas, arenas silíceas, minerales de cobre y manganeso, magnesita, barita, yeso y varios tipos de rocas ornamentales.(Güiza Suárez, 2011).

En cuanto a la extracción de estos recursos mineros, se aprecia un panorama con dos componentes generales: el primero, con una actividad minera formal y de gran escala; el segundo, por una actividad minera que se desarrolla a escalas menores en forma tradicional

y artesanal, con una reconocida carencia de tecnología adecuada y definida, en muchos casos, por la informalidad y el carácter de subsistencia, lo que la hace insegura, poco rentable, no competitiva y ambientalmente no sostenible. (Güiza Suárez, 2011). Según el Instituto Colombiano de Geología y Minería –Ingeominas- (oficio No. 20104130185291, 7 de septiembre, 2010), de los casi 9.000 títulos mineros otorgados por la autoridad minera, y que se encuentran inscritos en el Registro Minero Nacional, la mayoría corresponde a las áreas que se encuentran en etapa de exploración.

De acuerdo con la Unidad de Planeación Minero Energética –UPME- (2007), según las cifras del programa de legalización de la Ley 685 de 2001, existen al menos 3.600 explotaciones mineras que operan sin el respectivo título, pero esta cifra solo es un indicio para tener un punto de partida, teniendo en cuenta que las autoridades mineras no cuentan con información actualizada y verificable sobre las características y condiciones en que se desarrolla la actividad de la minería de hecho en el país, toda vez que el último estudio al respecto se realizó hace más de dos décadas, según el propio Ministerio de Minas y Energía (2008).

La explotación de oro depende del tipo de depósito, el cual puede ser Aluvial o de Filón. La extracción aluvial se realiza de varias maneras, dependiendo del grado de tecnificación; la más artesanal la constituye el barequeo apoyado en algunos casos con pequeñas motobombas de succión con las cuales se remueve el material del lecho para, por lavado en bateas (para lo más artesanal) hasta la amalgamación (utilización de mercurio) para aumentar la recuperación del oro libre que se encuentre en esos sedimentos; este proceso incluso puede contemplar la utilización de retroexcavadoras que generan pequeñas piscinas en las márgenes de los cauces para extraer el oro en los aluviones. En algunas ocasiones incluso se llega al uso de monitores que generan erosión en las márgenes del río para desprender el aluvión y liberar el oro. También se encuentra la utilización de dragas de succión, que flotan en el cauce y extraen los sedimentos del fondo del cauce para obtener el oro que se pueda encontrar en ellos, regresando los residuos de sedimentos al cauce o a las márgenes del mismo. Las explotaciones subterráneas se realizan principalmente con métodos de apiques y galerías (túneles que siguen la veta donde hay presencia del oro), y en algunos casos de manera más

tecnificada como el de cámaras y pilares que facilita la utilización de equipo mecánico y ofrece mayor seguridad a los trabajadores. Posteriormente se realizan procesos de trituración y molienda mecánica, y una posterior cianuración o amalgamación para extraer el oro. (UPME, 2017).

Un aspecto fundamental por tenerse en cuenta en los análisis de los impactos de la minería sobre los ecosistemas colombianos es la transformación de la calidad del agua que se produce durante las etapas de exploración y explotación del proyecto minero. Así, en la primera fase la excavación para toma de muestras tiene un alto impacto ambiental muchas veces irreversible, como acidificación de las aguas, inestabilidad de taludes, deforestación y apertura de accesos que generan pérdida de hábitats, biodiversidad y afectación de ecosistemas (Fierro, 2012). En la segunda fase durante la explotación los impactos ambientales son más agresivos como la alteración fisicoquímica de las aguas, sedimentación y afectación de la dinámica de los cuerpos de agua por Diagnóstico de la información ambiental y social respecto a la actividad minera y la extracción ilícita de minerales en el país. Documento de Investigación científica y sociológica respecto a los impactos de la actividad minera y la explotación ilícita de minerales, en los ecosistemas del territorio colombiano. 27 el vertimiento de aguas residuales mineras; contaminación del suelo con estériles y colas, aumento de procesos erosivos y desestabilización del suelo por la remoción de cobertura vegetal; afectación de comunidades faunísticas, aumento de material particulado, gases y ruido, y alteración del paisaje (Contraloría, 2012). En este sentido, los impactos ambientales más representativos sobre el recurso hídrico se relacionan con la contaminación química, el aumento de sedimentos, el incremento de turbidez, la disminución de caudales y la alteración del curso (López-Sánchez, López-Sánchez, & Medina, 2017).

La transformación de las fuentes de agua puede darse por dos vías la primera de ellas es la generación de volúmenes de drenajes que pueden ser ácidos, neutros o fuertemente básicos (INAP, 2011). Incluso pueden ser radioactivos, corrosivos y/o tóxicos (Nordstrom, Blowes, & Ptacek, 2015).

El principal problema de los drenajes de mina es la alta concentración de metales que pueden alcanzar cientos de mg por litro. Estos metales, en algunos casos pesados, pueden tener un impacto negativo sobre la salud humana, si sobrepasan los niveles máximos permitidos, y sobre las plantas y los animales debido a la perturbación severa en sus procesos bioquímicos. Cuando los drenajes son vertidos en la superficie sin sus debidas acciones de control y manejo, destruyen la capa vegetal, erosionan el suelo y contaminan los cauces de los ríos eliminando los organismos bentónicos e interrumpiendo la cadena trófica (Johnson & Hallberg, 2005). Además, los valores bajos de pH incrementan la concentración de sólidos disueltos y suspendidos totales lo que puede también afectar las fuentes de agua subterránea (Alhamed & Wohnlich, 2014) (Tiwary, 2001).

Adicionalmente, la extendida explotación aurífera de aluvión en varias regiones del país, en donde se usan de manera anti-técnica y desmedida agentes químicos como el mercurio y el cianuro para la recuperación del oro, ha traído nocivas e irreversibles consecuencias sobre la salud humana y el ambiente, a tal punto que varios estudios como los realizados por Veiga (2010) han demostrado que en los municipios de Segovia, Remedios y Zaragoza, del departamento de Antioquia, se encuentran concentraciones de mercurio en el aire y en las fuentes hídricas, 1000 veces superiores a las permitidas por los estándares internacionales.

Lo anterior ha llevado a que la contaminación química por metales pesados, constituya una de las más peligrosas amenazas para los ecosistemas acuáticos y las especies presentes. Sin embargo, es escaso el conocimiento que se tiene en el país acerca del problema generado por la disposición de metales pesados en los cuerpos de agua, su impacto sobre el recurso hídrico, el deterioro de ecosistemas y la salud humana (Beltrán & Gómez, 2015).

En investigaciones realizadas por el Proyecto minería, minerales y desarrollo sustentable (2002), se evidenció que entre los impactos ambientales más relevantes provocados por la minería a los recursos hídricos se encuentran: la contaminación con mercurio y cianuro, la eliminación directa de relaves y efluentes en los ríos, el daño en los ríos en áreas aluviales, los ríos convertidos en cienos, el daño por erosión y deforestación, y la destrucción de los páramos y del paisaje en general.

Bajo este escenario podemos observar que un territorio Antioqueño importante donde se desarrolla la práctica de la minería es el Nordeste antioqueño como el municipio de Remedios ubicado en el nordeste antioqueño, también tiene potencial minero desde sus inicios en la historia, ello ha repercutido en crueles realidades que el municipio ha tenido que afrontar en conflictos sociales, ambientales, económicos y territoriales.

Como se menciona anteriormente uno de los principales impactos negativos a razón de la minería es la contaminación de las fuentes hídricas, como se ha observado en las diferentes quebradas que bañan el territorio de Remedios, Antioquia cuyas características físicas, químicas y microbiológicas se han destacado por la gran intervención antrópica que la convierte cada vez más difícil de tratar para los diferentes usos necesarios por las comunidades o fines lucrativos por diferentes sectores de la región.

En los últimos años la contaminación ambiental en fuentes hídricas del municipio se ha convertido en uno de los problemas más serios para afrontarla. Este problema ha generado investigaciones para tratar de responder cuáles son las causas, las consecuencias y sobre todo la forma de evitarla, mitigarla o corregirla.

El uso de los Sistemas de información geográfica, se ha popularizado en los últimos decenios en los distintos temas ambientales, especialmente en lo que se refiere al ordenamiento territorial y, aunque el tema de contaminación ambiental se plantea de manera tangencial en algunos de estos trabajos, realmente este tema no está contemplado, de manera directa, entre las funciones y actividades usualmente incluidas en los SIG (Santiago, 2017)

La importancia de realizar este tipo de trabajos se justifica por (Sánchez, 2017) donde se afirma que gracias al avance tecnológico de los últimos tiempos, en particular el ocurrido en la informática, la teledetección y los sensores remotos, tuvo gran impacto en la Cartografía, que es una disciplina esencial para otras, como la Geografía. Estudia los diferentes métodos de sistemas, operaciones científicas y técnicas que permiten representar en un plano la superficie terrestre y los fenómenos o hechos que se desarrollan sobre ella. El desarrollo de las tecnologías de la información, especialmente de aquellas especializadas en bases de datos

espaciales, permite una mejor y rápida aproximación al análisis y obtención de resultados sobre los problemas del territorio y la gestión del medioambiente, en comparación con métodos tradicionales de registros manuales.

2. METODOLOGÍA

2.1. ACOPIO DE INFORMACIÓN

2.1.1. Definición de la zona de interés y Modelo de Elevación Digital (MDE).

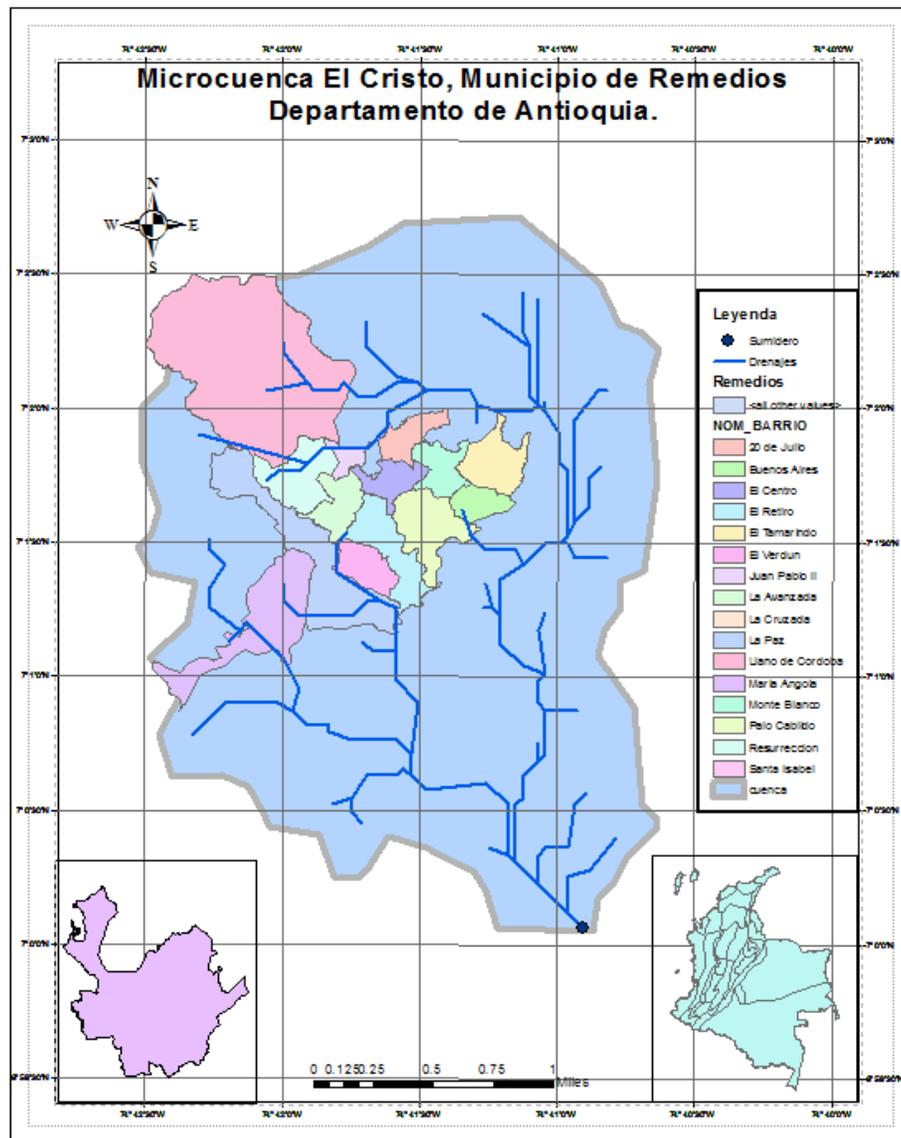


Figura 1. Ubicación de zona de estudio

Para la zona de estudio se determinó el municipio de Remedios que se encuentra ubicado al nordeste del departamento de Antioquia sobre las coordenadas 07° 01' 21" de latitud norte y 74° 41' 46" de longitud oeste. Remedios es una región montañosa y húmeda, el relieve es muy accidentado ya que se localiza en el sector Andino, concretamente en el ramal de Remedios, perteneciente a la cordillera central. La región está surcada de importantes ríos tales como. El Mata, el Ité, el Tamar, Alicante, San Bartolomé, el Bagre, la Honda y el Pocuné.¹

Después de la definición de la zona se prosiguió a implementar un Modelos Digitales de Elevación (MDE) este proceso representa los cambios de elevación del terreno una de los parámetros de los MDE son las mallas regulares, donde se presentan una formación de la superficie a partir de un conjunto de puntos que forman una malla de rectángulos regulares, en su proyección al plano horizontal, y donde cada punto tiene asociado un valor de elevación o altura correspondiente.

Para abordar y procesar la información de la quebrada El Cristo se utilizaron varias fuentes de información como:

- Shapes y Geodatabases propias del municipio de Remedios
- Información de la empresa prestadora de los servicios de acueducto y alcantarillado actual del municipio.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi, datos abiertos al público (Escala 1:25000)

¹ <http://www.remedios-antioquia.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Informacion-del-Municipio.aspx>

A partir de esta información se seleccionó los datos más importantes para los procesamientos necesarios, como lo fueron los (Drenajes sencillo y doble, curvas de nivel de municipio y la ortofoto de la zona. Con esta información se procedió a generar a partir de la herramienta (Topo to Raster) que consiste en una función que permite generar modelos de elevación desde del manejo de puntos de muestreo, curvas de nivel y redes de drenaje.

file:///C:/Users/practicante/Downloads/4.pdf

Para el modelo de estudio se realizó la delimitación de la cuenca donde se encuentra fuente hídrica El Cristo, que rodea gran parte de la zona urbana del municipio de Remedios, para dicho procedimiento se emplearon los datos de curvas de nivel y red de drenajes suministrados por la empresa prestadora de servicios públicos actual Aguas y Servicios del ITÉ , ya que poseía la datos relacionados con la fuente de interés, además de ser los datos más locales que se encontraron en la información disponible; para la implementación de la delimitación de la quebrada se emplearon las siguientes herramientas:

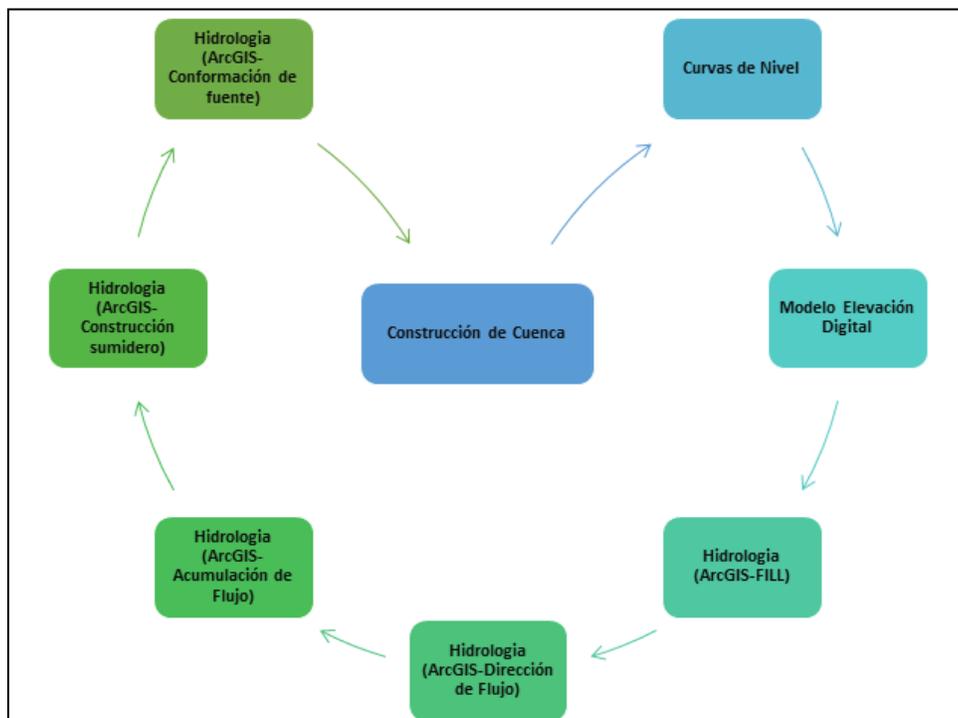


Figura 2. Proceso construcción de cuenca para la determinación de la quebrada El Cristo.

A partir de este procesamiento se obtuvo la creación de la cuenca hidrográfica dentro de la cual se encuentra la quebrada El Cristo, se desarrollaron además la composición de las bandas (4,5,3) para falso color y (4,2,3) para color verdadero. Como se puede observar estas fuentes hídricas bañan todo el casco urbano del municipio, la Quebrada en estudio hace su recorrido bordeando parte del casco urbano del municipio siendo afluente de otras fuentes que llegan finalmente al uno de los ríos más importantes el Río ITÉ.

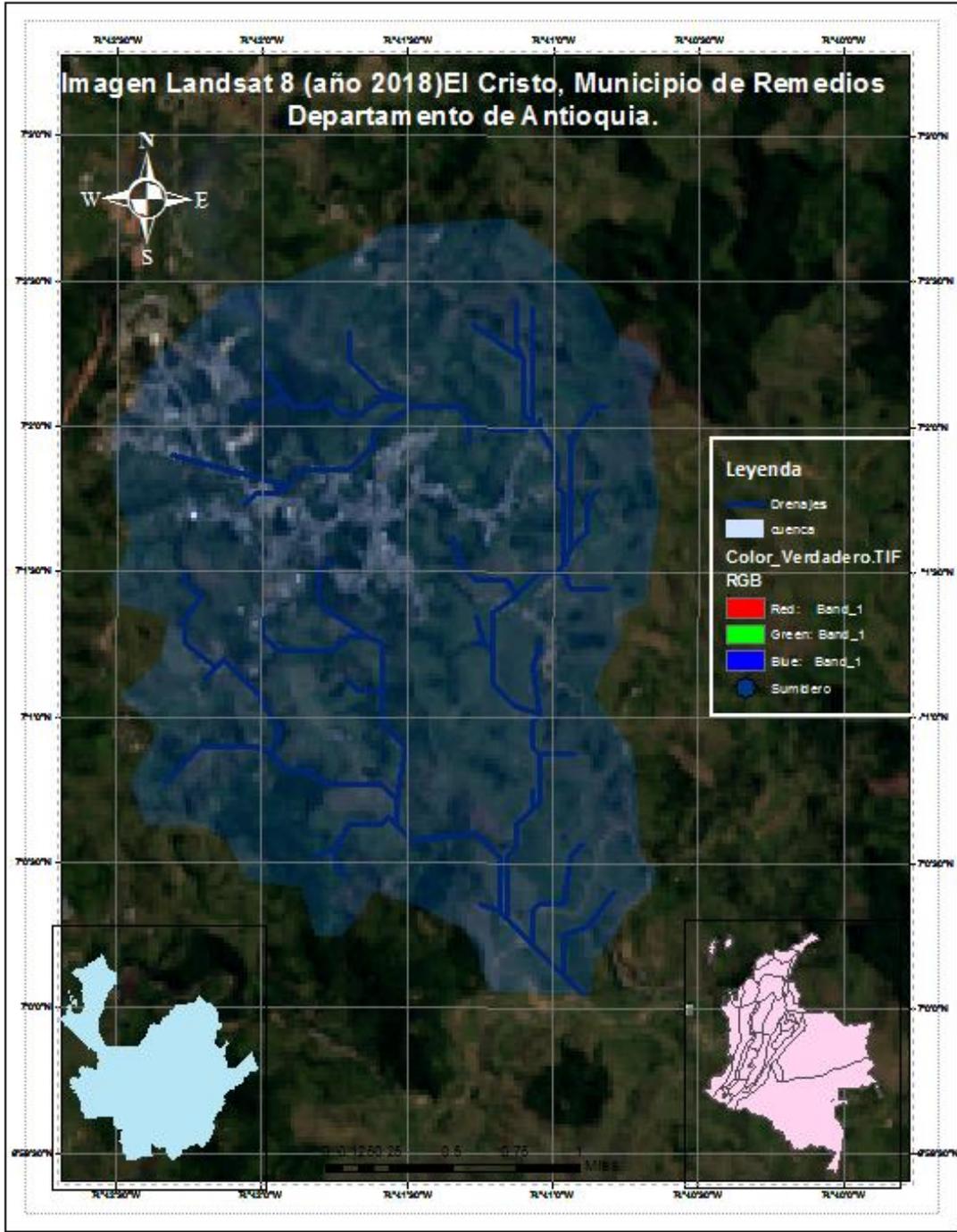


Figura 3. Constucción de Cuenca e identificación del afluente quebrada El Cristo con Color Verdadero

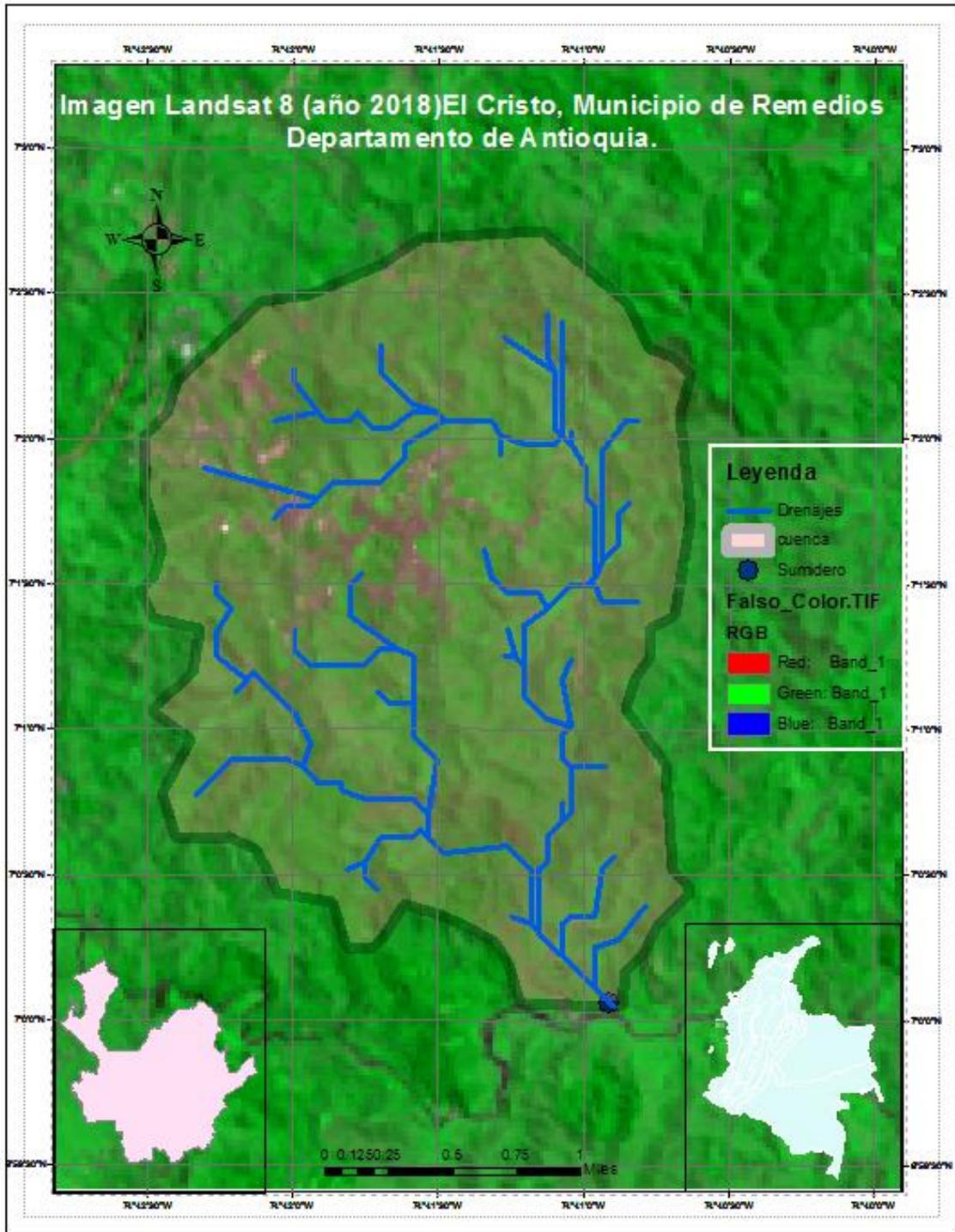


Figura 4. Construcción de Cuenca e identificación del afluente quebrada El Cristo con Falso Color.

2.1.2. Identificación de Actividades contaminantes en la fuente hídrica.

A partir de las evaluaciones realizadas por la Secretaria Seccional de Salud y Protección Social en la “Lista previa de las características físicas, químicas y microbiológicas de la del agua de la fuente abastecedora El Cristo, se desarrolló una lista de actividades contaminantes que afectan los diferentes cuerpos hídricos, además de las características de estos componentes, a continuación, se nombran las actividades contaminantes más representativas en esta quebrada:

Tabla 1. Actividades contaminantes de la quebrada El Cristo.

Actividades contaminantes en la fuente hídrica	
Pecuaría	Aguas residuales de residuos y sólidos
Agrícola	Escorrentía
Minera	Erosión
Vertimiento de Combustibles	

Con base a la información levantada por la Secretaria Seccional de Salud y Protección Social se estableció uno de los principales impactos negativos por vertimientos en la quebradas provenientes de actividades por minería principalmente por parámetros como Mercurio debido a las repercusiones acumulativas en los cuerpos hídricos que en particular en esta quebrada El Cristo se aumenta el impacto debido a los usos para consumo humano como se observa en las imágenes citadas a continuación, que se evaluaron en zonas de retiro de la fuente.



Figura 5. Actividad minera proveniente de “cambuches” y residuos.

Fuente: Anexo técnico N°1, Resolución 4716 de 2010 Ministerio de Protección Social y Ministerio e Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (Lista previa de las características físicas, químicas y microbiológicas de la calidad del agua de la fuente abastecedora.



Figura 6. Actividades minería proveniente de escorrentía e infiltración.

Fuente: Anexo técnico N°1, Resolución 4716 de 2010 Ministerio de Protección Social y Ministerio e Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (Lista previa de las características físicas, químicas y microbiológicas de la calidad del agua de la fuente abastecedora.



Figura 7. Actividades minería proveniente de barequeo y tala de árboles.

Fuente: Anexo técnico N°1, Resolución 4716 de 2010 Ministerio de Protección Social y Ministerio e Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (Lista previa de las características físicas, químicas y microbiológicas de la calidad del agua de la fuente abastecedora.

2.1.3. Datos de ubicación de contaminación.

Para la obtención de los datos de contaminación en la fuente hídrica es necesario determinar los puntos de medición de influencia con base a los valores disponibles en las muestras de calidad de agua realizadas por Corantioquia que es la fuente oficial para la obtención de la información, como también la empresa prestadora de servicios públicos Aguas del ITÉ; según los datos presentes se asumió un periodo de tiempo del año (2015,2016 y 2018) respectivamente en varios puntos de toma de muestras; para esto se empleó la construcción de una tabla de excel donde se resumieron algunos contaminantes de gran importancia en la fuente hídrica de abastecimiento donde se evaluaron parámetros tales como (Mercurio y Eschericha coli), esto con sus coordenadas para la ubicación del posible impacto por contaminación de alguna actividad, a continuación se muestran los datos de estos parámetros:

Reporte de resultados monitoreos fuente abastecedora:

Tabla 2. Ubicación de puntos de muestreo en la quebrada El Cristo año 2015.

Identificación del punto de muestreo	Q. El Cristo	
	Coordenadas fuente Monitoreo 1	Latitud
Longitud		-74,696253
Coordenadas fuente Monitoreo 2	Latitud	7,031594
	Longitud	-74,68281

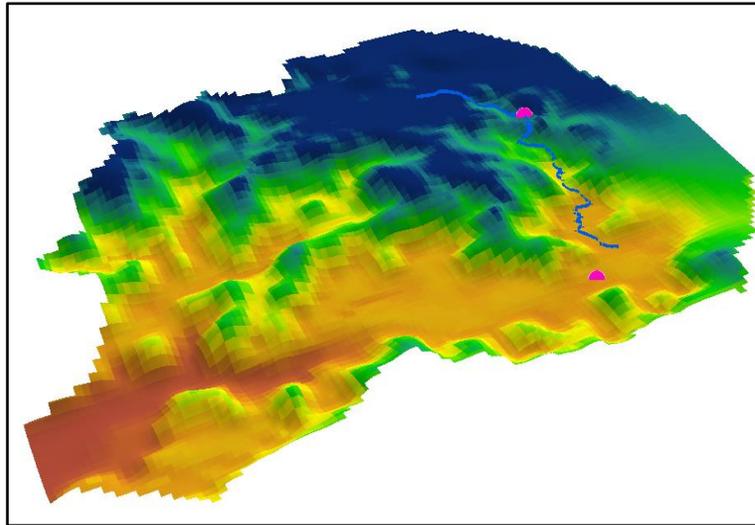


Figura 8. Microcuenca El Cristo con puntos de monitoreo para el año 2015.

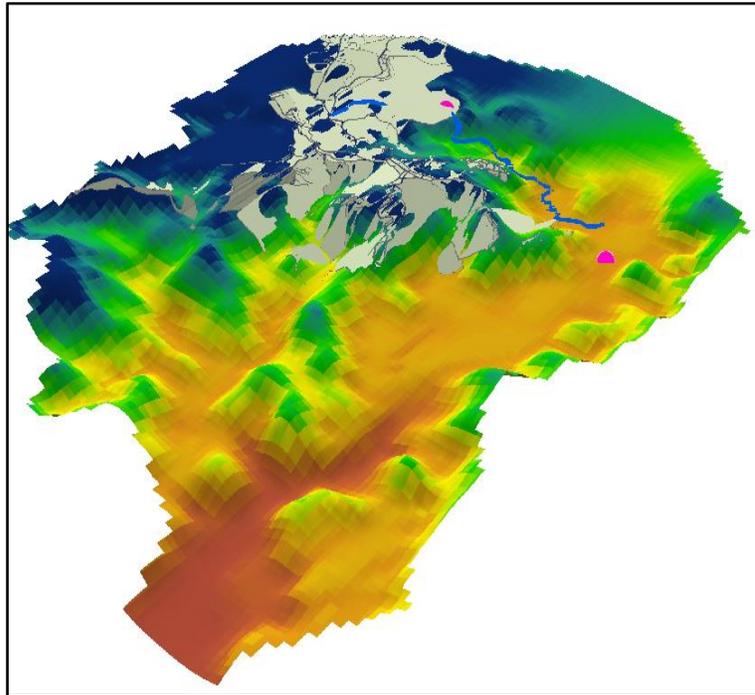


Figura 9. Microcuenca El Cristo rodeando el casco urbano del municipio de Remedios.

En la Figura 8 se puede observar la construcción de la microcuenca, a partir de una imagen de elevación construida con las curvas de nivel de la zona con un valor de exageración de 20.

En la ilustración N°4 se representan por dos puntos de color fucsia los puntos de monitoreo para el año 2015 respectivamente, con fechas diferentes realizadas entre meses del 1 y 2 semestre del año. Como se puede analizar uno de los puntos monitoreados se encuentra aguas abajo de la quebrada El Crito, en este punto de evaluación se tiene la influencia de otros afluentes aledaño que pueden traer consigo caudales que diluyan las concentraciones de los contaminantes como también puede presentarse acumulación mayor de contaminantes por metales provenientes de actividades mineras en las zonas de retiros. En el lado derecho se encuentra la representación de la cuenca rodeando el casco urbano del municipio de Remedios con el shape del mismo.

Tabla 3. Ubicación de puntos de muestreo en la quebrada El Cristo año 2016

Identificación del punto de muestreo	Q. El Cristo	
Coordenadas fuente Monitoreo 1	Latitud	7,035313
	Longitud	-74,696253
Coordenadas fuente Monitoreo 2	Latitud	7,034888
	Longitud	-74,693121

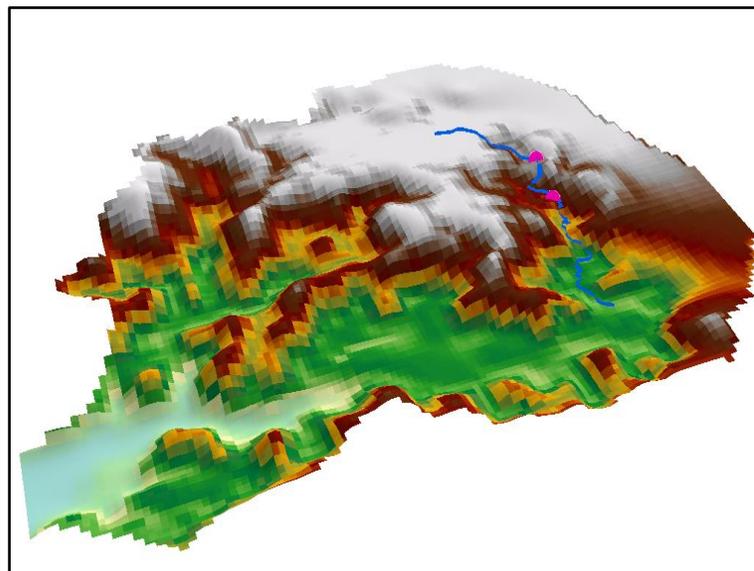


Figura 10. Microcuenca El Cristo con puntos de monitoreo para el año 2016.

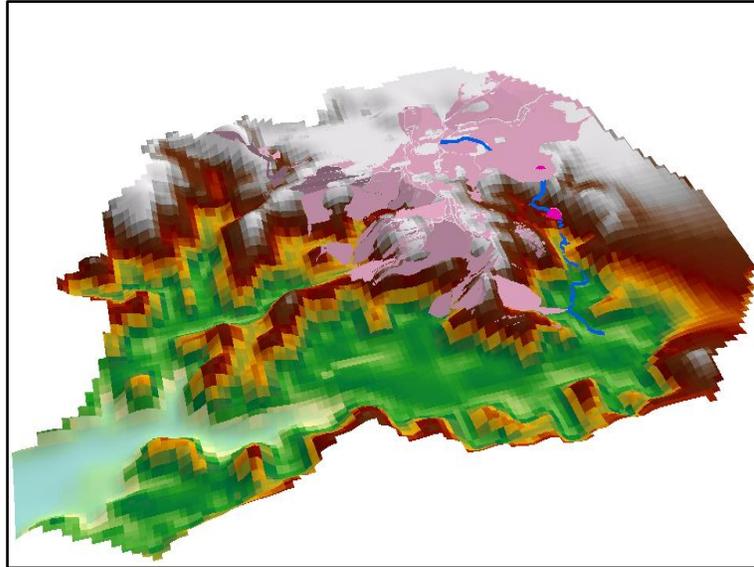


Figura 11. Microcuenca El Cristo rodeando el casco urbano del municipio de Remedios.

En la Figura 11 se puede observar que en comparación con el año 2016 varía un punto de monitoreo que el de aguas debajo de la captación, sin embargo, conserva la misma concentración de mercurio medida en (mg/L) esto puede presentarse a la diferencia de distancia que hay entre los puntos de medición y quizá porque en este transcurso no se tienen identificados vertimientos aportantes de contaminantes a la quebrada El Cristo.

Tabla 4. Ubicación de puntos de muestreo en la quebrada El Cristo año 2018.

Identificación del punto de muestreo	Q. El Cristo	
	Coordenadas fuente Monitoreo 1	Latitud
Longitud		-74,696253
Coordenadas fuente Monitoreo 2	Latitud	7,034022
	Longitud	-74,6949

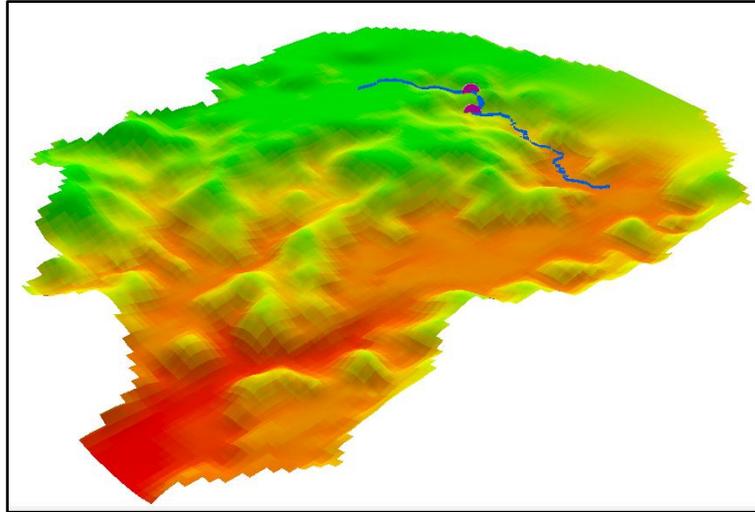


Figura 12. Microcuenca El Cristo con puntos de monitoreo para el año 2018

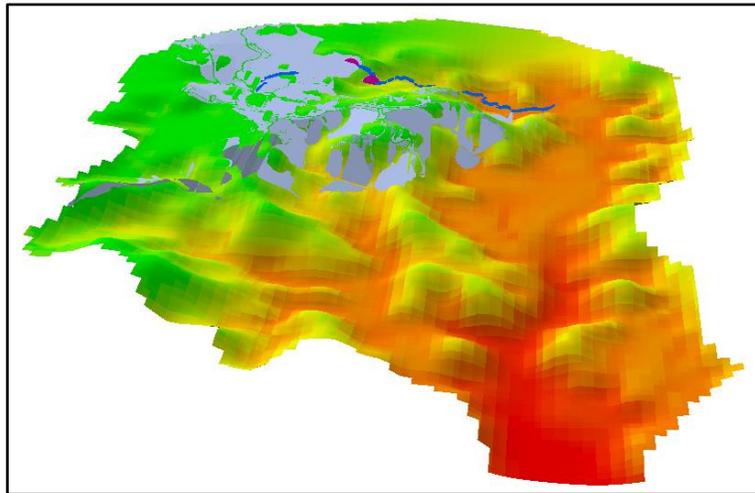


Figura 13. Microcuenca El Cristo rodeando el casco urbano del municipio de Remedios.

En la Figura 13 se observan los puntos de monitoreo para el año 2018, uno de estos puntos esta ubicado en la entrada de la PTAP.

2.1.4. Datos de concentración de contaminación por metales pesados (Mercurio Hg).

A partir de los datos relacionados con las características físicas, químicas y microbiológicas de la quebrada El Cristo tomados por la Corporación ambiental Corantioquia se pudo observar que las concentraciones de mercurio total se encontraron similares en las dos tomas de muestras realizadas en el año 2015, presentando valores límites muy cercanos a los establecidos por el Decreto 1594.

Sin embargo, para el año 2016 se puede observar en la Tabla N°4 que para el resultado del 13/10/2016 se presentaron concentraciones de 0.002 mg/L cuyo valor es el establecido normativamente por los Decretos 1594/1084, como el límite máximo admisible en una fuente de agua para consumo humano.

Con el fin de establecer el impacto negativo a razón de contaminantes provenientes de actividades antrópicas se evaluó adicionalmente el parámetro de (Escherichia coli) para los años 2015 y 2016 con el fin de contar con información de parámetros fisicoquímico en el agua como el Mercurio, pero además se consideró importante observar este parámetro que demuestra un indicador de contaminación microbiológica por aguas residuales domésticas o residuos de animales cercanos a la fuente de estudio.

Tabla 5. Resultado de toma de muestras en la quebrada El Cristo año 2015.

Parámetros (unidades)	Resultados periodo 2015		
	14/07/2015	13/10/2015	Límite Decreto 1594/1084
Mercurio total (mg/L)	0.001	0.002	< 0.002
Escherichia coli	426	54800	< 200

En los resultados del año 2015 se puede observar que en el primer punto de evaluación se encontraron concentraciones de 0.001 mg/L valor que está por debajo de lo establecido por el Decreto 1594 y 184 que dictan los valores máximos en el agua para consumo humano, sin embargo en el muestreo N°2 se puede observar que las concentraciones de mercurio se encuentran en 0.002 mg/L lo que quiere decir que supero el valor permisible para consumo humano, esto se debe a que por ser un punto aguas abajo de la quebrada El Cristo puede tener concentraciones mayores debido a las diferentes actividades mineras involucradas que vierten directamente a esta quebrada como por ejemplo (cambuches, residuos, escorrentía, infiltración barequeo), también es importante destacar que en este punto de evaluación llegan varios afluentes de diferentes quebradas lo que significaría algún tipo de impacto negativo que se podría notar a la hora de la toma de muestra realizada el 13 de octubre de 2015.

Tabla 6. Resultado de toma de muestras en la quebrada El Cristo año 2016.

Parámetros (unidades)	Resultados periodo 2016		
	20/06/2016	10/10/2016	Límite Decreto 1594/1084
Mercurio total (mg/L)	0.001	0.001	< 0.002
Escherichia coli	2755	2705	< 200

Para el periodo 2016 se puede observar que en ambos muestreos conservan los valores de 0.001 mg/L esto puede corresponder a que entre ambos puntos se encuentran cercanos y no existe una zona importante aparentemente que tenga vertimientos de agua no domésticos influyentes. Se debe resaltar que las concentraciones mg/L para *Escherichia coli* son un claro indicativo de que existen vertimientos puntuales provenientes de contaminación biológica además de la contaminación química

Tabla 7. Resultado de toma de muestras en la quebrada El Cristo año 2018.

Parámetros (unidades)	Resultados periodo 2018		
	02/04/2018	26/10/2018	Límite Decreto 1594/1084
Mercurio total (mg/L)	0.001	0.00035	< 0.002

En los resultados del año 2018 se puede observar que el toma N°1 las concentraciones de mercurio fue de 0.001 mg/L encontrándose dentro del rango establecido normativamente, para la toma N°2 se presentó una concentración de 0.00035 mg/L, esto se puede presumir que el valor disminuyó por dos razones la primera es que para este periodo de tiempo la precipitación en la zona era mucho mayor y por esto la dilución de concentración de diferentes compuestos pudo ser mayor, y la segunda razón es por la influencia de otros aportes de agua a esta quebrada El Cristo.

2.2 IDENTIFICACIÓN DE VERTIMIENTOS DE AGUA RESIDUAL NO DOMÉSTICA SOBRE LA FUENTE.

En esta etapa se analizaron las imágenes a partir de satelitales Landsat 8, para ello se procedió a la combinación de bandas, (4,5,3) Falso Color (4,2,3) Color verdadero, se seleccionó muestras mediante interpretación visual de imágenes, clasificación supervisada utilizando el algoritmo de clasificación por vecindad de máxima verosimilitud, para esto se establecieron coberturas del suelo para (Bosques, casco urbano, pastos, minería y rastrojo). Este proceso consistió en agrupar grupos de píxeles con valores similares en toda la imagen.

Después de la combinación de imágenes se crearon grupos de polígonos que representan los grupos de clasificación de interés con esta información agrupada por tipos de coberturas se utilizó la herramienta de máxima verosimilitud. Seguido a esto se compararon estas

clasificaciones con las imágenes de color verdadero, la ortofoto del municipio e imágenes de Google earth de la zona de estudio con el fin de encontrar aciertos y desaciertos en estas clasificaciones. Como resultado final se presentaron 5 clasificaciones importantes como se puede observar en las ilustraciones 10, 11.

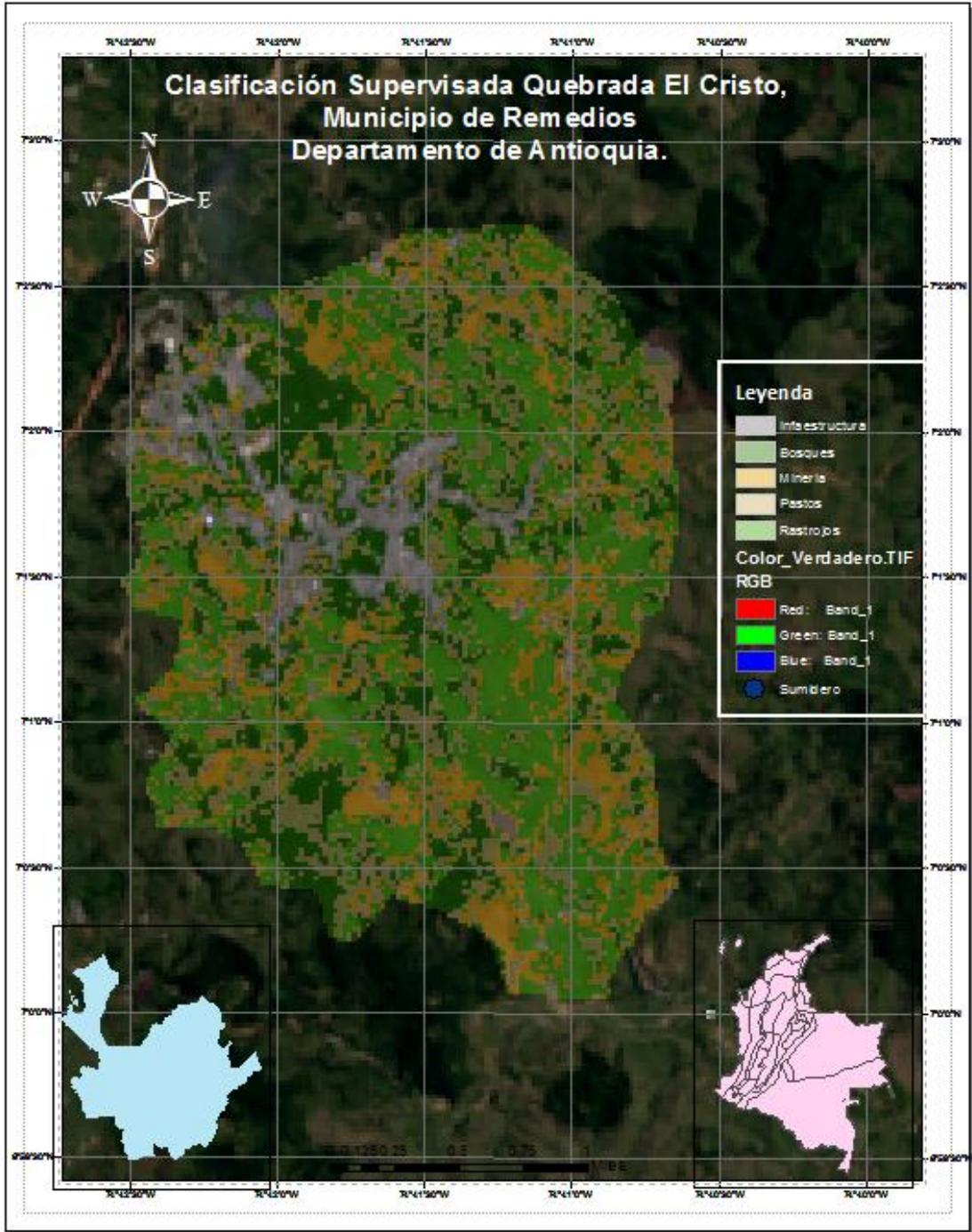


Figura 14. Clasificación supervisada en combinación (4,3,2) color verdadero.

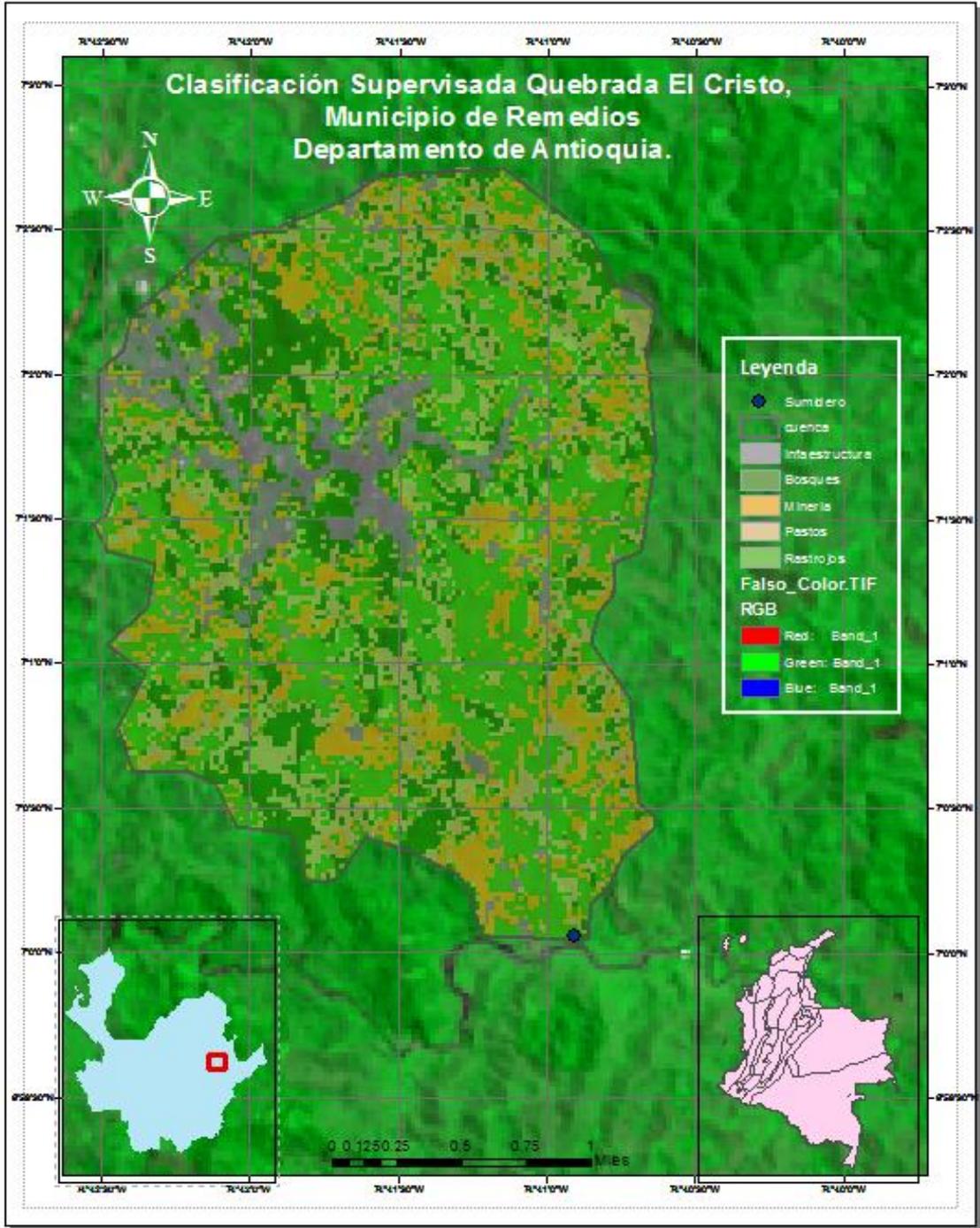


Figura 15. Clasificación supervisada en combinación (4,5,3) falso color.

Posterior al procesamiento de la clasificación supervisada se ubicaron los posibles vertimientos provenientes de zonas mineras que representara un impacto negativo solo la quebrada El Cristo y que fuesen la representación de las concentraciones de contaminantes

con mercurio que pudiesen afectar la salud humano a partir de las concentraciones del mismo, a continuación se muestra la representación de la ubicación de estos vertimientos identificado a partir de la clasificación supervisada y comparada con las imágenes de Google Earth, composición verdadero color y la ortofoto de la zona.

Tabla 8. Puntos de Vertimientos sobre la quebrada El Cristo

PUNTO	LATITUD	LONGITUD
1	7,036524	-74,700466
2	7,037098	-74,700525
3	7,036927	-74,699777
4	7,040315	-74,699552

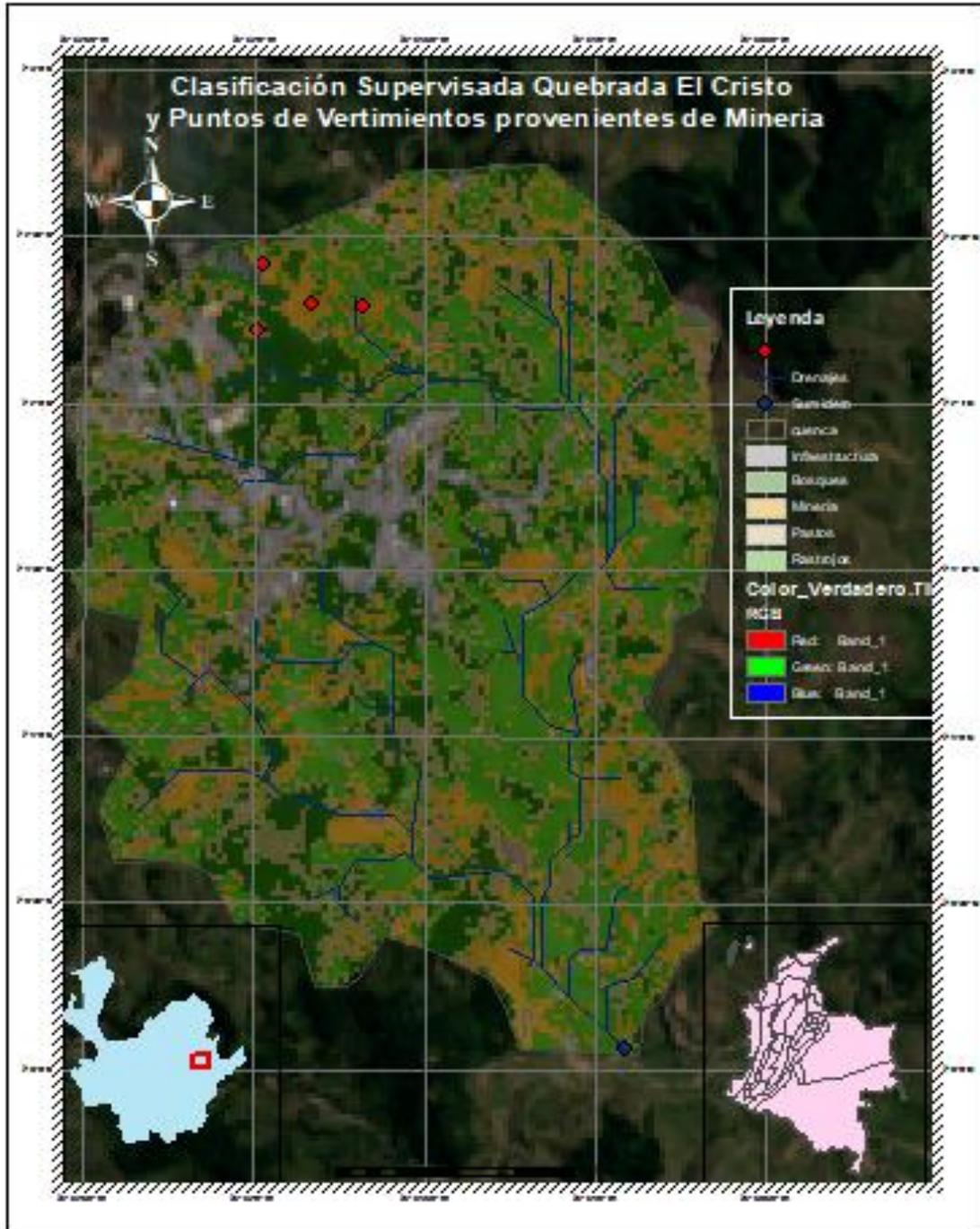


Figura 16. Ubicación de puntos de vertimiento sobre la fuente abastecedora El Cristo, con la composición de bandas (4,3,2).

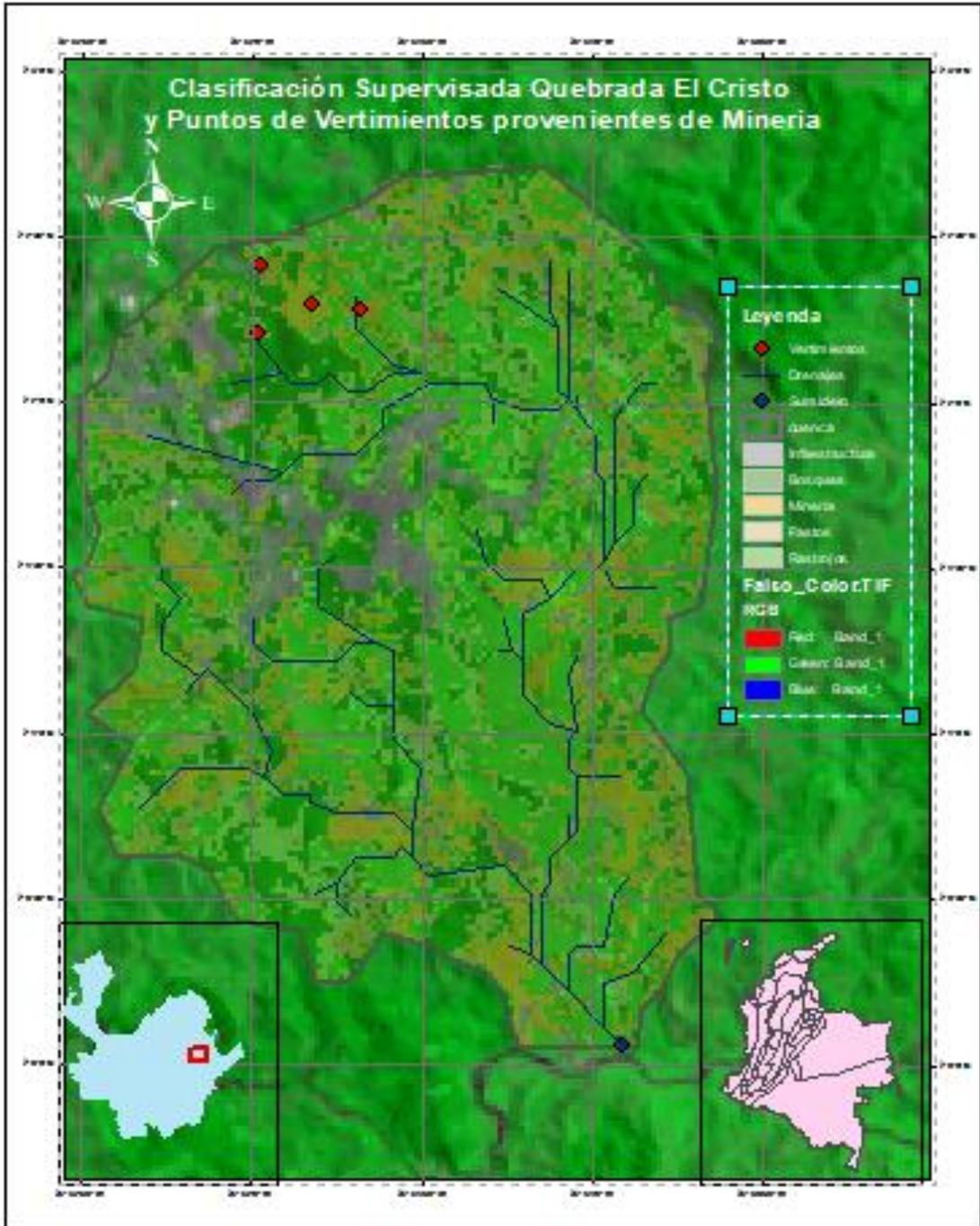


Figura 17. Ubicación de puntos de vertimiento sobre la fuente abastecedora El Cristo, con la composición de bandas (4,5,3).

Después de implementar la clasificación supervisada se ubicaron cuatro vertimientos no domésticos que descargan directamente a la fuente abastecedora El Cristo, provenientes por

diferentes actividades mineras aledañas a esta quebrada, esto se pudo identificar gracias a la clasificación de los diferentes usos del suelo en toda la cuenca, en estas ilustraciones se puede observar que estos cuatro puntos representan quizá los aportantes directos de mercurio, metal que puede afectar el agua para abastecimiento del casco urbano debido a las concentraciones presentes en el cuerpo hídrico.

2.3 ESTIMACIÓN DE ZONAS DE AFECTACIÓN

Seguido a esto se desarrolló un buffer de 100 metros y 30 metros con el fin de conocer la influencia y zonas de retiro establecidas normativamente para fuentes abastecedoras de acueductos para consumo humano, según el Decreto 3930 de 2010, se establece que los cuerpos hídricos se dividen en dos clases (clase 1 y clase 2) la clase 1 establece que está prohibido las descargas antes de las captaciones de agua para consumo, para esto debe existir una distancia de 100 metros como zona de retiro a estos cuerpos hídricos. Para la clase 2, se establece una zona de retiro con distancia de 30 metros.

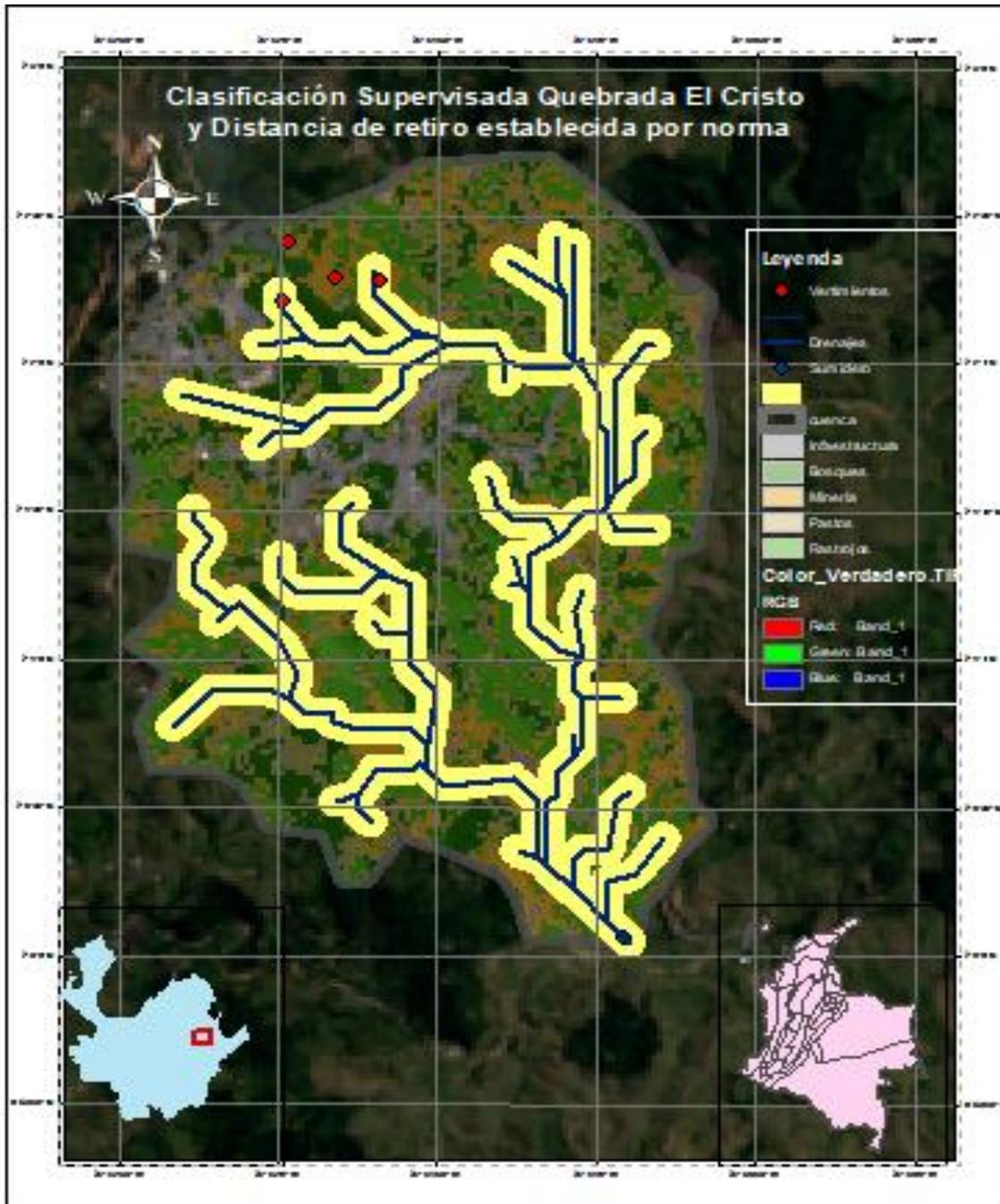


Figura 18. Creación de buffer con distancia a 100 metros de los drenajes de la cuenca.

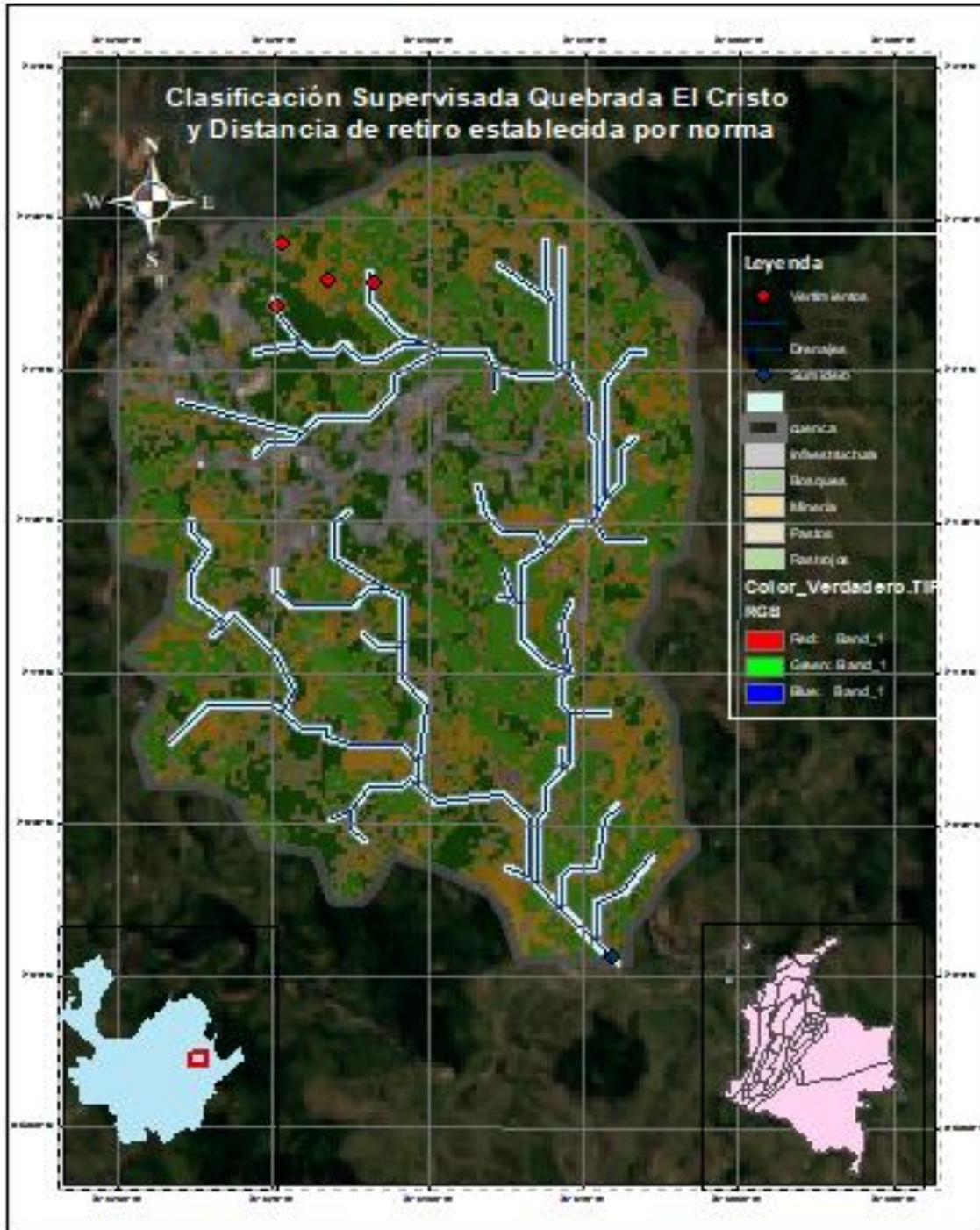
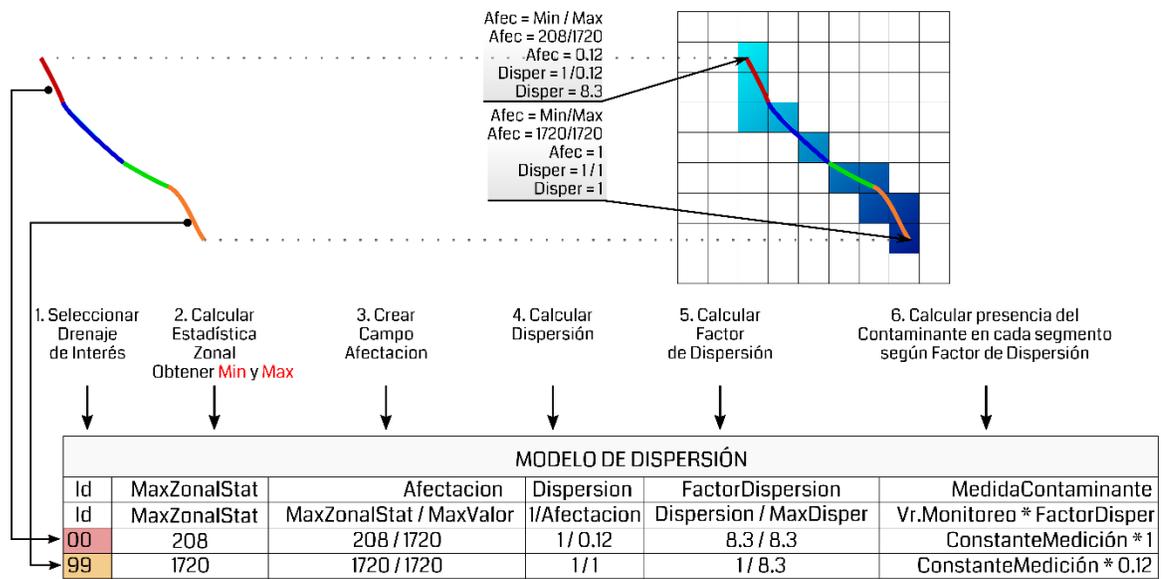


Figura 19. Creación de buffer con distancia a 30 metros de los drenajes de la cuenca.

Como se puede observar en la Figura 18 la distancia de retiro de 100 metros, en este resultado se puede notar como dos puntos establecidos como vertimientos provenientes de actividades mineras no respetan la distancia establecida por la norma, lo que quiere decir que

son descargas que contaminan notoriamente de metales la quebrada El Cristo. Además de esto se realizó un buffer con distancia 30 metros como se muestra en la ilustración N°15 para conocer la influencia de estos contaminantes 30 metros a cada margen de la quebrada, el resultado fue que dos vertimientos se encuentran a dentro e estos metros. Esto da como conclusión que existen aportes no domésticos que afectan la calidad del agua física, química y microbiológicamente, irrespetando claramente lo que se establece por la normatividad ambiental vigente, no se respetan los retiros de 100 y 30 metros que se determinan para tramos de fuente clase 1 y clase 2.

2.4. MODELO DE ESTIMACIÓN DE DISPERSIÓN Y DILUSIÓN DE CONTAMINANTE:



Después de conocer las zonas de retiro se diseñó un modelo que permitiera conocer el comportamiento del contaminante aguas abajo de cada muestreo, de tal forma que sea posible identificar si estas concentraciones de mercurio crecen o decrecen después de recorrer la quebrada e interactuar con la llegada de afluentes del Cristo, para lo cual se emplearon las siguientes operaciones:

Tabla 9. Modelo de dispersión de contaminante

Afectación	Factor Dispersión
$Afectación = \frac{MaxZonalSta}{MaxValor}$	$Factor\ de\ dispersion = \frac{Dispersión}{MaximaDispersion}$
Dispersión contaminante	Medición Contaminante
$Dispersion\ de\ contaminante = \frac{1}{Afectación}$	$MedicionConta = Vr\ Monitoreo * FactorDispersión$

Este modelo posiblemente nos muestra valores que representa un fenómeno de dispersión de las moléculas disueltas en el agua en diferentes direcciones y en presencia de múltiples procesos físicos, químicos y microbiológicos que pueden incidir en los resultados, este modelo estima desde el punto de vista físico como puede ser la atenuación de contaminante después de recorrer algunas distancias determinadas en la cuales de presentan procesos que ayudan a estos resultados.

- **Definición de Variables:**

Afectación: A partir de la medición de los pixeles en el flujo acumulado se desarrolló una estadística zonal con el fin de conocer estadísticas de esta capa como máximos, mínimo, rangos, para dichas estadísticas se empleó la división de la fuente en 6 tramos respectivamente y a partir de estos valores resultantes de la estadística se reconocieron los máximos valores de cada tramo versus el mayor de los máximos para ser empleado en la ecuación

Dispersión de contaminante: A razón de la medición de la afectación se desarrolló esta variable para considerar como es la dispersión del contaminante teniendo en cuenta los diferentes aportes de flujo aguas abajo de la medición.

Factor de Dispersión: Posterior a lo nombrado anteriormente se determinó un factor que servirá para conocer cómo se va diluyendo si es el caso las concentraciones de mg/L de mercurio en el espacio después de recorrer algunos tramos de la quebrada.

Medición de Contaminante: Por último, se buscó operar el factor de dispersión con la medición en las muestras de los diferentes años de mg/L de mercurio para conocer de qué forma y si aplica que el contaminante se diluya hasta dejar de presentarse gracias a los aportes de caudales importantes aportantes a la quebrada de estudio El Cristo.

A partir de la aplicación de este modelo el resultado fue el siguiente:

Tabla 10. Modelo de dispersión de contaminante año 2015

Año 2015						
Valor Máximo	Numero de tramo	Afectación	Dispersión contaminante	Factor Dispersión	Medición Contaminante	Porcentaje de dispersión
263	2	0.15	6.6	0.23	0,00023	77 %
1720	4	1	1	0.15	0,0003	85 %

La aplicación del modelo de estimación de dispersión de contaminante para el año 2015 dio como resultado que dependiendo de las concentraciones de medición en los muestreos de calidad de agua de la quebrada afectando por un factor de dispersión da como representación si el contaminante se está diluyendo y perdiendo concentración en el transcurrir la fuente o por el contrario toma poder. para el caso particular del año 2015 se debe aclarar que el muestreo #2 dio concentraciones de mercurio mg/L más elevadas en el tramo final el #6 y es por esta condición que la medición de las concentraciones es mayor que la inicial presentando un valor de 0.003 ya que para este punto hubo un aporte que aumento el contaminante para este tramo, entonces podríamos estar hablando de un fenómeno de aporte a pesar de los caudales que descargan a la quebrada El Cristo desde otras fuentes cercanas. También se observa que aproximadamente un porcentaje del 77% se puede dispersar del contaminante medido en la primera muestra realizada por La Corporación y un porcentaje aproximado del 85% a razón del modelo vs la caracterización número 2.

Tabla 11. Modelo de dispersión de contaminante año 2016

Año 2016						
Valor Máximo	Numero de tramo	Afectación	Dispersión contaminante	Factor Dispersión	Medición Contaminante	Porcentaje de dispersión
263	2	0.15	6.6	0.23	0,00023	77 %
504	3	0.29	3.44	0.52	0,00052	48 %

Para el modelo del periodo 2016 se pudo observar que el tramo #2 existía unas concentraciones que para e tramo #3 fueron más bajas a pesar de la medición de este esté contaminante de mercurio en las caracterizaciones de calidad de agua arrojaron valores similares iguales a 0.001 mg/L de mercurio, lo que quiere decir que gracias a los aportes de flujo a la quebrada se puede notar la dispersión de los contaminantes y la disminución en la medición. Se puede observar además que un porcentaje de 77% respecto a la primera caracterización y un 48% respecto a la segunda se dispersan y se transportan respectivamente.

Tabla 12. Modelo de dispersión de contaminante año 2018

Año 2018						
Valor Máximo	Numero de tramo	Afectación	Dispersión contaminante	Factor Dispersión	Medición Contaminante	Porcentaje de dispersión
263	2	0.15	6.6	0.23	0.00023	77%
504	3	0.29	3.44	0.52	0.0000805	77%

La aplicación del modelo en el periodo 2018 dio como resultado que el contaminante se va disminuyendo notoriamente al transcurrir distancia aguas abajo de las caracterizaciones, esto puede ser gracias ala interacción con múltiples factores físicos y químicos, pero algo determinante es el aporte de flujo por parte de otros afluentes que descargan a la quebrada. Además de esto un porcentaje de 77% del contaminante fue dispersado o transportado en la fuente hídrica.

3. RESULTADOS

Luego de consolidar toda la información acerca de las concentraciones en mg/L del mercurio presente en la quebrada El Cristo como resultado de aportes de vertimientos no domésticos a la fuente se puede observar que según a la clasificación supervisada a partir de diferentes usos del suelo del territorio se identificaron 4 vertimientos puntuales importantes que pueden ser los causantes de contaminación por este metal pesado, esto se pudo evidenciar a partir de la comparación con imágenes satelitales Landsat 8 entre imágenes de la zona “Ortofoto” de la zona y las composiciones de múltiples bandas para la formación de (Falso color y color verdadero), en esta clasificación se evidencio la perdida de cobertura vegetal y la degradación de los suelos a razón de las actividades mineras.

Los contaminantes medidos en la parte alta de la quebrada se comportan de forma regular en los tres años evaluados (2015,2016 y 2018) esto puede ser debido a que se hicieron mediciones en lugares cercanos lo que no representa una variación representativa para analizar el comportamiento del contaminante, sin embargo si se pudo concluir que aguas abajo se pueden presentar concentraciones más elevadas de este contaminante ya que se unen varios afluentes de otras fuentes hídricas que pueden traer consigo concentraciones acumuladas importantes que aportan a la receptora final, además de observar que en varios drenajes que conforman la cuenca se e actividad de minera en las zonas de retiro de las fuentes.

A partir de la clasificación supervisada donde se pudo conocer las zonas mineras más cercanas al nacimiento de la quebrada para abastecimiento se buscó comparar si se cumplía con la zona de retiro a 100 metros establecida por norma, para las fuentes hidrias que tengan uso para consumo humano, lo que dio como resultado que estas actividades no respetan loe establecido y vierten aguas directamente con estos contenidos de metales. También se construyó una zona de retiro de 30 metros zona la cual debe guardarse de lado a lado de las quebradas que pueden ser utilizadas para otros usos diferentes al de abastecimiento, según esta norma actualmente estos vertimientos no cumplen según la normatividad legal vigente ya que incumplen el distanciamiento mino establecido.

Por ultimo se creo un modelo tentativo para conocer los valores de la dispersión del contaminante de estudio ósea el mercurio a partir de la interacción con fenómenos físicos, químicos y microbiológicos, además de predecir los porcentajes de esta dispersión, esta representación es netamente física ya que brinda valores que determinan como se dispersan los contaminantes después de su recorrido por la quebrada y los aportes de flujo de diferentes afluentes a la fuente El Cristo.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Es importante considerar que las condiciones actuales del país y el departamento, no cuenta con sistemas robustos para la obtención de información satelital local por lo cual se debe utilizar informaciones disponibles como datos de los municipios. Esta información puede variar los resultados si no se poseen datos suficientes o si no son desarrollados. También los pocos aportes de resultados de caracterización de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos en el agua en los diferentes tramos de as fuentes abastecedoras, no aportan lo suficiente para sacar mejores estadísticas o resultados para la toma de decisiones. Además de esto a la hora de manipular los datos se encontró poca información de la variable principal de estudio que fue las concentraciones mg/L de mercurio lo cual limitaba los geoprocesamientos u el análisis de distribución del contaminante.

Sin embargo con el análisis de los datos manipulados se pudo concluir que el poca regulación y control por parte los entes Gubernamentales y Corporaciones Ambientales que son las instituciones que pueden sancionar o controlar está dejando que el paso de las diferentes actividades mineras en el municipio afecten notablemente los recursos naturales renovables y no renovables de esta región como el suelo el aire y por supuesto una de las fuentes hídricas para abastecimiento de la zona urbana del municipio la quebrada El Cristo, sin considerar que las plantas de tratamiento de agua potable convencionales solo cuentan con infraestructura para controlar la contaminación física, microbiológica y alguna química sin embargo no se encuentran preparadas para el trato de metales inorgánicos como el mercurio, por lo cual podríamos estar enfrentando un fenómeno complejo que podría afectar la salud de la población del municipio.

A partir de este procedimiento se pudo observar que deben integrarse diferentes disciplinas y estudiar estos fenómenos de manera conjunta con el fin de minimizar impactos negativos a la naturaleza y a las comunidades, esto representa un reto importante ya que claramente se debe invertir en la prevención de fenómenos y en la caracterización espacial para determinar situaciones y aspectos ambientales que causen algún daño utilizando herramientas que permitan predecir o conocer el comportamiento del fenómeno en el territorio. Con este procedimiento se identificaron vertimientos importantes que se deben estudiar y evaluar para que no se continúen descargando estos vertimientos que causan las concentraciones existentes de mercurio en la fuente abastecedora.

El modelo de estimación de la dispersión de los contaminantes creado puede representar el comportamiento de la estimación de las concentraciones de los contaminantes después de recorrer tramos de la quebrada e interactuar con múltiples factores que hacen posible esta dispersión. Este tipo de modelos sirven para definir restricciones relacionadas con los usos del agua aguas abajo para otras comunidades que requieran el recurso.

5. REFERENCIAS

- BIRD (Banco de Iniciativas Regionales para el Desarrollo de Antioquia), (2008). Potencial Minero Antioqueño, Visión General.
- PLANEA (Plan Estratégico de Antioquia), (2010). Áreas del Planea, grupo de recursos naturales. [En línea], [citado el 30 de agosto de 2012].
- West, R., 2000. La minería de aluvión en Colombia durante el periodo colonial. Cuad. Geogr. Rev. Colomb. Geogr. 10(Número Especial), 249-251.
- Gran Colombia Gold Corp, 2017. Operations & Projects. Disponible en: <http://www.grancolombiagold.com/operations-and-projects/colombia/default.aspx#segovia>; consultado: mayo, 2018.
- Abril RAM, Arismendy OVM. EVALUACION DEL RIESGO POR EXPOSICION OCUPACIONAL EN UNA MINA DE CARBON EN SOCHA BOYACA. Revista Salud, Historia Y Sanidad On-Line.2016.
- Agudelo, C., Quiroz, L., García, J., Robledo, R., & García, C. (2016). Evaluación de condiciones ambientales: aire, agua y suelos en áreas de actividad minera en Boyacá, Colombia. Revista Salud Pública, 18(1).
- UPME. (2017). Plan Nacional de Desarrollo Minero con Horizonte a 2025, Minería responsable con el territorio. Bogotá.
- López, E., & Barragán, R. (2016). Metals and metalloid in in eight fish species consumed by Citizens of Bogotá, D.C. Colombia and potential risks to humans. Journal of Toxicology and Environmental Health(1087-2620)
- Tokar, E.; Boyd, W., Freedman, J.; Waalkes, M. **Toxic effects of metals**. Casarett and Doull's Toxicology. 8th ed. McGraw-Hill. 2015. 93p.
- Zuluaga, J.; Gallego, S.; Ramírez, C. Contenido de Hg, Cd, Pb y As en especies de peces: revisión. VITAE, v. b22, n. 2, p.148-159, 2015.
- Arúz, D.; García, A.; Rodríguez, F.; Zarate, M. Nivel de contaminación y distribución espacial de metales pesados en sedimentos superficiales de Bahía Damas, Isla Coiba. I + D Tecnológico-RIDTEC, v. 9, n. 2, p. 14-23, 2013.
- Beltrán, M., Gómez, A. Metales pesados (Cd, Cr y Hg): su impacto en el ambiente y posibles estrategias biotecnológicas para su remediación. Revista I 3+, v. 2, n. 2, p. 82 – 112, 2015

- Barros-Barrios, O; Doria-Argumedo, C. & Marrugo-Negrete, J. Metales pesados (Pb, Cd, Ni, Zn, Hg) en tejidos de *Lutjanus synagris* y *Lutjanus vivanus* de la Costa de La Guajira, Norte de Colombia. *Revista Veterinaria y Zootecnia*, v. 10, n. 2, p. 27-41, 2016. DOI: 10.17151/vetzo.2016.10.2.3
- Veiga, M. (2010). Antioquia, Colombia: El lugar más contaminado con mercurio en el mundo: impresiones de dos visitas de campo. Medellín: ONUDI.
- Unidad de Planeación Minero Energética -UPME-, Colombia. (2007). Plan Nacional Desarrollo Minero para el periodo 2007- 2010. Bogotá: Scripto Ltda.
- Ministerio de Minas y Energía, Colombia. (2008). Justificación y Estudio Previo Censo Minero. Recuperado el 3 de febrero de 2011, de http://www.contratos.gov.co/archivospuc1/2010/DEPREV/121001000/10-1-52631/DEPREV _ PROCESO _ 10-1-52631 _ 121001000 _ 1578333.pdf.
- Latorre, Á. MLR y Tovar, MHT (2017). Explotación minera y sus golpes ambientales y en salud. El caso de Potosí en Bogotá. *Saúde Em Debate*, 41 (112), 77–91. <https://doi.org/10.1590/0103-1104201711207>.
- Sánchez, B. (2017). Sistema de información geográfica para el monitoreo de contaminación de una cuenca hidrológica. Tesis de Licenciatura en Ing. Informática, Universidad Veracruzana Región Veracruz.
- Castro-Castro, C., Durango-Vanegas, C. (2009). Administración del patrimonio cultural e histórico utilizando herramientas de Sistemas de Información Geográfica. Caso de estudio Medellín. Medellín, Colombia.
- ROBARDS, K. and WORSFOLD, P. Cadmium: toxicology and analysis – a review. *Analyst*, 3(1), 2011, p. 549-568